



**La salud
es de todos**

Minsalud

Evaluación de riesgos para la salud humana, con énfasis en un modelo de evaluación; derivado de la ejecución del programa de erradicación de cultivos de uso ilícito por aspersión área en Colombia

Requerimiento específico de sentencia T-236 de 2017

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL

FERNANDO RUIZ GÓMEZ
Ministro de Salud y Protección Social

LUIS ALEXANDER MOSCOSO OSORIO
Viceministro de Salud Pública y Prestación de Servicios

GERARDO BURGOS BERNAL
Secretario General

CLAUDIA MILENA CUELLAR SEGURA
Directora de Promoción y Prevención (E)

SANDRA LORENA GIRÓN VARGAS
Directora de Epidemiología y Demografía

ADRIANA ESTRADA ESTRADA
Subdirectora Salud Ambiental

Evaluación de riesgos para la salud humana

Elaboración

Universidad de Córdoba

PhD. José Luis Marrugo Negrette

MSc. Roberth De Jesús Paternina Uribe

MSc. Marcia Cristina Chavarriaga Ríos

Ministerio de Salud y Protección Social

Adriana Estrada Estrada

Andrea Soler Galindo

Ana Carolina Estupiñan Galindo

Yady González Álvarez

Javier Roberto Rodríguez Buitrago

Equipo de Trabajo

Enrique Amado Navarro Frometa

Profesor. UNESCOSOST / México / Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros

Carlos Espinal Tejada

Médico-Epidemiólogo -Director Global Health - FIU

Carlos Federico Molina Castaño

Médico – Especialidad Médica toxicología clínica, Doctor Epidemiología

Nazly Cepeda Ortega

Médico – Magister Toxicología – Candidato a Doctor Toxicología

Catalina Arango Álzate

Nutricionista - Magister en Epidemiología – Doctora en Epidemiología

Berta Gastelbondo Pastrana

Bacterióloga – Magister – Doctorado Biotecnología

Beatriz Jaramillo Colorado

Química – Doctorado en Ciencias Químicas

Myladis Cogollo Flores

Estadística - Magister. Estadística - Doctora Ingeniería Sistema-Informática

Elkin Quiñonez Agamez

Ingeniero de Sistema de Información - Doctor Ciencias Gerencia en Ciencia y Tecnología - PDOC.

Gestión de la Ciencia y Tecnología

Margarita Maria Pérez Osorno

Administradora Salud - Magister. Epidemiología – Doc. Desarrollo Sostenible

Sonia Díaz Criollo

Microbióloga – Epidemióloga

María Marcela Arriola Salgado

Enfermera – Magister Salud Pública

Concepción Elena Amador Ahumada - Enfermera – Magister en Salud Publica
Carlos Andrés Burgos Galeano – Ing. Químico – Magister Ciencias Ambientales
Candelaria Gordon Morante – Ing. Químico – Magister Ciencias Ambientales
Clelia Ramos Cálao – Bacterióloga – Magister en Microbiología
Edisson Duarte Restrepo – Químico – Magister Ciencias Ambientales
Liliana Gómez García - Química – Maestría en Desarrollo Territorial y Recursos Naturales
German Hollan Enamorado Montes – Químico – Maestría En Ciencias Ambientales
Humberto Tavera Quiroz – Ing. Sanitario y Ambiental – Magister en Ingeniería y Saneamiento
Nadya Janna Lavallo – Enfermera – Magister en Salud Pública
Ruby Hernández Dávila – Bacterióloga – Especialista en Gestión Pública
Hiltohy Villa Dangónd – Químico Farmacéutico – Magister Farmacología
Eva López De La Espriella – Enfermera – Magister en Salud Pública
Ángela Marcela Herrera Sarmiento – Administrador en Salud Pública – Magister en Salud
Daniel Mestra Vergara – Bacteriólogo – Esp. Epidemiología – Candidato Magister Epidemiología
María Pérez Suarez – Enfermera - Especialista en Auditoría
Javier Racine Vergara - Diseñador Gráfico – Especialista en Diseño de Ambientes de Aprendizaje
Stalyn Guerrero Gómez - Estadístico - Magister Ciencias y Estadística
Kevin Pérez Cantero - Estadístico – Magister Ciencia Datos y Procesamiento de Datos Masivos
Salín Nassiff Díaz - Ing. de Sistemas – Especialista en Sistema de Telecomunicaciones
Cristian Arango Chacón - Licenciatura en Química - Magister. Ciencias y Meteorología
Carmen Ana Mercado - Ingeniera Sanitaria y Ambiental
Gina Algarín Sánchez - Psicóloga
Olga Castro Gaona - Bacterióloga
Mayra Luna Arcila – Ing. Ambiental
Ivonne Negrete Sierra - Ingeniera Ambiental
Héctor Mauricio Álvarez - Administrador Público - Es. Administración De Empresas
Héctor Rivero Reyes - Economía - Mg. Economía
Jairo Ángel Guzmán - Licenciado En Matemáticas Y Física, Doctor en Estadística
Diana Cabarcas Carrascal – Bióloga – Candidato a Magister en Ciencias Ambientales
Elkin Monterrosa Vergara - Biólogo - Mg. Microbiología
Naira Morales Negrete- Ingeniera Sanitaria Y Ambiental - Es. Gerencia - Mg. Gestión Ambiental
Mauricio Rosso Pinto – Ing. Ambiental- Mg. Ciencias Ambientales
Jhovany Díaz Rojas - Gobierno y Relaciones Internacionales - Mg. Geografía Ciencias Territorio -
Sandra Ruiz Pérez - Derecho - Es. Derecho Tributario - Es. Derecho Procesal
Andrés Álvarez Amezcua - Médico Y Cirujano General - Mg. Epidemiología
Alma Yanza Velazco Ingeniera Forestal - Es. Sig
Alicia Arismendy Coronado – Médico
Karol Velásquez Barrios – Ingeniera Sanitaria y Ambiental
Sain Bermúdez Vergara - Administrador De Empresas
Carlos Bautista Figueroa – Ing. Ambiental - Esp Gerencia Del Ambiente - Mg. Ciencias Ambientales
Adriana Obaji Bernal - Ingeniera Ambiental - Es. Sistema Integrado De Gestión
María Claudia Kerguelen Sánchez - Ingeniera Ambiental - Mg. Salud Pública
Ana Reino Causil – Ing. Agrónoma - Es. Gestión Ambiental
Iván Mansigla Chams - Ing. Químico
Iván Urango Cardenas - Químico – Maestría Ciencias Ambientales
Jennifer Marquéz Solera - Ing. De Minas
Oswaldo Sanabria Espitia - Ing. Industrial - Esp. Dirección Plantas Industriales - Mg. Gestión

Contenido

GLOSARIO	20
ANTECEDENTES	26
INTRODUCCIÓN	31
GENERALIDADES.....	34
1. CAPÍTULO UNO: MARCO TEÓRICO	41
1.1 Cultivos ilícitos en Colombia.....	41
1.2 Los plaguicidas (herbicidas).....	42
1.3 Glifosato	44
1.3.1 Modo de acción del glifosato.....	55
1.3.2 Formulantes y coadyuvantes	55
1.3.3 Formulaciones del Glifosato utilizadas para la aspersión de cultivo de coca	57
1.4 Consideraciones sobre la clasificación técnica del Glifosato.....	58
1.5 Peligro	58
1.6 Riesgo	60
1.7 Evaluación de riesgo	60
1.8 Identificación del peligro	63
1.9 Caracterización del peligro	63
1.10 Evaluación de la exposición	63
1.10.1 Rutas y vías de exposición	64
1.11 Caracterización de rutas de exposición.....	67
1.12 Cálculo de la exposición: planteamientos de modelización o de medición	67
1.13 Modelos conceptuales de medición	68
1.14 Cuantificación de la exposición por método indirecto.....	68
1.15 Consideraciones de la evaluación de riesgo por inhalación de Glifosato	69
1.16 Caracterización del riesgo.....	70
1.17 Umbrales aceptados internacionalmente para el glifosato.....	70
1.17.1 Estimación cuantitativa del riesgo para efectos no cancerígeno.....	71
1.18 Comunicación del riesgo.....	71
1.18.1 La importancia de la comunicación del riesgo	73

1.19	Estrategia de entornos saludables	73
1.19.1	Impacto de la Estrategia de Entornos Saludables, EES en la salud de la población..	74
1.20	Estrategia SARAR	75
1.20.1	Gestión del riesgo.....	75
1.20.2	Acciones de prevención	76
1.20.3	Acciones de mitigación.....	76
1.20.4	Acciones de control	77
1.21	Sistema de información	77
	Pregunta de investigación	77
2.	CAPÍTULO DOS: METODOLOGÍA	77
2.1	Revisión sistemática de literatura.....	78
2.2	Estudio descriptivo-transversal.....	80
2.3	Área de estudio.....	82
2.4	Población objeto de estudio.....	82
2.5	Fuente de información	83
2.6	Método de búsqueda.....	83
2.6.1	Criterios de elegibilidad de los estudios.....	83
2.7	Identificación de vías, rutas y medios de exposición por medio de los cuales el glifosato entra en contacto con las personas	84
2.8	Estimación de la concentración en los medios de exposición	85
2.9	Elaboración de los modelos conceptuales	85
2.9.1	Criterios para la selección de los modelos	86
2.9.2	Simulaciones en los modelos seleccionados.....	86
2.10	Evaluación de la exposición	91
2.10.1	Especificación matemática de la dosis de exposición estimada	91
2.10.2	Obtención de variables por rango de edad para la cuantificación de la exposición.	93
2.10.3	Obtención de variables de edades específicas para la cuantificación de la exposición	98
2.11	Cuantificación de los cocientes de peligros	102
2.12	Cuantificación de los índices de riesgo.....	105
	Vía Inhalatoria.....	105
2.12.1	Cuantificación de los índices de riesgo no cancerígeno	106

2.12.2	Caracterización del riesgo para efecto no cancerígeno por vía oral	106
2.12.3	Caracterización del riesgo para efecto no cancerígeno por vía dérmica	107
2.12.4	Caracterización del riesgo para efecto no cancerígeno por vía inhalatoria	107
2.12.5	Análisis del efecto del peso y el estado de la piel en los índices de riesgo	108
2.12.6	Análisis de incertidumbre	110
2.13	Proceso y análisis de la información	111
2.14	Metodología para la comunicación del riesgo (medidas de mitigación y control)	116
2.14.1	Estrategias para la implementación de las acciones identificadas	116
2.14.2	Estrategias para la comunicación del riesgo	118
2.14.3	Socialización de las opciones de mitigación y control del riesgo	120
3.	CAPÍTULO TRES: RESULTADOS IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO	122
3.1	Dinámica ambiental del glifosato	124
3.1.1	Comportamiento del glifosato en las matrices ambientales	125
3.2	Dinámica ambiental del AMPA	128
3.3	Interrogantes que permiten identificar el peligro del glifosato	132
3.3.1	¿Cuál es la identidad química del Glifosato (o fórmula)?	132
3.3.2	¿El glifosato es potencialmente peligroso para los humanos?	138
4.	CAPÍTULO CUATRO: RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL PELIGRO DEL GLIFOSATO	140
4.1	Hoja de ruta para la caracterización del peligro	141
4.2	Características del uso del Glifosato en Colombia	141
4.3	Toxico cinética y Toxicodinamia del Glifosato	142
4.3.1	Especificaciones de las mezclas posiblemente utilizadas en Colombia y su comportamiento en las matrices ambientales	144
4.3.2	Nombres comerciales en Colombia	144
4.3.3	Especificaciones para el proceso de aspersión en Colombia	145
4.3.4	Efectos genotóxicos del glifosato	148
4.3.5	Evidencia de los efectos en salud por exposición a glifosato	151
4.3.6	Postulados IARC-EPA respecto a los efectos en salud por exposición a glifosato ..	158
4.3.7	Posiciones de la EPA, EFSA y JMPR frente al uso del glifosato y sus efectos para la salud humana	161
4.4	Interrogantes para la caracterización del peligro del Glifosato	167

4.4.1	¿Qué propiedades del producto químico tienen potencial para causar efectos sanitarios adversos?	167
4.4.2	¿Qué propiedades descritas se pueden relacionar con el efecto y de qué manera?	167
4.4.3	¿Existen valores orientativos o de referencia basados en la salud de organizaciones internacionales para el Glifosato?.....	170
4.4.4	¿Qué premisas sobre la exposición y la dosis se incorporan para determinar el efecto que tiene el Glifosato sobre la salud humana?.....	179
5.	CAPÍTULO CINCO: RESULTADOS EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	179
5.1	Identificación de vías, rutas y medios de exposición.....	181
5.2	Elaboración de los modelos conceptuales	184
5.3	Revisión sistemática para modelos de dispersión y/o comportamiento ambiental de pesticidas.....	187
5.3.1	Matriz aire	187
5.3.2	Matriz Suelo-Agua	190
5.4	Simulaciones en los modelos seleccionados	191
5.4.1	Aplicación del Software AgDrift para matriz Atmósfera	191
5.4.2	Resultados de la simulación AgDrift.....	193
5.4.3	Resultados de la simulación con SWAT.....	209
5.5	Cuantificación de la exposición	216
5.5.1	Especificación matemática de la dosis de exposición estimada por rangos de edades	216
5.5.2	Cálculo de la exposición	228
5.5.3	Especificación matemática de la dosis de exposición estimada para rangos específicos: pesos promedio y pesos de delgadez crítica	244
6.	CAPÍTULO SEIS: CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO	255
6.1	Características geográficas, demográficas y sanitarias de los departamentos y municipios estudiados.....	256
6.1.1	Departamento del Meta.....	257
	Mapiripán	263
	La Macarena	266
	Puerto Rico	268
	Vista Hermosa	271
	Puerto Concordia	273

Puerto Lleras	276
6.1.2 Departamento del Guaviare.....	278
Calamar	282
El Retorno.....	284
Miraflores.....	287
San José del Guaviare.....	289
6.1.3 Departamento del Vichada	292
Cumaribo.....	296
6.2 Otros análisis a las condiciones de salud de los municipios estudiados	298
6.3 Análisis del efecto del peso y el estado de la piel en los cocientes de peligro e índices de riesgo 306	
6.3.1 Variables críticas de cociente de peligro.....	322
6.4 Análisis de sensibilidad.....	323
6.4.1 Vía Dérmica	323
6.4.2 Vía Oral.....	333
6.5 Consideraciones sobre el análisis de riesgo asociado al cáncer	337
7. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES METODOLÓGICAS Y SOBRE EL ACCESO A LA INFORMACIÓN	339
Evaluación de la exposición.....	339
Caracterización del riesgo.....	341
Recomendaciones sobre los resultados hallados para la mitigación y control.....	343
8. CONCLUSIONES	345
9. COMUNICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL DEL RIESGO	352
9.1 Acciones orientadas a reducir el riesgo para la salud derivada de la exposición.....	352
9.2 Construcción de una estrategia para la comunicación del riesgo para la comunidad en torno a los resultados derivados de la evaluación de riesgos.....	352
9.3 Implementación de estrategias participativas de educación comunitaria para la salud a las acciones de mitigación y control del riesgo para la salud humana por exposición a glifosato 354	
9.3.1 Fortalecimiento del talento humano	355
9.3.2 Empoderamiento y sensibilización comunitaria	356
9.3.3 Sistema de vigilancia epidemiológica para el glifosato.....	357
9.3.4 Fortalecimiento de las actividades de seguridad y soberanía alimentaria	359

10. BIBLIOGRAFÍA.....	362
Anexo 1. Protocolo de Búsqueda de Literatura-Identificación y caracterización del peligro.	395
Anexo 2. Protocolo de búsqueda de literatura - Evaluación de la exposición	408
Anexo 3 CAEnviTool. Herramienta para evaluar la calidad de la información de los estudios ambientales	421
Anexo 4. Aproximación Teórica a Modelos conceptuales de la relación salud ambiente a partir del uso de Glifosato.....	428

Lista de figuras

Figura 1. Estructura del glifosato y sus metabolitos.....	45
Figura 2. Unión del glifosato a las partículas del suelo.....	45
Figura 3. Hitos de mercado del glifosato	47
Figura 4. Línea de tiempo de la erradicación de cultivos ilícitos en Colombia mediante el uso de glifosato	48
Figura 5. Penetración del herbicida con y sin surfactante	56
Figura 6. Clasificación de las sustancias según composición química, nivel de riesgo y toxicidad en ratas	59
Figura 7. Clasificación vida media de las sustancias químicas.....	59
Figura 8. Modelo bidimensional de evaluación de riesgo a la salud.....	62
Figura 9. Esquema del procedimiento sugerido por la EPA para analizar los escenarios de exposición inhalatorios que derivan en el cálculo de las concentraciones de exposición y los cocientes de riesgo	69
Figura 10. Delimitación de la cuenca y subcuencas del caño Urimica.....	88
Figura 11. Cobertura del suelo de la cuenca Urimica	89
Figura 12. Cobertura del suelo de la cuenca Urimica	89
Figura 13. Diagrama de flujo de búsqueda de literatura identificación y caracterización del peligro.....	113
Figura 14. Diagrama de flujo de búsqueda de literatura evaluación de la exposición.....	114
Figura 15. Hoja de ruta para la identificación del peligro: estudio de Glifosato.....	123
Figura 16. Dinámica ambiental del glifosato	124
Figura 17. Dinámica ambiental del AMPA	129
Figura 18. Cinética del Glifosato y AMPA en diferentes condiciones de temperatura	131
Figura 19. Vías esquematizadas de inhibición del glifosato.....	135
Figura 20. Hoja de ruta genérica para la caracterización del peligro según valores orientativos. Estudio: Glifosato.....	141
Figura 21. Mecanismo de toxicidad del glifosato en humanos	149
Figura 22. Hoja de ruta para la evaluación de la exposición	179
Figura 23. Rutas potenciales de exposición asociado al consumo de agua.....	181
Figura 24. Rutas potenciales de exposición asociadas a la calidad del aire.....	183
Figura 25. Modelo conceptual genérico – Matriz Atmósfera	185
Figura 26. Modelo conceptual genérico – Matriz Suelo-Agua	186
Figura 27. Distribución del tamaño de la gota	193
Figura 28. Distribución del tamaño de la gota	194
Figura 29. Deposición del herbicida.....	195
Figura 30. Perfil vertical de deposición.....	196
Figura 31. Concentración promedio de 1 hora.....	197
Figura 32. Coeficiente de variación	198
Figura 33. Fracción Aloft.....	199
Figura 34. Contabilidad Total del comportamiento de la mezcla	201

Figura 35. Balance general de la simulación	202
Figura 36. Cambio del parámetro velocidad del viento.....	203
Figura 37. Curva de deposición	204
Figura 38. Balance de la modelación.....	205
Figura 39. Cambio de los parámetros tamaño gota, velocidad del viento, temperatura y humedad.....	205
Figura 40. Balance de masa.....	206
Figura 41. Curva de deposición	207
Figura 42 Comparación de las dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica para niños y jóvenes, mujeres y hombres adultos.....	218
Figura 43. Densidades asociadas a las dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica para niños y jóvenes, mujeres y hombres adultos.	219
Figura 44. Dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica por rango de edad y grupo	220
Figura 45. Dosis de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria por nivel de actividad	221
Figura 46. Dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica por rango de edad	222
Figura 47. Densidades asociadas a las dosis de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria para los rangos de edad	223
Figura 48. Perfiles de la dosis de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria por nivel de actividad.	224
Figura 49. Comparación de las dosis de exposición vía oral para las tres fuentes consideradas	227
Figura 50. Efecto del factor de exposición (FE) y la concentración de glifosato en el suelo, sobre la Dosis de Exposición Estimada.....	228
Figura 51. Comparación de la dosis de exposición estimada por grupo	230
Figura 52. Densidades asociadas a las dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica para niños y jóvenes, mujeres y hombres adultos, cuando se asumen valores límites de concentración y de factor de exposición.....	231
Figura 53. Dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica por rangos de edad, cuando se asumen valores límites de concentración y de factor de exposición.	231
Figura 54. Efecto de la concentración sobre la dosis de exposición estimada de glifosato vía dérmica.....	232
Figura 55. Efecto del factor de exposición sobre la dosis de exposición estimada de glifosato vía dérmica.....	232
Figura 56. Comparación de la dosis de exposición estimada por nivel de actividad	234
Figura 57. Densidades asociadas a las dosis de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria para los niveles de actividad, cuando se asumen valores límites de concentración y de factor de exposición.....	234
Figura 58. Dosis medias de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria para los niveles de actividad y rangos de edad, cuando se asumen valores límites de concentración y de factor de exposición.....	235

Figura 59. Dosis medias de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria cuando se asumen valores límites de concentración	236
Figura 60. Dosis medias de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria cuando se asumen valores límites para el factor de exposición	236
Figura 61. Distribuciones de probabilidad generadas para las dosis de exposición estimadas DEES por rangos de edad.....	237
Figura 62. Distribuciones de probabilidad generadas para las dosis de exposición estimadas DEELix por rangos de edad.....	238
Figura 63. Distribuciones de probabilidad generadas para las dosis de exposición estimadas DEELat por rangos de edad.....	238
Figura 64. Dosis medias de exposición estimadas DEEs por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición y la concentración.	239
Figura 65. Dosis medias de exposición estimadas DEELix por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición y la concentración.	239
Figura 66. Dosis medias de exposición estimadas DEELat por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición y la concentración.	240
Figura 67. Dosis medias de exposición estimadas DEEs por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición.	240
Figura 68. Dosis medias de exposición estimadas DEELix por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición.	241
Figura 69. Dosis medias de exposición estimadas DEELat por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición.	241
Figura 70. Dosis medias de exposición estimadas DEEs por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para la concentración.	242
Figura 71. Dosis medias de exposición estimadas DEELix por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para la concentración.	242
Figura 72. Dosis medias de exposición estimadas DEELat por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para la concentración.	243
Figura 73. Fuerzas motrices y exposición	254
Figura 74. Hoja de ruta genérica para la caracterización del riesgo- estudio: Glifosato.....	255
Figura 75- Estructura poblacional Departamento del Meta 2020.....	259
Figura 76. Mortalidad por grandes causas Departamento del Meta 2009-2018	260
Figura 77. Morbilidad atendida por sexo, Departamento del Meta 2009-2018 (número de casos)	261
Figura 78. Eventos de notificación obligatoria- Departamento del Meta 2009-2018.....	262
Figura 79. Estructura poblacional Departamento del Guaviare- 2020	278
Figura 80. Mortalidad por grandes causas Departamento del Guaviare 2009-2018.....	279
Figura 81. Morbilidad atendida por sexo, Departamento del Guaviare 2009-2018 (número de casos)	280
Figura 82. Eventos de notificación obligatoria- Departamento del Guaviare 2009-2018.....	281
Figura 83. Estructura poblacional Departamento de Vichada- 2020	292
Figura 84. Mortalidad por grandes causas Departamento del Vichada 2009-2018	293

Figura 85. Morbilidad atendida por sexo, Departamento del Vichada 2009-2018 (número de casos)	294
Figura 86. Eventos de notificación obligatoria- Departamento del Guaviare 2009-2018.....	295
Figura 88. Indicador de muerte feto infantil	300
Figura 89. Indicador de porcentaje de nacidos vivos con bajo peso al nacer	301
Figura 90. Indicador de porcentaje de nacidos vivos con cuatro o más consultas de control prenatal	303
Figura 91. Indicador de la tasa de mortalidad general	304
Figura 92. Comparación de los cocientes de peligros para vía oral-ingesta de agua- de hombres y mujeres con peso normal y piel sana, según la edad	309
Figura 93. Ingesta de Arroz/Peso versus los cocientes de peligros para vía oral-ingesta de arroz- de hombres y mujeres con peso normal y piel sana, según la edad.....	311
Figura 94. Cociente de peligro en distintas concentraciones para grupo etario de niños y jóvenes de 0 meses a 21 años	328
Figura 95. Cociente de peligro en distintas concentraciones para grupo etario de hombres adultos de 21 a más de 81 años.....	329
Figura 96. Cociente de peligro en distintas concentraciones para grupo etario de mujeres adultas de 21 a más de 81 años	330
Figura 97. Coeficiente de peligro en distintos valores del factor de exposición para grupo etario de niños y jóvenes de 0 meses a 21 años.....	331
Figura 98. Coeficiente de peligro en distintos valores del factor de exposición para grupo etario de hombres adultos de 21 a más de 81 años.....	332
Figura 99. Coeficiente de peligro en distintos valores del factor de exposición para grupo etario de mujeres adultas de 21 a más de 81 años	333
Figura 100. Coeficiente de peligro en distintos valores de concentración para la vía oral por grupo etario.....	336
Figura 101. Cociente de peligro en distintos valores del factor de exposición para la vía oral por grupo etario.....	337
Figura 100. Estrategia para la comunicación de medidas de mitigación y control	354

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación de los plaguicidas según el grupo químico.....	43
Tabla 2. Usos de los plaguicidas	43
Tabla 3. Registros Nacionales del ICA y País de origen registrado.....	49
Tabla 4. Vías de exposición específicas posibles para principales medios físicos.....	66
Tabla 5. Compilación de información sobre rutas de exposición	85
Tabla 6. Especificaciones técnicas de la aspersión aérea con glifosato en Colombia.....	90
Tabla 7. Valor promedio de inhalación de aire	93
Tabla 8. Peso y talla por grupo etario (meses).....	94
Tabla 9. Peso y talla por grupo etario (años)	94

Tabla 10. Valor promedio de ingesta de agua	96
Tabla 11. Valor promedio de ingesta de alimentos.....	96
Tabla 12. Área superficial dérmica promedio	98
Tabla 13. Pesos corporales promedio de personas consideradas sanas.....	99
Tabla 14. Talla media por municipios.....	100
Tabla 15. Pesos de delgadez por edad (25,35, 45 y 60) y municipio.....	100
Tabla 16. Pesos promedio por edad (25,35, 45 y 60) y municipio	101
Tabla 17. Pesos de delgadez critica para la población infantil por sexo	101
Tabla 18. Valor promedio de ingesta de agua por grupo etareo día/año	103
Tabla 19. Valores de los parámetros asumidos para personas con peso normal.....	109
Tabla 20. Concentraciones y umbrales considerados para peso normal y peso de delgadez .	110
Tabla 21. Comportamiento Glifosato y metabolito AMPA DT50 y DT90	130
Tabla 22. Identidad química del Glifosato en dos presentaciones	134
Tabla 23. Influencia del tóxico sobre la edad	143
Tabla 24. Especificaciones técnicas de PEGIC y PECIA para la actividad de la aspersión aérea con Glifosato.....	145
Tabla 25. Características de la mezcla para aspersión aérea en Colombia -PECIA 2020 VS PEGIC 2015	147
Tabla 26. Especificaciones para el proceso de aspersión en Colombia.....	148
Tabla 27. Posibles efectos para la salud humana por exposición a mezclas con glifosato	149
Tabla 28. Clasificación de los efectos por exposición a glifosato reportado en la literatura...	152
Tabla 29. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con efectos durante la gestación.....	153
Tabla 30. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con efectos endocrinos.....	154
Tabla 31. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con problemas respiratorios	154
Tabla 32. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con efectos renales	155
Tabla 33. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con enfermedades autoinmunes	155
Tabla 34. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con Otros efectos	156
Tabla 35. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con Cáncer.	157
Tabla 36. Paralelo de las posiciones frente al uso del glifosato IARC-EPA	158
Tabla 37. Estudios toxicológicos más relevantes para el glifosato.....	162
Tabla 38. Criterios de valoración críticos para establecer valores guía para la exposición al glifosato	164
Tabla 39. Clasificación toxicidad aguda, oral, cutánea e inhalatoria	171
Tabla 40. Potencial de irritación ocular y cutánea.....	172
Tabla 41. Caracterización de las rutas de exposición asociada al uso del agua.....	182
Tabla 42. Caracterización de las rutas de exposición asociadas a la calidad del aire	184
Tabla 43. Variables de entrada de SWAT.....	209

Tabla 44. Promedio mensual de los datos de la cuenca	210
Tabla 45. Modelación del pesticida	211
Tabla 46. Promedios anuales de parámetros hidrológicos	212
Tabla 47. Valores de concentraciones en agua.....	212
Tabla 48. Características de los alimentos más consumidos en Vichada.....	214
Tabla 49. Concentraciones de glifosato en los alimentos más consumidos en Vichada	215
Tabla 50. Dosis de exposición estimada para vía dérmica	217
Tabla 51. Dosis de exposición estimada vía inhalación por nivel de actividad	220
Tabla 52. Dosis de exposición estimada para vía dérmica	221
Tabla 53. Dosis de exposición estimada para vía oral	225
Tabla 54. Efecto de la concentración el factor de exposición sobre la dosis media de exposición estimada para vía dérmica	233
Tabla 55. Efecto de la concentración y el factor de exposición sobre la dosis media de exposición estimada para vía dérmica.....	234
Tabla 56. Efecto de la concentración de glifosato y el factor de exposición sobre la dosis media de exposición estimada para escorrentía	243
Tabla 57. Efecto de la concentración de glifosato y el factor de exposición sobre la dosis media de exposición estimada de flujo lateral hacia corriente de agua.	244
Tabla 58. Efecto de la concentración de glifosato y el factor de exposición sobre la dosis media de exposición estimada para lixiviación.	244
Tabla 59. Dosis de exposición estimada para vía dérmica para una persona con peso normal	245
Tabla 60. Dosis de exposición estimada para vía dérmica para personas de 5, 10 y 15 años con bajo peso.....	245
Tabla 61. Dosis de exposición estimada para vía dérmica para personas de 25 años o más, años con bajo peso.....	246
Tabla 62. Dosis de exposición estimada para vía inhalatoria para una persona con peso normal	247
Tabla 63. Dosis de exposición estimada para vía inhalatoria para personas de 5, 10 y 15 años con bajo peso.....	248
Tabla 64. Dosis de exposición estimada para vía inhalatoria para personas de 25 años o más, años con bajo peso.....	248
Tabla 65. Dosis de exposición estimada para vía oral –ingesta de agua - para una persona con peso normal	248
Tabla 66. Dosis de exposición estimada para vía oral –ingesta de agua- de personas de 5, 10 y 15 años con bajo peso	249
Tabla 67. Dosis de exposición estimada para vía oral –ingesta de agua- de personas 25 años o más, años con bajo peso	249
Tabla 68. Dosis de exposición estimada para vía oral- ingesta de alimentos- para una persona sana con peso normal.....	250
Tabla 69. Dosis de exposición estimada para vía oral –ingesta de alimentos- de personas con bajo peso.....	251

Tabla 70. Porcentajes medios de coberturas por año	262
Tabla 71. Indicador de muerte feto infantil.....	300
Tabla 72. Indicador de porcentaje de nacidos vivos con bajo peso al nacer	301
Tabla 73. Indicador de porcentaje de nacidos vivos con cuatro o más consultas de control prenatal	302
Tabla 74. Indicador de la tasa de mortalidad general	303
Tabla 75. Indicador del porcentaje de nacidos vivos a término con bajo peso al nacer	305
Tabla 76. Cocientes de peligro (HQ) para vía dérmica de una persona con peso normal y una piel sana.....	306
Tabla 77. Cocientes de peligro para vía dérmica de una persona con peso normal y una piel deteriorada.....	307
Tabla 78. Cocientes de peligro para vía dérmica de una persona con peso normal y una piel deteriorada.....	307
Tabla 79. Cocientes de peligro para vía oral-ingesta de agua- de una persona con peso normal y piel sana.....	308
Tabla 80. Cocientes de peligro para vía oral-ingesta de alimentos- de una persona con peso normal y piel sana.....	310
Tabla 81. Índices de riesgo para vía oral-ingesta de agua y alimentos- de una persona con peso normal, según la edad.....	312
Tabla 82. Cociente de peligro para la vía dérmica en edades de 5, 10, 15 años por sexo en personas con piel sana y bajo peso	312
Tabla 83. Índice de peligro por sexo para la vía dérmica en edades de 5, 10, 15 años en personas con piel sana y bajo peso	313
Tabla 84. Cociente de peligro para la vía dérmica en edades de 5, 10, 15 años por sexo en personas con piel deteriorada y bajo peso	313
Tabla 85. Índice de riesgo para la vía dérmica en edades de 5, 10, 15 años por género en personas con piel deteriorada y bajo peso	314
Tabla 86. Cociente de peligro para la vía dérmica en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio y sexo en personas con piel sana y bajo peso.....	314
Tabla 87. Índice de riesgo para la vía dérmica en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio y sexo en personas con piel sana.....	316
Tabla 88. Cociente de peligro para la vía dérmica en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio y sexo en personas con piel deteriorada.....	316
Tabla 89. Índice de riesgo para la vía dérmica en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio y sexo en personas con piel deteriorada.....	318
Tabla 90. Cociente de peligro para la vía oral en edades de 5, 10, 15 años por sexo.	318
Tabla 91. Índice de riesgo para la vía oral en edades de 25, 35, 45, 60 años por Género.....	319
Tabla 92. Cociente de peligro para la vía oral en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio	319
Tabla 93. Índice de riesgo para la vía oral (ingesta de agua) en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio.....	320

Tabla 94. Cociente de peligro para la vía por ingesta de alimentos en edades de 5, 10, 15 años por sexo y bajo peso	320
Tabla 95. Índice de riesgo para la vía por ingesta de alimentos en edades de 5, 10, 15 años por sexo y bajo peso	321
Tabla 96. Cociente de peligro para la vía por ingesta de alimentos en edades de 25, 35, 45, 60 años por sexo y bajo peso	321
Tabla 97. Índice de riesgo para la vía por ingesta de alimentos en edades de 25, 35, 45, 60 años por sexo	322
Tabla 98. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para el grupo etario de niños y jóvenes	323
Tabla 99. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para hombres adultos de 21 a más de 81 años	324
Tabla 100. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para mujeres adultas de 21 a más de 81 años	325
Tabla 101. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para el grupo etario de niños y jóvenes	325
Tabla 102. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para hombres adultos de 21 a más de 81 años	326
Tabla 103. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para mujeres adultas de 21 a más de 81 años	327
Tabla 104. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los niveles de concentración por grupo etario	334
Tabla 105. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los niveles de concentración por grupo etario	335

Lista de Ecuaciones	
Ecuación 1. Exposición	91
Ecuación 2. Dosis de exposición estimada	91
Ecuación 3. Factor de exposición	92
Ecuación 4. Exposición vía inhalatoria (aguda)	92
Ecuación 5. Exposición vía dérmica	93
Ecuación 6. Dosis absorbida por evento	93
Ecuación 7. Dosis de exposición para la ingesta de agua y alimentos	95
Ecuación 8. Dosis absorbida por exposición dérmica	97
Ecuación 9. Dosis absorbida en agua	97
Ecuación 10. Índice de masa corporal	99
Ecuación 11. Índice de masa corporal para delgadez crítica	100
Ecuación 12. Peso delgadez despejando (IMC)	100
Ecuación 13. Delgadez despejada	100
Ecuación 14. Cociente de peligro	102
Ecuación 15. Índice de riesgo para vía oral	105
Ecuación 16. Índice de riesgo por grupo etario y sexo	105
Ecuación 17. Índice de riesgo Crónico	106

Ecuación 18. Índice de riesgo Subcrónico	106
Ecuación 19. Índice de riesgo agudo.....	106
Ecuación 20.HQ efecto no cancerígeno vía oral	106
Ecuación 21. Dosis exposición vía oral - No cancerígena.....	107
Ecuación 22. IQ vía dérmica no cancerígena	107
Ecuación 23. Dosis diaria exposición vía dérmica-No cancerígena	107
Ecuación 24. Dosis absorbida en agua -no cancerígena	107
Ecuación 25. HQi vía inhalatoria – para efecto no cancerígeno.....	108

Lista de anexos

Anexo 1. Protocolo de Búsqueda de Literatura-Identificación y caracterización del peligro.	395
Anexo 2. Protocolo de búsqueda de literatura - Evaluación de la exposición	408
Anexo 3 CAEnvTool. Herramienta para evaluar la calidad de la información de los estudios ambientales	421
Anexo 4. Aproximación Teórica a Modelos conceptuales de la relación salud ambiente a partir del uso de Glifosato	428

GLOSARIO

Absorción: el movimiento de una sustancia a través de una superficie expuesta, en el caso de personas y animales (ojos, piel, mucosa respiratoria, mucosa digestiva) a la circulación para que sea distribuida en todo el cuerpo. Varía según la capacidad inherente del compuesto para cruzar una barrera en particular.

Adsorción: el proceso por el cual un compuesto se incorpora y se adhiere a una superficie mediante atracción física o química.

Adyuvante: ingrediente que se añade a una formulación en particular para aumentar la disponibilidad y eficacia del ingrediente activo. A menudo actúan aumentando la distribución, absorción e incorporación de los ingredientes activos.

Antropogénico: de origen humano o derivado de la actividad del hombre. Compuesto químico desarrollado artificialmente por el hombre.

Aromático: compuesto orgánico en el cual los átomos que lo constituyen forman anillos. Estas estructuras en anillo pueden conferirle a un compuesto sus propiedades características como la solubilidad en lípidos.

Bioactivación: el proceso por el cual un compuesto químico se vuelve más reactivo debido a las alteraciones de su estructura y, por lo tanto, de sus propiedades químicas. Esto puede suceder en el ambiente o dentro de un sistema biológico.

Bioacumulación: el aumento progresivo de un compuesto en particular en ciertos tejidos corporales. Esto sucede cuando la tasa de incorporación excede la del metabolismo, o la de excreción, o ambas. Con el tiempo, esto origina una mayor concentración de la sustancia en el organismo que en su ambiente. Los factores importantes que controlan la magnitud de este proceso incluyen la solubilidad del compuesto en los lípidos y la facilidad con la que sea metabolizado.

Carcinogénico: cualquier compuesto químico o biológico que puede originar la formación de lesiones cancerosas. Con frecuencia esto se logra por la formación de mutaciones genéticas de una o varias células lo cual resulta en la pérdida de la habilidad de regular su proliferación.

CAS No.: número de registro del Chemical Abstract System (Resumen del Sistema Químico), pertenece a una base de datos que brinda información sobre sustancias químicas.

CE₅₀ – Concentración efectiva mediana: la concentración de una sustancia en determinado medio (como el agua) la cual produce un efecto definido en el 50% de los organismos de prueba.

CL₅₀ – Concentración letal 50: la concentración que es letal para el 50% de los organismos de prueba. Este valor generalmente se usa cuando se hace referencia a la toxicidad de una sustancia para los organismos expuestos a través de una matriz como el agua.

Clorosis: enfermedad de las plantas que hace que sus flores se tornen verdes o que sus hojas pierdan el color verde normal, tornándose de un verde pálido, amarillo, amarillo blanquecino.

Coadyuvante: en farmacología, sustancia que se añade a un medicamento para acelerar o incrementar la actividad del componente principal (sinónimo de adyuvante).

Cociente de riesgo: la razón o la proporción de la concentración de exposición en relación con un valor (o umbral) de referencia. Si este cociente es superior a la concentración aceptable, es posible que se presente un efecto adverso.

Consumo diario aceptable: este es un estimativo de la cantidad máxima de un compuesto (a menudo, en la comida) que se puede ingerir diariamente durante toda la vida sin efectos apreciables que vayan en detrimento de la salud. Este parámetro ha sido desarrollado principalmente por la OMS y la FAO.

Dermatitis: estado inflamatorio de la piel, como consecuencia de una exposición directa o indirecta a ciertas sustancias.

Destino ambiental: el movimiento, acumulación y desaparición de los compuestos químicos en el ambiente después de su liberación.

DT₅₀: cuando se habla de degradación de los herbicidas se usa como parámetro de comparación la vida media o DT₅₀. Normalmente la DT₅₀ se obtiene en trabajo de laboratorios, incubando suelo con el herbicida, y por ello es difícil extrapolar esos valores a las diversas condiciones de campo.

DL₅₀ – Dosis letal 50: la dosis que es letal para el 50% de los animales de prueba. Este valor se usa cuando se hace referencia a la toxicidad de una sustancia para los organismos expuestos a una cantidad específica de una sustancia tal como la vía oral o por inyección.

Dosis de referencia (RfD – Reference dose): el cálculo numérico de la exposición diaria por vía oral de los humanos a una sustancia. Se considera que es poco probable que esta dosis cause efectos nocivos durante el tiempo de vida. En este valor se tienen en cuenta los subgrupos sensibles que puedan exponerse al agente.

Dosis máxima tolerable (MTD – Máximum Tolerated Dose): la dosis a la cual se presentan efectos tóxicos significativos sin que se produzca la muerte. La dosis máxima que puede tolerar una especie animal durante la mayoría de su vida sin impedimentos o efectos tóxicos significativos además de cancerigenidad. (1)

Dosis-respuesta: el cambio en la intensidad del efecto fisiológico con la dosis. La relación entre la respuesta y la dosis varía según el mecanismo mediante el cual está actuando el compuesto.

Ecosistema: sistema de interacción de una comunidad biológica (microorganismos, plantas y animales) que pueden potencialmente interactuar entre sí o con su ambiente físico o químico y conforman así una entidad funcional.

Emulsionar: la mezcla de dos líquidos que no son inmiscibles mezclables, mediante la dispersión de uno en el otro en forma de pequeñas gotas.

EPA: Environmental Protection Agency, Agencia de Protección del Ambiente (en los Estados Unidos, U.S. EPA).

Equivalente ácido: la concentración de una sustancia (glifosato) expresada en términos de la cantidad de glifosato ácido en lugar de su sal.

Estudio epidemiológico: el estudio de la distribución y los determinantes de estados y sucesos sanitarios dentro de las poblaciones. Se estudia la prevalencia de una enfermedad en particular y los diversos factores de riesgo para su presentación.

Exposición: cantidad de un compuesto químico que entra en contacto con una superficie corporal (piel, tracto respiratorio, tracto digestivo) a partir del cual puede ser absorbido por el cuerpo. La exposición no incluye los compuestos que pueden estar en la vecindad pero que no están en contacto y tampoco si es interceptado por la ropa o el equipo de protección.

Factor de bioconcentración: medida de la tendencia de una sustancia en el agua a acumularse en los tejidos de peces u otros organismos. La concentración en el organismo se puede calcular grosso modo al multiplicar la concentración en el agua por el factor de bioconcentración. El valor encontrado es útil para ayudar a determinar el posible nivel de consumo humano.

Factor de seguridad: la diferencia entre el NOAEL y la dosis permitida en la exposición rutinaria. Para las especies más sensibles, este valor se calcula a partir del NOAEL, dividiéndolo por varios factores de incertidumbre según los datos científicos que estén fácilmente disponibles. Por ejemplo, si un valor se está extrapolando de los animales a los humanos, el NOAEL se divide por un factor de 10. Estos factores numéricos varían según el tamaño de la incertidumbre (es decir, para la extrapolación de las especies más relacionadas se utiliza un factor de seguridad más pequeño).

Formulante: una sustancia que se agrega normalmente a un plaguicida para aumentar su facilidad de uso, de penetración en el organismo blanco u objetivo, o para facilitar su aplicación.

Genotóxico: describe a cualquier sustancia capaz de dañar el ADN originando mutaciones o el desarrollo de cáncer.

Ingrediente activo: el componente de una mezcla/formulación que es, en últimas, el responsable de los efectos fisiológicos.

Ingredientes inertes: todos los componentes de una mezcla que no se clasifican como el ingrediente activo primario. Véase, Formulante. Componentes de pesticidas tales como solventes, portadores, dispersantes y surfactantes que no le hacen daño a las plagas objetivo. No todos los ingredientes inertes son inocuos. (1)

Intraperitoneal: dentro de la cavidad del peritoneo, la cual contiene los órganos abdominales. Que está localizado en el interior de la cavidad peritoneal. Se dice de la vía de administración

de fármacos por la cual estos son introducidos directamente dentro de la cavidad peritoneal.
(2)

Intravenoso: la inyección o entrada de una sustancia directamente en una vena y, por consiguiente, a la circulación general.

KOW (Log): el coeficiente de partición octanol-agua (KOW) es la razón o proporción en equilibrio de la concentración del compuesto químico en n-octanol y agua. Los compuestos químicos con KOW mayor de 1 se dividen preferentemente en octanol. Se puede expresar como el logaritmo en base 10 (log10). El valor obtenido de esta determinación suministra una indicación del potencial que tiene la sustancia de bioconcentrarse en los organismos.

Límite máximo de residuos (MRL – Máximum Residue Limit): la cantidad máxima permisible de una sustancia en los productos alimentarios tanto para humanos como para animales. Este valor lo recomienda la Comisión del Código Alimentario. Toma en consideración varios factores de seguridad como el consumo diario aceptable (Acceptable Daily Intake, ADI).

Lixiviación: el movimiento de una sustancia a través del suelo. El proceso mediante el cual los componentes solubles se disuelven y se filtran a través del suelo por un fluido percolante.(1)

LOAEL – Lowest Observed Adverse Effect Level (Nivel más Bajo de Efectos Adversos Observables): la dosis más baja de una toxina a la cual se puede observar un efecto adverso en una especie de prueba en particular. Este valor varía según sea la especie en la que se esté utilizando.

Matriz: el medio a través del cual un organismo puede estar expuesto a una sustancia, el agua para los organismos acuáticos, el suelo para los animales terrestres, el aire, etc.

Mecanismo de acción: el proceso mediante ~~por medio del~~ el cual una sustancia produce sus efectos característicos, a menudo denominado “Modo tóxico de acción”. Sin embargo, generalmente es un término más específico que describe los procesos fisiológicos que se alteran y las consecuencias de tales cambios.

Metabolito: un producto de los procesos naturales del metabolismo. Cualquier sustancia producida por procesos biológicos, tales como aquellas provenientes de pesticidas.(1)

Mutágeno: cualquier sustancia o agente capaz de producir cambios en el ADN que subsecuentemente se transmiten a las células de futuras generaciones. Estos cambios pueden, a veces, llevar al desarrollo de cáncer o a cambios en las características del organismo.

NOAEL – No Observable Adverse Effects Level (Nivel de efectos adversos no observables): la mayor dosis a la cual no se observan efectos adversos en los organismos de prueba.

Oxidación: una alteración de la estructura química por la remoción de un electrón. Esto lo logra cualquier compuesto químico capaz de hacerlo (oxidante). Adición química de oxígeno para destruir contaminantes o desperdicios orgánicos. Por ejemplo: la destrucción de sustancias

químicas tales como cianuros, fenoles y compuestos orgánicos de azufre en alcantarillas usando métodos bacteriales y químicos.(1)

Percutáneo: se refiere a cualquier agente que puede atravesar la piel o ser administrado a través de ella.

Persistencia: la resistencia de una sustancia al metabolismo o a la degradación ambiental. Un compuesto químico considerado persistente tiene una vida media prolongada y permanece en el ambiente por un período largo. Se refiere al tiempo que un compuesto permanece en el medio ambiente una vez es introducido. Un compuesto puede persistir por menos de un segundo o por tiempo indefinido.(1)

ppb – Partes por “billón” (en español, por mil millones): una medida de la concentración en la cual la proporción es tal que hay una parte de soluto por mil millones de partes del solvente o de matriz. (Nota: se debe tener mucho cuidado en el manejo de esta medida ya que en inglés, un billion equivale a 10⁹, es decir, mil millones, mientras que en español, un billón equivale a 10¹², un millón de millones. Si no se tiene en cuenta esta diferencia idiomática, fácilmente se está incurriendo en un error positivo o negativo de 10³).

ppm – Partes por millón: una medida de la concentración en la cual la proporción es tal que hay una parte del soluto por un millón de partes del solvente o de matriz.

Prueba de toxicidad: la determinación del potencial tóxico de una sustancia en particular, bajo condiciones específicas, en un grupo de organismos seleccionados.

Ruta de exposición: los medios por los que un compuesto entra en contacto con una interfaz de absorción como la dérmica o por inhalación. La vía por la que una sustancia química o contaminante entra en un organismo luego del contacto. Por ejemplo: por ingestión, inhalación o absorción dérmica. (1)

Sensibilizador: una sustancia química capaz de causar el desarrollo de una respuesta alérgica con la exposición subsiguiente.

Sinergia: el proceso mediante el cual dos o más sustancias interactúan por vía de un mecanismo biológico para producir una respuesta mayor que la de la simple adición de los efectos.

Solubilidad: la habilidad relativa de ciertas sustancias de ser disuelta por un solvente en particular. Por ejemplo, es posible que los compuestos que se disuelven muy fácilmente en el agua puedan ser disueltos solo en forma mínima en un solvente más similar a los lípidos, como los solventes orgánicos (por ejemplo, el octanol).

Subcrónico: se refiere a un período de exposición repetida que usualmente es cercano al 10% de la expectativa de vida de un organismo.

Teratogénesis: el desarrollo de un descendiente con malformaciones después de la exposición del feto a una determinada sustancia química nociva. Según la etapa de desarrollo en que suceda la exposición, se presentarán las diferentes anormalidades del feto o el embrión.

Tiempo promedio ajustado (TWA – Time Weighted Average): la concentración promedio de la exposición en una jornada laboral de 8 horas.

Toxicidad aguda: el potencial de un compuesto para causar lesiones o enfermedades cuando se administra en dosis únicas o en dosis múltiples en un periodo corto (por ejemplo, 24 horas). Estos efectos se basan en los mecanismos de la acción química en la cual se pueden apreciar alteraciones fisiológicas poco después de su administración (por ejemplo, la muerte).

Toxicidad crónica: la naturaleza de los efectos adversos durante un tiempo prolongado de exposición química. Tales mediciones de los efectos pueden incluir la presentación de un cáncer o el retardo en el crecimiento.

Toxico cinética: el movimiento de los compuestos químicos en el cuerpo. Incluye la velocidad o la tasa y la magnitud de absorción, distribución, metabolismo y eliminación.

Toxicodinamia: el mecanismo mediante el cual un compuesto tóxico produce su efecto fisiológico. Incluye la relación entre la estructura de un compuesto y los medios por los que actúa.

Vida media: el tiempo que le toma a una concentración de un compuesto químico o droga en particular para reducirse a la mitad de la concentración inicial. Varía de acuerdo con su tasa de degradación, metabolismo y eliminación.

Volatilidad: la habilidad de un compuesto para evaporarse y dividirse en el aire.

Xenobiótico: cualquier sustancia a la que se expone un organismo la cual no es producida internamente en dicho organismo en ese momento.

ANTECEDENTES

Los cultivos ilícitos en Colombia se remontan a tiempos prehispánicos, pero las prácticas de erradicación con el uso de plaguicidas comenzaron a llevarse a cabo a partir de 1984; siendo el glifosato el primero en utilizarse por su alta efectividad y supuesta seguridad. Es de anotar, que tiempo atrás fueron realizadas pruebas con otros químicos dentro de los cuales se encontraba el Paraquat y Triclopir, pero fueron suspendidas por su alto poder toxico demostrado y los efectos adversos en el aparato respiratorio de los humanos expuestos(3).

El uso y manejo de plaguicidas en el territorio nacional se reglamentó a través del Decreto 1843 de 1991 expedido por Ministerio de Salud. En enero de 1992, el Consejo Nacional de Estupefacientes autorizó la aspersión aérea controlada de cultivos ilícitos, mediante el empleo del agente químico glifosato, siendo este el primer plaguicida en utilizarse de manera masiva en el marco de un programa de erradicación, producto que fue elegido por su alta efectividad y seguridad(4-6)

La regulación desde el marco ambiental en lo relacionado con los plaguicidas y su uso en el país se encuentra determinado por el Ministerio de Ambiente, hoy por hoy denominado Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible desde su creación con la Ley 99 de 1993(7).

Desde su implementación, las aspersiones con plaguicidas han suscitado toda una serie de quejas por afectaciones en cultivos, animales y humanos, esto ha movilizado una serie de investigaciones de tipo gubernamental, científica y académica a lo largo del tiempo; así mismo, se han ocasionado toda serie de protestas por parte de grupos poblacionales y gremiales en contra del uso de plaguicidas de este tipo, argumentando la afectación a la salud humana y el daño a la naturaleza y ecosistemas que allí se encuentran(8).

Para el año 2001, el Ministerio del Medio Ambiente impuso en el territorio Colombiano el Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos con Glifosato - PECIG, reglamentado a través de la Resolución 1065, lo cual fue robustecido con el Plan de Manejo Ambiental a la Dirección Nacional de Estupefacientes en el año 2003, con el fin de dar seguimiento a todas y cada una de las actividades objeto del Programa (4,9)

Más adelante se crea el Comité Técnico Interinstitucional para el desarrollo del PECIG, regulado mediante el decreto 2897 de 2011, este comité funciona como órgano Asesor del Consejo Nacional de Estupefacientes, está organismo se encuentra integrado por la Director Nacional de Estupefacientes y representantes de otras entidades gubernamentales como el Ministerio del Interior y de Justicia, Ambiente, Vivienda, Salud y protección Social, Agricultura y Desarrollo Rural, Policía Nacional, Dirección de Antinarcóticos, Procuraduría, Representante de la Embajada de EEUU, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, entre otros(10).

De igual forma, es el Ministerio del Medio Ambiente y Vivienda Territorial, quien tiene la responsabilidad de verificar el cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental mediante visitas de seguimiento a las diferentes áreas donde se adelantan las labores de aspersión(11).

Durante Mayo de 2015, la Agencia Internacional de investigación sobre el cáncer (IARC), entidad agencia delegada de la Organización Mundial de la Salud – OMS desarrolló un estudio del herbicida glifosato como agente probablemente carcinógeno para humanos, los resultados de esta investigación publicada en la revista Internacional *The Lancet Oncology* clasificó al Glifosato como agente “probablemente carcinógeno” ubicándolo en el grupo 2ª (12,13).

Estudios genéticos, han demostrado que la exposición a herbicidas puede ser un factor de riesgo para desarrollar daños en modelos de células humanas GM38) y aparición de Fibrosarcoma; un tipo de cáncer que pertenece al grupo de los sarcomas. La citotoxicidad crónica en células humanas GM38 y HT1080 mostró dependencia de la dosis después del tratamiento con glifosato a diferentes concentraciones, respectivamente.(14).

Así mismo, es importante citar el estudio realizado por el Instituto Nacional de Salud en el año 2015 en alianza con el Ministerio de Salud y Protección Social, con el objetivo de recoger evidencia suficiente y emitir las apreciaciones, en el cual la metodología aplicada para el estudio estuvo basada en revisión documental, acompañado de la revisión al documento publicado por la IARC; terminando en la revisión de las implicaciones de esta categorización, sobre el uso del glifosato comercial y sobre su uso en el Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante aspersión aérea con el herbicida Glifosato (PECIG), con el propósito de identificar elementos orientadores para la toma de decisiones(12).

Como antecedente importante en relación al glifosato y el uso en Colombia, se tiene el informe desarrollado por la *Fundación Ideas Para La Paz* en el año 2016, al que titularon: “*Verdades científicas sobre glifosato y salud pública*”, cuyo propósito estuvo centrado en orientar las decisiones en torno al herbicida basada en evidencias y a través de una revisión sistemática de literatura buscó contribuir al conocimiento del tema. El informe concluye que la evidencia es limitada sobre el efecto del glifosato en células, animales y humanos. Así mismo se establece que los riesgos de intoxicación pueden ser incrementados en personas expuestas a actividades agrícolas, con sintomatología relacionada en ojos, piel y otros sistemas expuestos(15).

Este estudio encontró que no hay evidencia concluyente de que el glifosato sea un factor de riesgo para la salud humana siempre que se use dentro de las condiciones de precaución propias de un producto tóxico. Así mismo refiere, que en los estudios encontrados, los desenlaces en humanos, adolecen por pequeños tamaños de muestra y otras limitaciones metodológicas y como recomendación principal sugiere que se hagan estudios de calidad con análisis restringidos en sujetos con datos completos y definir variables de desenlace de interés(15).

Respecto a la jurisprudencia de Glifosato en el Territorio colombiano, la Corte Constitucional a través de la sentencia T 236 del 21 de abril del 2017, marcó un hito respecto al programa de aspersión de cultivos ilícitos con glifosato llevado a cabo por el Gobierno de Colombia y su lucha antidroga; en esta providencia la Corte Concluyó que, revisados diversos estudios llevados a cabo por distintas mesas de investigación, existían suficientes razones para considerar que el Glifosato es una sustancia tóxica, por ello, su uso para combatir los cultivos ilícitos debía realizarse previa investigación objetiva y concluyente, que demuestre ausencia de daño para la salud y el medioambiente con el fin de mitigar los riesgos de su uso(8).

La providencia judicial ordenó al Consejo Nacional de Estupefacientes no reanudar el Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante Aspersión Aérea con Glifosato (PECIG) como estrategia de erradicación de cultivos la margen de la ley, principal estrategia del gobierno nacional en la lucha antidroga(8,16).

La sentencia 236 de 2017; base legal de este proyecto, en el hecho 1.4, refiere: “si hacemos un análisis de los resultados obtenidos con la erradicación por aspersión aérea con herbicida, podemos decir que de acuerdo con los recorridos realizados (), se puede concluir que han sido más los deterioros medio ambientales, las afectaciones de salud en la población, la contaminación de las fuentes hídricas y el daño y destrucción de los cultivos lícitos; que los efectos causados en los cultivos ilícitos; es más pudiéramos decir que estos no están sufriendo ninguna afectación real, puesto que quienes se dedican al cultivo ilícito tienen técnicas de recuperación de los mismos para evitar la pérdida de su producción con la fumigación”(17). Contrario a esto, en el mismo compendio legal, el ministerio de justicia y el derecho, responde en el numeral 2.1.3: el programa de fumigación por aspersión aérea es adelantado bajo la autorización y supervisión del Ministerio de Salud, “quien garantiza la no afectación de la población, ni de las fuentes de agua asociadas”. Frente a ello, adujo que el glifosato es usado no sólo para la erradicación de cultivos ilícitos, sino que acorde con lo señalado por el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA-, es empleado para el control de malezas en cultivos de arroz, algodón, soya, plátano y banano, entre otros. Para respaldar lo anterior adjuntó una serie de documentos y estudios técnicos y científicos que señalan que no hay afectaciones graves a la salud ni a los cultivos consumibles. Precisó al respecto que “[l]os estudios adelantados sobre los presuntos efectos el glifosato (sic) en la salud humana, han determinado que este herbicida no es bioacumulable, es catalogado de baja toxicidad en forma aguda o crónica; no es cancerígeno, ni Mutágeno y tampoco tiene efectos lesivos sobre la reproducción. En los casos en que un ser humano tenga contacto con el glifosato, de manera directa, las reacciones que se puedan originar en caso extremo son irritación ocular transitoria y, probablemente cutánea con rápida recuperación de ambas”(17).

Dado lo anterior, la corte constitucional concluye que, aunque existe evidencia a nivel internacional sobre la afectación del glifosato y la negación de esta sobre la salud humana; esta evidencia no es determinante para el caso colombiano; pues dichos resultados, son producto de investigaciones y debates científicos sobre el uso de este plaguicida para el control de maleza y otros elementos naturales sobre el cultivo de alimentos.

Describe además que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, advierte que “los riesgos asociados a un plaguicida varían en función de la forma y el lugar en que se utiliza” y que “esos riesgos deben evaluarse en el país como parte del proceso normativo nacional”. Por tanto, dice la norma, “ninguna autoridad en el mundo ha evaluado los riesgos para la salud humana que plantean la aspersión forzosa por vía aérea o terrestre, con los métodos y las cantidades que se establecen en las resoluciones pertinentes del Consejo Nacional de Estupefacientes”(17).

Por otra parte, diferentes estudios han abordado la problemática sobre los cultivos ilícitos en Colombia, tratando de identificar las causas de la persistencia de este tipo de práctica, además del incremento en hectáreas y asimetría en los datos acerca de dichos cultivos, pasando de 68.027 hectáreas cultivadas de coca en el 2009 a 169.018,19 en el 2018(3,18,19).

Sin embargo, esta providencia dejó la posibilidad de retomar la aspersión con Glifosato, cuando haya diseñado y se haya puesto en marcha, por medio de las medidas legales y reglamentarias que sean pertinentes, un proceso decisorio con las siguientes características mínimas: **(I)** La regulación debe ser diseñada y reglamentada por un órgano distinto a las entidades encargadas de ejecutar los programas de erradicación, **(II)** La regulación debe derivarse de una evaluación del riesgo a la salud y otros riesgos, como el riesgo al medio ambiente, en el marco de un proceso participativo y técnicamente fundado, **(III)** El proceso decisorio deberá incluir una revisión automática de las decisiones cuando se alerte sobre nuevos riesgos, **(IV)** La investigación científica sobre el riesgo planteado por la actividad de erradicación, que se tenga en cuenta para tomar decisiones, deberá contar con condiciones de rigor, calidad e imparcialidad, **(V)** Los procedimientos de queja deberán ser comprensivos, independientes, imparciales y vinculados con la evaluación del riesgo y **(VI)** la decisión que se tome deberá fundarse en evidencia objetiva y concluyente que demuestre ausencia de daño para la salud y el medio ambiente (3).

Como conclusión de este documento, el instituto presentó al Ministerio de Salud en abril de 2015, su concepto acerca de las recomendaciones para la continuidad en el uso o no del herbicida en función del cumplimiento al programa de erradicación de cultivos ilícitos, no fue concluyente; pues se arguye que esta decisión involucre muchos otros sectores y elementos de índoles política, jurídica, diplomática, ambiental, entre otros. Sin embargo, expresa el documento, “El planteamiento que defienda el Ministerio de Salud y Protección Social, en relación al riesgo que para la salud implica el uso en las condiciones y bajo el contexto del programa, indudablemente orientará la decisión que desde el gobierno se debe tomar frente al tema, cualquiera que sea esta, por la cual, la misma debe ser soportada técnicamente y comunicada a las respectivas instancias interesadas en la misma”(12).

Conforme a estas condiciones, el Ministerio de Salud y Protección Social ha priorizado, actividades que le permitan cumplir con los requerimientos visualizados en los territorios y que han sido canalizados a través de diferentes mecanismos legales y jurídicos, como los citados en la sentencia acá referida. En el marco del cumplimiento de dicho compendio jurídico, se está

desarrollando una evaluación de riesgo para la salud humana del glifosato empleado en la aspersión aérea en Colombia(17).

Teniendo en cuenta estos requerimientos, es pertinente realizar una evaluación de riesgos para la salud humana, con el ánimo de detectar a partir de la información de la formula a utilizar en el contexto del programa de aspersión aérea en Colombia para el año 2020, elementos como el peligro del producto, sus características químicas, de peligrosidad para la salud humana, evaluar la exposición y caracterizar el riesgo; y con los resultados obtenidos de dicha evaluación, proponer una estrategia que aborde de manera integral y ejecutable acciones de mitigación y control, y de hallarse un riesgo, que aporten a la disminución y/o control del mismo.

INTRODUCCIÓN

El uso de herbicidas a nivel mundial, se ha convertido en una práctica necesaria ligada al crecimiento demográfico y con ello al requerimiento en aumento de producción de alimentos, cultivos ilícitos y otras formas de producción y dinámicas económicas legales e ilegales en todos los territorios(20).

De acuerdo con las cifras registradas en la base de datos FAOSTAT de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), entre el 2004 y el 2009, en todo el mundo se consumieron alrededor de 763.913,93 toneladas de plaguicidas, con una proporción importante del consumo en México (16,1%) y una quinta parte del consumo total mundial en el año 2009 (21,6%), siendo el glifosato el plaguicida más utilizado en el control de malezas y plagas en los cultivos de alimentos(21,22).

Se ha demostrado que algunos restos de plaguicidas se dispersan en el ambiente y se convierten en contaminantes para los sistemas bióticos (animales y plantas principalmente) y abiótico (suelo, aire, agua) amenazando su estabilidad y representando un peligro de salud pública. Factores como sus propiedades físicas y químicas, el clima, las condiciones geomorfológicas de los suelos y las condiciones hidrogeológicas y meteorológicas de la zona, definen la ruta que siguen los mismos en el ambiente(15,23).

El grado de lixiviación (movimiento de las sustancias a través de las fases del suelo) del plaguicida depende de la solubilidad del compuesto en agua, de su naturaleza química y del valor del pH del suelo, se favorece por la capacidad de adsorción del mismo con variación por el porcentaje de arcillas, arenas y limos presentes en él, sumado a las altas temperaturas y por la precipitación pluvial. Cuando los plaguicidas ingresan en las cadenas alimentarias se distribuyen a través de ellas se concentran en cada nicho ecológico y se acumulan sucesivamente hasta que alcanzan una concentración letal para algún organismo constituyente de la cadena, o bien hasta que llegan a niveles superiores de la red trófica(24). Diferentes estudios internacionales, han aportado evidencia que pone en la mesa debates académicos, científicos, económicos, políticos y jurídicos, entre otros, pues es allí donde emergen temas de difícil acuerdo y de responsabilidades muy particulares para cada uno de los sectores implicados(14,25).

El inicio de las aspersiones en Colombia, trajo consigo un sinnúmero de quejas sobre todo por parte de los habitantes de las regiones donde se llevaba a cabo esta práctica, argumentando mayor afectación en la salud de sus pobladores, afectaciones a la salud ambiental e impacto negativo sobre la flora y fauna por encima del beneficio para los cultivos de alimentos y propósito de erradicación de cultivos ilícitos en dichas regiones(3).

En el año 2009, el Ministerio de Salud y Protección Social con participación del Instituto Nacional de Salud como autoridades competentes en el tema, plantearon un estudio con el fin de recoger las suficientes evidencias epidemiológicas que permitieran una mejor comprensión

sobre los efectos agudos del herbicida en la salud humana. Este estudio no obtuvo hallazgos concluyentes entre la exposición a glifosato empleado en la erradicación de cultivos ilícitos y los efectos en la salud, debido a que se halló exposición ocupacional concomitante por la misma sustancia y por otras de mayor toxicidad que el glifosato(26). Por su parte, la Dirección Nacional de Estupefacientes publicó en 1999 un informe en el que se observó a nivel de indicadores de uso, como el 98,7% de los cultivadores utilizaban insecticidas y fungicidas para controlar las plagas y enfermedades en sus campos, el 92,5% utilizaba fertilizantes químicos y el 95,5% controlaba la competencia de otras plantas con herbicidas(27).

En marzo del año 2015, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) evaluó la carcinogenicidad de los insecticidas organofosforados diazinón, malatión y glifosato. Los ha reclasificado como "probablemente cancerígenos para los seres humanos" (Grupo 2A). La IARC es la agencia especializada en cáncer de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta agencia es un grupo interdisciplinario que reúne conocimientos en epidemiología, ciencias de laboratorio y bioestadísticas para identificar las causas del cáncer, de manera que se puedan adoptar medidas preventivas y se reduzca la carga y el sufrimiento asociado con esta enfermedad(12,28).

En la revisión a documentos, pudo identificarse que a la fecha la OMS y luego del informe presentado en el año 2015, no se han realizado cambios en las indicaciones técnicas para el uso del glifosato en salud pública, esto significa que las actuales recomendaciones técnicas siguen vigentes y recomienda además realizar investigaciones concretas en los países donde se llevan a cabo prácticas en las que se incorpore este herbicida para control de plagas o malezas en los diferentes cultivos(17,28,29).

En dicho informe (2015), presentado por la OMS/FAO, y luego de la evaluación de riesgo de los residuos de plaguicidas en los alimentos y de otros tipos la JMPR (grupo de expertos administrado por la OMS) se recomienda las siguientes acciones en línea con sus principios y procedimientos básicos(12,28):

- *Considerando que las últimas evaluaciones se hicieron hace más de una década y que hay estudios nuevos disponibles, la JMPR recomienda la re-evaluación toxicológica de estos compuestos. De acuerdo con los procedimientos del JMPR, esta re-evaluación debería considerar todos los puntos vinculados a la salud, incluida la carcinogenicidad. Los expertos en residuos también deben estar involucrados en identificar posibles impactos de la nueva re-evaluación en los niveles máximos de residuos recomendados (LMR).*
- *Considerando la importancia de la genotoxicidad en el proceso de análisis de riesgo para establecer los LMR, se deben consultar expertos en este campo y en la mutagénesis.*
- *La JMPR debe hacer un análisis transparente, así como un uso de criterios y enfoques seleccionados para determinar la calidad, relevancia y utilidad de todos los estudios publicados y prioritarios considerados.*

- *Las evaluaciones toxicológicas deben enfocarse en los componentes activos y no en los productos plaguicidas comerciales (formulaciones). Los datos de estudios sobre productos comerciales (por ejemplo, estudios epidemiológicos) deben incluirse cuando sean relevantes.*
- *De acuerdo con su mandato y experiencia, el trabajo de la JMPR debe focalizarse en la exposición de los residuos en alimentos. Sin embargo, la consideración de otras rutas de exposición, como el uso de productos para el control de vectores, es también importante para la salud pública. Se deberá considerar la experiencia relevante y los datos cuando se planifique la evaluación, de manera que se puedan dar recomendaciones sobre la exposición vinculada a fuentes diferentes de los de residuos en alimentos (por ejemplo, la contaminación ambiental)*

El presente documento, propone presentar las características propias del glifosato, la mezcla en la cual se encuentra asociado y las propiedades de esta con el fin de identificar el peligro y más adelante poder determinar el nivel de riesgo para la salud humana relacionado con su uso. Este estudio es de tipo descriptivo-observacional, basado en la revisión de literatura y de fuentes secundarias; de donde se planteará una revisión sistemática de literatura y una evaluación de riesgo dadas algunas condiciones de vida, de salud y ambientales de las regiones estudiadas.

Cabe anotar y destacando la importancia que para el presente estudio representa contar la información precisa sobre la mezcla, el proceso planeado para la aspersión y las características técnicas del mismo programa, con corte al mes de abril del 2020, la universidad de Córdoba contó con la siguiente información: **(I)** tres fichas técnicas para el herbicida glifosato (glifosato 480SL, XX-OUT 48SL y cúspide 480SL), **(II)** dos fichas de surfactantes (Cosmo-OIL emulsión EO y Cosmo-OIL emulsión), **(III)** información entregada el 03 de marzo durante comité de supervisión acerca del plan de manejo ambiental 1998-2007 **(IV)** Archivo Shapefile de distribución de cultivos de coca SIMCI – Escala nacional (Acceso libre), **(V)** Geodatabase con algunos insumos cartográficos más actualizados de lo que se tiene en bases de datos colombianas, **(VI)** tabla con departamentos y municipios para el PECIG-PECIA.

Dadas estas condiciones y ante la imprecisión en cuanto a la información de la mezcla, el equipo de trabajo de la universidad de Córdoba optó por trabajar la evaluación de riesgo para salud con las fichas que contenían mayor información; para lo cual se tomó la ficha de glifosato 480SL y como surfactante la de Cosmo-oíl- Emulsión (para este último, la información fue recibida el 18 de marzo).

Para alcanzar el objetivo general de la evaluación y como lineamiento metodológico entregado por el Ministerio, se utilizó la herramienta de evaluación de riesgos para la salud humana propuesta por la OMS. Instrumento reconocido, aceptado y validado por la comunidad científica y utilizado en diferentes estudios a nivel internacional con el mismo propósito(29).

Según el mismo documento (OMS), la evaluación de riesgo para la salud humana por exposición a glifosato como parte del programa de aspersión para la eliminación de los cultivos ilícitos en algunos departamentos de Colombia, y que fue desarrollada en el presente estudio, es de nivel adaptativo; puesto que es a partir de la información recuperada en la búsqueda sistemática de literatura, la entregada por la dirección de antinarcóticos, diferentes bases de datos y repositorios nacionales, lo que proporcionó la información para la identificación y caracterización del peligro, y por consiguiente la evaluación de la exposición y caracterización del riesgo como elementos fundamentales para la construcción de recomendaciones de mitigación y control que ayuden a tomar decisiones para la gestión del riesgo adecuada en función de la utilización de herbicidas en el país.

El estudio fue desarrollado en un tiempo de tres meses, en el que se llevó a cabo actividades de búsqueda de literatura, revisión de bases de datos documentales y factuales; a partir de allí se adaptaron los lineamientos de la herramienta de la OMS para lograr la evaluación de riesgo para la salud humana por exposición a glifosato.

Este documento se presenta por capítulos, considerando los puntos incluidos en la herramienta de la OMS para evaluación de riesgo(29); en él, además de incluir aspectos teóricos, conceptuales y metodológicos se describe el comportamiento toxicocinético y toxicodinámico del herbicida glifosato tomando la información de la mezcla trabajada (glifosato 480SL y Cosmo-óil), basada en los datos proporcionados por la Dirección Antinarcóticos (DIRAN) y mencionada en párrafos anteriores.

GENERALIDADES

1. Capítulo uno: “Marco teórico”

Se describen los conceptos generales sobre herbicidas, glifosato, sus propiedades, toxicocinética, Toxicodinamia, dinámica ambiental del AMPA y del glifosato, riesgo, evaluación de riesgos, peligros, clasificación de ellos y otros conceptos necesarios para contextualizar el objeto del presente estudio.

2. Capítulo dos: “Metodología”

Se abordan las estrategias desarrolladas para la consecución del objetivo del estudio. Se describe el proceso de todas las actividades como son la revisión sistemática de literatura, el diseño y tipo de estudio, la población objeto, el área de estudio, fuente de información, procesamiento y análisis de datos, etc. Así, como la proyección de obtención de las respuestas a los interrogantes planteados por la herramienta de la OMS para cada producto.

3. Capítulo tres: “Identificación del peligro”

Según las obligaciones contractuales que se describen en tal compendio, este producto apunta a construir un *“Documento que consolide los elementos que determinan la peligrosidad de los productos constituyentes de la mezcla de aspersión, describa el comportamiento toxicocinético y toxicodinámico de la mezcla de aspersión, sus características de toxicidad y sus potenciales efectos sobre la salud humana”* Este producto debe contener como mínimo los siguientes elementos:

- **Revisión bibliográfica**

Revisión bibliográfica que incluya los resultados de la búsqueda de literatura científica relacionada con los efectos sobre la salud, potencialmente asociados a los componentes de la mezcla de aspersión.

La respuesta a este aparte, se encuentra principalmente en el marco teórico, metodológico, tabla con los estudios y reseña de literatura. Cabe anotar, que se trabajó con la información de dos de las fichas que fueron recibidas por parte de la DIRAN, en relación al glifosato (Glifosato 480SL) y al Cosmo-OIL Emulsión como surfactante. Sin tener precisión de la información de la mezcla a utilizar.

- **Documento de revisión de la literatura**

Documento respecto a las características de los componentes de la mezcla y sus potenciales efectos en salud, que incluya la composición química de los componentes de la mezcla, las concentraciones de los diferentes componentes, la dosificación para su uso y los potenciales impactos en salud en cuanto a toxicidad aguda, subcrónica, crónica, reproductiva, del desarrollo, genotoxicidad y otros desenlaces de acuerdo a las diferentes vías de potencial exposición y de acuerdo a las poblaciones vulnerables identificadas.

A lo largo del documento se ubican las respuestas a este aparte en lo que tiene que ver con las características de los componentes de la mezcla y demás elementos, pero más enfáticamente en el marco teórico, en el capítulo cuatro (descripción de las fichas técnicas del herbicida y el surfactante), clasificación tóxica del glifosato y tabla de posibles efectos a la salud (ver: Tabla 28)

- **Identificación del tipo y el carácter de los efectos adversos en salud relacionados con la mezcla de aspersión**

La información está contenida en la tabla 28, así como su descripción en la página. De igual forma, en los capítulos tres y cuatro con los interrogantes acerca del peligro que representa el glifosato para los seres humanos.

4. Capítulo cuatro: “Determinación de la dosis respuesta-caracterización del peligro”

Según las obligaciones contractuales que se describen en tal compendio, este producto apunta a construir un: *“Documento que analice la información correspondiente a las condiciones operativas y técnicas de la aplicación de la medida, posible dosis a la cual se pueda presentar la exposición y los efectos que la misma pueda ocasionar, considerando los valores orientadores y de referencia definidos por agencias internacionales”*

Descripción general de las condiciones de aplicación de la medida de aspersión, de acuerdo a la información aportada por la Dirección Antinarcóticos de la Policía Nacional de Colombia, sobre la cual se puedan analizar y estimar las posibles vías y dosis de exposición, de acuerdo a las características del área sobre la cual se vaya a efectuar la aspersión. Este documento debe contener:

- **Descripción general de las condiciones de aplicación**

Descripción de la medida de aspersión, que incluya descripción detallada de los elementos técnicos, las estrategias de aplicación, la tecnología disponible para la reducción de la exposición y los mecanismos disponibles para documentar y verificar los procedimientos operativos. Esto incluye parámetros como la altura de vuelo, la velocidad autorizada, la descarga permitida, la frecuencia de operaciones, los recursos tecnológicos disponibles para el seguimiento y control de la operación. Las respuestas a este componente se encuentran en el capítulo cuarto.

- **Estimación de las posibles dosis de exposición**

Estimación de las dosis por las diferentes vías, considerando el escenario informado por la policía y los hallazgos del componente de caracterización de las áreas. Los resultados se ubican específicamente en el numeral 4.3.4 de este documento. Cabe aclarar, que en este escrito y por acuerdo con los integrantes del comité de supervisión el día 03 de marzo, se describen de forma sucinta y como antecedentes del tópico relacionado, los aspectos de dosis de exposición, así como las posibles vías.

Ya en el capítulo cinco, mediante el uso de herramientas de modelación y ecuaciones matemáticas se concretan todos los elementos que encierra la exposición, las rutas y vías; concentración de la mezcla y comportamiento de la misma en diferentes matrices. Los

resultados obtenidos de estos procedimientos, naturalmente poseen un margen verificable probablemente debido a la poca información ambiental en las series de tiempo requeridas, información asociada a las bases de datos de salud pública e información exacta de las sustancias que serán aplicadas en el programa de aspersión.

- **Identificación y reporte de los valores orientadores y de referencia**

Para los componentes de la mezcla de aspersión, basados en las rutas y duración de la exposición por inhalación, ingestión o absorción cutánea y determinar si las premisas de los valores son adecuadas para la población. Los hallazgos se encuentran específicamente a partir del numeral 4.3.3.

5. Capítulo cinco: “Evaluación de la exposición”

Los mínimos requeridos en el acuerdo contractual solicita un: *“Documento que presente los modelos conceptuales de exposición y consolide los resultados identificados en el análisis de los determinantes de exposición”*. Este producto debe contener como mínimo los siguientes elementos:

- **Descripción del comportamiento del herbicida**

Descripción detallada del destino y comportamiento ambiental esperado para la mezcla en los diferentes medios ambientales (aire, suelo, agua) que permitan describir el comportamiento del herbicida en las matrices definidas. Los resultados específicos de esta viñeta se encuentran en el título Aplicación del Software AgDrift para matriz Atmósfera y Matriz Suelo-Agua.

- **Caracterización de las rutas y vías de exposición**

Caracterización específica de las posibles rutas y vías de exposición, incluyendo la inhalatoria, oral y dérmica. Los resultados de esta viñeta se encuentran a partir del numeral 1.10.1.

- **Descripción de los escenarios de exposición**

Descripción de los escenarios de exposición (alta, media, baja), en población residente en áreas sujetas a aspersión, para el desarrollo de los modelos conceptuales de exposición específicos, que permitan identificar las posibles rutas, considerando las características poblacionales generales con énfasis en población vulnerable.

Los resultados de esta viñeta se encuentran a partir del título: **Matriz de alimentos** en la página 223 del subcapítulo: 5.4 Simulaciones en los modelos seleccionados.

- **Escenarios de exposición en el contexto del programa de aspersión**

Establecer escenarios de exposición en el contexto del programa (exposición ocupacional-exposición poblacional directa e indirecta) a partir de las condiciones de duración, frecuencia y consistencia de las condiciones definidas de exposición, incorporando la información relacionada con las modificaciones tecnológicas que se van a implementar, así como la identificación de potenciales situaciones de interacción entre agentes o co-exposición a glifosato por otros usos. Se pueden apreciar los resultados en la página 193.

- **Determinantes del nivel de exposición**

Estimación de los determinantes del nivel de exposición (concentración de la mezcla de aspersión, en los medios relevantes, duración y frecuencia de la exposición, fluctuaciones de la exposición, de acuerdo a las condiciones operativas definidas por la DIRAN). Aplicar las fórmulas genéricas para efectuar los cálculos de ingreso a partir de diferentes medios y ejecutar el análisis de los datos. La respuesta concluyente a esta obligación, se encuentra en la página 212.

6. Capítulo seis: “Caracterización del riesgo”

En las obligaciones contractuales, lo que se ha denominado como: “*Caracterización del peligro*”, se espera la construcción de un: “*Documento que consolide los resultados del análisis de la información recopilada en las diferentes fases del proceso y establezca un nivel de riesgo para la salud humana derivado de la ejecución de la aspersión aérea, considerando diferentes niveles de incertidumbre*”. Este producto debe contener como mínimo los siguientes elementos:

La metodología se encuentra a partir del numeral 2.11 y a partir del capítulo seis, los resultados que responden a cada una de las viñetas presentadas a continuación. Es de anotar, que este capítulo comparte con el capítulo cinco, en lo relacionado a evaluación de la exposición, tablas con información poblacional, vías de exposición y dosis calculadas.

Análisis de las características del peligro, las condiciones de exposición y los factores ambientales, sociales y de situación de salud

Incluyendo efectos en salud mental y seguridad alimentaria y nutricional. Se espera que la información de estos factores y de situación de salud se obtengan a través de fuentes secundarias como el ASIS, el cual se nutre de información de los siguientes registros: Registro Individual de Prestación de Servicios, Estadísticas Vitales, Registro de Localización y Caracterización de Personas con Discapacidad, Registro Único de Víctimas, registro proveniente de la Circular 029 del 2017, SIVIGILA, FORENSIS de Medicina Legal, Cuenta de Alto Costo VIH y ERC, para los municipios de Calamar, El Retorno, Miraflores y San José del Guaviare, en el departamento de Guaviare y La Macarena, Mapiripán, Puerto Rico y Vistahermosa en el departamento del Meta.

Descripción de los datos de toxicidad relevantes para la evaluación de riesgo de la sustancia

Especificando los umbrales límites de exposición (NOAEL – No observed adverse effect level - y LOAEL Lowest observed adverse efecto level) para efectos no cancerígenos, comparando los resultados con los índices de referencia, para establecer la ingesta diaria admisible y tolerable, la dosis de referencia y el nivel mínimo de riesgo. Respecto al riesgo cancerígeno, identificar y analizar la evidencia que permita estimar la probabilidad de riesgo de cáncer.

Estimar el nivel de riesgo para la salud, a partir del análisis de toda la información recopilada

Considerando valores de referencia de toxicidad, para lo cual se requiere calcular el cociente de riesgo para cada grupo de edad, obtenido de la ingesta sobre el valor de referencia, a partir de lo cual se obtendrá el índice de riesgo. Este riesgo debe ser calculado para cada grupo de edad de forma separada y a su vez para cada escenario de exposición (crónica – subcrónica - de corta duración)

Estimar la incertidumbre de los niveles de riesgo estimados

A través de la variación de las variables que puedan afectar la estimación. Se espera que este análisis se realice a través de la elaboración de escenarios que permitan la modelación del riesgo estimado, para variaciones de cada variable y de su presentación simultánea.

7. Capítulo nueve: “Mitigación y control del riesgo”

Documento que proponga medidas para controlar y mitigar el nivel de riesgo identificado. Este documento debe contener como mínimo los siguientes elementos:

Diseño de estrategias para la implementación de las acciones identificadas

Considerando aspectos sociales, culturales, éticos, políticos y legales, para reducir o prevenir el nivel de riesgo a la salud derivado de la exposición a la mezcla de aspersión.

Socialización de opciones de mitigación con expertos en el área temática

Socialización de las opciones de mitigación con expertos en el tópico de evaluación de riesgo en salud, en evaluación de riesgo químico y en el diseño e implementación de estrategias de mitigación y control propuestas.

Diseño de estrategia de comunicación

Para la presentación de los resultados derivados de la construcción de la evaluación de riesgos.

1. CAPÍTULO UNO: MARCO TEÓRICO

El análisis de riesgo en salud, se conoce como el proceso sistemático y organizado que tiene por objetivo la identificación, sistematización, intervención y socialización de los factores que representan un potencial peligro para la salud de los seres humanos y que son intervenibles a través de diferentes políticas, programas o procesos gubernamentales y organizacionales. El análisis de riesgo comprende tres etapas: **(I)** Evaluación del riesgo, **(II)** comunicación de riesgo y **(III)** Gestión del riesgo(30,31).

A continuación se presentan los conceptos básicos sobre el glifosato y demás tópicos que enmarcan la evaluación de riesgos desarrollada.

1.1 Cultivos ilícitos en Colombia

En Colombia además de su uso para la erradicación de plantas de coca y otros cultivos ilícitos como la amapola y la marihuana (lo que en 2013 equivalía sólo a un 5% de su uso total en el país), se aplica también-en dosis menos concentradas –para los cultivos de algodón, maíz, arroz y caña principalmente, para controlar las plagas y las malezas(18).

Así también, quedó asentado en el texto de La Corte Constitucional y como respuesta del ministerio de justicia y del derecho a dicho organismo *“el glifosato es usado no sólo para la erradicación de cultivos ilícitos, sino que también es empleado por el Instituto Colombiano Agropecuario - ICA , para el control de malezas en cultivos de arroz, algodón soya, plátano y banano, entre otros”*(17).

Como es de conocimiento público, la hoja de coca es el principal insumo en la manufactura de drogas ilegales como la cocaína, sustancia altamente estimulante del sistema nervioso central ampliamente distribuida en múltiples países del mundo, generando problemas de adicción en la población expuesta a esta sustancia (18,32).

En la vía del soporte normativo que combate la transformación del producto de los cultivos ilícitos (coca) en Colombia, en enero de 1992, el Consejo Nacional de Estupefacientes autorizó la aspersión aérea controlada de este tipo de siembra, mediante el empleo del agente químico glifosato, después de haber evaluado diferentes herbicidas y, en noviembre de 2001, mediante la resolución 1065, en ese entonces el Ministerio del Medio Ambiente, impuso el Plan de Manejo Ambiental a la Dirección Nacional de Estupefacientes, ejecutándose a partir de la Resolución 1054 del 2003, con el fin de dar seguimiento a todas las actividades objeto del Programa de Erradicación d Cultivos Ilícitos con Glifosato – PEGIC (33,34).

Diferentes estudios han abordado la problemática sobre los cultivos ilícitos en Colombia, tratando de identificar las causas de la persistencia de este tipo de práctica, además del

incremento en hectáreas y asimetría en los datos acerca de dichos cultivos, pasando de 68.027 hectáreas cultivadas de coca en el 2009 a 169.018,19 en el 2018(3,18,19).

1.2 Los plaguicidas (herbicidas)

Según la definición de la FAO, un plaguicida o pesticida, es *“cualquier sustancia destinada a prevenir, destruir, atraer, repeler o combatir cualquier plaga, incluidas las especies indeseadas de plantas o animales, durante la producción, almacenamiento, transporte, distribución y elaboración de alimentos, productos agrícolas o alimentos para animales, o que pueda administrarse a los animales para combatir ectoparásitos. El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladores del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta o inhibidores de la germinación, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto contra la deterioración durante el almacenamiento y transporte. El término no incluye normalmente los fertilizantes, nutrientes de origen vegetal o animal, aditivos alimentarios ni medicamentos para animales”*(35).

Los plaguicidas sintéticos surgen entre 1930 y 1940 como resultado de investigaciones enfocadas al desarrollo de armas químicas que originalmente fueron probadas en insectos. Uno de los primeros compuestos, el diclorodifeniltricloroetano (DDT) fue sintetizado por Zeidler en 1874, y sus propiedades insecticidas fueron descritas por Paul Müller hacia 1939. El DDT se utilizó por primera vez durante la segunda Guerra Mundial para proteger a los soldados estadounidenses contra enfermedades transmitidas por vector y se comercializó en los EE.UU. en 1945(36).

Diferentes intereses económicos en los países, así como la industrialización acelerada, cambios en los indicadores demográficos y la necesidad de controlar químicamente las plagas, favoreció la fabricación y consumo a escala mundial. Se originó, a su vez, una carrera incesante en la búsqueda de compuestos análogos menos tóxicos al ser humano y más efectivos que el DDT y selectivos con las plagas. Sin embargo, al paso de algunos años se han hecho evidentes los efectos indeseables de los plaguicidas sobre la salud del ser humano y sobre el medio ambiente(37).

Dentro de los usos más comunes que se le han dado al glifosato se encuentra la jardinería, la agricultura, el control de cultivos ilícitos y el control de malezas en plantaciones forestales, en complejos industriales y vías férreas, lo que acerca de manera incontrolada este compuesto químico a los diferentes grupos poblacionales, niños, adolescentes, ancianos, trabajadores, entre otros, se ven en contacto con el herbicida, sin conocer los riesgos a los que probablemente se está expuesto, siendo una de las razones por las que debe investigarse acerca del posible efecto que tiene el glifosato sobre los seres vivos y el medio ambiente(20).

Los plaguicidas se clasifican en función de algunas de sus características principales, como son la toxicidad aguda, la vida media, la estructura química y su uso. En 1975, la Organización

Mundial de la Salud (OMS) estableció una clasificación basada en su peligrosidad o grado de toxicidad aguda, definida ésta como la capacidad del plaguicida de producir un daño agudo a la salud a través de una o múltiples exposiciones, en un período de tiempo relativamente corto. La toxicidad se mide a través de la dosis letal media (DL50)* o de la concentración letal media (CL50). Ambos parámetros varían conforme a múltiples factores como la presentación del producto (sólido, gel, líquido, gas, polvo, etc.), la vía de entrada (oral, dérmica, respiratoria), la temperatura, la dieta, la edad, el sexo, etc. Al basarse en la observación de especies animales, es importante señalar que estos indicadores no proporcionan información sobre los efectos crónicos, ni sobre la citotoxicidad de algún compuesto (tabla 1 y 2)(36,38).

Tabla 1. Clasificación de los plaguicidas según el grupo químico

Familia	Ejemplos
• Organoclorados:	DDT, aldrín, Endosulfán, endrin.
• Organofosforados :	Bromophos, diclorvos, Malatión
• Carbamatos:	Carbaryl, Methomyl, Propoxur.
• Tiocarbamatos:	Ditiocarbamato, Mancozeb, Maneb.
• Piretroides:	Cypermethrin, Fenvalerato, Permethrin.
• Derivados bipyridilos:	Clomequat, Diquat, Paraquat
• Derivados del ácido fenilacético	Dicloroprop, Picram, Silvex
• Derivados cloronitrofenólicos	
• Derivados de Triazinas :	Atrazine, Ametryn, Desmetryn,
• Simazine.	
• Compuestos Orgánicos del estaño:	Cyhexatin, Dowco, Plictrán.
• Compuestos Inorgánicos:	Arsénico, Pentóxido, obpa, fosfito de Magnesio , Cloruro de Mercurio, Arsenato de Plomo, Bromuro de Metilo, Antimonio, Mercurio, Selenio, Talio y Fosforo Blanco.
• Compuestos de origen Botánico :	Rotenona, Nicotina, Aceite de Canola.

Fuente: International Programme on Chemical safety (IPCS), organización mundial de la salud (OMS). The who recommended classification of pesticides by Hazard and guidelines to classification

Tabla 2. Usos de los plaguicidas

Sector	Usos
Agricultura	Control de múltiples Plagas
Salud pública	Control de vectores: Malaria, Chagas, Dengue, Oncocercosis, Filariasis, Peste, Fiebre amarilla
Ganadería	Desinfección de Ganado Ovino y Animales Domésticos.
Tratamiento de estructuras	Tratamiento de edificios públicos y privados, oficinas, hospitales, hoteles, cines, teatros, restaurantes, escuelas, supermercados.

Sector	Usos
Mantenimiento de áreas verdes	Tratamiento Parques, jardines, áreas de recreo, campos de golf y autopistas, vías férreas, andenes, torres de alta tensión.
Mantenimiento de reservas de agua	Reservas de aguas, presas, embalses, diques, estanques piscícolas, canales, albercas y piscinas.
Industria	Neveras, pinturas, resinas, pegamentos, pastas, ceras, líquidos limpiametales, tiendas de campaña, tapete, alfombras.
Hogar	Cosméticos, champús, jabones y repelentes de insectos.

Fuente: International programme on chemical safety (IPCS), organización mundial de la salud (OMS). The who recommended classification of pesticides by Hazard and guidelines to classification

Por su vida media, los plaguicidas se clasifican en permanentes, persistentes, moderadamente persistentes y no persistentes. Basados en la última revisión por OMS y FAO en 2017 con respecto a la Presentación y evaluación de los datos sobre residuos de plaguicidas para la estimación de los límites máximos de residuos de plaguicidas en alimentos, se recomienda que siempre que sea posible los usuarios deben revisar las versiones traducidas y actualizadas con el propósito de mantener los protocolos validados para el uso correcto de plaguicidas (5, 23,24).

Los agentes químicos de interés en esta evaluación del riesgo son el glifosato, sus formulantes y adyuvantes incluyendo los surfactantes, los cuales se adicionan a la formulación de rociado para modificar su eficacia. Las propiedades del glifosato y de estas otras sustancias se describen en los siguientes apartes(41).

1.3 Glifosato

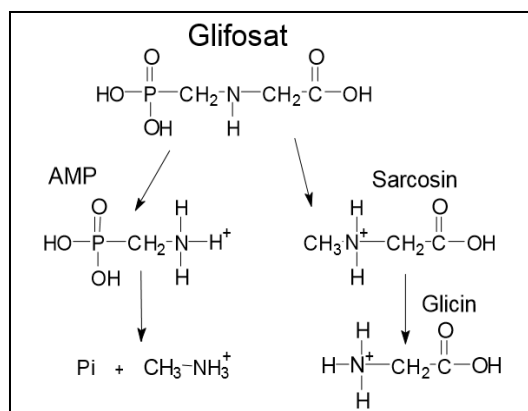
Glifosato es el nombre común para la sustancia química de nombre IUPAC N-(Fosfonometil) glicina o ácido (carboximetilamino) metil fosfónico, constituye un ácido orgánico débil formado por una molécula de glicina y otra de fosfonometil un herbicida no selectivo de amplio espectro cuyo peso molecular es 169.1 g/mol y su fórmula molecular es **C₃H₈NO₅P**.

Su número de registro CAS es 1071-83-6. Los productos comerciales contienen alguna sal de N-(Fosfonometil)glicina, no obstante, es la N-(Fosfonometil)glicina la que dentro de la planta se une a la enzima objetivo y causa el efecto herbicida (42). La sal más comúnmente usada como ingrediente activo corresponde a la sal de isopropilamina de N-(fosfonometil)glicina con un peso molecular de 228.2 g/mol y número de CAS de 38641-94-0, otras de las sales que se encuentran en las diferentes formulaciones de productos comerciales son: glifosato-diamonio [CAS 69254-40-6], glifosato-dimetilamonio [CAS 34494-04-7], glifosato-mono amonio [CAS 40465-66-5], glifosato-potasio [CAS 70901-20-1], glifosato-sesquisodio [CAS 70393-85-0], glifosato-trimesium [81591-81-3]. Cada uno posee propiedades físicas y químicas características, que le otorgan al producto comercial su propia identidad, no obstante, derivan

en el mismo metabolito, ácido aminometilfosfónico (AMPA, CAS 1066-51-9); de igual forma, una vez en contacto con el material vegetal actúan como la N-(Fosfonometil) glicina. Por esta razón, es común referirse a ellos como Glifosato, aunque su identidad química sea diferenciada.

Las propiedades fisicoquímicas de N-(Fosfonometil)glicina hacen que se asemeje a otras sustancias de origen natural, siendo químicamente estable; no es móvil en el suelos; se persistencia biológica es limitada y tampoco es bioacumulable ni se biomagnifica a lo largo de la cadena alimenticia (43).

Figura 1. Estructura del glifosato y sus metabolitos

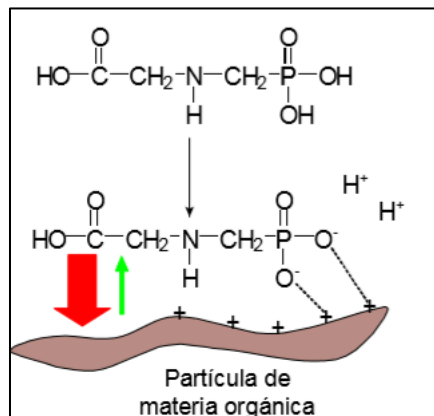


Fuente: Liu C-M, McLean PA, Sookdeo CC, Cannon FC. Degradation of the Herbicide Glyphosate by Members of the Family Rhizobiaceae

La N-(Fosfonometil)glicina es un polvo cristalino, blanco, inodoro, con una densidad de 1.704Kg/m³, un punto de fusión de 184,5 °C y un punto de ebullición 187 °C, es soluble en agua e insoluble en solventes orgánicos y no es volátil. Ejerce su mecanismo de acción por inhibición de la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-P sintetasa, esencial en el proceso de síntesis de los aminoácidos aromáticos en las plantas. El glifosato se adsorbe rápida y fuertemente por las partículas del suelo, lo cual impide su movilidad y su lixiviación, además limita drásticamente su posibilidad de ser absorbido a través de las raíces. Uno de los principales productos de la degradación por la acción bacteriana es el ácido aminometilfosfónico, el cual es biodegradable y tiene una vida media de 30 días, aproximadamente (Figura 1). El glifosato al alcanzar el agua, es absorbido por partículas en suspensión o en sedimentación para luego ser degradado, lo cual ocurre más lentamente que en los suelos, a causa del menor número de microbios; alcanza una vida media de 7 a 10 semanas en aguas naturales(20,44).

El glifosato se ioniza fácilmente y como anión se absorbe fuertemente a la materia orgánica en los suelos con pH normal, por consiguiente, posee poca movilidad en los suelos y es rápidamente removido del agua por la adsorción a los sedimentos y a las partículas de materia suspendidas (5,27-29) (Figura 2).

Figura 2. Unión del glifosato a las partículas del suelo

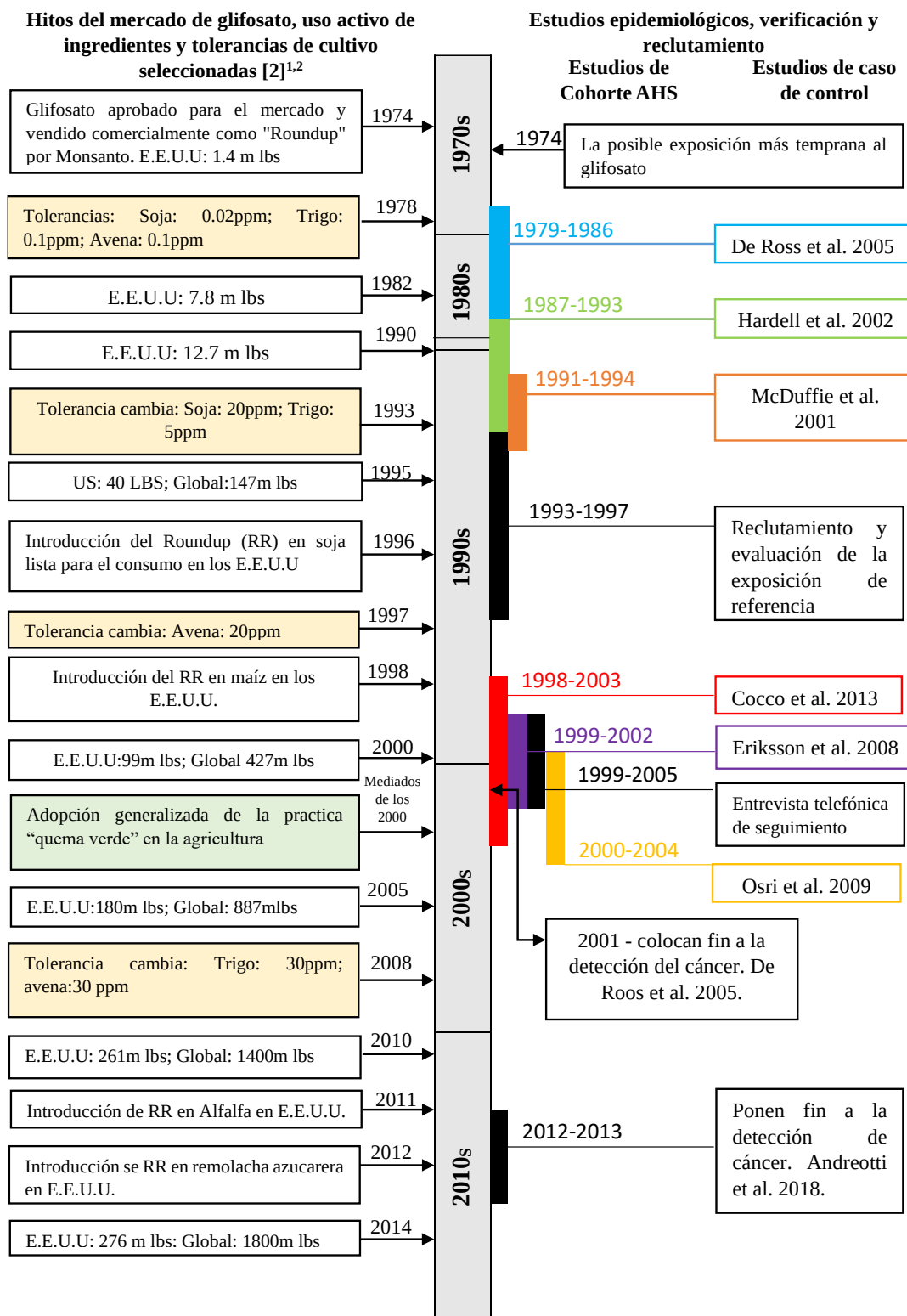


Fuente: Boocock M, Coggings J. Kinetics of Senolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase inhibition by glyphosate. 1983;

El mecanismo de acción del glifosato es por la vía de la inhibición de la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-P sintetasa, una enzima esencial en el proceso de síntesis de aminoácidos aromáticos en las plantas. Esta inhibición conduce a una disminución de la síntesis de los aminoácidos aromáticos, triptófano, fenilalanina y tirosina, así como las tasas reducidas de la síntesis de proteína, ácido indol acético (una hormona de las plantas) y clorofila. La muerte de la planta es lenta y se manifiesta inicialmente por una suspensión del crecimiento, seguida de clorosis y luego, de necrosis de los tejidos de la planta. La inhibición de la 5-enolpiruvil shikimato-3-p sintetasa es específica de las plantas. Debido a que muchos animales obtienen sus aminoácidos aromáticos de las plantas y de otras fuentes pero no poseen esta vía de síntesis razón el glifosato es considerado relativamente no tóxico para los animales pero eficaz en las plantas(46).

A nivel mundial, el glifosato es uno de los plaguicidas que más se utiliza en el manejo agrícola, industrial, jardinería ornamental y control de malezas en las residencias, la formulación y sus diferentes surfactantes se encuentran registrados en más de cien países y es usado en más de 60 cultivos agrícolas (17) (Tabla 3). En la figura 3 se presentan los hitos del mercado de este herbicida y algunas generalidades del mismo (47)

Figura 3. Hitos de mercado del glifosato



Fuente: Zhang L, Rana I, Shaffer RM, Taioli E, Sheppard L. Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: A meta-analysis and supporting evidence. Mutat Res. Septiembre de 2019; 781:186-206

Las aplicaciones aéreas de glifosato para el control de los cultivos ilícitos de coca y amapola se han estado efectuando en Colombia desde 1997 hasta el año 2015, teniendo su pico más alto en el año 2006(48). En la Figura 4 se puede observar la línea de tiempo en la que se ha utilizado el glifosato para la erradicación de cultivos en Colombia.

Figura 4. Línea de tiempo de la erradicación de cultivos ilícitos en Colombia mediante el uso de glifosato



Fuente: Observatorio Iberoamericano de Cultivos y Drogas Ilícitas (OICDI), 2019.

A nivel mundial, el glifosato es uno de los plaguicidas que más se utiliza en el manejo agrícola, industrial, jardinería ornamental y control de malezas en las residencias, la formulación y sus diferentes surfactantes se encuentran registrados en más de cien países y es usado en más de 60 cultivos agrícolas (8) (Tabla 3).

En Colombia, además de su uso para la erradicación de matas de coca y otros cultivos ilícitos como la amapola y la marihuana (lo que en 2013 equivalía sólo a un 5% de su uso total en el país), se aplica también – en dosis menos concentradas – para los cultivos de algodón maíz, arroz y caña principalmente, para controlar las plagas y la maleza (49). Así también quedó asentado en el texto de la Corte Constitucional “el glifosato es usado no sólo para la erradicación de cultivos ilícitos, sino que acorde con lo señalado por el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA-, es empleado para el control de malezas en cultivos de arroz, algodón, soya, plátano y banano, entre otros”(8).

Tabla 3. Registros Nacionales del ICA y País de origen registrado

No REGISTRO	INGREDIENTE ACTIVO	CONCENTRACIÓN	NOMBRE DEL PRODUCTO	NOMBRE EMPRESA	CAT TOXIC	CLASE DE PRODUCTO	TIPO FOR.	PAÍS DE ORIGEN DEL PRODUCTO FORMULADO	CULTIVO
2199	GLIFOSATE	360,00 g/L	GLIFOSATO GOOD HARVEST 480 SL	GOOD HARVEST CROP PROTECTION SAS	II	HERBICIDA	SL	CHINA	MAÍZ, PAPA
43	GLIFOSATO	747,00 g/kg	GLIFOSATO AGROGEN 747 SG	NUFARM COLOMBIA S.A	III	HERBICIDA	SG	CHINA	CULTIVOS ANUALES Y PASTURAS CULTIVOS PERENNES, PLÁTANO BANANO, CACAO, CAFÉ, PALMA AFRICANA, CÍTRICOS Y OTROS FRUTALES, ÁREAS NO CULTIVADAS.
56	GLIFOSATO	648,00 g/L	GLIFOGEN 648 SL	NUFARM COLOMBIA S.A	III	HERBICIDA	SL	COLOMBIA	ARROZ, ALGODÓN, SORGO MAÍZ, CAÑA DE AZÚCAR, MALEZAS EN GENERAL, MALEZAS ANUALES Y PERENNES
79	GLIFOSATO	480,00 g/L	BROKER 480 SL	TRUST QUIMICA S.A.S	III	HERBICIDA	SL	CHINA	MALEZAS ANUALES Y PERENNES
120	GLIFOSATO	648,00 g/L	ESTELAR™ 648 SL	DOW AGROSCIENCES DE COLOMBIA S.A	II	HERBICIDA	SL	COLOMBIA	ARROZ
140	GLIFOSATO	500,00 g/L	TOUCHDOWN® IQ SL	SYNGENTA S.A	III	HERBICIDA	SL	COLOMBIA BÉLGICA	MAÍZ, PAPA, CAFÉ, ARROZ, PASTOS, BANANO, PLÁTANO, PALMA DE ACEITE, CAUCHO
188	GLIFOSATO	356,00 g/L	GLIFOSATO VECOL 480 SL	VECOL S.A	III	HERBICIDA	SL	REPUBLICA POPULAR DE CHINA	ARROZ, POTREROS
299	GLIFOSATO	540,00 g/L como ácido – 662,00 g/L como sal	ROUNDUP TRANSORB BRIO	COMPAÑÍA AGRICOLA S.A.S COACOL	III	HERBICIDA	SL	MÉXICO, COLOMBIA	ARROZ, MAÍZ, CAFÉ, SORGO CAÑA DE AZÚCAR, ALGODÓN

No REGISTRO	INGREDIENTE ACTIVO	CONCENTRACIÓN	NOMBRE DEL PRODUCTO	NOMBRE EMPRESA	CAT TOXIC	CLASE DE PRODUCTO	TIPO FOR.	PAÍS DE ORIGEN DEL PRODUCTO FORMULADO	CULTIVO
300	GLIFOSATO	480,00 g/L	ROUNDUP TRANSORB ACTIVO	COMPAÑÍA AGRÍCOLA COLOMBIANA LTDA Y CIA S.C.A	III	HERBICIDA	SL	MEXICO COLOMBIA	ARROZ, MAÍZ, CAFÉ, SORGO, CAÑA DE AZÚCAR, ALGODÓN
361	GLIFOSATO	480,00 g/L	FOSEL® 480 SL	TECNOQUIMICAS S.A	III	HERBICIDA	SL	COLOMBIA CHINA	ARROZ, POTREROS, CAFÉ Cítricos, LIMÓN MANDARINA, PLÁTANO, PALMA
364	GLIFOSATO	480,00 g/L	PANZER 648 SL	INVESTA S.A	III	HERBICIDA	SL	COLOMBIA	ALGODÓN, ARROZ BANANO, MAÍZ, PRADERAS, CAFÉ
451	GLIFOSATO	360,00 g/L	GLYFOS 486 SL	FMC COLOMBIA S.A.S	II	HERBICIDA	SL	DINAMARCA CHINA	ARROZ, PALMA AFRICANA
470	GLIFOSATO	363,00 g/L	ROUNDUP ACTIVO	COMPAÑÍA AGRICOLA COLOMBIANA LTDA Y CIA S.C.A	III	HERBICIDA	SL	COLOMBIA ARGENTINA	MAÍZ, ARROZ, ALGODÓN, SOYA, SORGO, PAPA, PLÁTANO, PALMA DE ACEITE, BANANO
486	GLIFOSATO	737,50 g/K g	GLYFOS® 768 SG	FMC COLOMBIA S.A.S	III	HERBICIDA	SG	DINAMARCA ITALIA CHINA	ARROZ, PALMA AFRICANA
516	GLIFOSATO	480,00 g/L Equivalente a 356,00 g/L en forma de sal	KALACH 480 SL	ARYSTA LIFESCIENCE COLOMBIA S.A.S	II	HERBICIDA	SL	CHINA COLOMBIA	PALMA AFRICANA, ARROZ, CAFÉ
635	GLIFOSATO	365,00 g/L equivalente a 480,00 g/L en forma de sal	GLIFOCIDA 480 SL	LABORATORIOS CHALVER DE COLOMBIA S.A	II	HERBICIDA	SL	COLOMBIA	ARROZ, CAFÉ, PASTOS, CAÑA DE AZÚCAR, PLÁTANO
1061	GLIFOSATO	356,00 g/L	KALACH®GREEN	ARYSTA LIFESCIENCE COLOMBIA S.A.S	III	HERBICIDA	SL	CHINA ,COLOMBIA	POTREROS, ARROZ, CAFÉ

No REGISTRO	INGREDIENTE ACTIVO	CONCENTRACIÓN	NOMBRE DEL PRODUCTO	NOMBRE EMPRESA	CAT TOXIC	CLASE DE PRODUCTO	TIPO FOR.	PAÍS DE ORIGEN DEL PRODUCTO FORMULADO	CULTIVO
1200	GLIFOSATO	608,00 g/L	ESTELAR™ 1280 SL	DOW AGROSCIENCES DE COLOMBIA S.A.S	III	HERBICIDA	SL	COLOMBIA	ARROZ, CAFÉ, CÍTRICOS, PALMA AFRICANA, PLÁTANO, POTREROS
1747	GLIFOSATO	540,00 g/L	CREDIT MULTI®	NUFARM COLOMBIA S.A	III	HERBICIDA	SL	BRASIL COLOMBIA	ARROZ, SOYA, CAFÉ, POTREROS
1809	GLIFOSATO	360,00 g/L	PANZER® EKO SL	INVESA S.A	III	HERBICIDA	SL	COLOMBIA	PALMA DE ACEITE, POTREROS, CAFÉ, MAÍZ, BANANO, PLÁTANO, ARROZ
2177	GLIFOSATO	480,00 g/L	GLIFOSATO NEW COMBATE	NEWBRIDGE AGROCHEM COLOMBIA LTDA	III	HERBICIDA	SL	REINO UNIDO	ARROZ, SOYA
2209	GLIFOSATO	480,00 g/L	GLYPHOGAN 480 SL	ADAMA ANDINA B.V SUCURSAL COLOMBIA	III	HERBICIDA	SL	COLOMBIA CHINA	ARROZ, CAFÉ, CAÑA DE AZÚCAR, FORESTALES, EUCALIPTO, PINO, PALMA DE ACEITE, POTREROS, PAPA, BANANO
2449	GLIFOSATO	480,00 g/L	FAENA 480 SL	ADAMA ANDINA B.V – SUCURSAL COLOMBIA	II	HERBICIDA	SL	CHINA COLOMBIA	CAÑA DE AZÚCAR, ARROZ, CAFÉ, PALMA DE ACEITE, EUCALIPTO, PINO, POTREROS
2460	GLIFOSATO	480,00 g/L	GLIFOCAFÉ®	ARYSTA LIFESCIENCES COLOMBIA S.A.S.,	II	HERBICIDA	SL	COLOMBIA CHINA	CAFÉ
2461	GLIFOSATO	480,00 g/L	GLIFOSOL SL	ARYSTA LIFESCIENCES COLOMBIA S.A.S.,	II	HERBICIDA	SL	COLOMBIA CHINA	AGUACATE, ARROZ, BANANO, CAFÉ, POTREROS
2526	GLIFOSATO	480,00 g/L	GLIFOGROZ 480 SL	FEDERACIÓN NACIONAL DE ARROCEROS - FEDEARROZ	III	HERBICIDA	SL	INDIA COLOMBIA	ARROZ, POTREROS

No REGISTRO	INGREDIENTE ACTIVO	CONCENTRACIÓN	NOMBRE DEL PRODUCTO	NOMBRE EMPRESA	CAT TOXIC	CLASE DE PRODUCTO	TIPO FOR.	PAÍS DE ORIGEN DEL PRODUCTO FORMULADO	CULTIVO
1840	GLIFOSATO ACIDO	360,00 g/L	PANZER® K SL	INVESTA S.A	III	HERBICIDA	SL	COLOMBIA	PALMA, POTREROS CAFÉ MAÍZ, BANANO, PLÁTANO
1057	GLIFOSATO SAL ISOPROPILAMINA	480,00 g/L	GLIFOSOL®GREEN	ARYSTA LIFESCIENCES COLOMBIA S.A.S	III	HERBICIDA	SL	CHINA ,COLOMBIA	POTREROS, ARROZ, CAFÉ
602	GLIFOSATO	356,00 g/L equivalente a 480,00 g/L en forma de sal	KEMADOR 480 SL	GENFAR S.A.	III	HERBICIDA	SL	CHINA COLOMBIA	POTREROS
550	GLUFOSINATE-AMMONIUM	150,00 g/L	BURNER® 150 SL	ADAMA ANDINA B.V. SUCURSAL COLOMBIA	II	HERBICIDA	SL	CHINA INDIA COLOMBIA	BANANO, CÍTRICOS, MAÍZ, ALGODÓN, CAÑA DE AZÚCAR, CAFÉ, AGUACATE
991	GLUFOSINATO DE AMONIO	150,00 g/L	DESTIERRO® SL	INVESTA S.A	II	HERBICIDA	SL	COLOMBIA	ALGODÓN, NARANJA, PALMA DE ACEITE, BANANO, PLÁTANO, CAFÉ, AGUACATE
1577	GLUFOSINATO DE AMONIO	500,00 g/L	LIBERTY® SL	BASF QUÍMICA COLOMBIANA S.A	II	HERBICIDA	SL	ALEMANIA COLOMBIA BRASIL	ALGODÓN, MAÍZ
751	GLYPHOSATE	360,00 g/L	ATILA 480 SL	NUFARM COLOMBIA S.A	II	HERBICIDA	SL	COLOMBIA CHINA	CEDRO ROSADO, ARROZ, CAFÉ, PASTOS EN POTREROS
812	GLYPHOSATE OXYFLUORFEN	360,00 g/L 30,00 g/L	ZOOMER®390 SC	ADAMA ANDINA B.V. SUCURSAL COLOMBIA	III	HERBICIDA	SC	ISRAEL COLOMBIA	ARROZ
1602	CARFENTRAZOL-ETHYL GLIFOSATO	12,00 g/L 444,60 g/L	ABROAD®EW	FMC LATINOAMERICA S.A	III	HERBICIDA	EW	COLOMBIA BRASIL	ARROZ, CAFÉ
2426	MESOTRIONE GLIFOSATO	44,81 g/L 448,12 g/L	CALLISTO ® GT	SYNGENTA S.A.	III	HERBICIDA	SC	ESTADOS UNIDOS	MAÍZ

Fuente: Instituto colombiano agropecuario -ICA

El tiempo necesario para la biodegradación del 50% del glifosato en los suelos es de dos a tres días en condiciones aeróbicas. En lo relacionado a la interacción del glifosato y los componentes ambientales, se observa como resultados de sus propiedades fisicoquímicas específicas, el glifosato es inmóvil o sólo ligeramente móvil en el suelo, el metabolito del glifosato, el ácido aminometil fosfórico (AMPA) es algo más móvil en el suelo pero se descompone rápidamente, lo cual resulta en la lixiviación de cantidades mínimas en los suelos destinados a la agricultura normal. La fuerte unión del glifosato con el suelo origina una pérdida casi inmediata de la actividad biológica; sin embargo, los residuos de la unión se descomponen lo suficientemente rápido para hacer que no se presente acumulación, aún después de muchos años de uso regular. La contaminación de las corrientes subterráneas como resultado del uso normal de glifosato es poco probable excepto en el caso de un derrame apreciable o de otra liberación accidental o descontrolada de cantidades considerables al ambiente(50).

La gran solubilidad del glifosato y sus sales en el agua sugiere que son móviles en este elemento (agua); sin embargo, la unión fuerte y rápida a los sedimentos y partículas, especialmente en aguas poco profundas y turbulentas, o en aquellas que llevan grandes cargas de partículas, remueve el glifosato de la columna de agua(32-34).

En el agua, las dos vías principales de disipación son la degradación microbiológica y la unión a los sedimentos. El glifosato no se degrada rápidamente en agua estéril, pero ante la presencia de micro flora (bacterias y hongos) en el agua el glifosato se descompone en AMPA y eventualmente a dióxido de carbono. Se han reportado otras vías metabólicas, incluso degradación posterior del AMPA a fosfato inorgánico y $\text{CH}_3\text{-NH}_3$, y por la vía sarcosina - glicina. Ninguno de estos productos se considera que sean herbicidas y no se espera que sean altamente tóxicos para los organismos acuáticos a las concentraciones que se originarían del uso del glifosato en el campo. La fotodegradación también se puede llevar a cabo bajo condiciones de campo en las cuales se presente suficiente penetración de la luz ultravioleta(46,50,53).

La Dosis Letal 50 (DL_{50}) es una de las herramientas utilizadas para identificar el nivel de toxicidad de una sustancia o mezcla de sustancias en animales y especialmente en humanos. En el caso de la exposición al glifosato en presentación comercial por vía oral y cutánea la DL_{50} ha sido determinada como mayor de 5.000 mg/kg, y por inhalación mayor de 3.400mg/L. Los estudios toxicocinéticos en animales de experimentación muestran una absorción de 30% a 36% en el tubo digestivo y una escasa absorción por vía cutánea. Una vez absorbido, se distribuye ampliamente en todo el organismo; 15% a 29% se excreta por la orina 2% por el aire espirado y el 70% restante por las heces. Su metabolismo es escaso y 97% de la dosis oral se elimina como glifosato; su único metabolito es el ácido amino-metil-fosfónico (AAMF) o AMPA por sus siglas en inglés (26).

Con respecto, a las manifestaciones en salud para humanos, los efectos pueden darse por diferentes vías de exposición; por ejemplo, cuando es por inhalación, puede causar leve irritación de la nariz y garganta, aunque al contacto con los ojos, genera irritación intensa. Con respecto al contacto con la piel, genera sensibilización y una pequeña o baja irritación. Cuando

la exposición es por ingestión, genera intoxicación aguda y los síntomas se presentan según la dosis ingerida. Cuando la ingestión es de 5 a 150 ml se presentan síntomas leves, principalmente gastrointestinales, como náuseas, vómito, diarrea y dolor abdominal, que se resuelven en el lapso de 24 horas. Con ingestión de 20 a 500 ml, se presentan síntomas moderados gastrointestinales que duran más de 24 horas, como hemorragias gastrointestinales, esofagitis o gastritis verificables por endoscopia, y ulceración oral e hipotensión. En las intoxicaciones graves se puede presentar disfunción respiratoria, falla renal, falla cardíaca, coma y muerte (26).

Respecto a los estudios de genotoxicidad, mutagenicidad y citotoxicidad los resultados han mostrado divergencia. Por ejemplo, aunque ninguno de los estudios sobre mutagénesis requeridos para el registro del glifosato reportó efectos en un principio, los resultados fueron diferentes en evaluaciones posteriores a formulaciones comerciales a base de glifosato. Es el caso de estudios en laboratorio realizados con varios organismos en los que se encontró que el Roundup® incrementó la frecuencia de mutaciones letales recesivas ligadas al sexo en la mosca de la fruta o se identificó daño al ADN en pruebas de laboratorio con tejidos y órganos de ratón, así como efectos nocivos en estudios de linfocitos humanos, los que mostraron que el glifosato produce cambios en el ADN de cromátides hermanas(54,55).

Por otro lado en un estudio en humanos cuyo objetivo fue identificar si había asociación entre altas exposiciones acumulativas a glifosato (GBH) y un mayor riesgo de linfoma no Hodking (NHL), se obtuvo entre los resultados, que el riesgo meta-relativo general (meta-RR) de NHL en individuos expuestos a GBH aumentó en un 41% (meta-RR = 1,41, IC 95%: 1,13-1,75)(56-58).

1.3.1 Modo de acción del glifosato

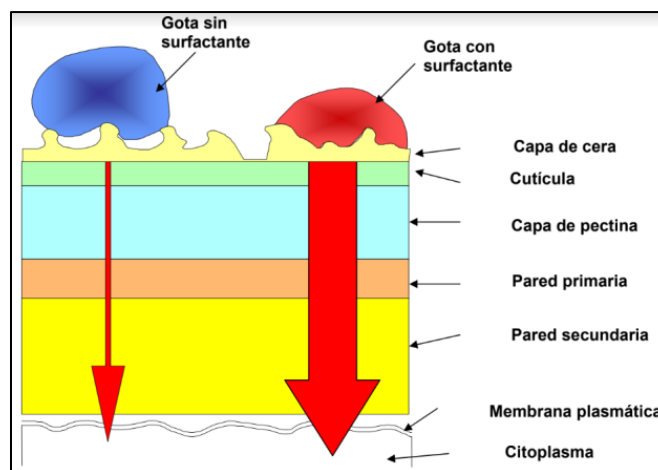
La acción herbicida del glifosato probablemente se debe a la inhibición de la biosíntesis de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano) usados en la síntesis de proteínas y que son esencialmente para el crecimiento y sobrevivencia de la mayoría de las plantas(59). El glifosato inhibe la enzima 5-enopiruvilchiquimato-3-fosfato sintasa importante en la síntesis de aminoácidos aromáticos, también puede inhibir o reprimir la acción de otras de las dos enzimas involucradas en otros pasos de los mismos aminoácidos la clorismatomutasa y pretonato hidratasa, todas estas enzimas forman parte de la vía del ácido químico, presente en las plantas superiores y microorganismos pero no en animales. El glifosato puede también afectar otras enzimas no relacionadas con las vías del ácido shikimico. En caña de azúcar reduce la actividad de una de las enzimas involucradas en el metabolismo del azúcar la ácido invertasa, esta reducción parece estar mediada por auxinas que son hormonas de las plantas(45,59).

1.3.2 Formulantes y coadyuvantes

Los formulantes son sustancias que se añaden al ingrediente activo de un plaguicida en el momento de su manufactura para mejorar su eficacia y facilidad de uso. Estos formulantes sirven para muchos propósitos y comprenden un rango muy amplio de sustancias, que van desde solventes hasta surfactantes y modificadores del pH. La formulación del glifosato que se usa en Colombia incluye varios formulantes, los adyuvantes se adicionan a los plaguicidas formulados en el momento de su aplicación y como los formulantes, incrementan la eficacia, o facilitan su uso en condiciones especiales las cuales las plagas son difíciles de controlar o cuando se necesita minimizar los efectos no deseados sobre los objetos no blanco. En el programa de erradicación en Colombia, el adyuvante Cosmo-Flux® se agrega en el momento de la aspersión(55,60).

La relativa gran solubilidad en el agua y la naturaleza iónica del glifosato retardan su penetración a través de la cera de la cutícula de la planta, por esta razón, el glifosato formula comúnmente con surfactantes que disminuyen la tensión superficial de la solución e incrementan la penetración en los tejidos de las plantas(61,62).

A continuación, se presenta la forma de penetración de un herbicida como el glifosato a través de la cera de la cutícula en ausencia del surfactante (izquierda) y en presencia de él (derecha) (figura 5)(63).

Figura 5. Penetración del herbicida con y sin surfactante

Fuente: (49)Mann RM, Bidwell JR. The toxicity of glyphosate and several glyphosate formulations to four species of southwestern Australian frogs. Arch Environ Contam Toxicol. Febrero de 1999; 36(2):193-9

1.3.2.1 Surfactantes en la formulación del glifosato

Los surfactantes más utilizados en las formulaciones comerciales de glifosato son los POEA (polioxietilenamina). Diferentes estudios han sugerido que este tipo de surfactantes son tóxicos solos o en combinación con glifosato.

A continuación se describen los efectos observados generados por estos productos:

En un estudio el glifosato mostró actividad estrogénica en cultivos celulares lo que indica que pudiera actuar como un disruptor endocrino pero los surfactantes tales como POEA (polioxietilenamina) no mostraron ningún efecto ni aumentaron el efecto del glifosato, mientras que otros estudios demostraron que los surfactantes como la POEA (polioxietilenamina) produjeron inhibición de la actividad de la aromatasa en cultivos celulares y su uso combinado con glifosato potenció la inhibición enzimática de este último (64–66).

Un estudio evidenció que la formulación comercial de glifosato que contenía POEA (polioxietilenamina) redujo a la mitad la concentración necesaria de glifosato para causar daño mitocondrial y daño de las membranas en cultivos de células bucales así como la generación de micronúcleos y aberraciones cromosómicas y que la inhalación de estos compuestos podría generar daño al ADN de los individuos expuestos(67). En otro estudio se observó que la apoptosis y el daño genético (ADN) en cultivos de células pulmonares solo se evidenció en combinación del glifosato con el surfactante POEA (polioxietilenamina) (68).

Por otro lado, Landgrand y Cols observaron mayor severidad en la sintomatología en las personas que se expusieron a glifosato que tuvieran como surfactante POEA

(polioxietilenamina) que las personas que se expusieron a otro tipo de surfactantes y solo se observaron casos mortales en los expuestos a POEA (69)

Uno de los efectos más apreciados con el uso de surfactante es la sensibilización dérmica sugerida por la alteración en cultivos celulares de células dendríticas expuestas a POEA (polioxietilenamina) y su combinación con glifosato no aumentó este riesgo(70), finalmente se ha evidenciado que los surfactantes tales como POEA (polioxietilenamina) produjeron daño celular más marcado en líneas hepáticas. placentaria y embrionarias(71) así mismo se demostró un potenciación del efecto del glifosato cuando se combinó con este tipo de surfactantes(72).

Revisiones recientes han evidenciado que los surfactantes tipo POEA son sustancias que son hasta 10 veces más tóxicas que el mismo glifosato(73), que su combinación con glifosato potencia sus efectos (74,75) y que se comportan como fuertes irritantes y sensibilizantes dermatológicos(76) Adicionalmente, se ha observado que las formulaciones comerciales de glifosato potencian los efectos genotóxicos de este compuesto(54).

1.3.2.2 Cosmoflux 411 F

El Cosmo-Flux®, se agrega al glifosato en el momento de su aspersión. El Cosmo-Flux® es un adyuvante agrícola que contiene surfactantes no iónicos (una mezcla de polietoxilatos lineales y ariletoxilados-17% peso/volumen) e isoparafinas (83% v/v). Este adyuvante se agrega comúnmente a las formulaciones de plaguicidas para mejorar la eficacia por medio de varios mecanismos(77).

Por ejemplo, los surfactantes como los polietoxilatos lineal en el Cosmo-Flux® aumentan la eficacia al incrementar la superficie de adherencia del blanco, promover una mejor diseminación de las gotas, una mejor dispersión, la prevención de la agregación y el aumento de la penetración de los herbicidas en los tejidos de la planta objetivo por medio de la reducción de la tensión superficial de las plantas. Los surfactantes pueden también romper la cutícula de cera no hidrosoluble y así, incrementar la penetración del agente activo del herbicida.

Los aceites básicos, como las isoparafinas del Cosmo-Flux®, son otra clase de adyuvantes utilizados en las formulaciones de los plaguicidas. Se usan primordialmente para ayudar a la absorción foliar del plaguicida al romper la cutícula de cera de la superficie externa del follaje, lo cual aumenta la permeabilidad de la membrana celular(77).

1.3.3 Formulaciones del Glifosato utilizadas para la aspersión de cultivo de coca

De acuerdo con investigaciones realizadas en invernaderos en Maryland (Estados Unidos) y en otros escenarios de campo en Hawái entre 1995 y 1997 con la adición de dos surfactantes AL77 y Optima, al glifosato en la formulación Rodeo, se incrementó cuatro veces la toxicidad del glifosato a la coca, comparado con la fórmula comercial Roundup®: 1:1 kg/ha de glifosato

comercial (Roundup®) (Collins&Helling); de acuerdo con este estudio, esta mezcla fue la utilizada hasta el 2015 en Colombia para erradicación de cultivos ilícitos de coca y fue modificada para mejorar los resultados y ser aplicados en el periodo actual(43,77,78).

En revisiones de interés acerca de las mezclas utilizadas en los cultivos en los años del programa se encontró que se usaron dos surfactantes AL 77: mezcla 1:1 en volumen de Agri-Dex y Silwet L-77. Agri-Dex: mezcla de derivados polietoxilados de petróleo con base en parafina, de alto peso, y emulsificantes con base en sorbitan y éster (79).

Uno de los surfactantes con mayor toxicidad reportado en estudios anteriores es el Silwet L77, principio activo: polialkilenooxido modificado heptametiltrixilosano, observándose diferentes conclusiones y muchas de ellas presuntivas como efecto negativo sobre la salud humana, las cuales involucran diferentes eventos, dérmicos, reproductivos, respiratorios; así como irritaciones oculares en trabajadores, considerando sus actividades laborales y después de exposición durante la mezcla, cargue o aplicación. También es conocido en otros estudios, el reporte de náuseas y mareos después de la exposición, así como problemas respiratorios, aumento de la presión sanguínea y reacciones alérgicas; otros efectos han sido comprobados en diferentes ecosistemas, por ejemplo efectos cancerígenos y mutagénico cuando los estudios se realizan con formulaciones comerciales a base de glifosato (80,81).

1.4 Consideraciones sobre la clasificación técnica del Glifosato

La resolución 2075 de 2019, presenta el manual que reglamenta la aplicación de la decisión 804 de la comisión de la comunidad Andina, estableciendo los requisitos para el registro de plaguicidas químicos de uso agrícola en los países miembros de dicha comunidad. De igual forma aborda aspectos económicos, de salud y ambiente, que deben acreditar los solicitantes de registros.

En este compendio normativo, se identifican elementos clasificatorios de la identidad, las propiedades físicas y químicas de la sustancia que ha de someterse a la clasificación, aspectos relacionados a su utilidad, efectos tóxicos en diferentes especies mamíferas, efectos tóxicos sobre otras especies, residuos en productos tratados, efectos sobre el medio abiótico, información como respecto a la seguridad y métodos analíticos.

1.5 Peligro

La sentencia T-236/2017 base normativa de este estudio, plantea como “peligro”, a todo producto o procedimiento que pueda tener efectos perjudiciales para la salud humana(17).

Es una fuente o situación con potencial de daño en términos de lesión o enfermedad, daño a la propiedad, al ambiente de trabajo o una combinación de estos(82)

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), clasifica los peligros según la naturaleza y otros aspectos como la vida media de las sustancias(83). Se describen a continuación:

Según su naturaleza:

- Peligros biológicos: bacterias, virus y parásitos patogénicos, determinadas toxinas naturales, toxinas microbianas, y determinados metabólicos tóxicos de origen microbiano.
- Peligros químicos: pesticidas, herbicidas, contaminantes tóxicos inorgánicos, antibióticos, promotores de crecimiento, aditivos alimentarios tóxicos, lubricantes y tintas, desinfectantes, micotoxinas, ficotoxinas, metil y etilmercurio, e histamina.
- Peligros físicos: fragmentos de vidrio, metal, madera u otros objetos que puedan causar daño físico al consumidor.

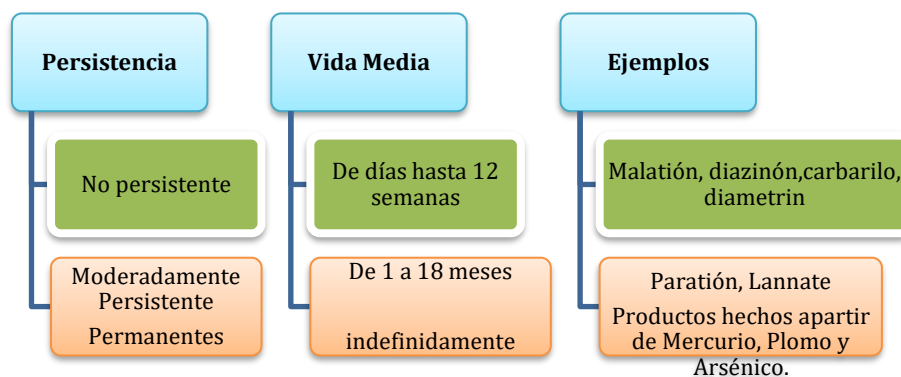
Los peligros pueden incluir fuentes con el potencial de causar daños o situaciones peligrosas, o circunstancias con el potencial de exposición que conduzca a lesiones y deterioro de la salud (84), a continuación se presenta la clasificación según su composición química, el nivel de riesgo y toxicidad(figura 6), posteriormente la figura con clasificación de vida media de las sustancias químicas (figura 7) (38,83,85)

Figura 6. Clasificación de las sustancias según composición química, nivel de riesgo y toxicidad en ratas

Clase	Toxicidad	DL ₅₀ oral en ratas por mg/Kg de peso	DL ₅₀ en ratas por mg/Kg de peso
•Clase IA •Clase IB •Clase II •Clase III	•Extremadamente tóxicos •Altamente peligrosos •Moderadamente peligroso •Ligeramente Peligroso	•< 5 •5-50 •50-2000 •Menor de 2000 •5000 ó superior	•< 50 •50 - 200 • 200-2000 •superior a 2000

Fuente: International programme on chemical safety (IPCS), organizacion mundial de la salud (OMS). The who recommended classification of pesticides by Hazard and guidelines to classification

Figura 7. Clasificación vida media de las sustancias químicas



Fuente: International programme on chemical safety (IPCS), organizacion mundial de la salud (OMS). The who recommended classification of pesticides by Hazard and guidelines to classification

1.6 Riesgo

El término “Peligroso” define la capacidad de una sustancia de producir efectos adversos en los organismos, y el término “riesgo” describe la probabilidad de que, en una situación dada, una sustancia peligrosa produzca daño. Se dice que una persona se puso en “riesgo” cuando esta “expuesta” a un “peligro” y la magnitud del riesgo es una función de peligrosidad de la sustancia y de la magnitud de la exposición(86).

$$\text{RIESGO} = f(\text{exposición, peligro})$$

Para que exista un riesgo es necesario que se esté expuesto a una sustancia y que esta exposición represente un peligro para la salud. Se necesitan tanto el peligro como la exposición, si alguno de ellos es igual a cero entonces no hay riesgo. La toxicidad es una medida del peligro inherente a la sustancia(87).

Efecto de la incertidumbre: un efecto es una desviación de lo esperado, incertidumbre es el estado, incluso parcial de deficiencia de información relacionada o conocimiento de un evento, su consecuencia o su probabilidad. Con frecuencia el riesgo se expresa en términos de una combinación de las consecuencias de un evento (84)

La probabilidad de que un evento ocurra abarca una variedad de medidas de probabilidad de un resultado generalmente no favorable (MeSH/NLM). Número esperado de pérdidas humanas, personas heridas, propiedad dañada e interrupción de actividades económicas debido a fenómenos naturales particulares y por consiguiente, el producto de riesgos específicos y elementos de riesgo(82).

1.7 Evaluación de riesgo

Para estimar el riesgo que significa la presencia de un tóxico en un sitio determinado es necesario conocer su toxicidad, la cantidad de tóxico que entra en contacto con el organismo o la población en estudio y las condiciones en las que se da este contacto(29,88).

La evaluación del riesgo se refiere a la técnica para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo. La evaluación de riesgo tiene como meta estimar la severidad y probabilidad de que se produzca un daño para la salud humana y el ambiente por una actividad o exposición a una sustancia, que bajo circunstancias es probable que pueda causar daño a la salud humana o al ambiente. El libro sobre evaluación de riesgos y restauración ambiental, presenta cuatro elementos que permiten estimar la probabilidad de ocurrencia (riesgo) para la salud por exposición a sustancias químicas, las cuales son: evaluación de la fuente/mecanismo de emisión, evaluación de la exposición, evaluación de dosis/ respuesta y caracterización del riesgo(87). De forma paralela se encuentra la propuesta por la OMS, que de manera similar plantea cuatro pasos para evaluar el riesgo para la salud humana por exposición también a este tipo de sustancias; (I) identificación del peligro, (II) caracterización del peligro, (III) evaluación de la exposición y (IV) caracterización del riesgo. indistintamente de la herramienta, una evaluación de riesgo, permite identificar la probabilidad de que se presente un efecto adverso para la salud de una población o del ambiente como consecuencia de la exposición a un agente potencialmente nocivo (29,88).

En la misma vía, la evaluación de riesgos para la salud humana es un proceso concebido para calcular el riesgo al que se expone un determinado organismo, sistema o (sub)población objetivo, incluyendo la identificación de incertidumbres consiguientes, la exposición resultante a un agente concreto, considerando las características inherentes del agente de interés, así como las características del sistema objetivo concreto(29).

De igual forma, es un proceso sistemático para recopilar, evaluar y documentar información para asignar un nivel de riesgo. Proporciona la base para tomar medidas para gestionar y reducir las consecuencias negativas de riesgos agudos para la salud pública. El ciclo de gestión de riesgos incluye(89):

- Evaluación de riesgos: exposición y contexto, evaluación de riesgos y caracterización de riesgos en los que el nivel de riesgo se asigna al evento.
- Identificación de posibles medidas de control: clasificadas por prioridad, teniendo en cuenta la probabilidad de éxito, factibilidad de implementación y consecuencias no deseadas para los afectados, la población y sociedad en general.
- Monitoreo y evaluación continua a medida que se desarrolla el evento.
- Comunicación efectiva y continua para garantizar que los gestores de riesgos, otras partes interesadas y afectados (las comunidades) entiendan y apoyen las medidas de control que se implementen.
- Una evaluación de las lecciones aprendidas al final de la respuesta.

Por su parte, la OPS plantea el concepto de riesgo en el contexto de la inocuidad alimentaria como la probabilidad (posibilidad) de que un peligro no sea controlado en una etapa del proceso y afecte la inocuidad del alimento y por ende la salud humana, lo que puede establecerse por medio de un análisis estadístico del desempeño de la respectiva etapa del proceso. La evaluación del riesgo debe contemplar la frecuencia con que ello ocurre en los consumidores y también su gravedad. Pese a que existen datos sobre la evaluación cuantitativa del riesgo de algunos peligros, su determinación numérica no siempre está disponible(83).

Presentado lo anterior, la evaluación del riesgo es, *“de preferencia, cualitativa, obtenida por la combinación de experiencias, datos epidemiológicos locales o regionales e información bibliográfica específica. Los datos epidemiológicos son una herramienta importante para evaluar riesgos, porque indican cuáles productos vehiculan con mayor frecuencia los agentes peligrosos a la salud del consumidor”*(29,88).

Así mismo, el documento de la OMS presenta como punto importante y en síntesis, cinco viñetas o etapas a tener en cuenta en un análisis de peligros(29,83):

- Análisis detallado de los peligros posibles en la materia prima.
- Evaluación de las etapas del proceso y su influencia sobre un peligro y el aumento del riesgo.
- Observación, in situ, de las condiciones de procesamiento.
- Realización de análisis (físicos, químicos y biológicos) para recoger datos que puedan orientar el análisis de peligros.
- Análisis final de los resultados.

El riesgo puede clasificarse en grados, que varían de alto a moderado, bajo o insignificante. Esos datos pueden usarse para determinar correctamente los puntos críticos de control, el grado de vigilancia necesario y cualquier cambio en el proceso o en los ingredientes que pueda reducir la intensidad del peligro existente. La siguiente figura ilustra un método para analizar la significancia del peligro. Considerando la probabilidad de ocurrencia (inversa al grado de control) y la gravedad de las consecuencias, la significancia del peligro puede ser diferenciada como satisfactoria (A), menor (Mi), mayor (Ma) o crítica (Cr)(83)(Figura 8).

Figura 8. Modelo bidimensional de evaluación de riesgo a la salud

Probabilidad de ocurrencia	Alta	A	Mi	Ma	Cr
	Mediana	A	Mi	Ma	Ma
	Baja	A	Mi	Mi	Mi
	Insignificante	A	In	In	In
			Baja	Media	Alta
Gravedad de las consecuencias					

Fuente: Clasificación de los peligros, OPS.

1.8 Identificación del peligro

La identificación de peligro suele ser el primer paso en una evaluación de riesgos y es el proceso que se emplea para identificar el peligro químico específico y para determinar si la exposición a ese producto químico tiene el potencial para dañar la salud humana. Para efectos de la herramienta, la identificación de peligro implica establecer la identidad del producto químico de interés y determinar si las organizaciones internacionales han considerado peligroso el producto químico y si así lo han hecho, en qué grado puede clasificarse(37).

1.9 Caracterización del peligro

Es la evaluación cualitativa y/o cuantitativa de la naturaleza de los efectos de salud adversos asociados con agentes biológicos, químicos y físicos que pueden estar presentes en los alimentos. Para el propósito de la evaluación del riesgo microbiano concierne lo relacionado a microorganismos y/ o sus toxinas. Hay dos partes en esta caracterización: - Una descripción de los efectos del peligro y - La relación de la Magnitud - Respuesta y Severidad y/o Frecuencia de los efectos de salud adversos. La Evaluación de la Dosis- Respuesta consiste en la relación entre la magnitud de la exposición (dosis) a un agente biológico, químico o físico y la severidad y / o frecuencia del efecto de salud adverso (respuesta). Para cualquier individuo particular la respuesta-dosis relaciona a la cantidad del peligro que ingiere con el chance de ser infectado y la escala de la enfermedad.(90)

La caracterización de peligros ya sea como parte de una evaluación de riesgos o como un proceso independiente es un procedimiento repetitivo. En general las caracterizaciones del peligro son bastante adaptables entre evaluaciones de riesgo. El comienzo de la caracterización de peligros requiere una fase de planificación sistemática para identificar el marco la finalidad el ámbito y la orientación del estudio que se va a llevar a cabo. (91)

1.10 Evaluación de la exposición

Se emplea la evaluación de exposición para determinar si las personas están en contacto con un producto químico potencialmente peligroso y, si así es, hasta qué punto, mediante qué ruta, a través de qué medio y durante cuánto tiempo se presenta la exposición (31,32). Dado que la caracterización del peligro y la caracterización del riesgo dependen de: la ruta (oral, inhalación, cutánea), la duración (corto, medio y plazo) y la exposición; el conocimiento sobre cómo y cuándo pueden estar expuestas las personas es fundamental para la determinación de un valor orientativo o de referencia adecuado. Al combinarse con información sobre la caracterización del peligro o un valor orientativo de referencia, la información sobre la exposición se emplea para caracterizar los riesgos sanitarios (30).

Es necesario resaltar que, para efectos del cálculo de la exposición, la información teórica utilizada, puede no representar la realidad específica de los municipios objeto de estudio, toda vez que variables como, la tasa de contacto o ingesta diaria y los factores de exposición para cada vía, fueron tomados de referencias nacionales e internacionales, que, si bien cuentan con un rigor científico alto, obedecen a valores promediados y generales para el país. En este sentido, se recomienda fortalecer los resultados del presente capítulo, con el levantamiento primario de información por medio de la caracterización del consumo, de tal manera que se puedan determinar dichas variables con exactitud y que las mismas sean diferentes entre las comunidades, veredas o municipios del estudio, de conformidad con los escenarios reales de exposición vivenciados por cada uno de ellos.

La concentración de exposición es la manifestación de un producto químico en un medio con el que una persona está en contacto. Dichos medios incluyen el aire, el agua y el suelo en ubicaciones interiores y exteriores frecuentadas por una población. Otros medios serían los alimentos y los productos de consumo con los cuales las personas entran en contacto. Lo ideal sería obtener concentraciones de exposición para los medios, ubicaciones y duraciones representativas del contacto humano potencial con un producto químico de interés (30,94,95). En la **Figura 22**, se muestra la hoja de ruta utilizada para realizar la evaluación de la exposición.

El procedimiento para realizar la evaluación se describe a continuación:

1.10.1 Rutas y vías de exposición

Para la identificación de la ruta de exposición se determinaron los siguientes parámetros:

- **Fuente de contaminantes**

El primer elemento de una ruta de exposición se determina por la identificación de todas las fuentes emisoras de contaminantes, teniendo en cuenta que en algunos casos éstas pueden ser múltiples (30). Es necesario establecer cómo y dónde la sustancia tóxica es emitida al medio, preguntando, por ejemplo:

- a. ¿Cómo es emitida la sustancia (de manera constante, intermitentemente o de una sola vez)? ¿Qué cantidad se ha emitido? (30)
- b. ¿Dónde está localizada esta fuente en relación con el entorno físico, y a las poblaciones potencialmente afectadas? (30)

- **Medios físicos afectados y Mecanismos de transporte y/o transformación**

La evaluación de los medios físicos afectados y mecanismos de transporte y transformación es la fase dentro de la evaluación de exposición que permite determinar cómo los contaminantes pueden pasar de una zona de origen (fuente) hasta el punto de contacto donde la población puede llegar a estar expuesta (30,95).

Dependiendo de la trascendencia del problema se puede aplicar el “peor escenario posible”, respondiendo a preguntas tales como:

- ¿Cuál es la probabilidad de que un contaminante migre desde un cuerpo de agua superficial a un acuífero subterráneo que se utiliza en el abastecimiento de agua potable a la población? (30)
- ¿Qué probabilidad existe de que los contaminantes del suelo o sedimentos se acumulen en plantas, animales, o pescado? (30)

Asimismo, se debe tener en cuenta que los factores que pueden afectar al transporte de los contaminantes dependen de las condiciones climáticas y características físicas del sitio (30,95). Algunos de estos factores son:

- a. Tasa de precipitación anual.
- b. Temperatura.
- c. Velocidad y dirección del viento.
- d. Características geomorfológicas del sitio.
- e. Características pedológicas del sitio.
- f. Características del uso y cobertura del suelo
- g. Altimetría y pendientes en el sitio
- h. Red hídrica de la cuenca
- i. Tipología y características de los acuíferos en el sitio

- **Punto de contacto**

El punto de contacto o punto de exposición se refiere al lugar en el cual las personas pueden entrar en contacto con un medio contaminado. Pueden ser identificados revisando los usos pasados, presentes y futuros del suelo y los recursos naturales (30,95).

- **Vías de exposición**

Las vías de exposición son los medios por los cuales un compuesto tóxico entra en el organismo una vez haya ocurrido el contacto. Las vías de exposición incluyen: la ingestión, inhalación y el contacto dérmico (Tabla 4) Cuando se lleva a cabo la evaluación de la exposición se deben considerar todas las vías de exposición relevantes para cada medio y punto de contacto, incluyendo aquellas que nos podrían parecer infrecuentes, pero priorizando por orden de importancia (30,95).

Una vez que una determinada vía ha sido identificada como relevante o potencial para una determinada ruta de exposición, se busca información sobre la duración de la exposición por dicha vía, y la frecuencia con la que se produjo ese contacto (Ej. 2 veces a la semana, diariamente, 1 vez/mes, etc.) (30,95).

Tabla 4. Vías de exposición específicas posibles para principales medios físicos.

Medio físico	Vías de exposición
Agua	- Ingestión directa. - Contacto dérmico /contacto ocular. - Inhalación secundaria derivados de actividades domésticas (Ej. Inhalación de trihalometanos presentes en el agua durante duchas o baños prolongados).
Suelo	- Ingestión directa (principalmente niños pequeños de pocos meses a 5 años) (fenómeno pica). - Contacto dérmico /contacto ocular. - Inhalación de compuestos químicos volátiles presentes en el suelo. - Inhalación de partículas de polvo que puedan llevar adheridas sustancias tóxicas
Aire	- Inhalación. - Contacto dérmico /contacto ocular.
Biota/cadena alimentaria	- Ingestión directa de vegetales o de origen animal que provengan de la zona afectada, o como consecuencia de la deposición de contaminantes desde el aire, o porque hayan sido irrigados con agua contaminadas o cultivados en suelos contaminados. - Contacto dérmico con plantas, animales o productos contaminados.

Fuente: Adaptado de OMS, 2017.

- **Caracterización de la población potencialmente expuesta**

Para que una sustancia tóxica pueda ocasionar un efecto adverso, un organismo tiene que entrar en contacto con la misma, es decir, exponerse. Seguidamente, para cada ruta de exposición se deben identificar los grupos dentro de la población que pueden haber estado expuestos (pasado), que están expuestos (presente) o que pueden llegar a estar expuestos (futuro). En esta identificación se tendrá en cuenta la información secundaria referente a las fuentes de exposición, medio afectado y punto de contacto, tratando de diferenciar grupos más expuestos o de especial vulnerabilidad, tales como, grupos que padezcan delgadez crítica. Cuando no sea posible identificar poblaciones asociadas a una ruta de exposición en el pasado,

presente o futuro, la ruta de exposición puede ser desestimada para la fase subsiguiente de cuantificación de la exposición (30,95,96).

1.11 Caracterización de rutas de exposición

Dependiendo de la disponibilidad de datos de cada uno de esos cinco elementos y de la incertidumbre que afecte a dicha información las rutas de exposición se clasificaron en:

- a. Rutas completas: aquellas en las que se puede relacionar la fuente emisora con la población afectada a través de los elementos intermedios con certeza, independientemente de que la exposición sea pasada, presente o futura. Con respecto a esto, diremos que existe una futura ruta de exposición completa, cuando exista contaminación ambiental en un punto de contacto en la actualidad, o en un medio físico que pudiera llegar a ser punto de exposición en días, semanas, meses o años (Ej. Terrenos que usó el sector industrial con restos de contaminación que han sido recalificados en terrenos urbanizables). Además, en este caso debe haber certeza de que un grupo de población tendrá acceso no restringido al punto de contacto contaminado (30,88).
- b. Rutas potenciales: son aquellas en las que falta uno o más elementos de los que constituyen una ruta de exposición, indicando que la exposición a un contaminante podría haberse producido en el pasado, puede darse en el presente o podría producirse en el futuro. También se incluyen en esta categoría aquellas rutas en las que la información de algunos elementos se ha obtenido de manera indirecta (Ej. modelización de datos de contaminación de un acuífero a partir de datos de suelos contaminados o de datos de otro acuífero), es decir, cuando el grado de certidumbre sobre esos datos no es alto (30,88).
- c. Rutas descartables: se desestima una posible ruta de exposición sospechosa a priori cuando por las características del sitio y la información disponible de los elementos implicados, existe una muy baja probabilidad de que se produzca una exposición pasada, presente o futura. Ello no incluiría aquellos proyectos cuyo desarrollo futuro supongan una contaminación de un medio físico, a menos que se pruebe de manera contundente que se establecerán medidas de control ambiental las cuales limitarán toda exposición humana a la posible contaminación ambiental que se genere (30,88).

1.12 Cálculo de la exposición: planteamientos de modelización o de medición

Mientras las concentraciones de exposición en el aire y los medios de ingestión por persona, como el agua potable, deberían estar entre las estimaciones de exposición real a un producto químico, en la práctica, determinarlas puede resultar complicado, costoso o poco práctico. Con consciencia de dicha limitación, las evaluaciones de riesgos, en particular las evaluaciones de riesgos de nivel de diagnóstico se basan en las concentraciones químicas en los medios

ambientales a los que se puede acceder de un modo sencillo, como el aire exterior, el aire interior, el agua de los lagos y los ríos y el suelo exterior. Se pueden determinar estas concentraciones a partir de una campaña de medición o una labor de modelización(30,88).

Las exposiciones se pueden medir directamente, estimar mediante el empleo de modelos o generalizar a partir de datos existentes. Todos requieren que se determinen las exposiciones durante periodos de tiempo relevantes para los resultados de salud adversos. Por ejemplo, si el peligro para la salud relevante tiene un carácter crónico, la exposición también deberá ser a largo plazo. De los tres métodos, estimar las exposiciones a partir de datos existentes a menudo puede resultar el planteamiento más simple. No obstante, dichos datos no suelen estar disponibles o ser del todo pertinentes para la evaluación de riesgos en cuestión(97,98).

1.13 Modelos conceptuales de medición

Por lo general, los modelos de exposición requieren información acerca de la concentración de un producto químico en un medio y del periodo de tiempo durante el cual las personas están en contacto con la sustancia. Se pueden medir o estimar las concentraciones del compuesto a partir de la utilización de agregados químicos o de los datos previos. Las concentraciones en medios específicos se pueden estimar mediante el uso de varios modelos públicos disponibles que han recomendado las organizaciones internacionales o que se han examinado en la bibliografía científica y que se adoptan extensamente en el campo de la salud medioambiental. Se pueden utilizar dichos modelos para estimar, por ejemplo, las liberaciones químicas a la atmósfera, el destino y el traslado de productos químicos en acuíferos o aguas subterráneas o la distribución de sustancias químicas entre múltiples medios ambientales(30,88,99).

1.14 Cuantificación de la exposición por método indirecto

En la práctica, se suelen expresar las exposiciones como una concentración del químico en el medio de exposición o como una tasa de contacto con un compuesto durante una duración determinada. Por consiguiente, este paso de la Herramienta debe generar una estimación de la exposición que esté en la misma forma que el valor orientativo o de referencia; es decir, o una tasa o una concentración (88).

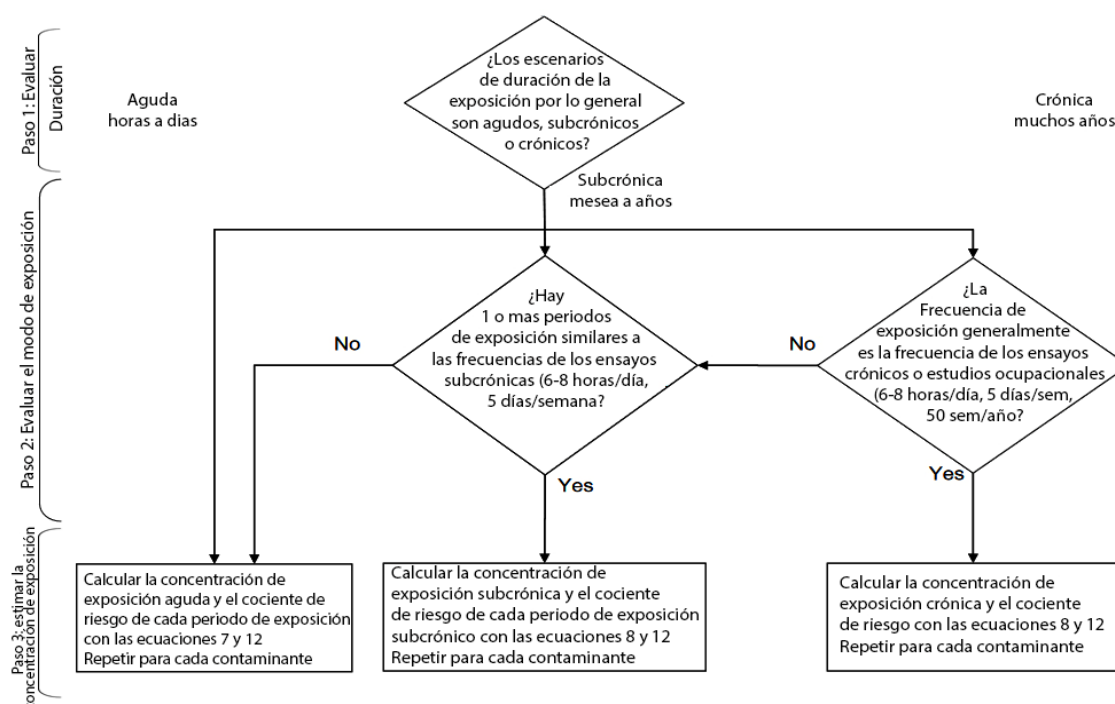
Por ejemplo, las concentraciones en los medios de contacto se expresan habitualmente en unidades de microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para el aire, en microgramos por litro ($\mu\text{g}/\text{L}$) para el agua y en miligramos por kilogramo (mg/kg) para los sólidos como el suelo, el polvo y los alimentos. Normalmente se denomina la tasa de exposición para un producto químico como la dosis diaria media, con unidades de miligramos de producto químico por kilogramo de peso corporal por día (mg/kg de peso corporal por día). En general, la tasa de exposición se calcula como la concentración de un producto químico en un medio de exposición

multiplicada por la tasa en que una persona inhala o ingiere dicho medio, dividido entre el peso corporal representativo (95).

1.15 Consideraciones de la evaluación de riesgo por inhalación de Glifosato

La sección F (Guía suplementaria de evaluación de riesgo por inhalación) de la Guía de evaluación de Riesgos de sitios Superfund de la EPA se proponen 3 casos para la ruta de exposición inhalatoria dependiendo duración de la exposición (aguda, subcrónica y crónica), cada caso conlleva al empleo de ecuaciones diferencias para la estimación del riesgo. Se debe considerar la siguiente figura (9) para definir en cual caso se encuentra el sitio problema o el escenario que se desea recrear(100).

Figura 9. Esquema del procedimiento sugerido por la EPA para analizar los escenarios de exposición inhalatorios que derivan en el cálculo de las concentraciones de exposición y los cocientes de riesgo



Con base al esquema anterior, las ecuaciones que se deben emplear para estimar la concentración de exposición inhalatoria aguda son:

$EC = CA$ Ecuación 7 (Guía suplementaria de evaluación de riesgo por inhalación)

Donde EC es la concentración de exposición en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y CA es la concentración del contaminante en el aire en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

En el caso de una exposición inhalatoria crónica y subcrónica:

$EC = CA \times ET \times EF \times ED / AT$ Ecuación 8 (Guía suplementaria de evaluación de riesgo por inhalación).

Donde EC es la concentración de exposición en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y CA es la concentración del contaminante en el aire en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ET es el tiempo de exposición en horas/día, EF es la frecuencia de exposición en días/año, ED es la duración de la exposición en años y AT es el tiempo promedio estimado a partir de

$$ED (\text{años}) \times 365 \text{ días/año} \times 24 \text{ horas/día}$$

$HQ = EC / (\text{Valor de toxicidad} \times 1000 \mu\text{g}/\text{mg})$ Ecuación 12 (Guía suplementaria de evaluación de riesgo por inhalación)

Donde HQ es el cociente de riesgo adimensional, EC es la concentración de exposición en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el valor de toxicidad es la concentración de referencia inhalatoria (RfC) apropiada de acuerdo con el escenario de exposición.

1.16 Caracterización del riesgo

Según la herramienta de la OMS, El último paso en una evaluación de riesgos, es la caracterización del mismo, este se consolida a través de un informe cuantitativo de la exposición estimada relativa al valor orientativo basado en la salud, el valor de referencia de calidad característico de los medios u otro valor de caracterización del peligro más adecuados, como la curva de factores de cáncer. El mismo documento refiere, que por lo general el informe de riesgo es obtenido mediante la comparación de la exposición estimada con un valor orientativo o de referencia o mediante un cálculo de riesgo de cáncer extremo de por vida vinculada a la exposición estimada (ver Figura 74. Hoja de ruta genérica para la caracterización del riesgo- estudio: Glifosato (29).

1.17 Umbrales aceptados internacionalmente para el glifosato

En Colombia no existen límites establecidos del glifosato para ninguna matriz ambiental o para su presencia en alimentos de ninguna categoría. Únicamente se encuentra regulada la aspersión a través del decreto 1843 de 1991, de la estrategia PECIG (Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante aspersión aérea con el herbicida Glifosato - PECIG) y del plan de manejo ambiental del PECIG. De acuerdo a la información provista por la dirección antinarcóticos, para el proceso de aspersión de cultivos ilícitos se tienen las siguientes consideraciones (100,101):

- Mezcla de glifosato, agua y coadyuvante: 23,65 L./ha (10,40L. de glifosato/Ha)

- Aspersión de 1,04 mL/m²
- Concentración máxima de 480,00 mg/L
- Cantidad teórica de glifosato recibida: 0,499 mL/m²

La dosis de referencia oral para glifosato ha sido establecida por la EPA en 0,10 mg/kg de peso corporal, basado en un factor de incertidumbre de 100 y en un NOEL (No Observed Effect Level) de 10,00mg/kg-día (100).

Con respecto al suelo, la última versión de la tabla de Niveles Genéricos de Referencia de la EPA presenta los siguientes umbrales (TR=1,00 E-06 y THQ=1,00):

Suelo residencial: 6,30E+03 mg/kg

Suelo industrial: 8,20E+04 mg/kg

Finalmente, la EPA consideró que no existen suficientes datos para calcular una concentración de inhalación de referencia. Se considera que la exposición por inhalación, incluso en fumigadores, es baja respecto de la exposición dérmica (100) . Sin embargo, en la base de datos de la IFA se establece para 8 horas de exposición un valor límite de 15,00 mg/m³, y para una exposición corta (15 minutos) en 20,00 mg/m³.

1.17.1 Estimación cuantitativa del riesgo para efectos no cancerígeno

Dependiendo de la naturaleza y propiedades físico-químicas de las sustancias químicas, su presencia en los distintos compartimentos ambientales y de las características y hábitos de la población expuesta, las personas pueden verse expuestas a una misma sustancia a través de una o más rutas de exposición simultáneamente. Por lo tanto, durante la fase de caracterización del riesgo es necesario hacer una valoración del efecto aditivo potencial que puede darse como consecuencia de esa multiplicidad de vías de exposición (102).

1.18 Comunicación del riesgo

La FAO/OMS a través del compendio presentado por su consulta de expertos en 1998, recomienda la siguiente definición para la comunicación del riesgo: *«La comunicación de riesgos es el intercambio de información y opiniones sobre los riesgos y los factores relacionados con los riesgos entre las personas encargadas de la evaluación de los riesgos, las encargadas de la gestión de los riesgos, los consumidores y otras partes interesadas. (...) La comunicación efectiva de riesgos debe tener objetivos que creen y mantengan la fiabilidad y la confianza. Debe facilitar un grado mayor de consenso y apoyo de todas las partes interesadas en la opción o las opciones de gestión de riesgos que se propongan. (...) La Consulta consideró que los objetivos de la comunicación de riesgos son (...) Fomentar la fiabilidad y la confianza del público en la inocuidad del suministro alimentario (...) Intercambiar información, actitudes, valores, prácticas y percepciones de las partes interesadas sobre los riesgos que acompañan a los alimentos y temas conexo.»*(103).

Tal y como menciona el documento, existen diversas formas de comunicar el riesgo; todo depende del organismos y el elemento del que se esté estimando la probabilidad de ocurrencia. Así mismo, reconociendo que sin evaluación de riesgo no es posible su comunicación, es sabido que existen diferentes herramientas presentadas para la evaluación de riesgos que a su vez facilitan la comunicación del mismo; algunas de estas alternativas sugieren como adecuado formular interrogantes transversales en función del elemento al que se le está realizando la evaluación. Para citar un ejemplo, está la herramienta de la OMS, la cual para cada uno de los componentes de evaluación, plantea dichos interrogantes que operan como guías a la hora de consolidar los resultados de la evaluación, y una vez obtenidos las respuestas, plantear sobre estos la forma adecuada de entregar dichos resultados y lograr una distribución de la información confiable y veraz (104,105).

Coherente con lo descrito, la comunicación del riesgo, y según la guía para la elaboración de la estrategia de comunicación de riesgo de la Organización Panamericana de la Salud, es entendida como el proceso de toma de decisiones que tiene en consideración los factores políticos, sociales y económicos; analiza el riesgo como un peligro potencial a fin de formular, estudiar y comparar opciones de control con miras a seleccionar la mejor respuesta para la seguridad de la población ante un peligro probable(106).

Aunque la guía fue diseñada para interactuar con las poblaciones en eventos de emergencias y desastres que puedan representar un peligro para la salud pública de los colectivos, esta es de gran utilidad y adaptabilidad a diferentes escenarios, en donde el objetivo sea el dialogo armonioso de las acciones a desarrollar entre las instituciones y los pobladores, con el fin de lograr el empoderamiento de las comunidades y sean ellas las que ejecuten las acciones que permitan prevenir, mitigar o controlar el peligro o daño a la salud y afectación al bienestar general(106).

La comunicación del riesgo contempla seis elementos fundamentales para su desarrollo:

- La estrategia de comunicación de riesgos
- La comunicación de riesgos
- La población como aliado esencial en la vigilancia y la respuesta
- Comunicación de riesgo y desarrollo
- Practicas óptimas de la OMS para la comunicación de riesgos
- La comunicación eficaz con los medios de información y el publico

Es importante mencionar que la comunicación del riesgo representa la capacidad básica N° 6 del reglamento Internacional Sanitario (RSI), y esta encierra nueve actividades propias para su ejecución, resaltando quizá las que mayormente se articula con otras estrategias y/o políticas públicas, que corresponde a las relacionadas con la transferencia de conocimiento y empoderamiento de las comunidades; para el caso: **(I)** la identificación de colaboradores y aliados, **(II)** la conformación de un equipo de las comunicaciones públicas y **(III)** la identificación y entrenamientos de voceros para responder rápidamente.

1.18.1 La importancia de la comunicación del riesgo

La comunicación es de importancia decisiva al establecer una mejor comprensión del progreso científico que entraña el análisis de riesgos y facilitar una mejor interacción entre todas las partes interesadas. Desde una perspectiva de optimización, la comunicación de riesgos es un medio para ese fin. En el enfoque de la socialización del riesgo, la comunicación con éxito no formadora es el objetivo principal de una estrategia que no trata de influir sino de informar y aportar elementos para la toma de decisiones sobre dos aspectos claves en lo relacionado con los tóxicos: la exposición y el efecto que pueda tener este sobre la salud humana(103,104).

El concepto de la comunicación del riesgo formulada por la FAO/OMS y adaptada al mismo propósito teniendo productos químicos como elemento de análisis de riesgo, se expone desde el factor ético a dos sesgos importantes en cuanto a la confiabilidad y exhaustividad de la información entregada cuando se comunica. El primero, se entra en la probabilidad de creer que hay falta de franqueza y transparencia en la adopción de decisiones que pueda ser obstáculo a la participación efectiva de los receptores en el proceso de aceptación de sus resultados. El segundo, con frecuencia puede parecer que hay un exceso de información que no siempre resulta fácil de comprender(103).

Como complemento, señala el documento de la FAO, la comunicación del riesgo, debe ser un proceso continuo y simultaneo; capaz de garantizar que las etapas del mismo sean interactivas e iterativas; El carácter interactivo de la comunicación de riesgos entre los encargados de adoptar decisiones y entre ellos y los interesados subraya la necesidad de que la comunicación sea efectiva y se integre en todas las etapas del proceso de análisis de riesgos, y no sólo como algo añadido al final para ofrecer una retrospectiva de acontecimientos pasados(107).

1.19 Estrategia de entornos saludables

En 1995 la Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, OPS/ OMS, hizo el lanzamiento oficial de la Iniciativa Regional de Escuelas Promotoras de la Salud, IREPS, dirigida a facilitar la promoción y la educación para la salud con enfoque integral en el ámbito escolar. Esta iniciativa busca la articulación y movilización multisectorial de recursos regionales, nacionales y locales destinados a la creación de condiciones propicias para el aprendizaje y el desarrollo humano integral, el mejoramiento de la calidad de vida y el bienestar colectivo de niñas, niños, jóvenes y demás miembros de las comunidades educativas(108).

En Colombia la Estrategia Escuelas Promotoras de la Salud se adoptó con el nombre de “Escuela Saludable” y fue acogida en 1997 por el Ministerio de Salud, hoy de la Protección Social, para liderarla en el nivel nacional, a comienzos de 1999 los Ministerios de Salud y Educación Nacional, el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar - ICBF, y la OPS/OMS, luego de un

acuerdo, firman y publican los lineamientos nacionales para el desarrollo de la estrategia, con el título de «Escuela Saludable, la Alegría de Vivir en Paz”.

A partir de este trabajo de coordinación interinstitucional surgió el interés y la necesidad de articular la Estrategia de Escuela Saludable a la de Vivienda Saludable, promovida por la OPS/OMS en Colombia desde el año 2003 en el marco de la estrategia de Atención Primaria Ambiental(109).

Colombia ha enmarcado la Estrategia de Entornos Saludables, principalmente en dos entornos: la estrategia de escuela saludable que se define como una estrategia de promoción y protección de la salud con enfoque diferencial en el ámbito escolar y la estrategia de vivienda saludable que consiste en la ejecución de actividades de promoción de la salud y de prevención de enfermedades, reducción de factores de riesgo psicológico y social y el mejoramiento del entorno ambiental de las familias.

A su vez la estrategia Entornos Saludables cuenta con tres ejes que son: *físico, psicosocial y promoción de la salud y prevención de la enfermedad*, encaminados a temas relacionados con la salud y el bienestar de la colectividad como son saneamiento básico, abastecimiento de agua, higiene, infraestructura física, fortalecimiento de principios y valores para vivir en sociedad entre otros(110,111).

1.19.1 Impacto de la Estrategia de Entornos Saludables, EES en la salud de la población

Está demostrado que el deterioro ambiental produce efectos negativos directos e indirectos sobre la salud de las personas y compromete el desarrollo sostenible; mientras que un medio ambiente protegido potencia las posibilidades del hombre de preservar su salud. En los niños y niñas la calidad del ambiente tiene un mayor impacto en la salud, por ser éstos el grupo más vulnerable entre toda la estructura piramidal de la población.

Dos de las cinco principales causas de muerte infantil se agravan debido a las precarias condiciones del ambiente; por ejemplo, las enfermedades diarreicas agudas representan el 8% y las infecciones respiratorias agudas representan casi el 11% de las causas de muerte entre menores de 5 años. Estas muertes relacionadas con el ambiente se asocian principalmente con el agua contaminada, el saneamiento deficiente y el aire contaminado en interiores y exteriores.

La Estrategia de Entornos Saludables permite realizar acciones de promoción, prevención y protección que contribuyen al mejoramiento de las condiciones de salud de las poblaciones en su entorno (hogar, escuela, trabajo, barrio, localidad) promoviendo estilos de vida saludables complementadas con intervenciones de mejoramiento del entorno. (110)

En el año 2003, se inició en el país la promoción y divulgación de la Estrategia Vivienda Saludable - EVS con el apoyo de la OPS/OMS, en el marco de la estrategia de Atención Primaria Ambiental, se elaboró este mismo año un material educativo denominado “Hacia una vivienda

saludable que viva mi hogar”, basados en la metodología SARAR, la cual se caracteriza por la promoción de la participación activa y efectiva de la comunidad en la identificación y búsqueda de solución de sus propias necesidades, en este caso relacionadas con la vivienda. Con el apoyo de dicho material educativo, se ha venido impulsando el desarrollo de la estrategia en el país, a través de la formación de profesionales, técnicos y agentes comunitarios; y en los Lineamientos Nacionales para la EES publicados en el año 2006 (111).

1.20 Estrategia SARAR

En los años 70 es desarrollada la metodología participativa de educación y capacitación no-formal SARAR, por la Dra. Lyra Srinivasan, Ron Sawyer y asociados. Es un enfoque orientado al desarrollo humano que permite a individuos y grupos de diversos contextos y edades: analizar su situación, solucionar problemas, aprovechar oportunidades y planificar creativamente – asumiendo su pleno potencial frente a los retos de la vida. El propósito del enfoque no es enseñar sobre un mensaje o tema específico, sino estimular un proceso de transformación dinámica basado en cinco cualidades personales deseables.

Las siglas contempladas en el nombre de dicha metodología se enmarcan en cinco cualidades personales deseables: **(I)** la seguridad en sí mismo, **(II)** asociación con otros, **(III)** reacción con ingenio, **(IV)** acciones planeadas y **(V)** responsabilidad.(112)

Esta estrategia educativa participativa, aplica el principio de que todo nuevo conocimiento es el resultado del análisis, la interpretación y la reflexión por parte del sujeto con base en la realidad que le rodea y las acciones que frente a ella adopta su grupo familiar y la comunidad.(113)

1.20.1 Gestión del riesgo

La gestión del riesgo se define como el proceso de identificar, analizar, cuantificar las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se desprenden de los desastres o eventos que pueden afectar de forma negativa la salud de las personas; así como de las acciones preventivas, correctivas y reductivas correspondientes que deben emprenderse(114).

El riesgo es una función de dos variables: la amenaza y la vulnerabilidad, ambas son condiciones necesarias para expresar al riesgo, el cual se define como la probabilidad de pérdidas, en un punto geográfico definido y dentro de un tiempo específico. Mientras que los sucesos naturales no son siempre controlables, la vulnerabilidad sí lo es(114).

Existen numerosas definiciones de la vulnerabilidad, Keipi y Mora, definen la vulnerabilidad como la *“exposición, fragilidad y susceptibilidad al deterioro o pérdida de los elementos y aspectos que generan y mejoran la existencia social”* (114).

La gestión de riesgos comprende normas, medidas y elecciones para reducir el riesgo y proteger la salud pública, que podrían iniciar una serie de grupos, entre ellos organismos reguladores oficiales, órganos internacionales de elaboración de normas, empresas del sector privado, organizaciones no gubernamentales e individuos en su calidad de consumidores o ciudadanos(103,104).

Evitar o mitigar un riesgo determinado no es forzosamente el único objetivo de la gestión de riesgos. La gestión de riesgos puede emprenderse también para garantizar derechos humanos, corregir injusticias o lograr resultados no relacionados directamente con el uso de sustancias, o consumo de alimentos para nombrar algunos; puede también darse para mitigar aspectos negativos que afecten la calidad ambiental, las oportunidades económicas o la protección de los intereses de las generaciones futuras(104,105,107).

El enfoque integral de la gestión del riesgo pone énfasis en las medidas ex-ante y ex-post y depende esencialmente de: (a) la identificación y análisis del riesgo; (b) la concepción y aplicación de medidas de prevención y mitigación; (c) la protección financiera mediante la transferencia o retención del riesgo; y (d) los preparativos y acciones para las fases posteriores de atención, rehabilitación y reconstrucción(114).

En Colombia, la gestión del riesgo en función la identificación de medidas que permitan la prevención, mitigación y control de la enfermedad, se denomina como gestión integral del riesgo en salud; representa una estrategia transversal de la política de atención integral en salud y se fundamenta en la articulación e interacción de los agentes del sistema de salud y otros sectores; con un alcance desde las actividades de anticipación hasta la paliación; complementando con acciones que permitan el seguimiento y monitoreo de los riesgos para la salud de las personas, familias y comunidades, orientada al logro de resultados en salud y bienestar de la población(115).

1.20.2 Acciones de prevención

Las actividades de prevención, se refieren a todas las acciones positivas o protectoras de tipo individual y/o colectivo que se desarrollen con el fin de anticiparse a los posibles efectos negativos para la salud humana. Estas acciones están basadas en el conocimiento previo de las personas, llegadas por condiciones culturales o distribuidas por los sistemas nacionales (promoción de la salud)(116,117).

1.20.3 Acciones de mitigación

Las acciones de mitigación se refieren a todas las actividades que se desarrollan con el fin de reducir la vulnerabilidad a ciertos peligros identificados. De esta forma, con intervenciones efectivas se logra reducir la severidad del daño y evitar el aumento en los casos del evento bajo vigilancia o del cual es necesario cambiar las cifras de afectación en la población(31,105,116).

1.20.4 Acciones de control

La mejor manera de proteger a las personas es eliminando el riesgo, como esto en pocos casos es posible por completo, con las acciones de control se busca mantener alejadas a las personas del peligro que representa la exposición a diferentes fuentes que pueden afectar de forma negativa su salud y la de sus comunidades(31,105).

1.21 Sistema de información

Un sistema de información es un conjunto de datos que interactúan entre sí con un fin común. En informática, los sistemas de información ayudan a administrar, recolectar, recuperar, procesar, almacenar y distribuir información relevante para los procesos fundamentales y las particularidades de cada organización(118).

La importancia de un sistema de información radica en la eficiencia en la correlación de una gran cantidad de datos ingresados a través de procesos diseñados para cada área con el objetivo de producir información válida para la posterior toma de decisiones(119).

Un sistema de información se destaca por su diseño, facilidad de uso, flexibilidad, mantenimiento automático de los registros, apoyo en toma de decisiones críticas y mantener el anonimato en informaciones irrelevantes(119).

El esquema de un sistema de información se encuentra determinado por las entradas como es la información, las personas y los recursos; las actividades como las técnicas de trabajo y los resultados visualizados con el cumplimiento de los objetivos de la entidad o solicitante(119)

Pregunta de investigación

Dadas los criterios de búsqueda de literatura, el tipo de evaluación de riesgos que se pretende desarrollar, así como del tipo de estudio, la pregunta de investigación o pregunta guía es:

¿Cuál es el nivel de riesgo para la salud de la población colombiana por exposición a la fórmula que contiene glifosato, empleada para la erradicación de cultivos ilícitos?

2. CAPÍTULO DOS: METODOLOGÍA

Las evaluaciones de riesgos químicos para la salud humana pueden efectuarse para analizar exposiciones pasadas, presentes e incluso futuras a cualquier producto químico que se encuentre en aire, suelo, agua, alimentos, productos de consumo u otros materiales.

La presente evaluación de riesgos tiene un enfoque empírico analítico, explicado porque los resultados se basan en la observación de datos y estadísticas ya existentes, para el caso que provienen de fuente secundaria. Adicionalmente, el estudio se compone de dos tipos de estudio (revisión sistemática y estudio descriptivo) buscando dar respuesta a las obligaciones contractuales, pero sobre todo buscando exhaustividad académica y científica acorde a las

necesidades nacionales y criterios jurídicos establecidos en la sentencia 236/2017, marco jurídico de este proyecto; a continuación se presentan los dos tipos de “estudios” a desarrollar:

2.1 Revisión sistemática de literatura

La revisión sistemática representa el documento base y soporte del tipo de evaluación de riesgos desarrollada (adaptativa), conformando esta, el primer componente de la evaluación de riesgo.

Sabiendo que las revisiones sistemáticas o revisiones de literatura, representan un tipo de investigación basada en una pregunta guía, que permite a los tomadores de decisiones optar por alguna determinación pero basada en el mayor número de evidencia disponible y ponderando la utilidad de esta técnica; para el presente estudio, se plantea este procedimiento como ejercicio base y transversal para el buen y transparente desarrollo del mismo(120).

La revisión sistemática fue desarrollada teniendo en cuenta diferentes lineamientos con el fin de obtener un producto de calidad. La metodología que se utilizó fue la propuesta por la Colaboración Cochrane con uso de un protocolo de búsqueda estandarizado, reconocido, validado y recomendado por la OMS, como es la estrategia PRISMA. Justificado además en los tres puntos principales que garantizan el cumplimiento de la rigurosidad científica(121,122):

- Se debe incluir el mayor número de evidencia disponible.
- Se pueda ponderar esta evidencia según la calidad de los estudios.
- Se logren comunicar los resultados de la revisión en formatos internacionales.

Como se mencionó y en concordancia con la primer viñeta, se diseñó un protocolo de búsqueda basado en la estrategia PRISMA (Preferred Reporting Items For Systematic Reviews And Meta-analyses) para la selección de evidencia científica (anexos uno y dos); así las cosas, se emplearon los 314 estudios que cumplieron con los criterios de inclusión para la revisión sistemática y en la vía del objetivo general del estudio (evaluación de riesgos en salud). Es de anotar, que se presentan diagramas de flujo de acuerdo con el/os capítulo(s) (productos o puntos de la herramienta OMS- ejemplo: identificación y caracterización del peligro con 18 artículos).

Para la segunda viñeta, se evaluó la calidad del número resultante de estudios, partiendo de tres tópicos importantes: **(I)** calidad de estudios no aleatorios según su diseño, contenido y facilidad de uso en salud humana, **(II)** Calidad de la evidencia de estudios experimentales y confiabilidad de datos toxicológicos y **(III)** Calidad de la evidencia de estudios de salud ambiental(123,124).

Así las cosas, para la evaluación de calidad de los estudios se utilizaron de forma independiente las Escala de New Castle-Ottawa, Toxicological data Reliability Assessment Tool (ToxRTool,) y

una herramienta adaptada por la universidad de Córdoba con el fin de evaluar la calidad de los estudios publicados en el tema de salud ambiental (CAEnviTool)(123,124).

La escala new castle, usa un sistema de valoración estelar (con un máximo de nueve estrellas) para evaluar la calidad de los estudios, categorizada dentro de tres dominios: selección de los grupos de estudio, comparabilidad de los grupos de estudio y resultados, en este último ítem la determinación de la exposición para estudios de cohortes o el resultado de interés para estudios de casos y controles (con posibilidad de adaptación para los estudios experimentales por contener metodología similar a la de un estudio de cohortes). Los estudios que obtengan entre ocho a nueve estrellas se consideraron de alta calidad, los estudios con seis a siete estrellas se consideran de moderada calidad, los estudios con menor puntuación se consideran de baja(123).

Por su parte ToxRTool, es una herramienta desarrollada por la Comisión Europea para la evaluación de la confiabilidad de los datos y calidad de la información en toxicología, esta herramienta proporciona criterios integrales y de orientación (criterios klimisch), que facilita la decisión de asignar categorías y garantiza que sea más transparente y armonizado el proceso de análisis de la información recuperada y muestra cuáles son sus categorías en una tabla de apoyo para mejor interpretación de la información. Es una herramienta relativamente nueva, con 156 veces citado y ventajas resaltadas en diferentes estudios que la han utilizado. ToxRTool consta de dos partes, una para evaluar in vivo y otra para evaluar datos in vitro (125).

Para la evaluación de los documentos recuperados en el tema de salud ambiental, y en la misma vía del uso de herramientas que permitan la reducción del riesgo de sesgo en la evidencia extraída de la literatura, el equipo de trabajo de la universidad de Córdoba, ha diseñado una herramienta a la que le fue asignado el nombre: CAEnviTool (herramienta de evaluación crítica de evidencia ambiental). Esta herramienta fue adaptada con la finalidad de proporcionar una metodología transparente para asignar una puntuación individual a estudios ambientales y clasificarlos en las categorías “aprobado” o “no aprobado” (Ver: Anexo 3).

Esta puntuación permite clasificar los estudios ambientales mediante criterios específicos ponderados. La herramienta ha sido diseñada para ser aplicable solo a datos originales. Los criterios se desarrollaron inicialmente mediante la recopilación de una lista de parámetros con un impacto potencial en la calidad de los datos de un estudio(126).

Los parámetros fueron obtenidos, después de realizar una búsqueda bibliográfica basándose en los requisitos planteados en la guía de evaluación de la colaboración para la evidencia ambiental de la Comunidad Económica Europea (CEE)(127), y siguiendo los lineamientos de la herramienta ROB-2 de la Colaboración Cochrane(128). Así mismo, se tuvo en cuenta las publicaciones e informes relacionados con este tema, en cuanto a diseño de herramientas de evaluación crítica de la calidad de la evidencia. Del análisis inicial, se hizo evidente que la herramienta tenía que ser organizada en tres secciones, es decir, una inicial para evaluar validez interna, luego otra sección para evaluar confiabilidad, y la tercera para validez externa. Sin

embargo, las partes de la herramienta se desarrollaron paralelamente siguiendo la misma estructura. Los parámetros se reformularon en preguntas (sesgos/criterios) y se dividieron en grupos de dos a cuatro preguntas, determinando: (a) Sesgo en la selección del sitio de estudio, (b) Sesgo en la clasificación de la exposición, (c) Sesgo debido a la falta de datos, (d) Sesgo en la medición de los resultados, (e) Sesgo en el reporte de resultados, (f) Sesgo debido a la confusión, y (h) Validez externa.

Por último, los resultados del ejercicio académico (revisión de literatura) se someterán a revisión para posible publicación, en una revista de clasificación A1 y que cuente con factor de impacto alto, con el fin que sea visible para la comunidad científica, académica y política, entre otros sectores de interés.

Es de anotar, que el producto que será sometido a revisión para ser publicado no tiene relación alguna con la información confidencial entregada por la Dirección de Antinarcóticos y/o el ministerio de salud; se remite única y exclusivamente a los resultados de la recuperación de archivos durante el ejercicio de revisión sistemática de literatura y se convierte en un producto de ejercicio académico.

2.2 Estudio descriptivo-transversal

Este tipo de estudio complementa la evaluación del riesgo; al aportar la información relacionada con los habitantes de los municipios estudiados, sus condiciones de salud y las variables ambientales de los mismos.

En los estudios transversales es posible determinar la frecuencia de uno o varios factores de exposición y/o uno varios eventos de interés al mismo tiempo como estimación puntual y en una población definida(129). Este estudio, además de observar el evento y los factores de exposición teniendo como fuente los indicadores nacionales y fuentes locales, valora de manera importante la evidencia científica recuperada de la revisión documental y de literatura; la cual, considerando la ausencia de información específica en los municipios y la falta de continuidad en los datos observados en las bases de datos nacionales o sistemas de información, se convierte en un insumo casi que único e indispensable para la construcción de los modelos conceptuales y estadísticos para la culminación de la evaluación de riesgo entre los departamentos de interés según lo establecido en los términos de referencia; teniendo clara la probabilidad de semejanza entre algunos de ellos en relación con condiciones ambientales, sociales, demográficas y sanitarias. Sumado a esto, se diseñaron herramientas como el sistema de información para la exposición a herbicidas y efectos en salud por esta exposición, y un tablero para el monitoreo y control de dicha exposición.

Valorando las bondades de este tipo de estudio (descriptivo), es posible dividir en dos fases o componentes el desarrollo del mismo. La primera fase está determinada por la descripción de las condiciones observadas en las diferentes bases de datos o sistemas de información nacional.

Así las cosas, se desarrolló dentro del documento para el capítulo cinco (caracterización del riesgo) la descripción de las variables demográficas, de salud, ambientales y demás condiciones identificables que permitieron la contextualización de los factores y eventos en salud. Es de anotar, que la poca disponibilidad y falta de continuidad en la información, no permitieron el desarrollo de modelos estadísticos predictivos esperado, y los resultados presentados corresponden netamente a la descripción de variables individuales y algunas contextuales de los municipios estudiados.

Como segundo momento o fase de este tipo de estudio; se plantea para los capítulos cinco y seis de este documento, que tienen que ver con la evaluación de la exposición y caracterización del riesgo (productos tres y cuatro del documento contractual), el establecimiento de dos tipos de modelos (uno insumo del otro):

- Modelos conceptuales para aire, agua, suelo y alimento, que arrojarán como resultado la estructura y valores en cuanto a las posibles rutas y vías de exposición que generan riesgos de afectaciones a la salud; así como el comportamiento ambiental del herbicida en diferentes contextos simulados y utilizando las características propias de los municipios.
- Modelos estadísticos, con el fin de lograr una evaluación de la exposición y estimación del efecto de las variables en el nivel de riesgo y de ser posible dada la información observada, explicar adecuadamente el riesgo bajo cierto nivel de incertidumbre.

Cabe anotar, que el resultado de los diferentes modelos conceptuales (concentración) hace parte de las variables de los modelos estadísticos, con el fin de incluir el mayor número de características para una evaluación del riesgo adecuada, con buena sensibilidad y una baja incertidumbre.

La evaluación del riesgo para la salud humana por exposición a la mezcla utilizada en el programa de aspersión aérea para la erradicación de cultivos ilícitos en Colombia, es determinada en primer lugar por las conclusiones que se obtengan de la revisión sistemática, y dos, por las estimaciones resultantes de los modelos conceptuales y estadísticos construidos a partir de la información propia del método, técnica, mezcla del herbicida (glifosato 48SL + Cosmo-OIL Emulsión) utilizado en Colombia (presuntivamente) para la erradicación de cultivos ilícitos; así como de los datos de los municipios y sus habitantes, obtenidos estos últimos de bases de datos nacionales, sistemas de información y datos recolectados en las diferentes organizaciones y secretarías territoriales. Cabe aclarar, para este caso la evaluación se realizó utilizando fuentes secundarias en todos los momentos y no se realizó muestreo en personas de tipo biológico ni de aplicación de instrumentos.

Una vez agotados estos dos momentos, se obtendrán los resultados para el planteamiento del capítulo siete, en relación con las medidas de mitigación y control; proponiendo como herramienta de medición de dichas medidas el tablero con el mismo nombre.

Respecto a la herramienta utilizada para la evaluación del riesgo (OMS). Esta herramienta ha sido desarrollada con el fin de ayudar a las personas a tomar decisiones relativas a productos químicos, mediante la evaluación de la magnitud de los riesgos potenciales para la salud humana en relación con la exposición a dichos productos. De este modo la herramienta permite: *1) identificar y adquirir la información necesaria para evaluar los peligros, exposición y riesgos de los productos químicos y 2) utilizar dicha información para realizar una estimación de la posible exposición a productos químicos peligrosos y los correspondientes riesgos para la salud*(29).

Con el fin de contribuir al rendimiento de una evaluación de riesgos, la herramienta de la OMS proporciona hojas de ruta para realizar evaluaciones de riesgo químico; identifica la información que debe reunirse con el fin de completar una evaluación; y proporciona referencias, como los localizadores uniformes de recurso (URL, por sus siglas en inglés), para recursos internacionales a partir de los cuales un evaluador puede obtener información y métodos esenciales para una evaluación de riesgos.

El proceso de evaluación de riesgos se inicia con la formulación del problema e incluye cuatro pasos adicionales: 1) identificación del peligro, 2) caracterización del peligro, 3) evaluación de la exposición y 4) caracterización de riesgos (IPCS, 2004).

Para este proyecto, el producto principal se basa en un documento que contenga los cuatro puntos mencionados y las recomendaciones de mitigación y control descritas por la OMS.

Este documento se estructura por capítulos, teniendo en cuenta que cada uno de los puntos establecidos por la herramienta de evaluación, representa uno de ellos. No descartando aspectos como los antecedentes, así como elementos teóricos, conceptuales, normativos y metodológicos. Entre otros.

2.3 Área de estudio

El estudio fue desarrollado en el primer de seis núcleos programados para el año 2020 por la Dirección de Antinarcóticos (DIRAN) para el programa de erradicación de cultivos ilícitos con aspersión aérea en Colombia. Este primer núcleo estuvo conformado tres departamentos de la Orinoquía Colombiana, once municipios y se llevó a cabo durante el primer trimestre del año en curso.

Los departamentos y municipios que conforman este núcleo, fueron seleccionados por la DIRAN y entregados a la universidad de Córdoba durante el tercer comité de supervisión al contrato (03 de marzo 2020) en las oficinas de la subdirección de salud ambiental del ministerio de salud y protección social.

2.4 Población objeto de estudio

La población objeto de estudio corresponde a los habitantes de la región de la Orinoquia (Departamentos de Meta, Guaviare y Vichada, municipios de Calamar, El Retorno, Miraflores, San José del Guaviare, La Macarena, Mapiripan, Puerto Rico, Vistahermosa, Puerto Lleras, Puerto Concordia y Cumaribo).

Aunque los municipios fueron seleccionados por la DIRAN, la universidad realizó actividades de confirmación para el acceso a las regiones, teniendo en cuenta aspectos como: vías y formas de acceso, orden público, disponibilidad de la información; constituyéndose este, como muestreo por conveniencia y conglomerados.

2.5 Fuente de información

La información de interés será obtenida de fuentes secundarias, ya que es extraída la información de publicaciones internacionales y diferentes tipos de estudio que sirvan como evidencia científica en la elaboración de los resultados y los modelos conceptuales y estadísticos. Sumado a esto, se extraerá de la bodega de datos de SISPRO (Sistema Integrado de Información de la Protección Social) información sobre la oferta, demanda de servicios de salud, aseguramiento y atención en salud de los habitantes de los municipios seleccionados; así como otros datos de fuentes nacionales como, RUAF, RIPS, SIVIGILA y demás repositorios de información que ayuden a consolidar registros de atención y analizar el comportamiento de los indicadores en salud de los habitantes de dichas regiones.

De igual forma, se realiza un rastreo bibliográfico constante, puro y exhaustivo, con el fin de abarcar toda la evidencia documental necesaria para cumplir con el objetivo del estudio.

2.6 Método de búsqueda

Para la búsqueda y presentación de los hallazgos documentales, se utilizó la estrategia de presentación de revisiones sistemáticas y otros estudios investigativos: PRISMA. Para lo cual se estructuró un protocolo de búsqueda bibliográfica con parámetros científicos que sirvan como evidencia para la evaluación del riesgo (ver protocolo de búsqueda- Anexo 1)(121).

2.6.1 Criterios de elegibilidad de los estudios

Siguiendo lo planteado en el protocolo de búsqueda y la pregunta de investigación descrita anteriormente, los estudios incluidos (pero no determinantes) son:

- Revisiones sistemáticas y/o meta-análisis que den respuesta a la pregunta de investigación.
- Estudios de cohorte, experimentales y de casos y controles que abarquen componentes como población, estimación de riesgos, medidas de asociación, resultados y

conclusiones; y que sean útiles para validar la información recuperada en las revisiones sistemáticas.

- Publicaciones entre el año 2009 y 2019, partiendo de los estudios recuperados en la revisión del estado del arte.
- Idioma inglés, español, francés, portugués, mandarín; buscando controlar el sesgo de selección por idioma en los documentos y alcanzar el principio de exhaustividad.
- Artículos con acceso a texto completo y/o libre y con acceso condicionado por pago
- Factor de impacto de la revista de publicación mayor a 2,5.
- Revistas indexadas en salud, bioquímica y toxicología medioambiental.
- Rigurosidad en la metodología utilizada en el estudio.

Es necesario aclarar que los demás criterios de búsqueda, así como los términos o palabras clave, se encuentran detallados en los anexos uno y dos (protocolos de búsqueda de literatura).

2.7 Identificación de vías, rutas y medios de exposición por medio de los cuales el glifosato entra en contacto con las personas

Para el desarrollo de este punto se aprovecharon los resultados obtenidos luego de la aplicación de las metodologías presentes en el componente de “Identificación y caracterización del peligro”. Así mismo, se emplearon los elementos consignados en la Tabla 5, donde se especifica el modelo utilizado para compilar y presentar toda la información referida a las rutas de exposición que establece la Sociedad Española de Sanidad Ambiental.

Tabla 5. Compilación de información sobre rutas de exposición

Nombre de la Ruta	Elementos de la ruta de exposición					Tiempo de exposición	Tipo de Ruta
	Fuente	Medio físico	Punto de contacto	Vía de exposición	Población		

Fuente: Sociedad Española de Sanidad Ambiental, 2016.

2.8 Estimación de la concentración en los medios de exposición

Debido a que dentro de las fases contractuales del presente estudio, no fue contemplado la determinación de las concentraciones en las matrices ambientales aire, agua, suelo y sus posibles efectos en los alimentos mediante análisis de laboratorio que permitiera generar una descripción detallada del destino y comportamiento ambiental esperado para la mezcla en cuestión; se planteó la posibilidad de estimar las mismas a través métodos indirectos como lo es la modelización de cada uno de los fenómenos mediante herramientas comerciales. Para tal fin, se ejecutaron los siguientes pasos:

2.9 Elaboración de los modelos conceptuales

Un modelo conceptual es una representación de un sistema, a partir de diferentes variables, que se utiliza para ayudar a las personas a conocer, comprender o simular un tema. Para el presente proyecto se definieron modelos conceptuales para describir o estudiar el destino y comportamiento ambiental del glifosato aplicado mediante el programa de aspersión aérea en los municipios de Calamar, El Retorno, Miraflores, San José del Guaviare, La Macarena, Puerto Rico, Vistahermosa, Puerto Lleras, Puerto Concordia y Cumaribo de los departamentos de Guaviare, Meta y Vichada (99).

El modelo conceptual parte de una serie de variables de entrada, que podrán depender de factores ambientales o globales, así como de factores propios y específicos de la actividad a realizar, y por medio del modelo se debe entender y representar de manera clara todas las posibles relaciones entre esas variables para que el mismo, se transforme en un instrumento de toma de decisiones, funcional y necesario para evaluar la exposición a glifosato como consecuencia de la erradicación de cultivos ilícitos (130).

Los modelos conceptuales se presentaron de dos maneras, un esquema genérico que describe el procedimiento necesario para estudiar el destino y comportamiento ambiental del glifosato en las matrices Atmosfera y Suelo-Agua, independientemente del método, software o modelo utilizado, y, un modelo específico, basado en el software escogido para el desarrollo de simulaciones y el cálculo de concentraciones para la evaluación de la exposición.

2.9.1 Criterios para la selección de los modelos

La revisión bibliográfica permitió la identificación de diferentes modelos para el estudio del destino y comportamiento ambiental de pesticidas como el glifosato. Para extraer la información y caracterizar los modelos se utilizó como herramienta una tabla de parámetros que facilitó el proceso, condensando la información relevante en cada caso.

Los modelos fueron descritos, definiéndose el tipo de modelo, el tipo de ecuaciones matemáticas que lo soportan, su funcionamiento y alcance y algunos casos de aplicación. Con base en esta información, fueron escogidos los modelos o softwares a partir de los cuales se desarrollaron las simulaciones del destino y comportamiento ambiental de la mezcla en cada una de las matrices ambientales definida: atmosfera, Suelo-Agua. Finalmente, para hacer la selección de cuales modelos podrían ser utilizados para fines de la evaluación de la exposición por aspersión aérea de glifosato se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de elegibilidad (131):

- Entre las funciones del modelo se encuentra el estudio del destino y comportamiento ambiental de pesticidas.
- El modelo fue propuesto o desarrollado por una entidad de alto rigor técnico y científico a nivel internacional.
- El modelo ha sido ampliamente utilizado en estudios con objetivos similares.
- El modelo fue utilizado con éxito en Colombia u otros países de climas tropicales.
- El modelo presenta una interfaz amigable y de fácil entendimiento.
- El modelo presenta posibilidades de calibración sencillas.
- Los resultados del modelo han sido validados en otros estudios.
- Los resultados del modelo son insumos para el cálculo de la evaluación de la exposición.
- El modelo es gratuito o de fácil acceso en términos económicos.

Después de realizar la revisión bibliográfica de los modelos y con base a las variables previamente establecidas se definieron los softwares para el desarrollo de las simulaciones sobre el destino y comportamiento ambiental del glifosato en la atmosfera y en la matriz Suelo – Agua.

2.9.2 Simulaciones en los modelos seleccionados

Basados en la pesquisa bibliográfica fueron definidos los modelos y con lo(s) software seleccionados para cada matriz ambiental (AgDrift y SWAT) se hicieron las simulaciones para lograr determinar el destino y comportamiento ambiental del glifosato en dichas matrices (atmosfera y suelo-agua), con el fin de calcular las concentraciones que permitirían el cálculo de la evaluación de la exposición.

Para la ejecución de los procesos de simulación en las diferentes herramientas comerciales empleadas fue necesario recrear variables de tipo espacial, ambiental, climáticas, sociales,

culturales y económicas con el propósito de llenar los vacíos de información que el proyecto no pudo completar en fases exploratorias de campo y de las cuales tampoco se encontraban informaciones secundarias de base, teniendo en cuenta el contexto de los cultivos ilícitos en el territorio nacional. A continuación, se presentan la información empleada para la ejecución de las simulaciones.

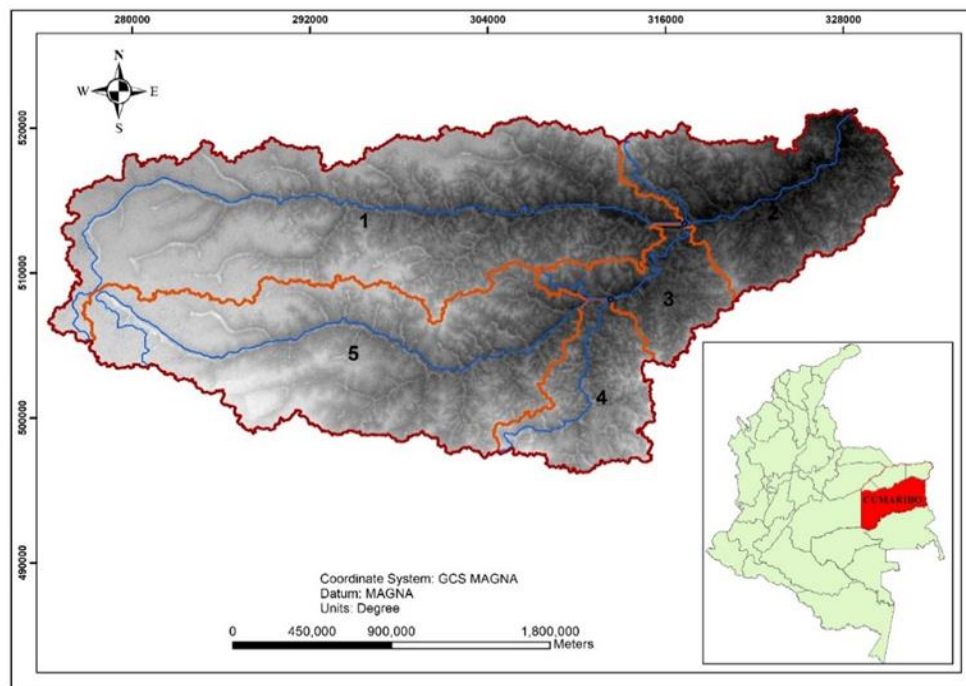
- Área de estudio

En consenso con el equipo de trabajo y los pares en la DIRAN y Ministerio de Salud y Protección Social (MSPS), se seleccionó la cuenca del Caño Urimica ubicada en el municipio de Cumaribo – Departamento del Vichada; teniendo en cuenta las siguientes características:

- En el departamento de Vichada el cultivo de coca alcanzó su máximo de 9.200 hectáreas en 2001 y se redujo a 5.523 en 2006; aumentó en 2007 hasta 7.218 y a partir de este año inició una tendencia a la reducción que se mantuvo en 2014, cuando nuevamente se alcanza el punto más bajo de toda la serie histórica: 511 hectáreas (132).
- En 2019 según reporte SIMCI 2018, en el país se detectaron 169.019 hectáreas (ha) de coca en Colombia, donde el 99% se ubicaba en 14 de los 22 departamentos afectados por esta práctica y Vichada representó el 0,3% con 550 ha de cultivos de coca (133). Debido al aumento de los cultivos de coca en el departamento, la DIRAN, 2019 incluyó al municipio de Cumaribo en el primer núcleo para reactivar el Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante Aspersión Aérea (133).
- El municipio de Cumaribo se encuentra ubicado en el oriente del país en el departamento del Vichada, tiene una extensión de 65.193 km², lo que lo convierte en el Municipio más extenso de Colombia (132) . Según datos del IDEAM, cuenta con una temperatura máxima: 28,4°C y una temperatura mínima: 24,4°C, presentándose un periodo definido de lluvias seguido por uno de sequía; un régimen mono modal. El periodo de lluvias comienza en el mes de abril y termina en noviembre. El promedio anual de lluvias está entre los 1000 - 2000 mm.
- En Cumaribo la evaporación es menor hacia el suroccidente, área cuya cobertura principal es de selva de transición, mientras que al nororiente aumenta, en donde la principal cobertura es la sabana; de acuerdo con el Esquema Básico de Ordenamiento del municipio se presenta un promedio mensual máximo de evaporación de 212 mm durante enero y uno mínimo de 97 mm en junio.
- En la cuenca del caño Urimica se encuentra ubicada una de las dos (2) estaciones del IDEAM que se encuentran en el Municipio; adicionalmente, existe disponibilidad de información relacionada a la cobertura vegetal, tipología de suelos y modelos de elevación MDE, para determinación de la altimetría y la pendiente.

En la Figura 10 se puede observar la delimitación de la cuenca y subcuencas que hacen parte del caño Urimica.

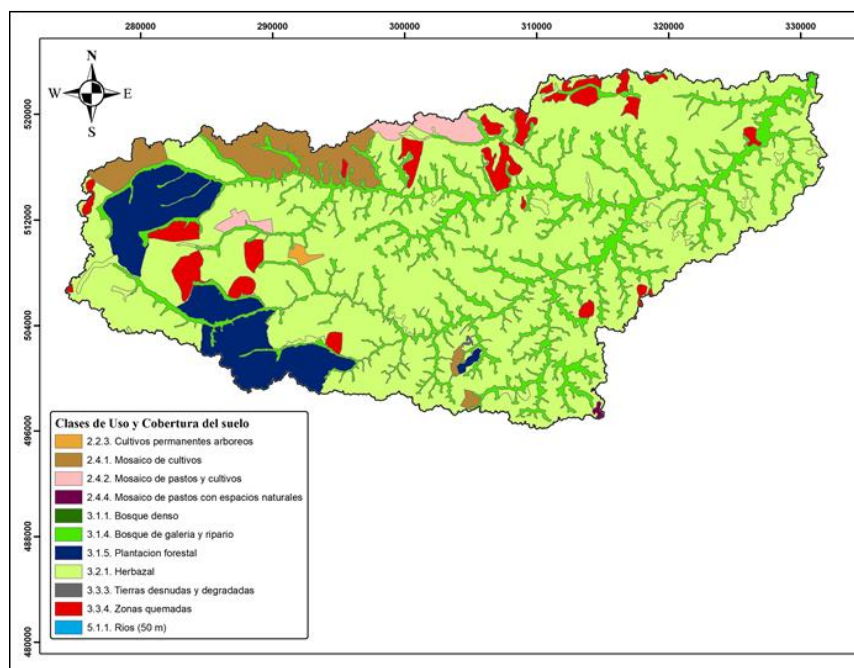
Figura 10. Delimitación de la cuenca y subcuencas del caño Urimica



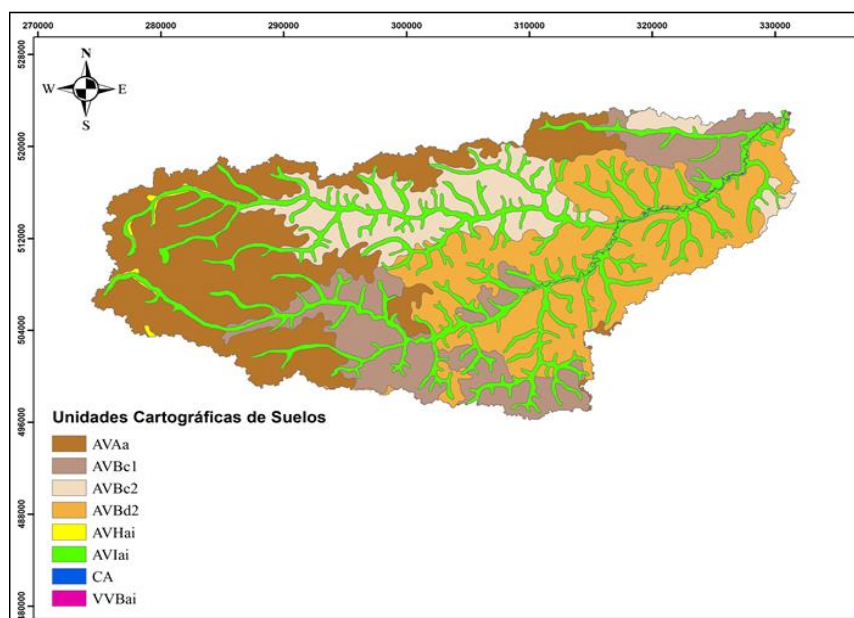
Fuente: Elaboración propia con base a MDE del satélite Alos Palsar (2020)

De igual manera, se describen y presentan las características ambientales predominantes en la zona, de acuerdo con el levantamiento cartográfico realizado; las Figuras 11 y 12 ilustran estas características.

- Las clases de uso y la cobertura del suelo predominante son herbazales.
- El relieve predominante es ondulado con pendientes de 3-8%.
- Los tipos de suelo predominante en la zona son Sedimentos mixtos, predominantemente finos con bajo contenido de arenas y limos (AVAa, AVIai y AVBd2).

Figura 11. Cobertura del suelo de la cuenca Urimica

Fuente: Elaboración propia basada en IDEAM (2020) – Escala 1:50.000

Figura 12. Cobertura del suelo de la cuenca Urimica

Fuente: Elaboración propia basada en IGAC (2020) – Escala 1:50.000

Otro grupo de información relevante para el proceso de simulación y que permitió evaluar la dispersión de la pulverización fueron las especificaciones técnicas de la aspersión aérea, características químicas de la mezcla y condiciones climáticas como velocidad del viento, temperatura y humedad relativa; dichas especificaciones se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Especificaciones técnicas de la aspersión aérea con glifosato en Colombia

Parámetros	Valores
Avión	T-802
Velocidad (avión) de aplicación	241,4 km/h que equivale a 150 millas/h
Velocidad del viento	10 km/h
Altura máxima de aspersión	30 m
Humedad relativa	65-90%
Temperatura	35 °C
Ancho de la franja	32 m
Tamaño de la gota	DVM ¹ _{0,50} = 330 micras
Dosis de aplicación	30 L/ha
Composición de la mezcla	33,30% Glifosato 65,70% de agua 1,00 % Aditivo (Coadyuvante de origen mineral)

Fuente: Dirección Antinarcóticos, 2020.

Como resultado de estos procesos de simulación surgieron las diferentes concentraciones esperadas del proceso para cada uno de los medios de exposición identificados.

En referencia a la información requerida para desarrollar los procesos de simulación es importante destacar la referencia geográfica de los puntos exactos que se quieren evaluar, lo cual, para el caso de este estudio no fue posible obtener los puntos exactos para la aspersión²; adicional al hecho de la carencia de información tanto primaria como secundaria. Por esa razón, se hizo necesario construir unos supuestos relacionados con los modos de vida, que permitan realizar las simulaciones y definiciones de variables con mayor precisión. Estos fueron algunos supuestos considerados:

- Al noreste de la zona escogida, existe un caserío de aproximadamente 30 familias.
- El caserío se encuentra ubicado a 400 metros de la plantación de cultivo de coca.
- Las familias se dedican principalmente a cosechar cultivos de subsistencia con áreas no mayores a 2 hectáreas.
- El sistema de adaptación del suelo es mediante tala, quema y siembra.
- La fuente más cercana de abastecimiento de agua es el caño Urimica.
- La población cuenta con un acueducto artesanal que funciona solo para la distribución del líquido, no se realiza tratamiento.
- Las familias utilizan el agua para consumo, cocinar, bañarse y regar los cultivos mediante un sistema de riego artesanal.
- El caño se encuentra a 200 metros de la comunidad.
- La captación de agua se encuentra aguas abajo de la plantación.

¹ DVM: Diámetro volumétrico. Corresponde a que el 50% de las gotas de descarga es igual o superior a 300 micras.

² En reuniones con la DIRAN, manifestaron que por razones de seguridad esta información no podría ser suministrada.

2.10 Evaluación de la exposición

Para la evaluación de la exposición al glifosato, se tomó como referencia la *“Herramienta De Evaluación De Riesgos Para La Salud Humana De La OMS: Peligros Químicos”*; complementada con *“la guía metodológica para la evaluación de riesgos en salud: aplicaciones prácticas de la metodología de la evaluación de riesgos en salud por exposición a químicos”* de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental (30,88).

La elección de estas dos guías se realizó debido a que se complementan entre sí; mientras la guía de la OMS orienta de manera general la evaluación de la exposición, la guía propuesta por la Sociedad Española de Sanidad Ambiental explica de una manera simple cada uno de los pasos de la evaluación (30,88). Dentro de las fases propuestas para el desarrollo de este componente, se plantearon elementos que permitieran identificar las siguientes variables de decisión.

A continuación, se definen las fórmulas matemáticas utilizadas para la determinación de la Dosis de Exposición Estimada para cada vía y posteriormente se referencian los supuestos y variables para cada vía de exposición.

2.10.1 Especificación matemática de la dosis de exposición estimada

La dosis de exposición estimada de una sustancia o agente químico depende de la concentración de dicha sustancia en el medio físico afectado (aire, agua, suelo o alimentos), el tiempo o duración del contacto del individuo u organismo con la sustancia, y los patrones de actividad de los individuos que los colocan en contacto con la sustancia y que hacen referencia a dos variables: frecuencia de contacto y tasa de contacto (95). Matemáticamente, la dosis de exposición estimada de manera general se define como la función:

$$\text{Exposición} = f(\text{Concentración}, \text{Tiempo}, \text{Patrones de actividad}) \quad (1)$$

Dado que se carece de información que permita determinar las distribuciones de probabilidad asociadas a los parámetros que contribuyen a la dosis de exposición estimada, presentada en la ecuación (1), la evaluación de la exposición al glifosato que se presenta en este informe es de primer nivel o exploratoria.

Para calcular la dosis de exposición se realizó mediante una cuantificación indirecta, empleando un modelo determinístico, en el cual con base en resultados de estudios similares se asigna un valor fijo a cada parámetro y se asume que la población en general está expuesta de forma uniforme. Específicamente, se calcula la dosis de exposición estimada (DEE) mediante siguiente ecuación (95):

$$DEE = \frac{C * TC * FE}{PC} \quad (2)$$

Dónde:

- DEE es Dosis de exposición estimada (mg contaminante/ kg PC-día) a un contaminante a través de una vía concreta (oral, inhalatoria, dérmica).
- C es Concentración del contaminante en el medio contaminado (alimento, agua, aire, suelo) (mg contaminante /Kg; g contaminante/ m³, mg contaminante/L).
- TC es la Tasa promedio de contacto (ingesta promedio diaria de un producto alimenticio o grupo de alimentos (Kg/día); inhalación promedio de aire (m³/día), ingesta de agua diaria (L/día) Generalmente los datos de consumo de alimentos se pueden obtener de encuestas de consumo.
- PC es peso corporal (kg).
- FE es factor de exposición (sin unidad).

$$FE = \frac{F * DR}{AT} = \frac{\frac{\text{días}}{\text{año}} * \text{años expuestos}}{\text{años de promediación del efecto} * 365 \frac{\text{días}}{\text{año}}} \quad (3)$$

A continuación, se muestra la adaptación de la Ecuación (3) según el tipo de vía de exposición, así como los valores fijados para los parámetros fisiológicos y de comportamiento, tales como: las tasas de contacto, fracción absorción, duración de la exposición, frecuencia de exposición, tiempo promedio, y peso corporal, que intervienen en las ecuaciones del cálculo de las dosis de exposición estimada.

Vía Inhalatoria

La edad de la persona y su nivel de actividad son los factores que más influyen en la tasa de inhalación de una persona. Asumiendo una exposición aguda (única vez o periodos muy cortos) se emplea la ecuación propuesta por la Guía suplementaria de evaluación de riesgo por inhalación Superfund parte F de la EPA; la dosis de exposición estimada para esta vía se obtuvo usando la siguiente Ecuación:

$$EC = CA \quad (4)$$

Donde EC es la concentración de exposición en µg/m³ y CA es la concentración del contaminante en el aire en µg/m³.

- **Vía dérmica:** El cálculo dosis de exposición estimada en el suelo está dada por:

$$DEE_{\text{Dérmica}} = \frac{DA_{\text{evento}} \times AS \times FE}{PC} \quad (5)$$

Dónde:

AS: Área de la superficie de la piel en contacto (cm²)

FE: Factor de exposición

PC: Peso corporal (kg)

DA evento = Dosis absorbida por evento (mg/cm²-evento), la cual en el caso de calcular la dosis absorbida de un compuesto inorgánico en agua se calcula con la siguiente ecuación:

$$DA_{evento} = K_p \times C \times TE \quad (6)$$

Con K_p la constante de permeabilidad (cm/hora), C la concentración del químico (en el suelo) en contacto con la piel (mg/cm³), y TE el Tiempo de contacto o exposición (horas/evento) (88).

2.10.2 Obtención de variables por rango de edad para la cuantificación de la exposición

A continuación, se detallan según el tipo de vía de exposición, los valores fijados para los parámetros fisiológicos y de comportamiento, tales como: las tasas de contacto, fracción absorción, duración de la exposición, frecuencia de exposición, tiempo promedio, y peso corporal, que intervienen en las ecuaciones del cálculo de las dosis de exposición estimada.

Vía Inhalatoria

La edad de la persona y su nivel de actividad son los factores que más influyen en la tasa de inhalación de una persona. En este estudio se asumieron las tasas promedio de contacto para diferentes edades, propuestas por Bussard, 2011 en el Manual de Factores de Exposición publicado en la página de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) (134) y que se describen en la

Tabla 7. Además, teniendo en cuenta que la inhalación de aire es diaria, el Factor de Exposición FE toma valor de 1 en concordancia con las recomendaciones para el cálculo de la DEE inhalatoria, establecida en la guía de la OMS.

Tabla 7. Valor promedio de inhalación de aire

Grupo de edad	(m ³ /Día)
0 - 1 año	4,32
1 - 2 años	6,48
2 - 3 años	6,62
3 - 6 años	6,19
6 - 11 años	6,48
11 - 16 años	7,20
16 - 21 años	7,05
21 - 31 años	6,19
31 - 41 años	6,62
41 - 51 años	7,20

Grupo de edad	(m³/Día)
51 - 61 años	7,48
61 - 71 años	7,48
71 - 81 años	7,63
más de 81 años	7,48

Fuente: EPA (2019)

Los pesos medios, por grupo etario, fueron determinados a partir de los datos crudos de la Encuesta Nacional de Situación Nutricional en Colombia –ENSIN, versión 2005, informe del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF))como muestra la tabla 8 y 9.

Tabla 8. Peso y talla por grupo etario (meses)

Sexo/ Edad (meses)	N	Peso			Estatura		
		Media Kilogramos	IC		Media Centímetros	IC	
Niños							
0 a 11	1457	7,30	5,90	8,70	64,90	54,60	75,20
12 a 23	1451	10,60	8,60	12,60	79,00	66,30	91,70
24 a 35	1326	12,70	10,00	15,40	87,80	72,40	103,20
36 a 47	1445	14,70	11,90	17,50	95,50	80,10	110,90
48 a 59	1520	16,60	13,60	19,60	102,60	86,90	118,30
Niñas							
0 a 11	1463	6,90	5,60	8,20	63,70	53,60	73,80
12 a 23	1407	10,00	8,00	12,00	77,70	64,90	90,50
24 a 35	1339	12,30	9,80	14,80	87,20	72,10	102,30
36 a 47	1441	14,30	11,60	17,00	94,70	79,40	110,00
48 a 59	1424	16,00	12,90	19,10	101,30	84,80	117,80

Fuente: ENSIN 2005

Tabla 9. Peso y talla por grupo etario (años)

Sexo/ Edad (años)	N	Peso			Estatura		
		Media Kilogramos	IC		Media Centímetros	IC	
Hombres							
10	1631	31,10	27,60	34,60	134,60	119,90	149,30
11	1374	33,90	29,40	38,40	139,30	121,20	157,40
12	1556	37,50	33,10	41,90	144,60	128,00	161,20
13	1396	42,60	37,00	48,20	151,50	132,10	170,90
14	1360	47,60	41,20	54,00	157,80	137,00	178,60
15	1264	52,20	44,60	59,80	163,10	140,00	186,20
16	1210	55,60	47,10	64,10	166,10	141,50	190,70
17	1023	58,90	48,30	69,50	167,80	138,40	197,20
18-58	S.I.	68,60	68,20	69,00	S.I.	S.I.	S.I.
58-64	S.I.	68,70	SI	SI	SI	SI	SI
Mujeres							

Sexo/ Edad (años)	N	Peso			Estatura		
		Media Kilogramos	IC		Media Centímetros	IC	
10	1543	31,40	27,70	35,10	135,80	120,10	151,50
11	1551	36,50	32,20	40,80	142,40	126,00	158,80
12	1457	40,80	35,60	46,00	147,70	129,60	165,80
13	1594	45,50	40,30	50,70	152,30	135,20	169,40
14	1558	49,30	43,50	55,10	154,80	137,10	172,50
15	1541	51,50	45,40	57,60	155,80	137,70	173,90
16	1451	52,80	46,10	59,50	156,30	137,00	175,60
17	1319	53,80	46,30	61,30	156,40	135,20	177,60
18-58	S.I.	61,20	61,00	61,40	S.I.	S.I.	S.I.
58-64	S.I.	63,10	SI	SI	SI	SI	SI

Fuente: ENSIN 2005

Adicionalmente, siguiendo los lineamientos dados en la literatura se asumió que $FE = 1$, y además se utilizó del modelo conceptual la concentración de glifosato en el aire.

Vía Oral

Se consideraron tres fuentes de contaminación del agua, para las cuales se estimó la concentración de glifosato mediante el modelo conceptual. De igual forma se identificaron los alimentos de mayor consumo en el departamento de Vichada, la concentración fue obtenida a partir de la modelación de AgDrift.

Adicionalmente, se consideró la ingesta media de agua por grupo etario (tabla 10) propuestas por Bussard, 2011 en el Manual de Factores de Exposición publicado en la página de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) y asumiendo que existe un consumo regular de agua diario, el Factor de Exposición FE toma valor de 1 en concordancia con las recomendaciones para el cálculo de la DEE oral, establecida en la guía de la OMS. De la misma manera, se determinaron los valores de ingesta promedio para los alimentos reportados como de mayor consumo en ENSIN 2005 (Tabla 119), asumiendo que $FE = 1$ (135).

En esta vía se estimó la dosis de exposición para la ingesta de agua y la ingesta de alimentos, empleando la Ecuación [7], dada por:

$$DEE_{oral} = \frac{C * TC * FE}{PC} \quad (7)$$

Siendo C la concentración del contaminante en el agua (mg contaminante/kg; g contaminante/m³, mg contaminante/L) o alimento (mg contaminante/g), TC la tasa promedio de contacto (kg/día), PC el peso corporal (kg), y FE el factor de exposición (sin unidad) (102).

Las concentraciones de glifosato (C) para cada tipo de ingesta fueron obtenidas a partir de la modelación de AgDrift, considerando tres fuentes de contaminación del agua, así como de la

identificación de los alimentos de mayor consumo en el departamento de Vichada (información de la subcuenca con que se contaba).

Con respecto a las tasas promedios de contacto (TC) para los dos tipos de ingestas, se consideraron la ingesta media de agua (Tabla 10), y los valores de ingesta promedio para los alimentos reportados como de mayor consumo en ENSIN 2005, informe del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar (ICBF) (Tabla 11). Por otra parte, para los dos tipos de ingesta se asumió que $FE = 1$ siguiendo los lineamientos establecidos por expertos en la temática, que indican que el factor de exposición por vía oral normalmente toma este valor debido a ser una exposición constante (135). Con respecto al peso promedio se emplearon los valores de la Tabla 9

Tabla 10. Valor promedio de ingesta de agua

Grupo de edad	(L/Día)	(L/Kg-Día)
0 – 1 mes	0,470	0,137
1 – 3 meses	0,552	0,119
3 – 6 meses	0,556	0,080
6 – 12 meses	0,467	0,053
1 – 2 años	0,308	0,027
2 – 3 años	0,356	0,026
3 – 6 años	0,382	0,021
6 – 11 años	0,511	0,017
11 – 16 años	0,637	0,012
16 – 18 años	0,702	0,011
18 – 21 años	0,816	0,011
21 – 65 años	1,227	0,016
más de 65 años	1,288	0,018

Fuente: EPA, 2019.

Tabla 11. Valor promedio de ingesta de alimentos

Edades (años)	Arroz (g/día)	Tomate (g/día)	Limón (g/día)
5	134,90	34,80	0,00
10	196,40	40,60	29,10
25	204,20	49,90	34,30
35	204,20	49,90	56,30
45	204,20	49,90	56,30
60	163,80	48,60	0,00

Fuente: ENSIN, 2005.

Con respecto al peso promedio por grupo etario, se emplearon los valores de la Tabla 9

Vía Dérmica

Para calcular la dosis absorbida por exposición dérmica debido a la inmersión o al contacto con glifosato, se consideró el coeficiente de permeabilidad de orden cero estimado por Nielsen et al. 2009, para piel sana: $K_p = 5,95E-05$ cm/hora; así como un tiempo de exposición de 8 horas/día, y una concentración estimada por el modelo conceptual empleado. El tiempo de exposición de 8h/día fue considerado, teniendo en cuenta las personas permanecen por aproximadamente 8 horas fuera de su residencia, realizando las diferentes labores cotidianas. A partir de estos valores, se estima una dosis absorbida de glifosato de $DA = 4,791568e-06$

Además, se establecieron las áreas de la superficie de la piel en contacto por grupo etario mostradas en la Tabla 12 (134), y los pesos medios de la Tabla 9. Es importante aclarar que para efectos del cálculo de la DEE, se consideró que las personas exponen el total del Área Superficial dérmica, toda vez que en el alcance de este estudio no se realizaron caracterizaciones de la población suficientes para estimar un porcentaje de piel potencialmente afectada, ni se encontraron referencias que permitieran adoptar un valor. La información referencia al Área Superficial dérmica por grupos de edades se obtuvo del Manual de Factores de Exposición publicado en la página de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), por Bussard (2011)(136,137).

Para calcular la dosis absorbida por exposición dérmica debido a la inmersión o al contacto con glifosato, se consideró la Ecuación:

$$DEE_{D\acute{e}rmica} = \frac{DA_{evento} \times AS \times FE}{PC} \quad (8)$$

Donde AS es el área de la superficie de la piel en contacto (cm²), Fe es el factor de exposición, PC es el peso corporal (kg) y DA_{evento} es la dosis absorbida por evento (mg/cm²-evento), la cual en el caso de calcular la dosis absorbida de un compuesto inorgánico en agua se calcula con la siguiente ecuación:

$$DA_{evento} = K_p \times C \times TE \quad (9)$$

Con K_p la constante de permeabilidad (cm/hora), C la concentración del químico (en el suelo) en contacto con la piel (mg/cm³), y TE el Tiempo de contacto o exposición (horas/evento) (88).

En este estudio se consideró el coeficiente de permeabilidad de orden cero estimado por Nielsen et al. 2009, para piel sana: $K_p = 5,95E-05$ cm/hora; así como un tiempo de exposición de 8 horas/día, y una concentración estimada del glifosato en el suelo dada por el modelo conceptual. A partir de estos valores, se estimó una dosis absorbida de glifosato de $DA = 4,791568e-06$ (138).

Además, se establecieron las áreas de la superficie de la piel en contacto por grupo etario mostradas en la Tabla 12(134), y los pesos medios de la Tabla 8.

Tabla 12. Área superficial dérmica promedio

Grupo de edad		AS (cm ²)
Niños y jóvenes	0 – 1 mes	2.900
	1 – 3 meses	3.300
	3 – 6 meses	3.800
	6 – 12 meses	4.500
	1 – 2 años	5.300
	2 – 3 años	6.100
	3 – 6 años	7.600
	6 – 11 años	10.800
	11 – 16 años	15.900
	16 – 21 años	18.400
Hombres adultos	21 – 31 años	20.500
	31 – 41 años	21.000
	41 – 51 años	21.500
	51 – 61 años	21.100
	61 – 71 años	20.800
	71 – 81 años	20.500
	más de 81 años	19.200
Mujeres adultas	21 – 31 años	18.100
	31 – 41 años	18.500
	41 – 51 años	18.800
	51 – 61 años	18.900
	61 – 71 años	18.800
	71 – 81 años	17.700
	más de 81 años	16.900

Fuente: EPA, 2019.

Respecto al factor de exposición, se consideraron los resultados hallados por (Okada et al. 2019), quienes establecieron que la vida media del glifosato en el suelo varía entre 9 y 38 días; de modo que en este caso se asume que FE es un valor generado a partir de una distribución uniforme continua $U(9/365, 38/365)$ (139).

2.10.3 Obtención de variables de edades específicas para la cuantificación de la exposición

Se planteó realizar el cálculo de la evaluación de la exposición, mediante la determinación de la Dosis de Exposición Estimada DEE (30,88), para poblaciones con pesos corporales promedio de personas consideradas sanas (135) y poblaciones con pesos que representan delgadez crítica (140). La Tabla 13, muestra los pesos para personas sanas.

Tabla 13. Pesos corporales promedio de personas consideradas sanas

Sexo	Edades (años)	Peso (Kg)
Masculino	5	18,30
	10	31,40
	15	52,20
	25	67,10
	35	70,40
	45	70,70
	60	68,70
Femenino	5	18,20
	10	31,10
	15	51,50
	25	58,20
	35	62,10
	45	64,30
	60	63,10

Fuente: ENSIN, 2005; 2010.

Tomando como base la resolución 2465 de 2016, se tiene que el Índice de Masa Corporal - IMC que indica “delgadez” en el grupo poblacional de 18 a 64 equivale $< 18,5$. En este caso, para establecer un “peso de delgadez” fue necesario fijar la talla de la población, basada en los datos crudos extraídos de la base de datos de la Encuesta Nacional de Situación Nutricional –ENSIN-2010 (140), en el cual se encuentra información de la talla promedio por edad de los municipios San José del Guaviare, Cumaribo, El Retorno y Mapiripan, así mismo, se usó el peso promedio por grupo etario, para luego compararlo con el “peso de delgadez” y establecer si el estimado es un valor realista de la población.

Para calcular los pesos críticos, se realizó una estimación partiendo de los valores reportados en la Encuesta nacional de salud y nutrición ENSIN de los años 2005 y 2010 y de las bases de datos utilizadas en estas, cuyo desarrollo estuvo a cargo del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar - ICBF, el Ministerio de Salud y Protección Social, el Departamento Administrativo para la Prosperidad Social - PS, el Instituto Nacional de Salud – INS - y la Organización Panamericana de la Salud-OPS/OMS, integrando así los datos de este estudio con los datos reportados en dichas encuestas, además fueron confrontados con los patrones internacionales de crecimiento infantil de la OMS del año 2006 y vigentes en la actualidad(141,142).

Teniendo en cuenta que:

$$IMC = \frac{\text{peso (kg)}}{\text{talla (m}^2\text{)}} \quad (10)$$

En nuestro caso:

$$IMC_{delgadez} = \frac{\text{Peso}_{delgadez}}{(\text{talla promedio por municipio})^2} \quad (11)$$

Reemplazando y despejando:

$$\text{peso}_{delgadez} = IMC_{delgadez} \times (\text{talla promedio por municipio})^2 \quad (12)$$

$$\text{peso}_{delgadez} = 18,5 \times (\text{talla promedio por municipio})^2 \quad (13)$$

Teniendo en cuenta la talla media por municipios que se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Talla media por municipios

Municipio	Edad (Años)			
	25	35	45	60
	talla media en centímetros			
San José del Guaviare	161,21	157,76	160,52	158,85
Cumaribo,	158,53	156,29	157,61	156,66
El Retorno	158,84	160,32	160,35	159,77
Mapiripan	157,65	156,13	154,43	157,13

Fuente: DATOS CRUDOS –ENSIN 2010.

Reemplazando, se obtuvo la Tabla 15 de “peso de delgadez” por municipios

Tabla 15. Pesos de delgadez por edad (25,35, 45 y 60) y municipio

Municipio	Edad(Años)			
	25	35	45	60
	Pesos críticos estimados			
San José del Guaviare	48,08	46,05	47,67	46,68
Cumaribo,	46,49	45,19	45,95	45,40
El Retorno	46,67	47,55	47,57	47,23
Mapiripan	45,98	45,09	44,12	45,67

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Todos son pesos por debajo de 50 kg. Luego se compararon los “pesos de delgadez” estimados con los pesos promedio de estos municipios de acuerdo con ENSIN 2010.

Tabla 16. Pesos promedio por edad (25,35, 45 y 60) y municipio

Municipio	Edad(Años)			
	25	35	45	60
	Peso en kilogramos			
San José del Guaviare	66,30	72,80	72,60	77,80
Cumaribo	64,70	66,30	68,10	70,60
El Retorno	67,20	72,40	77,20	63,10
Mapiripan	65,70	62,40	52,70	67,10

Fuente: DATOS CRUDOS- ENSIN 2010.

En todos los casos, los “pesos de delgadez” se encuentran por debajo del peso promedio de acuerdo con ENSIN 2010, es decir, los pesos calculados son más bajos (alrededor de 20 kg) que el peso medio de la población de cada municipio.

Por otro lado, los pesos de delgadez crítica para niños de 5, 10 y 15 años se muestran en la Tabla 17(140,141).

Tabla 17. Pesos de delgadez crítica para la población infantil por sexo

Sexo	Edades (años)	Peso (Kg)
Masculino	5	16,75
	10	28,21
	15	52,20
Femenino	5	16,61
	10	28,48
	15	51,50

Fuente: INFORME ICBF- ENSIN 2005; Ministerio de Salud, 2018.

Nota: Las demás variables requeridas para el cálculo de la Dosis de Exposición Estimada, se determinaron a partir de las fuentes citadas en el ítem 2.10.2 (Obtención de variables de edades específicas para la cuantificación de la exposición). Estas se ajustaron a las edades específicas seleccionadas para este estudio.

Para calcular los pesos críticos, se realizó una estimación partiendo de los valores reportados en la Encuesta nacional de salud y nutrición ENSIN de los años 2005 y 2010 y de las bases de datos utilizadas en estas, cuyo desarrollo estuvo a cargo del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar - ICBF, el Ministerio de Salud y Protección Social, el Departamento Administrativo para la Prosperidad Social - PS, el Instituto Nacional de Salud – INS - y la Organización Panamericana de la Salud-OPS/OMS, integrando así los datos de este estudio con los datos reportados en dichas encuestas, además fueron confrontados con los patrones internacionales de crecimiento infantil de la OMS del año 2006 y vigentes en la actualidad(141,142).

En las edades 5, 10 y 15 años, se realizó una estimación para obtener el peso crítico (delgadez) teniendo en cuenta el indicador antropométrico talla para la edad (T/E) y tomando como referencia que la anormalidad en este indicador T/E se encuentra por debajo de -2 desviaciones estándar, se tomó el peso indicado para esta medida de dispersión, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media, lo anterior permitió a través de la talla y el peso ideal para la edad una estimación del peso crítico de este grupo poblacional.

2.11 Cuantificación de los cocientes de peligros

La cuantificación de los cocientes de peligro se hizo mediante la aplicación de las ecuaciones [1] a la [8] que corresponden a las tres vías de exposición consideradas en la evaluación de la exposición. Al respecto es necesario aclarar que la cuantificación realizada es de primer nivel o exploratoria y no corresponde o se puede asociar a un municipio en particular, debido la falta de información específica a nivel municipal o nacional, que permita obtener valores detallados de los diferentes parámetros y/o variables que se consideran en el cálculo de los cocientes (ver Anexo 15- documento adicional), tales como:

- Concentración del contaminante en el medio contaminado (agua, aire, suelo).
- Tasa promedio de contacto (ingesta promedio diaria de agua; inhalación promedio de aire)
- Peso corporal (kg) por grupo por habitante o el peso medio por grupo etario.
- El factor de exposición
- El tiempo medio de contacto o exposición (horas/evento).
- Pesos promedios por grupo etario y género.

Para determinar cuantitativamente el cociente de peligro (HQ, por sus siglas en inglés, Hazard Quotient) en una población expuesta se combina la información cuantitativa de la exposición con la derivada de la etapa de evaluación dosis-respuesta. Específicamente, se caracteriza calculando el cociente entre la dosis de exposición estimada (DEE) y la dosis UMBRAL, la cual recibe diferentes nombres dependiendo de la agencia que lo formule (RfD, MRL, IDA, etc.)(102,143), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$HQ = \frac{DEE}{RfD} \quad [14]$$

El cociente de peligro mostrado en la Ecuación [14] se caracteriza por ser adimensional, y para la interpretación del valor resultante se tiene en cuenta lo siguiente: Si $HQ < 1$ se puede decir que no es probable que se produzcan efectos adversos, y el riesgo puede considerarse insignificante. Cuando $HQ > 1$ entonces se supera el umbral de exposición seguro, y se debe considerar la probabilidad de que se produzca un efecto adverso, aun cuando nunca se puede hablar de probabilidad estadística (102,143) De manera análoga se interpreta el resultado obtenido para el índice de riesgo a partir de las Ecuaciones [15],[16] y [17].

Por su parte, la cuantificación del riesgo se obtuvo a partir de los resultados hallados para las concentraciones en la evaluación de la exposición y los umbrales establecidos en el numeral 1.17 (Umbrales aceptados internacionalmente para el glifosato), para cada una de las vías de exposición. Los valores de las variables mencionadas anteriormente, que intervienen en las ecuaciones [5], [7] y [8] fueron hallados en artículos publicados en las bases de datos especializadas y en bases de datos nacionales.

A continuación se detallan, para cada vía de exposición, los valores de los parámetros fisiológicos y de comportamiento, y de los umbrales que fueron considerados en las ecuaciones del cálculo de los cocientes de peligro, así como los distintos escenarios por grupo etario analizados.

Vía Oral

Para cuantificar el cociente de peligro de la vía oral se utilizó la ecuación [20] considerando la ingesta de agua. Se tomó como valor umbral la dosis de referencia oral dada por la EPA, en concordancia con el valor de ADI definido por FAO y OMS, la cual corresponde a: $RfD_{oral} = 0,10 \text{ mg/kg} - \text{día}$.

Por otra parte, con respecto a la dosis diaria de exposición estimada (DEE) esta fue obtenida empleando la misma metodología propuesta en la evaluación de la exposición. Para determinar la dosis de exposición estimada fue necesario hallar una única concentración en suelo a partir de las concentraciones halladas en la evaluación de la exposición para los medios: escorrentía, desplazamiento lateral directo a la fuente y la lixiviación que puede afectar aguas subterráneas. La concentración en suelo calculada fue de $C = 0,058 \text{ mg/m}^3 - \text{año}$.

El hecho de emplear esta única concentración hizo necesario recalcular las dosis de exposición estimadas para la vía oral (DEE_{agua}) para cada uno de los escenarios por grupo etario considerados en la evaluación de la exposición. Para ello se asumieron los mismos parámetros: la ingesta media de agua por año para cada grupo etario sugerido por (ver Tabla 18) y un factor de exposición de $FE = 1$. Para cada grupo etario de la Tabla 20 Se calculó el peso medio, a partir de los pesos de los correspondientes grupos etarios reportados en los resultados de la Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia –ENSIN, versiones del 2005 y 2010 (Informe ICBF) (Ver tabla 8 y 9). Estos datos fueron tomados de estas encuestas por ser datos tomados de la población Colombiana y valorando su utilidad para diferentes estudios (ENSIN)(142)

Tabla 18. Valor promedio de ingesta de agua por grupo etareo día/año

Grupo de edad	(L/Día)
0 - 1 mes	0,47
1 - 3 meses	0,55
3 - 6 meses	0,56
6 - 12 meses	0,47
1 - 2 años	0,31
2 - 3 años	0,36
3 - 6 años	0,38
6 - 11 años	0,51
11 - 16 años	0,64
16 - 18 años	0,70
18 - 21 años	0,82
21 - 65 años	1,23
más de 65 años	1,29

Fuente: EPA. Ingestion of Water and Other Select Liquids. En: Exposure Factors Handbook. 2011. p. 107.

Vía Dérmica

Los cocientes de peligro para esta vía fueron cuantificados usando la Ecuación [22], bajo las siguientes consideraciones:

- Emplear como dosis de referencia dérmica, la sugerida por la EPA para suelo residencial $RfD_{oral} = 6.300,00 \text{ mg/kg día}$
- Considerar los mismos parámetros asumidos en la Evaluación de la Exposición para estimar las dosis de exposición: un coeficiente de permeabilidad de $Kp = 5,95E - 05 \text{ cm/hora}$, un tiempo de exposición de 8 horas/día, y una concentración estimada por el modelo conceptual para el suelo $C = 0,01006632 \text{ mg/cm}^3$.

Además, se asumieron las áreas de la superficie de la piel en contacto por grupo etario mostradas en la Tabla 12, y los pesos medios de las Tablas 8 y 9.

Con respecto al factor de exposición, se consideraron los resultados hallados por Okada et al. (144) Quienes establecieron que la vida media del glifosato en el suelo varía entre 9 y 38 días, de modo que en este caso se asume que el factor de exposición (FE) es un valor generado a partir de una distribución uniforme continua $U(9/365, 38/365)$. Finalmente, los cocientes de peligro fueron cuantificados para cada grupo de edad, conforme a la 8 y 9, y cada factor de exposición simulado en el rango antes mencionado.

Vía Inhalatoria

La cuantificación del riesgo tóxico por inhalación se obtuvo tomando como insumo para la *Ecuación* [25] a la concentración del glifosato a tres metros de altura suministrada por el modelo conceptual la cual fue de $C = 0,85 \text{ mg/m}^3$, y las concentraciones de referencia dadas por el IFA:

- Exposición larga (8 horas): $RfC_i = 15,00 \text{ mg/m}^3$
- Exposición corta (15 minutos): $RfC_i = 20,00 \text{ mg/m}^3$

No fue posible obtener un cociente de peligro por grupo etario u otros factores debido a la inexistencia de un umbral en la literatura para esta vía.

2.12 Cuantificación de los índices de riesgo

Se cuantificó el índice de riesgo (*IR*) para cada vía de exposición como sigue:

Vía Oral

Se utilizó la siguiente expresión conforme a los escenarios considerados para estimar el índice de riesgo para la vía oral:

$$\text{IR (oral)} = \text{HQ (0 – 1mes)} + \text{HQ (1 – 3meses)} + \dots + \text{HQ (más de 65 años)} \quad [15]$$

Vía Dérmica

Dado que se desconoce el factor de exposición, entonces se consideraron distintos valores, $FE = \left\{ \frac{9}{365}, \frac{10}{365}, \dots, \frac{38}{365}, 1 \right\}$, siguiendo los lineamientos dados en la literatura especializada y para cada uno de ellos se determinó el índice de riesgo como sigue (102,144):

$$\text{IR (dérmica)} = \text{IR (Niños y jóvenes)} + \text{IR (Mujeres adultas)} + \text{IR (Hombres adultos)} \quad [16]$$

Donde:

$$\begin{aligned} \text{IR (Niños y jóvenes)} &= \text{HQ (0 – 1mes)} + \text{HQ (1 – 3meses)} + \dots + \text{HQ (6 – 12 meses)} \\ \text{IR (mujeres adultas)} &= \text{HQ (21 – 31 años)} + \dots + \text{HQ (61 – 71 años)} \\ \text{IR (hombres adultas)} &= \text{HQ (21 – 31 años)} + \dots + \text{HQ (61 – 71 años)} \end{aligned}$$

Vía Inhalatoria

De acuerdo a la información suministrada, sólo fue posible estimar un cociente de peligro para cada nivel de exposición (corto y largo), y no fue posible cuantificar un índice de riesgo como se muestra en la Ecuación [17].

2.12.1 Cuantificación de los índices de riesgo no cancerígeno

Para determinar cuantitativamente la probabilidad de que se produzca un efecto adverso en la población expuesta, la información cuantitativa de la exposición se combina con la información derivada de la etapa de evaluación dosis-respuesta. Específicamente, se combina con un nivel de exposición UMBRAL, equivalente a una dosis que administrada durante toda la vida es improbable, incluso en poblaciones sensibles, que produzca efectos adversos (102).

Para evaluar el riesgo potencial de efectos no carcinógenos a través de distintas rutas por la misma sustancia, se calcula el índice de riesgo (*IR*), que es la suma de los cocientes de peligros (*HQ*) para las vías de exposición que se consideren relevantes en cada situación. En todos los casos, los *IR* deben ser calculados para efectos críticos concretos, y el periodo de exposición concreto considerando todas posibles rutas o escenarios, como sigue:

$$IR \text{ (crónico)} = HQ_{\text{crónico}} (\text{ruta1}) + HQ_{\text{crónico}} (\text{ruta2}) + \dots + HQ_{\text{crónico}} (\text{ruta m}) \quad [17]$$

$$IR \text{ (subcrónico)} = HQ_{\text{subcrónico}} (\text{ruta1}) + HQ_{\text{subcrónico}} (\text{ruta2}) + \dots + HQ_{\text{subcrónico}} (\text{ruta m}) \quad [18]$$

$$IR \text{ (agudo)} = HQ_{\text{agudo}} (\text{ruta1}) + HQ_{\text{agudo}} (\text{ruta2}) \dots + HQ_{\text{agudo}} (\text{ruta m}) \quad [19]$$

Dado que la concentración de exposición a un producto químico está sujeto al medio con el que una persona está en contacto, así como cada *RfD*, es necesario que el cálculo del riesgo de efecto no cáncer se presente para cada sustancia, vía de exposición y escenario previamente establecido en el estudio de rutas de exposición. Las adaptaciones de la Ecuación [14] para las vías de exposición oral, dérmica e inhalatorias son las siguientes:

2.12.2 Caracterización del riesgo para efecto no cancerígeno por vía oral

Para caracterizar el riesgo por vía oral, se compara la dosis de exposición estimada por vía oral para la sustancia con su *RfD*_{oral} mediante la siguiente Ecuación [20]:

$$HQ_{\text{oral}} = \frac{DEE_{\text{oral}}}{RfD_{\text{oral}}} \quad [20]$$

Dónde:

- *RfD*_{oral} es la dosis de referencia oral (mg/Kg -día)
- *DEE*_{oral} es la dosis diaria de exposición estimada oral (mg/Kg-día), definida como:

$$DEE_{oral} = \frac{C * TC * FE}{PC} \quad [21]$$

Siendo C la concentración del contaminante en el agua (mg contaminante/kg; g contaminante/m³, mg contaminante/L) o alimento (mg contaminante/g), TC la tasa promedio de contacto (kg/día), PC el peso corporal (kg), y FE el factor de exposición (sin unidad) (102).

2.12.3 Caracterización del riesgo para efecto no cancerígeno por vía dérmica

La cuantificación del riesgo por vía dérmica se obtiene al comparar la dosis de exposición estimada por vía dérmica para la sustancia con su $RfD_{dérmica}$ mediante la siguiente Ecuación [22]:

$$HQ_{dérmica} = \frac{DEE_{dérmica}}{RfD_{dérmica}} \quad [22]$$

Dónde:

- $RfD_{dérmica}$ es la dosis de referencia dérmica (mg/kg -día)
- $DEE_{dérmica}$ es la dosis diaria de exposición estimada dérmica (mg/kg-día), definida como:

$$DEE_{dérmica} = \frac{DA_{evento} \times AS \times FE}{PC} \quad [23]$$

Donde a su vez, AS es el área de la superficie de la piel en contacto (cm²), FE es el factor de exposición, PC es el peso corporal (kg) y DA_{evento} es la dosis absorbida por evento (mg/cm²-evento), la cual en el caso de calcular la dosis absorbida de un compuesto inorgánico en agua se calcula con la siguiente ecuación:

$$DA_{evento} = K_p \times C \times TE \quad [24]$$

Siendo K_p la constante de permeabilidad (cm/hora), C la concentración del químico (en el suelo) en contacto con la piel (mg/cm³), y TE el Tiempo de contacto o exposición (horas/evento).

2.12.4 Caracterización del riesgo para efecto no cancerígeno por vía inhalatoria

En este caso, la cuantificación del riesgo tóxico por inhalación se obtiene al comparar la concentración de exposición estimada por inhalación de la sustancia contaminante con su concentración de referencia o RfC , esto es:

$$HQ_i = \frac{C_i}{(RfC_i \times 1000 \frac{\mu g}{mg})} \quad [25]$$

Dónde:

- RfC_i es la concentración de referencia por inhalación (mg/m^3)
- C_i es la concentración de exposición por inhalación ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

La primera de ellas (evaluación de riesgo), corresponde a la etapa en la que los instrumentos y herramientas conocidas se aplican de manera intensa y práctica; la comunicación del riesgo puede interpretarse desde dos puntos: un primer elemento desde la socialización del riesgo obtenido con su caracterización de las particularidades del mismo y un segundo punto desde la entrega y ampliación de la información a las entidades de cualquier naturaleza participantes de toma de decisiones; la gestión del riesgo por su parte, es la etapa en la que los amplios objetivos sociales se integran con la ciencia, y en la que se preparan todas las estrategias para abordar los riesgos(104).

Cabe destacar que en este estudio no se empleó el margen de exposición (MOE), debido a que si bien este da una indicación relativa del nivel de preocupación por la salud, no llega a la cuantificación del riesgo, el cual es uno de los objetivos de esta investigación.

2.12.5 Análisis del efecto del peso y el estado de la piel en los índices de riesgo

A partir de los valores hallados en distintas fuentes tales como el Ministerio de Salud, EPA, ENSIN 2005, y algunos artículos científicos, se determinó un peso normal para las personas con edades de {5,10, 15, 25, 35, 45, 60} años, así como los valores de los parámetros que intervienen en el cálculo de los cocientes de peligro. Los cuales se describen a continuación, y en este caso incluyen la ingesta de los alimentos arroz, tomate y limón.

Por otra parte, con el fin de determinar el efecto que pudiese tener el bajo peso de las personas sobre el índice de riesgo calculado, se determinó para cada edad de la 8 y 9 un estimativo del peso por debajo del valor normal.

Tomando como base la Resolución 2465 de 2016, se tiene que el IMC que indica “delgadez” en el grupo poblacional de 18 a 64 años, equivale a $IMC < 18,50$. En este caso, para establecer un “bajo de delgadez” se tendría que fijar la talla de la población, para lo cual se emplea el dato aportado en el ENSIN 2010 (Datos crudos) que contiene la información de la talla promedio por edad de los municipios San José del Guaviare, Cumaribo, El Retorno y Mapiripan (ver Tabla 14). Adicionalmente, se debe usar el peso promedio por grupo etario, para luego compararlo con el “peso de delgadez” y establecer si el estimado es un valor realista de la población(145).

Tabla 19. Valores de los parámetros asumidos para personas con peso normal

Género	Edad (años)	Peso medio normal	Área superficial dérmica promedio (cm ²)	Inhalación de aire (m ³ /día)	Ingesta promedio de agua (L/Día)	Arroz (g/día)	Tomate (g/día)	Limón (g/día)
Masculino	5	18,3	7.600	10,10	0,382	134,90	34,80	0,00
	10	31,4	10.800	12,00	0,51	196,40	40,60	29,10
	15	52,2	15.900	15,20	0,64	238,70	46,10	42,30
	25	67,1	20.500	15,70	1,27	204,20	49,90	34,30
	35	70,4	21.000	16,00	1,27	204,20	49,90	56,30
	45	70,7	21.500	16,00	1,27	204,20	49,90	56,30
	60	68,7	21.100	15,70	1,29	163,80	48,60	0,00
Femenino	5	18,2	7.600	10,10	0,38	134,90	34,80	0,00
	10	31,1	10.800	12,00	0,51	196,40	40,60	29,10
	15	51,5	15.900	15,20	0,64	196,40	40,60	29,10
	25	58,2	18.100	15,70	1,27	204,20	49,90	34,30
	35	62,1	18.500	16,00	1,27	204,20	49,90	56,30
	45	64,3	18.800	16,00	1,27	204,20	49,90	56,30
	60	63,1	18.900	15,70	1,29	163,80	48,60	0,00

Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Tomando las ecuaciones 10, 11, 12 y 13 se pueden obtener los datos para la construcción de la tabla con los pesos de delgadez crítica por grupo de edad en los municipios estudiados (de los que fue posible obtener los pesos promedio).

Ahora, bien reemplazando las tallas promedio de cada municipio se obtiene la tabla de “peso de delgadez” por municipios:

Nótese en la Tablas 15 y 17 que todos los pesos obtenidos están por debajo de 50 kg. Ahora al comparar estos “pesos de delgadez” con los pesos promedio de la Tabla 16, de estos municipios de acuerdo con ENSIN 2010 (datos crudos), en todos los casos, se observa que los “pesos de delgadez” que se estimaron se encuentran por debajo del peso promedio de acuerdo con ENSIN 2010. Es decir, los pesos calculados son más bajos (alrededor de 20 kg) que el peso medio de la población de cada municipio.

Adicionalmente, para las personas de {5, 10, 15} años de edad, se calculó el “peso de delgadez, aplicando a partir de la información antropométrica suministrada por la OMS, la metodología para calcular desnutrición crónica: calcular un peso probable para un niño con una DE (desviación estándar) de -2 en el indicador talla o altura para la edad. Los resultados finales se muestran en la Tabla 19.

La determinación de los cocientes de peligros usando las Ecuaciones [3] y [8] para cada una de estas edades y los dos tipos de peso, bajo las vías de exposición dérmica y oral, se hizo considerando además los valores de los parámetros mostrados en la Tabla 21, los cuales corresponden a las concentraciones suministradas de la modelación con SWAT y a los mismos valores umbrales especificados en la Sección 1.17. En esta Sección, cabe destacar que se especificó que no existe un umbral para la vía inhalatoria, lo cual hace imposible calcular un índice de riesgo en la misma forma que para las otras vías de exposición.

Tabla 20. Concentraciones y umbrales considerados para peso normal y peso de delgadez

Vía de exposición	Concentración	RfD
Dérmica	0,01006632 mg/cm ³	6.300,00mg/kg-día
Oral-ingesta agua	0,058300 mg/m ³ *año	10,00 mg/kg-día
Oral-ingesta alimentos	Arroz: 1,78E-08 mg/g Tomate: 1,93E-09 mg/g Limón: 1,10E-09 mg/g	10,00 mg/kg-día

Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Adicionalmente, para la vía de exposición dérmica se consideraron los siguientes valores de la constante de permeabilidad reportados en (138,146):

Piel deteriorada $K_p = 9,70E - 04$ cm/hora

Piel sana: $K_p = 5,95E - 05$ cm/hora

2.12.6 Análisis de incertidumbre

Se realizó un análisis de sensibilidad, usando el método de Monte Carlo, con el fin de determinar cuáles parámetros de los que intervienen en las ecuaciones de la Dosis de Exposición Estimada e índices de riesgo, tienen mayor influencia en los resultados, asumiendo que uno de los parámetros permanece constante. Para las vías de exposición consideradas se utilizó el intervalo de confianza (IC) dado para el peso de cada rango de edad (ver Tabla 8 y

Tabla 9), para generar distintos valores de pesos para cada grupo etario a partir de una distribución uniforme continua

U(Límite inferior del IC del peso, Límite superior del IC del peso).

Se establecieron distintos rangos de valores para los parámetros determinando una matriz de escenarios con los factores de exposición y concentraciones que reflejan el estimado límite, el estimado de tendencia central, y el estimado de alto nivel de cada uno de ellos. Con respecto a los valores de la concentración se tomó como base la concentración del glifosato hallada con el modelo conceptual, y éste se fue incrementando proporcionalmente.

Posteriormente se calculó la dosis de exposición estimada y su respectivo cociente de peligro. Este proceso se repitió, sin pérdida de generalidad, quinientas (500) veces, es decir, se generaron 500 poblaciones para cada matriz de escenarios, para obtener una distribución de los resultados que se espera refleje la incertidumbre total de los valores de entrada.

Específicamente para cada vía de exposición, se consideraron los siguientes valores para el factor de exposición y concentración:

- **Exposición vía dérmica:**

Factor de exposición en 0,0025, 0,0658, 0,5000, 0,9700, 0,9900, 1,0000 y concentraciones en 0,01006632, 0,02006632, 1,01006632, 3,01006632, 5,01006632. Los límites de los intervalos para generar aleatoriamente el peso corporal por grupo etario se muestran en las Tablas 8 y 9 de igual forma los valores de referencia para el área superficial se observan en la Tabla 12.

Nótese que los dos primeros valores de FE corresponden a 9/365 y 38/365, es decir, se asume que las personas están expuestas la misma cantidad de días al año que Okada et al. (144) establecieron para la vida media del glifosato en el suelo (entre 9 y 38 días), y posteriormente se va incrementando este factor de exposición para evaluar distintos estados límites.

- **Exposición vía oral:**

Los valores del factor de exposición seleccionados, sin pérdida de generalidad, para reflejar su estimado límite, el estimado de tendencia central, y el estimado de alto nivel fueron: 0,5000, 0,9500, 1,0000, y las concentraciones consideradas son: 0,0583, 0,6330, 0,6830, 0,7330, y 0,7830.

Los límites de los intervalos para generar aleatoriamente el peso corporal por grupo etario se muestran en las Tablas 8 y 9 de igual forma los valores de referencia para la ingesta de agua se pueden observar en la Tabla 10.

Los resultados se muestran por vía de exposición teniendo en cuenta los distintos escenarios planteados en el análisis.

2.13 Proceso y análisis de la información

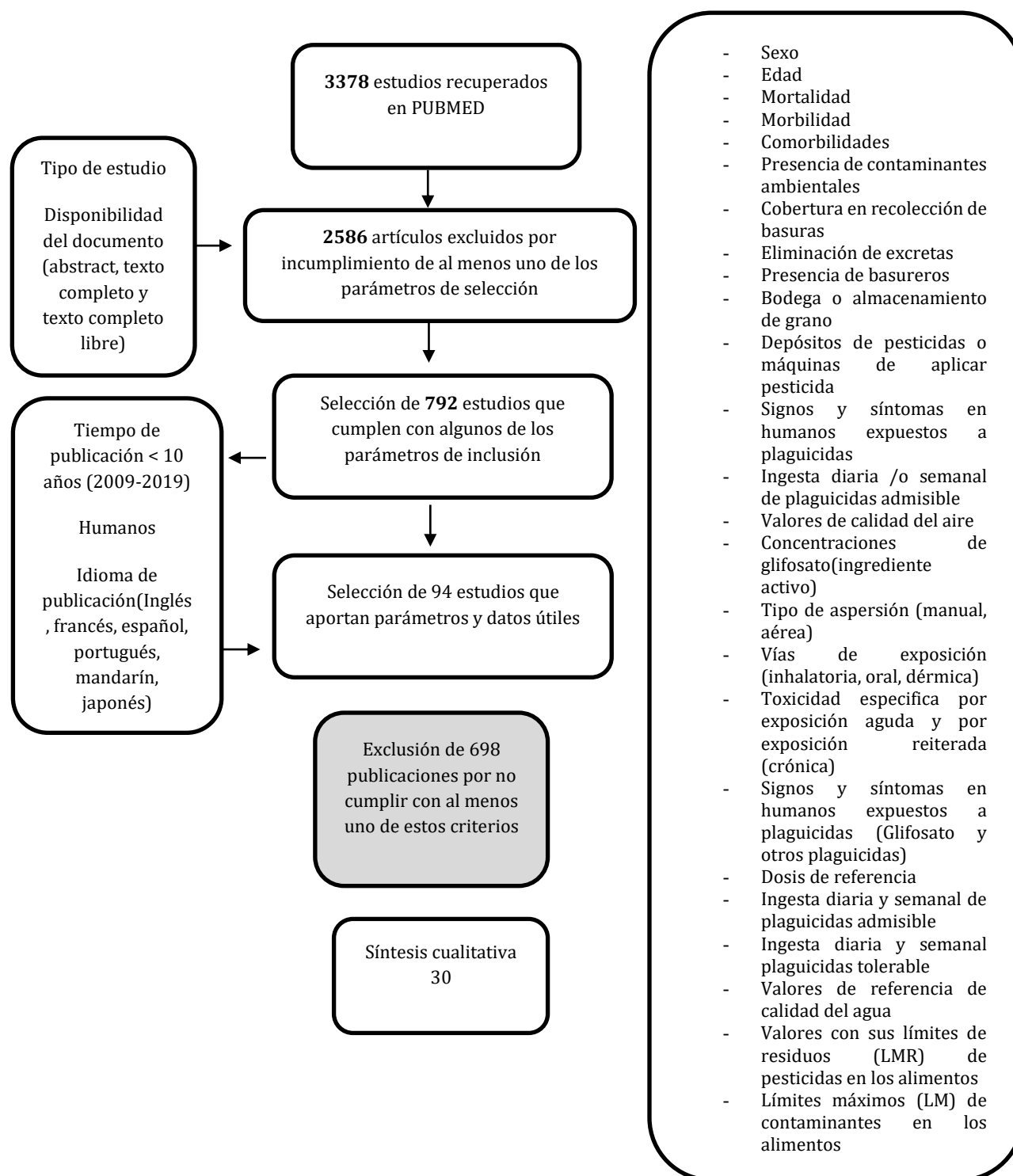
El procesamiento de la información se desarrolla de acuerdo con la etapa componente del proyecto.

Para el elemento que tiene que ver con la construcción de la revisión sistemática como base del documento, se construyó una tabla de parámetros en la que los profesionales, luego de aplicar el protocolo PRISMA, y una vez identificados los estudios pertinentes al objeto de estudio,

debían ir depositando la información identificada en cada uno de los campos planteados (ver documento en Excel: tabla de parámetros).

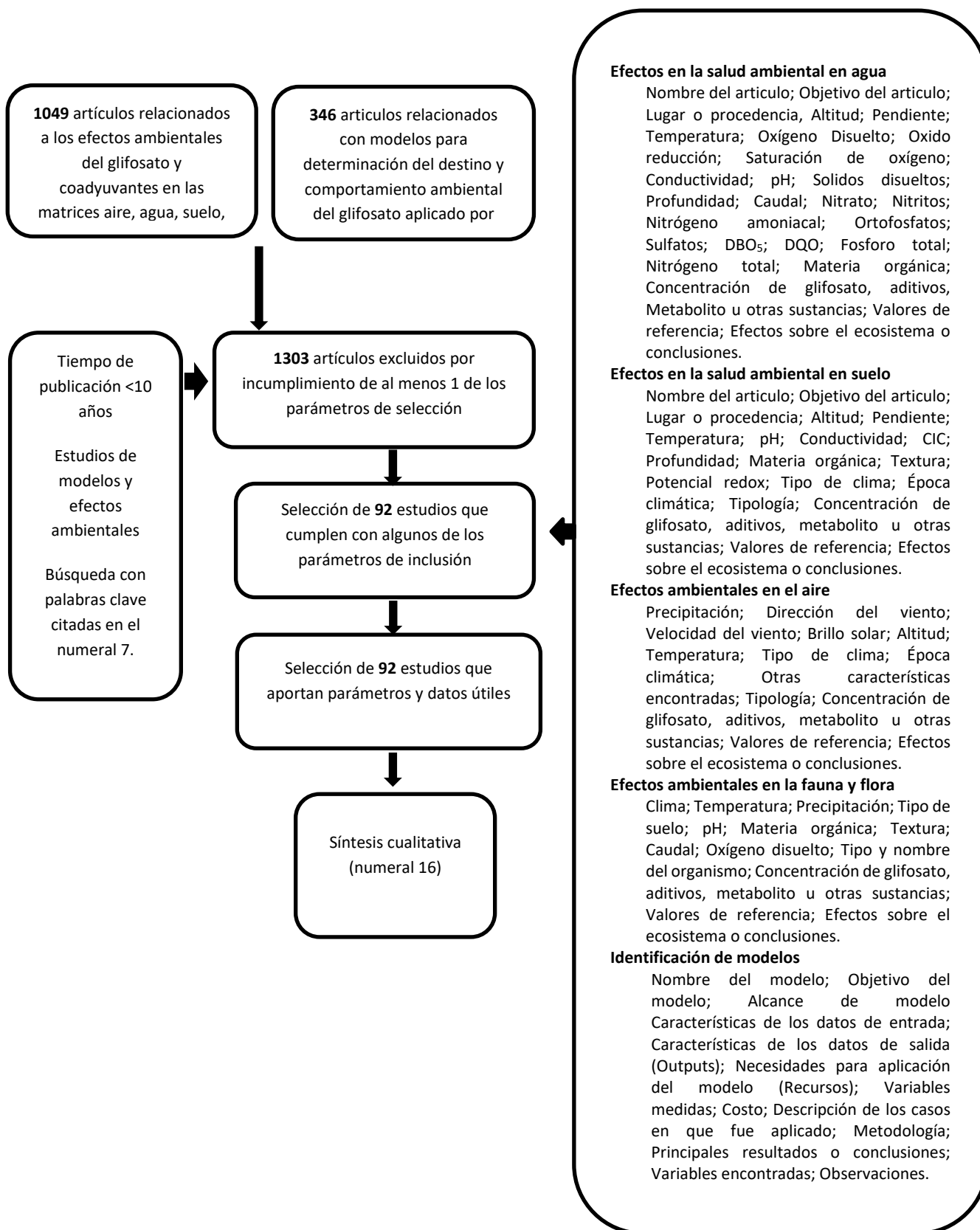
A continuación, se presentan los diagramas de flujo, como ayuda gráfica de los protocolos diseñados para la búsqueda de literatura y que permite visualizar el proceso de rastreo bibliográfico y decantación del mismo (Ver: Anexo uno y dos, protocolos de búsqueda de literatura) (Figura 13 y 14)

Figura 13. Diagrama de flujo de búsqueda de literatura identificación y caracterización del peligro



Fuente: Protocolo de búsqueda de literatura, contrato 1097/2019

Figura 14. Diagrama de flujo de búsqueda de literatura evaluación de la exposición



Para el análisis de información, se tomaron los lineamientos propuestos en la herramienta de la OMS, basados en unos interrogantes por elemento evaluado que aportan a la consecución de resultados. Así las cosas, los hallazgos son entregados según los productos establecidos en la minuta contractual pero sobre todo en lo que la herramienta de la OMS para la evaluación de riesgo propone como elementos necesarios a tener en cuenta para dicho ejercicio.

Identificación del peligro

Corresponde al capítulo tres de este documento, el cual está representado a su vez por el elemento número uno de la herramienta de la OMS (identificación del peligro de la sustancia de interés (glifosato)), para este elemento la OMS proyecta dos interrogantes(29):

- ¿Cuál es la identidad química de la sustancia? (Glifosato)
- ¿La sustancia química (glifosato) es potencialmente peligroso para los humanos?

Caracterización del peligro

Capítulo cuatro, elemento dos de la herramienta OMS, se plantean los interrogantes:

- ¿Qué propiedades del químico (Glifosato) tienen potencial para causar efectos sanitarios adversos?
- ¿Existen valores orientativos o de referencia basados en la salud de organizaciones internacionales para la sustancia (Glifosato)?
- ¿Qué premisas sobre la exposición y la dosis se incorporan en los valores orientativos/de referencia para el químico (glifosato)?

Evaluación de la exposición

Capítulo cinco de este documento- elemento tres de la herramienta; se plantean los tres interrogantes:

- ¿De qué maneras pueden entrar en contacto con el químico (glifosato) las personas?
- ¿Durante cuánto tiempo es probable que se produzca la exposición?
- ¿Qué medición de la exposición es la adecuada para la caracterización de riesgos sanitarios?

Caracterización del riesgo

Capítulo seis – elemento número cuatro de la herramienta de la OMS, plantea:

- ¿Cómo se compara la exposición estimada con el valor orientativo o de referencia basado en la salud?

2.14 Metodología para la comunicación del riesgo (medidas de mitigación y control)

Tomando los resultados observados en el desarrollo de la evaluación de riesgos, la cual comprende: la identificación y caracterización del peligro, la evaluación de la exposición, y la caracterización del riesgo, se proyectaron algunas recomendaciones de mitigación y control producto de dicha evaluación por exposición a glifosato; para la implementación de estas estrategias se plantean diferentes recursos: **(I)** de tipo tecnológico, **(II)** pedagógico- didáctico y **(III)** comunicativo-social.

Como respuesta a estas tres premisas se planten tres componentes:

- Estrategias para la implementación de las acciones identificadas
- Estrategias de comunicación del riesgo
- Socialización de las estrategias de comunicación

2.14.1 Estrategias para la implementación de las acciones identificadas

Para la implementación de las acciones identificadas, como se anunció en el marco teórico de este documento y dando respuesta al componente de estrategias de tipo tecnológico, los productos entregados son:

- Sistema de información

El sistema de información hizo uso de lo establecido en la metodología del estudio, el cual se basa como primera medida en la recolección de información científica y de literatura de la temática de la referencia, con el propósito de realizar una revisión sistemática de información que permita identificar los parámetros útiles para la evaluación del riesgo. Adicionalmente, se tuvo también en cuenta la información relacionada con la atención en salud de los habitantes de la zona de impacto del estudio, así como los indicadores y estadísticas relevantes de los sistemas de vigilancia en salud regionales y nacionales (Sistema de estadísticas vitales, Sistema de vigilancia en salud pública – SIVIGILA, Registros individuales de prestación de servicios de salud – RIPS, entre otros).

Ahora bien, considerando el alto volumen de información y rastreo bibliográfico documental que se extrajo de los ejercicios mencionados anteriormente; exceptuando de lo recogido en los once municipios estudiados, se construyó una base de datos (sistema de información) no estructurada, con alta capacidad de crecimiento y escalabilidad, que se encuentra en capacidad de recopilar dicha bibliografía de impacto y la cual facilita la labor de revisión de la misma.

Los requerimientos, estructura y alcance de la base de datos (sistema de información), así como la arquitectura del software propuesto, el diagrama de flujo de la información, la estructura de la base de datos y el listado de variables y convenciones de la misma, pueden encontrarse en el documento anexo n° 18 (*Sistema de información de apoyo a análisis de riesgos para la salud*

humana, con énfasis en un modelo de evaluación, derivado de la ejecución del programa de erradicación de cultivos de uso ilícito por aspersión área en Colombia).

- Tablero de control

Los profesores R. Kaplan y D. Norton propusieron una metodología a inicios de los años 70, que denominaron Cuadro de Mando o Balanced ScoreCard, conformado por cuatro perspectivas (Financiera, Clientes, Procesos Internos y Crecimiento y Desarrollo). La característica fundamental de la metodología, es plantear que debe ser enfocada desde varios enfoques relacionados entre sí, y no solamente desde indicadores financieros. Esos indicadores, en general, se constituyen en parámetros históricos, como medidas de inductores de la gestión, es decir en indicadores de resultado, a partir de los cuales, se modela de manera secuencial y encadenada, cada uno de los planes con sus respectivos objetivos, metas, indicadores, acciones y responsabilidades, que permite una adecuada proyección, organización, control y seguimiento a la gestión(147).

Con base en el enfoque del estudio que es principalmente la revisión documental y de literatura y que fue la línea de base para la construcción de un modelo de evaluación de riesgo, se identificó la necesidad de contar con un tablero de control (riesgo) que permitiera identificar aquellos factores de exposición que representan más riesgo para la salud humana. Y también que permitiera entre otros aspectos, el monitoreo constante de la presencia de estos factores y los elementos que potencian su presencia y aumento en las regiones.

Con la estructuración y construcción del tablero se podrá contar con el plan de acción de mitigación y control del riesgo, beneficiando inicialmente a la población, pero también permitirán al municipio, departamento y nación realizar la evaluación del nivel máximo contaminante.

Esto obliga a las Entidades (municipio, departamento y nación) respectivamente a enfocar sus esfuerzos en conocer y capturar la información de los medios de exposición, las rutas de exposición, los efectos en la salud humana después de la exposición y como tal conocer el nivel máximo contaminante.

Ese gran número de variables y los efectos complementarios que se producen, generan además gran cantidad de información por lo cual se hace necesario contar con una herramienta ágil, ordenada, clara y eficiente que permita conocer en cada instante, su estado, prever (sistemática y logísticamente) el comportamiento a mediano y largo plazo y tomar decisiones anticipadas para mejorar la gestión, prevenir desviaciones y mitigar el riesgo. Es en este punto de las estrategias para la implementación de las acciones identificadas donde el tablero de control se conecta con el sistema de información planteado en el numeral 3.1.1 de este documento (sistema de información); hallándose que entre los dos se sirven mutuamente y fortalecen la gestión de la información y del conocimiento en las regiones.

Dicho lo anterior, se requiere de una acción integral que abarque todas las variables críticas y que permita interrelacionarlas en función a objetivos claramente definidos y acordes con los efectos identificados.

Para el desarrollo de este tablero de control se definieron varios enfoques relacionados entre sí: los medios de exposición (aire, suelo, agua, alimentos y bebidas, productos de consumo, otros materiales). Las rutas de exposición (ingestión, inhalación, cutánea). Los efectos en la salud humana después de la exposición. El nivel máximo contaminante. Estos enfoques se comparan con el nivel encontrado y el resultado según los pesos porcentuales establecidos para cada efecto(147,148).

Cada efecto, funciona como si fuera un indicador, por tal motivo debe contar con una hoja de vida de efectos. Con base en lo anterior, cada hoja de vida de efectos, contiene cada una de las variables que se deben tener en cuenta para la evaluación del nivel máximo contaminante. Lo que permitirá contar con una adecuada organización, control, seguimiento y un plan de mitigación de los efectos identificados. La estructura completa del tablero de control se encuentra en el documento anexo N° 19.

Cada uno de estos tableros es municipal y le aporta según el peso porcentual al tablero del departamento. Estos tableros departamentales según el peso porcentual determinado le aportan al tablero general para identificar riesgos para la salud humana en la erradicación de cultivos de uso ilícito por aspersión aérea con glifosato en Colombia.

2.14.2 Estrategias para la comunicación del riesgo

Dadas las obligaciones contractuales del presente Contrato Interadministrativo y como se mencionó al comienzo de este subcapítulo (2.13), el alcance en lo relacionado con la comunicación del riesgo llega hasta la entrega a las entidades estatales (Ministerio de Salud-DIRAN) y de ser necesario se compartirá la misma información con las entidades territoriales de los departamentos y municipios estudiados (Meta, Guaviare y Vichada).

Como es sabido, las estrategias de comunicación sirven como un medio para la adecuada difusión de la información. En ellas se recomienda que se establezcan canales de comunicación directa con los encargados de la formulación de políticas organizando para ellos reuniones a través de plataformas interactivas promoviendo la participación las partes interesadas.

La comunicación se hará en dos vías y con dos tipos de contenidos: **vías: (I)** Ministerio de salud y protección social, DIRAN y comunidad científica, **(II)** Entidades territoriales, población de los tres departamentos donde se evaluó el riesgo. **Contenidos: (I)** comunicación y/o entrega de los productos obtenidos del ejercicio de evaluación (MinSalud, DIRAN), **(II)** comunicación de las medidas de mitigación y control para el riesgo por exposición al programa (ET y población). Es de aclarar que para este último elemento, el receptor será la subdirección de salud ambiental del Ministerio de Salud y Protección social, entidad responsable de la proporción restante

(66,6%) de la comunicación del riesgo mencionada al comienzo de este subcapítulo (2.13) y del marco teórico (capítulo uno), así como de la gestión de riesgo en relación a los resultados acá obtenidos y como parte integral de un análisis de riesgos.

Entrega de productos

Para la primera vía (comunicación de los cinco productos u obligaciones contractuales) se plantean las siguientes estrategias:

- Documento general estructurado de la siguiente manera: Marco teórico, metodología empleada, resultados, conclusiones.
- Presentación en prezzi con los resultados de exposición y riesgo por cada departamento evaluado.
- Establecer taller, simposio y/o reunión de socialización del informe con las partes interesadas (MinSalud, DIRAN). Y con aquellos centros del gobierno y/u organizaciones territoriales que Min salud considere pertinentes.

De igual forma, para cada producto u obligación contractual, fue entregado de manera específica:

Producto uno y dos: “Identificación y caracterización del peligro”

- Documento general con producto uno y dos: “Identificación y caracterización del peligro”
- Anexo 1. Protocolo de búsqueda de literatura bajo estrategia PRISMA
- Tabla de parámetros observados durante la revisión de literatura
- Reseña con los estudios tenidos en cuenta para la identificación y caracterización del peligro
- Tabla de posibles efectos en salud

Producto tres: “Evaluación de la exposición”

- Documento general con producto tres: “Evaluación de la exposición”
- Anexo 2. Protocolo de búsqueda modelos –dosis exposición
- Anexo 3. Herramienta para evaluar calidad en estudios ambientales “CAEnvTool”
- Anexo 4. Modelo teórico: Glifosato y salud
- Anexo 5. Modelo conceptual SWAT
- Anexo 6. Simulación AgDRIFT
- Anexo 7. Simulación SWAT
- Anexo 8. Estudios de caso
- Anexo 9. Glosario SWAT

- Anexo 10. Modelo conceptual AgDrift
- Anexo 11. Tabla de modelos componente ambiental
- Anexo 12. Reseñas componente ambiental y modelos

Producto cuatro: **“Caracterización del riesgo”**

- Documento general con producto cuatro: “Caracterización del riesgo”.
- Anexo 13. Protocolo de búsqueda de literatura
- Anexo 14. Tabla búsqueda
- Anexo 15. Descripción de las variables de los RIPS, SIVILA y ASIS
- Anexo 16. Reseñas de los modelos
- Anexo 17. Análisis exploratorios de datos

Producto Cinco: **“Recomendaciones para mitigación y control del riesgo”**

- Documento general con producto cinco: “Recomendaciones de mitigación y control del riesgo”
- Anexo 18. Documento maestro con estructura del sistema de información
- Anexo 19. Tablero para monitoreo y control del riesgo en los municipios estudiados

Comunicación a entidades territoriales y/o población

Para la segunda vía, en lo referente a la comunicación del riesgo a las entidades territoriales y/o población de los departamentos evaluados, se presenta la estrategia para la socialización de las medidas de mitigación y control del riesgo.

Se entregará a la subdirección de salud ambiental del Ministerio de Salud y Protección Social para luego ser transferido a las entidades territoriales y población:

- Tres cartillas impresas a color (una por Departamento), con material sobre las medidas de mitigación y control del riesgo por exposición al programa de aspersión aérea para la eliminación de cultivos ilícitos en los departamentos del Meta, Vichada y Guaviare.
- Tres infografías a color impresas a manera de rotafolio horizontal (una por Departamento), con material sobre las medidas de mitigación y control del riesgo por exposición al programa de aspersión aérea para la eliminación de cultivos ilícitos en los departamentos del Meta, Vichada y Guaviare.
- Una presentación con los resultados sobre la exposición, cocientes de peligros e índice de riesgo por departamento.

2.14.3 Socialización de las opciones de mitigación y control del riesgo

Para este aparte, y considerando las limitaciones de acceso a la información que permitieran mayor precisión en la estimación del nivel de riesgo, se plantean dos elementos como puntos de socialización de las opciones de mitigación:

- Recomendaciones metodológicas y sobre el acceso a la información.
- Recomendaciones sobre los resultados hallados durante el ejercicio de evaluación de riesgo.

3. CAPÍTULO TRES: RESULTADOS IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO

Para realizar evaluaciones de riesgo en salud, es importante contar con el conocimiento de la conducta contaminante (mezcla), la exposición, la dosis y la toxicidad. Sin embargo, estos datos no siempre están disponibles; para el caso en particular, y como se aclaró en capítulos anteriores, no se obtuvo la información precisa de la mezcla a utilizar para el programa de aspersión aérea con miras a la erradicación de cultivos ilícitos en Colombia, sumado a la insuficiente información de variables contextuales e individuales de los habitantes de los once municipios objeto de estudio, que aportaran a la identificación de elementos para determinar la exposición y con ello el índice de riesgo exacto para dichos espacios geográficos. No obstante, y como se menciona en el capítulo dos (metodología) y acudiendo el principio de exhaustividad académica y científica, se realizaron actividades para cada uno de los elementos de evaluación, que visualizan el alcance ideal al que se puede llegar cuando se cuenta con información precisa, amplia y veraz para dicha evaluación.

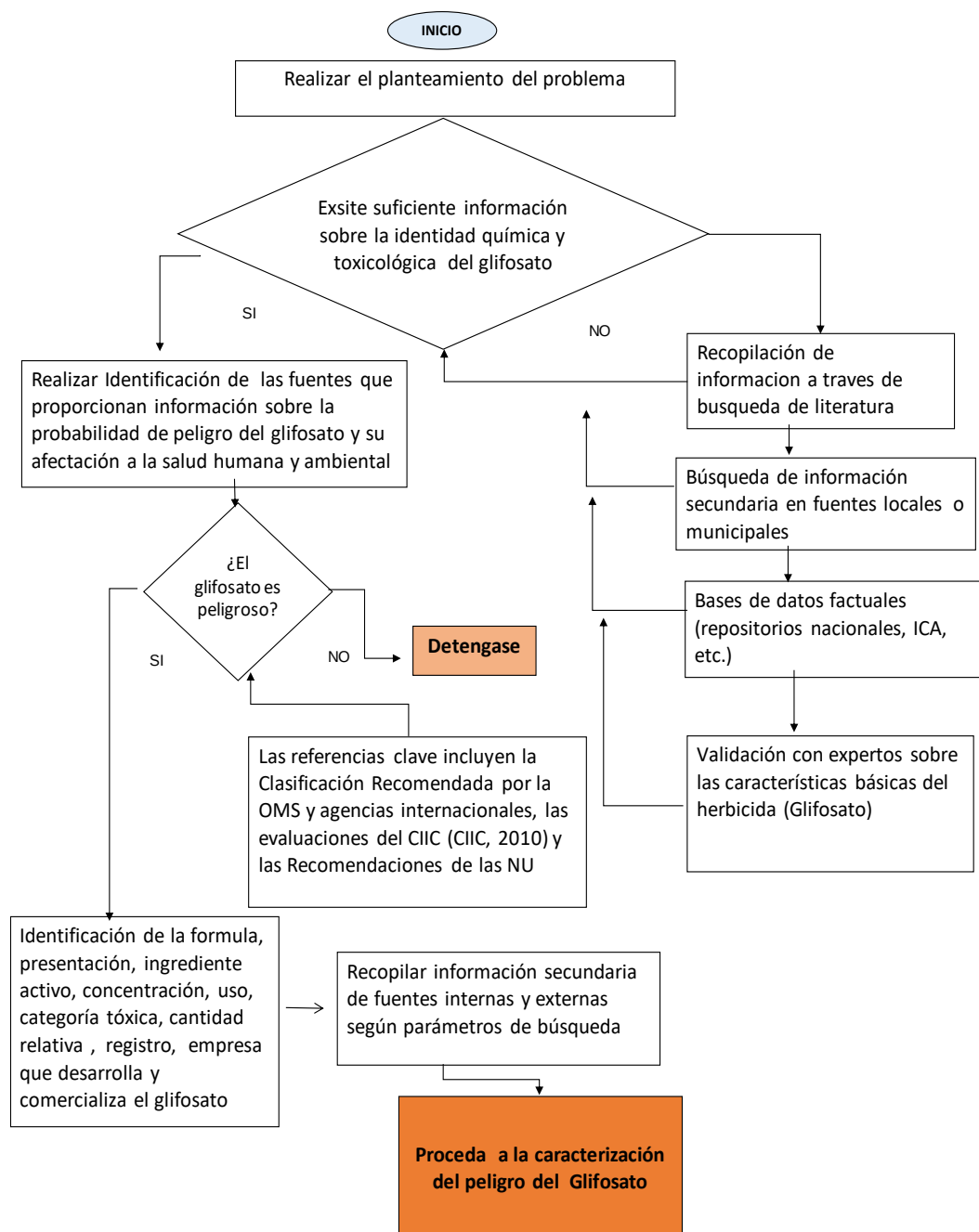
Sobre la base de las consideraciones establecidas por la herramienta metodológica de la OMS y para una adecuada evaluación de riesgos por sustancias químicas, se presentan los resultados obtenidos para identificación del peligro del glifosato como herbicida de mayor uso en Colombia, sobre todo para la aspersión en cultivos ilícitos(29)

La identificación de peligros implica establecer la identidad del producto químico de interés y determinar si las organizaciones internacionales han considerado peligroso el producto químico y, si así lo han hecho en qué grado de exposición (29).

En primera instancia, se presenta el diagrama de flujo como hoja de ruta para la identificación del peligro del glifosato y los aspectos claves que permiten su cumplimiento (Figura 15) En él se describe el paso a paso desarrollado para la identificación del glifosato como sustancia probablemente peligrosa para la salud humana y el impacto en salud ambiental.

Seguidamente, se presentan aspectos conceptuales acerca del comportamiento ambiental del glifosato en diferentes matrices. Luego, los interrogantes propios de la herramienta con los resultados obtenidos del rastreo bibliográfico aplicando la metodología descrita en el capítulo dos de este documento. Lo referente a los estudios seleccionados para la identificación y caracterización del peligro, así como la reseña de los estudios recuperados de donde se extrajo la información que permitió dar respuesta a los interrogantes son presentados en el anexo 20 del presente contrato.

Figura 15. Hoja de ruta para la identificación del peligro: estudio de Glifosato



Fuente: (14)) adaptado de: Organización Mundial de la salud. Herramienta de evaluación de riesgos para la salud humana de la OMS: peligros químicos [Internet]. 2017

3.1 Dinámica ambiental del glifosato

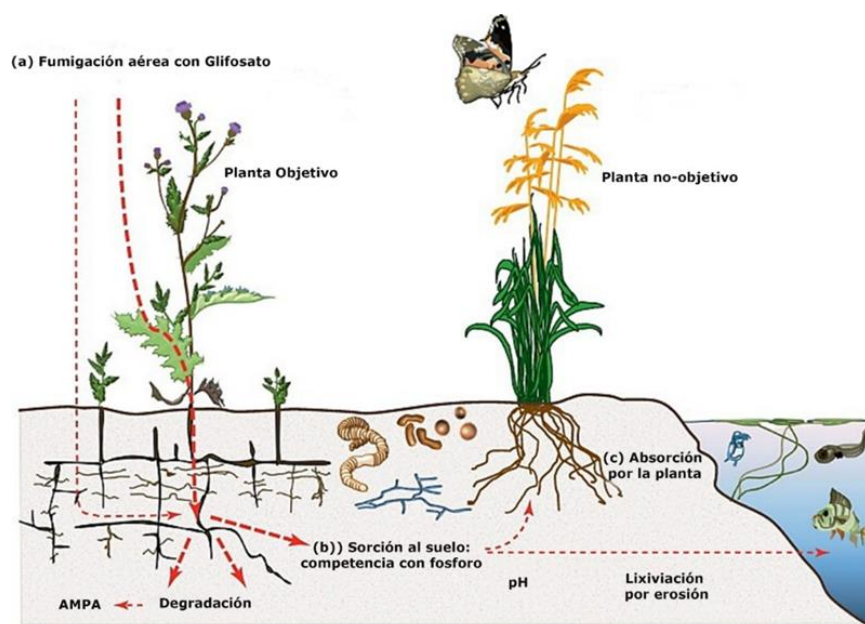
De forma regular, todos los productos contienen un grado de toxicidad, aun los que menos se consideran como tal. Todos los principios activos tienen dos componentes en su toxicidad, uno el relacionado inherentemente a la molécula y otro el factor de exposición de los organismos vivos. Como es sabido los problemas de toxicidad en el ambiente pueden magnificarse si el producto no tiene un uso adecuado o no se acatan los lineamientos técnicos del mismo(149).

En el caso específico del glifosato, quizás uno de los problemas asociados es la simplificación del paisaje que tiene lugar como resultado de la desaparición de las coberturas vegetales circundantes a los campos de cultivos, y que afectan el hábitat para la diversidad de especies y los procesos ecológicos que estas desempeñan en el ecosistema. Es importante entonces, no solo considerar los aspectos toxicológicos asociados a los agroquímicos, sino todos los efectos secundarios que pueden resultar de sus aplicaciones, sobre todo, si estas ocurren a grandes escalas espaciales y con repetición en el tiempo(150).

El Glifosato inhibe la 5 enolpiruvilshickimate - 3- fosfato al inhibir esta enzima corta el ciclo del ácido corismico que es un intermediario bioquímico importante en las plantas y no permite que se sinteticen 3 aminoácidos importantes como lo son el triptófano, fenilalanina y la tirosina. Que son indispensable para el crecimiento y metabolismo de las plantas(23,87).

En la siguiente figura, se presenta la dinámica ambiental del glifosato como un insumo gráfico para la identificación del peligro de este herbicida (Figura 16) (149).

Figura 16. Dinámica ambiental del glifosato



Fuente: (133) Krüger, M., Schledorn, P., Schrödl, W., Hoppe, H. W., Lutz, W., & Shehata, A. A. (2014). Detection of glyphosate residues in animals and humans. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 4(2), 1

La figura 16, describe como es el comportamiento ambiental del glifosato en la matriz suelo-agua; este inicia con la llegada del componente químico al sistema por medio de un proceso de aspersión, el cual se emplea con el fin principal de depositar el glifosato en la planta y esta lo absorba, pero parte de él cae en el suelo creando así una entrada alterna del compuesto de interés a la matriz. Una vez el glifosato cumple su función de herbicida este se degrada en AMPA, compuesto que termina en el suelo por procesos ambientales y propios de la planta; existiendo así dos sustancias químicas de interés en el suelo que de alguna manera podrían afectar la fauna y flora.

Plantas vecinas que no son objetivos del proceso de aspersión pueden absorber glifosato o AMPA por medio de sus raíces, ya que estas sustancias, al igual que los compuestos fosforados necesarios para estos seres vivos, se sorben en el suelo. Además, este comportamiento de sorción puede traer cambios en el pH del sistema, alterando la vida animal que allí esté presente. Por medio de mecanismos de lixiviación y erosión del suelo estos componentes químicos logran llegar a cuerpos de agua, esta acción afecta los ecosistemas acuáticos de manera directa o indirecta dependiendo de la cantidad de la sustancia que llegue a este medio(36,87).

3.1.1 Comportamiento del glifosato en las matrices ambientales

En la bibliografía existen diferentes estudios que evalúan el comportamiento del glifosato en las matrices aire y suelo-agua y los efectos que la exposición a este herbicida puede causar. La metodología, para la elaboración del Plan de Manejo Ambiental estuvo centrada en tres grandes etapas: Recopilación de información, Caracterización de los Componentes Ambientales, Abiótico, Biótico, Socioeconómico y Cultural y la evaluación de impactos y la definición de las medidas de manejo ambiental. En este sentido, el estudio de la dinámica y comportamiento ambiental de glifosato puede articularse al componente de caracterización en los medios abióticos: atmosfera, agua y suelo, estimándose también concentraciones a nivel ambiental de las sustancias que podrían penetrar los alimentos. A continuación, se detalla la información para cada matriz del medio abiótico considerada.

Matriz aire

La presencia de glifosato en el aire se debe a la deriva de la pulverización o a la erosión producida por el viento, ya que no tiene tendencia a ser volátil debido a su baja presión de vapor y su carácter iónico en suelos húmedos (151). Las concentraciones máximas de glifosato en el aire dependen de la precipitación y del período de su aplicación. No hay claridad sobre cual porcentaje del glifosato aplicado permanece en el aire, pero en el estudio realizado por Feng et al. 2011 se estimó que hasta el 7% de la aplicación se elimina del aire con la lluvia. De igual forma, se determinó que un promedio de 97% del glifosato en el aire es eliminado por una lluvia semanal cuando esta supera los 30 mm (152).

Teniendo en cuenta lo anterior, Yang et al. 2015 encontraron que el proceso de lixiviación del glifosato a cuerpos de agua (superficiales o subterráneas) depende de factores climáticos tales como la precipitación, estación del año y características propias del suelo como lo son la humedad, tipo de suelo, entre otras(153,154); lo que indicaría que al evaluar la exposición al glifosato en los eventos de lluvia posteriores a su aplicación harían que fuera disminuyendo. Sin embargo el glifosato puede usar a la lluvia como un vehículo para llegar a las aguas superficiales y subterráneas (155).

De igual forma, Alonso et al. 2018 investigó la presencia en la atmósfera de glifosato (GLP) y atrazina (ATZ), los cuales se dispersan a través de la lluvia, como principal fenómeno climático asociado con la deposición húmeda. La dispersión ocurre a través del análisis de las relaciones fuente-receptor con el suelo y a partir de la influencia de variables climáticas que pueden condicionar ese transporte. Los resultados mostraron que existe una variabilidad espacial de la concentración de pesticida entre las precipitaciones acumuladas que fue más evidente para GLP y AMPA que para ATZ. Así, la recarga atmosférica de material particulado determinó la concentración de ambos compuestos en la lluvia debido a la deposición atmosférica de herbicidas sobre cuerpos de agua superficiales y suelos, así como en sitios urbanos de la región, concluyéndose que podría constituir una fuente de exposición de la población a estos contaminantes (156).

Por su parte, Aparicio et al. 2018 determinaron la presencia y concentración de glifosato y ácido aminometilfosfónico (AMPA) en material arrastrado por el viento en 3 áreas en regiones semiáridas argentinas, obteniendo como resultados que el material arrastrado por el viento se enriqueció 60 veces en glifosato y 3 veces en AMPA en comparación con el suelo original, lo que muestra que el material erosionado puede, potencialmente, tener un impacto negativo en el ecosistema y también en la salud humana, dependiendo de la proporción de este material liberado a la atmósfera en suspensión como material particulado (157).

Ravier et al. 2019, cuantificó el glifosato, el glufosinato de amonio y el AMPA en la atmósfera ambiental de Provenza-Alpes-Costa Azul (PACA, Francia) en diferentes tipologías de áreas (áreas no agrícolas: centro de la ciudad, política de 'cero pesticidas', y área industrial pero también sectores agrícolas: principalmente huertos y viñedos). En el estudio no se encontraron concentraciones de glufosinato y AMPA. Sin embargo, la ausencia de detección simultánea de glifosato y AMPA sugiere que la deriva durante la operación de pulverización es la principal fuente atmosférica de glifosato y por tanto la re suspensión de las partículas del suelo es menor (158).

F. de Sousa et al. 2019 evaluó la contaminación por glifosato en una zona urbana y otra rural, en la que observaron un aumento del 7.3% en el promedio de las partículas evaluadas en la zona rural con respecto a la zona urbana. Este aumento lo relacionó con una mayor área de tierra en la zona rural, que podría contribuir a una mayor resuspensión de las partículas que podrían contener concentraciones peligrosas para la salud humana y el ambiente (159).

Matriz Suelo – Agua

Los pesticidas al entrar en contacto con el suelo tienden a adsorberse y permanecer en las capas de este (160), afectando directamente la estructura de su comunidad al reducir la supervivencia y capacidad reproductiva de organismos pertenecientes a esta matriz tales como: la lombriz de tierra, seres colémbolos, entre otros (161). Además, este tipo de sustancias tienen la capacidad de crear efectos no beneficiosos para la actividad microbiana y el potencial de solubilización de los fosfatos inorgánicos (162), creando así escenarios no favorables para la siembra de cultivos.

Bento et al. 2018 encontraron que el 85% del glifosato suministrado en el suelo es recuperado en su capa superior, mientras que el 15 % restante se perdió en las capas más profundas del suelo o fue disipado a otros metabolitos como productos de reacción (163). Asociado ello a los procesos de lixiviación o escurrimiento del pesticida a través de las capas del suelo dependen de factores climáticos y geológicos tal y como afirman Elena Okada, et al. 2018, la aplicación de glifosato en suelos agrícolas causa la contaminación no puntual de las aguas subterráneas, superficiales y sedimentos especialmente en suelos con textura arcillosa (164).

Para el caso del glifosato, Maqueda et al. 2017 hallaron que la mayor adsorción de este químico en el suelo está relacionada con la presencia de óxidos amorfos y sitios arcillosos (165). Igualmente Xiaomei Yang et al. 2015, afirmaron que para favorecer la conservación del producto en el suelo se recomienda aplicar el químico bajo condiciones atmosféricas secas (verano), para así disminuir al máximo el escurrimiento o desprendimiento del producto por lluvias creando escenarios de flujo móvil de agua entre las capas del suelo o de erosión (166). Gómez et al. 2017 evaluaron la exposición al glifosato ácido y la formulación a base de glifosato Roundup de las semillas de wilsonii a diferentes concentraciones, donde demostraron los efectos negativos sobre la germinación de la semilla; independientemente de la concentración, la germinabilidad se redujo en las semillas expuestas al herbicida (167). De igual forma, Machado et al. 2010 evaluaron la exposición de plantas de eucalipto de 3 meses de edad a 43,20; 86,20; 129,60 y 172,80 g/ha, luego del periodo de exposición las plantas se caracterizaron por clorosis y marchitez observados desde el quinto día después de la aplicación de glifosato y progresando en las dosis más altas para la necrosis de las hojas (168).

En la matriz agua se asocia la presencia de glifosato a la contaminación de fuentes no puntuales de la agricultura, responsable del deterioro de la calidad del agua superficial (169). El comportamiento ambiental del glifosato en el agua es aún más complejo de tratar, en el caso de la contaminación difusa o no puntual es más difícil poder predecir el destino del plaguicida en el ambiente, debido a que luego de aplicarse este se dispersa. El escurrimiento superficial, el drenaje hacia las aguas subterráneas y la deriva durante la pulverización son las principales fuentes de contaminación difusa por las cuales los plaguicidas llegan a las aguas naturales (170,171). El resultado del transporte y la distribución de los plaguicidas es la presencia de niveles detectables en las aguas superficiales que, al encontrarse disponibles, pueden interactuar con los componentes bióticos y abióticos del ecosistema (172).

Cuando se realiza una aplicación, parte de los herbicidas, insecticidas y fungicidas que se rocían sobre los cultivos pueden llegar a los cuerpos de agua superficiales y/o al agua subterránea de diferentes maneras, afectando a los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua para el consumo y la irrigación. La escorrentía superficial, el drenaje al agua subterránea y la deriva durante la fumigación son las rutas principales a través de las cuales los plaguicidas alcanzan las aguas naturales y se convierten en contaminación difusa (173). En la región pampeana localizada en el centro-este de Argentina, varios trabajos han demostrado la presencia de residuos de plaguicidas, específicamente glifosato y atrazina, en peces, aguas superficiales, aguas subterráneas, sedimentos, suelos y aguas pluviales (156,172).

La Universidad Nacional de Colombia, realizó en 2019 un estudio que comprobó la toxicidad del glifosato en peces, mediante análisis piloto de evaluación de la exposición aplicando concentraciones de 10ppm y 30ppm, en ambos casos hubo un 100 % de mortalidad que sugiere la sensibilidad de los peces al herbicida. El equipo investigador que desarrolló dicho experimento manifestó cambios importantes en la coloración de la sangre con niveles de 90 ppm como indicador de bajos niveles de oxigenación; además, fue medida la onda eléctrica de los controles, que era parte fundamental de este estudio y que estaba entre los 800 y 900 Hertz. Sin embargo, cuando empezó a exponerse al glifosato la onda alcanzó los 1.200 Hertz (174).

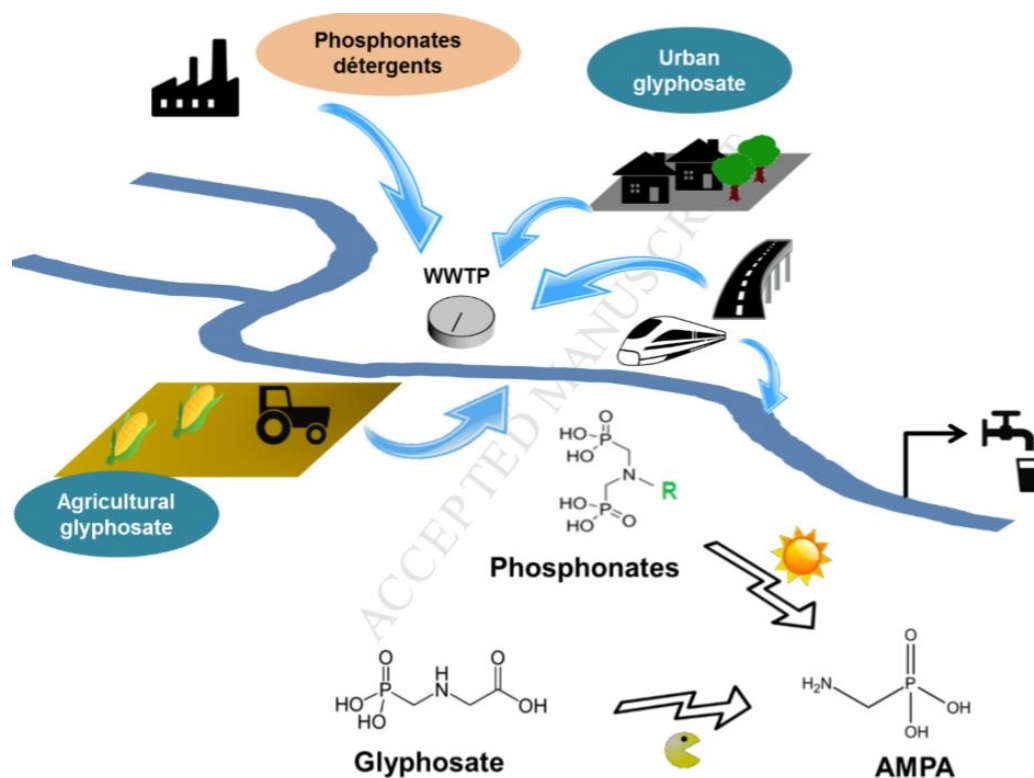
3.2 Dinámica ambiental del AMPA

El destino ambiental del glifosato ha sido ampliamente revisado, este es inmóvil o sólo ligeramente móvil en el suelo. El metabolito del glifosato, el ácido aminometilfosfónico AMPA es algo más móvil en el suelo, pero se descompone rápidamente, lo que produce lixiviaciones mínimas en los suelos agrícolas normales. La fuerte unión del glifosato al suelo produce una pérdida casi inmediata de la actividad biológica, sin embargo, los residuos unidos se descomponen lo suficientemente rápido como para que no se acumule, incluso durante muchos años de uso regular. La contaminación del agua subterránea por el uso normal del glifosato es poco probable, excepto en el caso de un derrame sustancial u otra liberación accidental y descontrolada de grandes cantidades al medio ambiente. La gran solubilidad en agua del glifosato y sus sales sugiere que sería móvil en el agua, sin embargo, la unión fuerte y rápida a sedimentos y partículas del suelo especialmente en aguas poco profundas y turbulentas, o en aquellas que transportan grandes cargas de partículas, eliminan el glifosato del agua(62,175-177).

Se han informado de otras vías metabólicas incluidas la degradación adicional de AMPA a fosfato inorgánico y $\text{CH}_3\text{-NH}_3$ y a través de sarcosina a glicina. Ninguno de estos productos se considera herbicida y no se espera que sean altamente tóxicos para los organismos acuáticos a las concentraciones que resultaría el uso de glifosato en el campo en los sistemas acuáticos. La foto degradación también puede tener lugar en condiciones de campo donde se produce una penetración suficiente de la luz UV(50,60,176).

A propósito del metabolito tóxico AMPA se conoce es más persistente que el glifosato: DT50 que varía entre 23 y 958 días. La vida media del glifosato DT50 varía entre 1,5 y 53,5 días mientras que el DT90 varía entre 8 y 280 días, dependiendo del tratamiento. Su metabolito, el AMPA persiste más tiempo en el suelo que el glifosato, con el DT50 a 30° que varía entre 26,4 y 44,5 días, y el DT90 entre 87,8 y 148 días. Los valores más cortos de disipación ocurren a los 30°C y en condiciones de saturación de agua o de retención al 60%, es decir, de mayor humedad(60,178) (figura 17).

Figura 17. Dinámica ambiental del AMPA



Fuente: Persistencia de glifosato y ácido aminometilfosfonico en el suelo loess bajo diferentes combinaciones de temperatura, humedad del suelo v luz oscuridad. Fuente: Bento CPM, Yang X, Gort G, Xue S, van Dam R, Zomer.

De este modo, el glifosato y su metabolito AMPA se degradan mucho más rápido en condiciones de altas temperaturas y humedad (clima lluvioso), y más lento en condiciones de temperaturas más bajas y clima seco(176,178).

Así mismo, algunos autores advierten que las aplicaciones repetidas de este herbicida en climas secos y en estaciones más frías puede ser una amenaza potencial al entorno y a la salud humana (179) (Tabla 22, figura 18).

A través de los resultados que se observan en la Tabla 22 fue evaluada la cinética de disipación de glifosato y AMPA de mejor ajuste en diferentes condiciones, teniendo en cuenta la formación y disipación simultánea de AMPA en los modelos.

La ausencia de diferencias significativas entre los valores de DT₅₀ / DT₉₀ también demuestra la menor influencia de la humedad del suelo en la formación / disipación de AMPA, además, los valores de DT₅₀ y DT₉₀ siempre fueron mayores para AMPA en comparación con los de glifosato en las mismas condiciones de tratamiento, por lo tanto, el AMPA persiste más tiempo en el suelo que el glifosato, incluso en condiciones cálidas y húmedas (157,160).

Tabla 21. Comportamiento Glifosato y metabolito AMPA DT₅₀ y DT₉₀

Tratamiento	Glifosato		AMPA			
	DT ₅₀ * ± SE (días)	DT ₉₀ *±SE (días)	DT ₅₀ ^S ± SE (días)	DT ₉₀ ^S ± SE (días)	t _{Amax} (días)	C _{Amax} (% de aplicación) ^a
5-NS-L-Sat	17,8 ± 1,4 b	93,2 ± 10,1 b	B	b	>30	n.a.
5-NS-L-60	24,9 ± 2,1 b	130 ± 7,1 b	B	b	>30	n.a.
5-NS-L-20	53,5 ± 6,2 a	280 ± 40,4 a	B	b	>30	n.a.
5-NS-D-Sat	18,5 ± 1,4 b	96,5 ± 10,5 b	B	b	>30	n.a.
5-NS-D-60	22,2 ± 1,8 b	116 ± 13,1 b	B	b	>30	n.a.
5-NS-D-20	48,8 ± 5,3 a	255 ± 35,6 a	B	b	>30	n.a.
30-NS-L-Sat	1,5 ± 0,1 f	8,0 ± 0,7 f	34,6±5,5a	115±18,1 a	8	40,4
30-NS-L-60	1,8 ± 0,1 e, f	9,4 ± 0,9 e, f	26,4±3,4a	87,8± 11,4a	6	41,8
30-NS-L-20	10,6 ± 0,8 c	55,2 ± 5,6 c	B	b	>30	n.a.
30-NS-D-Sat	1,8 ± 0,1 e, f	9,2 ± 0,8 e, f	33,7±5,2a	112±17,4 a	8	40,7
30-NS-D-60	2,2 ± 0,1 e	11,3 ± 1,0 e	31,6±4,7a	105±15,5 a	8	43,1
30-NS-D-20	4,1 ± 0,3 d	21,5 ± 2,1 d	44,5±8,1a	14 ± 26,8 a	11	41,9

n.a. – no disponible.

Diferentes letras minúsculas dentro de la misma columna significan diferencias significativas entre DT₅₀s y entre DT₉₀s (prueba F; p<0,05 – corregida por Bonferroni).

*: Los valores de DT₅₀ y DT₉₀ de glifosato se determinaron usando el modelo FOMC para todos los tratamientos y fijando C₀ y α para permitir comparaciones estadísticas.

S: los valores de AMPA DT₅₀ y DT₉₀ se determinaron teniendo en cuenta el modelo FOMC para el glifosato (para la fase de descomposición del AMPA), y fijando C₀ de AMPA, α y ffa.

a: los resultados de AMPA se convirtieron en una masa equivalente de glifosato, por lo que so C_{Amax} representa la concentración máxima de AMPA en % equivalente al glifosato aplicado.

b: las fases de alza y declive para el AMPA no se alcanzaron durante el periodo experimental, por lo que no fue posible detectar de manera confiable AMPA DT₅₀ y DT₉₀.

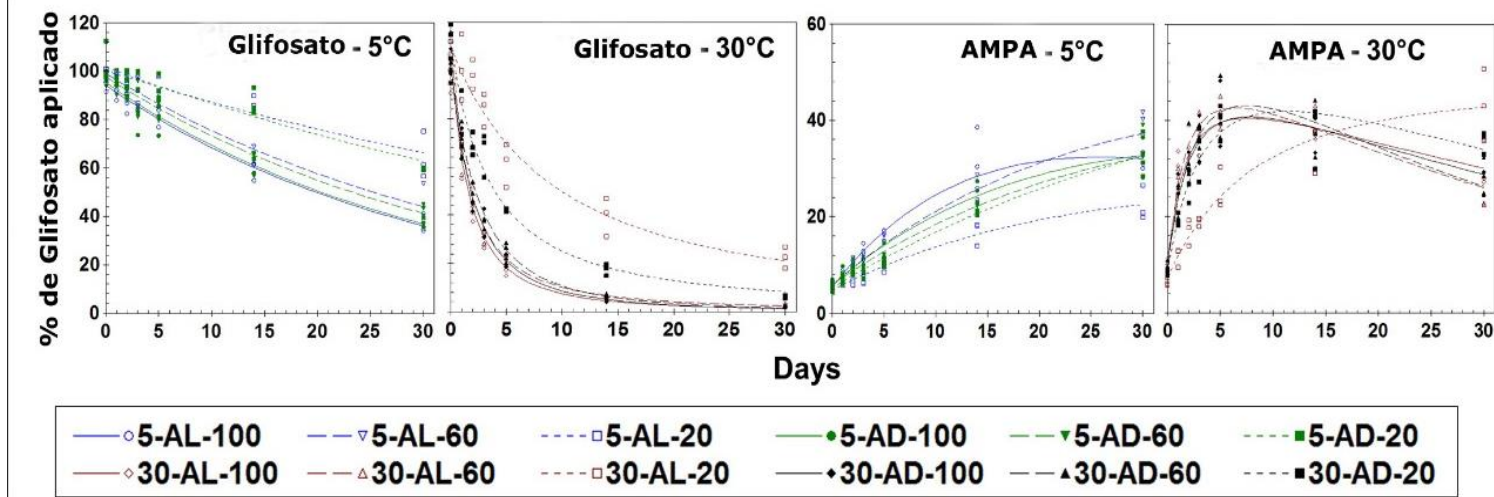
Fuente: (46)Persistencia de glifosato y ácido aminometilfosfonico en el suelo loess bajo diferentes combinaciones de temperatura, humedad del suelo y luz oscuridad. Fuente: Bento CPM, Yang X, Gort G, Xue S, van Dam R, zomer.

Barbechos o cultivos de invierno en países donde normalmente ocurren inviernos fríos y secos podrían conducir a la contaminación del suelo en el sitio, con el consiguiente riesgo potencial para el medio ambiente y la salud humana. (179)

Consideración: es necesario contemplar la posibilidad de agregar información general al menos sobre las características de peligrosidad del aceite mineral presente en Cosmo-Oil debido a que en el caso de la aspersión aérea este sería el producto coadyuvante que acompañaría al glifosato.

Figura 18. Cinética del Glifosato y AMPA en diferentes condiciones de temperatura

Cinética de disipación de glifosato y AMPA bajo diferentes combinaciones de temperatura (5°C o 30°C), humedad del suelo (Saturado (Sat), 60% o 20% capacidad de retención de agua y luz u oscuridad (L o D).



Fuente: Persistencia de glifosato y ácido aminometilfosfonico en el suelo loess bajo diferentes combinaciones de temperatura, humedad del suelo y luz oscuridad. Fuente: Bento CPM, Yang X, Gort G, Xue S, van Dam R, zomer.

También se ha caracterizado la disipación del glifosato del follaje tratado y de la hojarasca. La mayor parte del glifosato rociado sobre las plantas penetra en los tejidos vegetales después de la aplicación pero parte está disponible para el lavado durante varios días después de la aplicación. Según la OMS, los residuos de glifosato en las hojas se disipan rápidamente con un tiempo de desaparición del 50% (DT 50) de 8 a 9 días en condiciones forestales templadas. También se ha observado una disipación rápida similar en frutas(46,50).

Dado que las actividades microbianas del suelo están fuertemente moduladas por la temperatura, se espera que la degradación de los pesticidas sea mayor en los suelos tropicales que experimentan temperaturas más altas durante todo el año, que en los suelos templados. Esta explicación es coherente con las altas tasas de renovación de la materia orgánica del suelo que caracterizan los ambientes tropicales(60,175).

3.3 Interrogantes que permiten identificar el peligro del glifosato

Durante muchos años, desde la introducción de los herbicidas, se hizo común una posición de la industria y de agencias reguladoras sobre el carácter no tóxico y mucho menos cancerígeno del glifosato (GLI), pese a que había evidencia discreta, tal vez no muy contundente por la extensión de los estudios, sobre afectaciones a los seres vivos. Sin embargo, desde que en marzo de 2015 la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) de Organización Mundial de la Salud, llegó a la conclusión de que el GLI es un probable carcinogénico para humanos vinculado al linfoma no-Hodking (NHL) y clasificándolo en el grupo 2A, lo que era un hecho que se contraponía a lo divulgado sobre el carácter no tóxico del producto, se suscitó una controversia, que continua hasta el presente, en la que se involucraron agencias de prestigio como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (la USEPA o más sencillamente la EPA) y la Agencia Europeas para la Seguridad Alimentaria (EFSA), que sostienen la posición sobre el carácter no cancerígeno del GLI(12,180,181).

El glifosato es un herbicida ampliamente utilizado que controla malezas y pastos de hoja ancha y se registró por primera vez en 1974, los científicos de la EPA realizaron una evaluación independiente de los datos disponibles para el glifosato y llegaron a las siguientes conclusiones:

- No hay riesgos para la salud humana por los usos actuales del glifosato, por lo cual el glifosato no genera riesgos para niños o adultos.
- No hay indicación de que los niños sean sensibles al glifosato. Así mismo, evaluó todas las poblaciones, incluidos bebés, niños y mujeres en edad de procrear.
- No hay evidencia de que el glifosato cause cáncer en humanos. La agencia concluyó que no es probable que el glifosato sea cancerígeno para los humanos. consideró además un conjunto de datos significativamente más extenso y relevante que la agencia internacional para la investigación del cáncer (IARC).

3.3.1 ¿Cuál es la identidad química del Glifosato (o fórmula)?

El glifosato es un herbicida que frecuentemente se utiliza para erradicar plantas no deseadas y cultivos ilícitos. Dicho herbicida fue patentado por la casa Monsanto con la marca comercial Roundup®, el cual está compuesto por 480,00 g/L de la sal isopropilamina de N-fosfonometilglicina. Es importante identificar que el nombre químico del glifosato (ácido) es el N-(fosfonometil) glicina (PM=167,09) y el de la forma técnica más común, la sal de isopropilamina (IPA) es la sal de N-(fosfonometil) glicina isopropilamina (PM=226,16)(25). El número para el glifosato de amonio (CAS) es el 114370-14-8 y para el glifosato es el 1071-83-6. El glifosato es un ácido débil compuesto mitad de glicina y mitad de fosfonometil. Este herbicida no reacciona químicamente; es importante aclarar que, no es móvil en el aire ni en los suelos; no tiene una gran persistencia biológica y, tampoco, es bioacumulable ni se biomagnifica a lo largo de la cadena alimenticia(182).

En Pubchem (base de datos de química), el glifosato se encuentra registrado con la fórmula molecular: $C_3H_8NO_5P$ o $HOOCCH_2NHCH_2PO(OH)_2$, un peso molecular de 169.07 g/mol; clasificado como sustancia peligrosa (corrosiva y de riesgo ambiental) y entre las declaraciones de peligro de dicha sustancia, mencionan las lesiones oculares graves/irritación ocular; toxico para los organismos acuáticos, con efectos duraderos y de peligro a largo plazo(183).

Según el plan internacional de seguridad química (IPCS-INCHEM), esta sustancia se presenta como un cristal incoloro con peligros físicos como Posible explosión de polvo si está en forma de polvo o granular, mezclado con aire. Si está seco, se puede cargar electrostáticamente mediante remolino, transporte neumático, vertido, etc. Y como peligro químico e puede descomponer al calentar. Esto produce humos tóxicos que incluyen óxidos de nitrógeno y óxidos de fósforo. Ataca al hierro y al acero galvanizado(184).

A continuación se presenta la tabla con la identidad química del glifosato (Tabla 22. Identidad química del Glifosato en dos presentaciones

Tabla 22. Identidad química del Glifosato en dos presentaciones

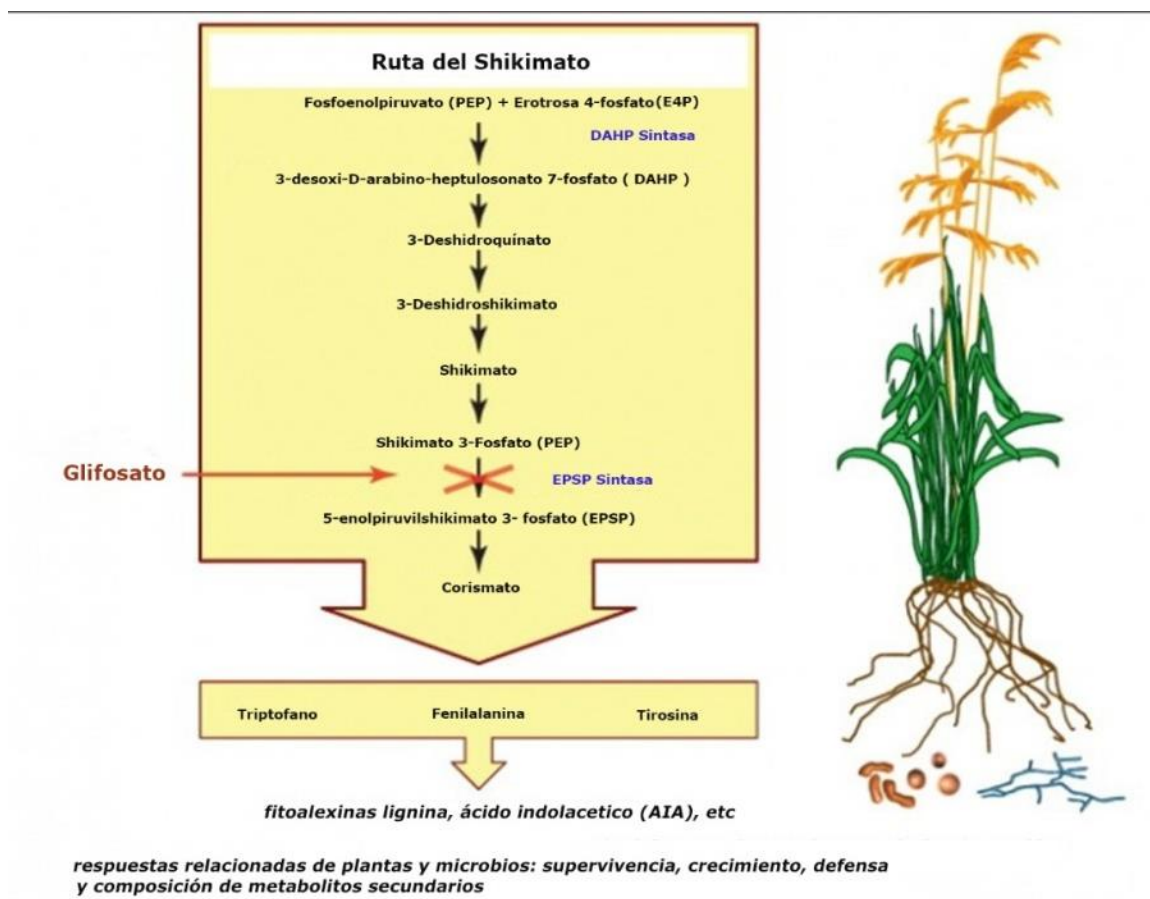
Propiedades	Glifosato ácido (N-(fosfonometil)glicina)	Sal de isopropilamina de glifosato
Peso molecular	169,10	228,20
Color	Blanco	Blanco
Estado físico	Sólido; cristales	Polvo
Punto de Fusión	230 °C (descompuesto)	2 estados 143-164 y 189-223 °C
Punto de ebullición	No hay datos	Se descompone sin hervir
Densidad a 20 °C	1705	1482
Olor	inodoro	Inodoro
Umbral del olor	No datos	No datos
Agua	No datos	No datos
Aire	No datos	No datos
Solventes orgánicos	Insoluble en solventes más orgánicos: acetona, etanol, xileno.	Diclorometano 184mg/L a 20°C Metanol 15,800 mg/L a 20°C
Presión de vapor a 25°C	$9,80 \times 10^{-8}$	$1,58 \times 10^{-8}$
Constante de la ley de Henry's	$2,10 \times 10^{-12} \text{ atm-m}^3/\text{mol}$ al 25°Cd	$3,30 \times 10^{-15} \text{ atm-m}^3/\text{mol}$ at 25°C
Auto ignición temperatura	No datos	No datos
Punto de inflamabilidad	No datos	No datos
Límites de explosión	No datos	No datos

Fuente: Either Mcbean (2011). O'Neill et al (2013), Sprankle et al (1975), EPI suit (2012)

Resultado: El herbicida glifosato, tal como se evidencia en la literatura consultada y citada en párrafos anteriores, se encuentra registrado bajo varias fórmulas y diferentes presentaciones. Las fichas técnicas e información consultada, presentan una descripción de la composición química del herbicida y permite identificar no solo este elemento, sino aspectos como la toxico cinética, toxico dinámica y la dinámica ambiental del mismo.

Así mismo, se presenta de manera esquemática como el glifosato impacta a nivel de los cultivos, las diferentes vías que este herbicida dentro su acción inhibe y el resultado de la disminución de tres aminoácidos esenciales como son el triptófano, la fenilalanina y la tirosina (Figura 19).

Figura 19. Vías esquematizadas de inhibición del glifosato



Fuente: (56) Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišić M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells

3.3.1.1 Resultados de la revisión de las fichas técnicas del herbicida y coadyuvantes

a) Glifosato

Nombre: Glifosato 480 SL

Fabricante: Shandong Weifang Rainbow Chemical China.

Composición del Producto

Componente	Contenido (g/L)
Glifosato	Min 356
Inertes y aditivos	Hasta 1 L

Fuente: Dirección de Antinarcóticos, Policía Nacional-Colombia

propiedades fisicoquímicas	Apariencia= liquido amarillo claro Formulación= Concentrado Soluble SL Solubilidad= Miscible en agua
	Olor = Caracteristico Densidad= 1,171 g /cm ³ pH = 4,00-7,00 Explosividad : No explosivo Inflamabilidad: No inflamable
Informacion Toxicologica	Toxicidad oral aguda: DL ₅₀ para ratas > 5.000,00 mg /Kg Toxicidad dermal aguda: DL ₅₀ para conejos > 5.000,00 mg /Kg Toxicidad Inhalatoria aguda: CL ₅₀ (4h) > 14,10 (M) y 18,70 (H) mg/L aire Irritación dermal: No irritante Irritación ocular: Irritante leve o Moderado Sensibilizacion: no es un sensibilizante formulado

Fuente: Información con base en estados del producto formulado

b) Composición información sobre los componentes

Ácido isopropilamina de N-fosfonometil-glicina 356 g /L a 20° equivalente a 480 g/L como SAL
Inertes
No divulgado C. S. P 1 litro.
Número de Registro Nacional ICA: 400
Vía Primaria de Exposición: Inhalación
Contacto con los ojos
Contacto con la piel

Fuente: Información con base en estados del producto formulado

Propiedades Físicas y Químicas

Apariencia: viscoso
Color: Ámbar a Castaño
Estado: Liquido
Olor característico: Olor a Pescado
Viscosidad: no hay datos
pH: 6,50 a 7,50
Gravedad especifica: (agua= 1)- 1215 a 1245 g/cc densidad
Densidad de vapor (air1) 1.5 Dimethylamina
Presión de Vapor 4,10 PSI a 20 °C/ 68°Fm (Dimethylamina)

Punto de Fusión -37°C/ -35 °F Dimethylamina
Punto de Ebullición: 54°C/ 129°F Dimethylamina
Solubilidad en Agua: Completamente Soluble
Porcentaje de Volatilidad: 42 %
Rata de Evaporación (AcB1)> 1 Dimethylamina

Fuente: Información con base en estados del producto formulado

Toxicidad

Oral DL ₅₀ - Rata>2.000,00 mg/Kg
Dérmica DL ₅₀ Rata > 4.000,00 mg /Kg
Sensibilización Cutánea: No produce Sensibilización
Irritación Ocular- Conejo-ligeramente irritable
Irritación en Piel- Conejo-No irritante
Inhalación CL ₅₀ - Rata: >13,02 mg/L por 4hm

Fuente: Información con base en estados del producto formulado

c) Cosmo-oíl emulsión (coadyuvante) (185,186)

Nombre de la sustancia	Concentración
Aceite mineral	70,00 %
Agua	15,00 %
Emulsificantes	3,00 %
Forma	Líquido viscoso
Color	Blanco
pH directo	7,70
Densidad	0,86 g /ml
Tensión superficial	0,10% v/v Din/cm- 37,50 Din/cm
Punto de Ebullición	NA
Punto de Fusión	NA
Punto de llama (flash Point)	123°C min
Flamabilidad	NA
Propiedades oxidantes	NA
Presión de vapor	NA

Fuente: ficha cosmoagro, proporcionado DIRAN 2020

Clasificación: aceite mineral emulsionado

Descripción Química: mezcla de hidrocarburos parafinicos y cicloparafinicos

Ingredientes Activos: aceites parafinicos y cicloparafinicos 672,00 g/L

Nota: este tipo de mercancía cumple con las normas de regulación de la EPA y exento de tolerancia bajo la regulación 40 CFR .180.1001 y la FDA bajo la norma 21 CFR 180.100.

Ingrediente activo: emulsificantes y agua csp 1 Litro (Ficha técnica entregada por la DIRAN- Información confidencial)

Características generales

Apariencia a 25°C, emulsión agua en aceite, punto de llama (flash Point) 123°C min, gravedad específica 0,860 g/ ml, viscosidad a 25°C > 330 cp, pH del producto 7,20 a 8,40, tensión superficial 0,10 % a 35 a 40 dinas /cm, rango de destilación (°C) 273-311, residuo no sulfatado 98,00%, contenido de aromáticos <0,50 %.

Solubilidad

Aceites minerales es soluble

Aceites vegetales es soluble

Solventes orgánicos es soluble (Usados en la formulación de agroquímicos)

Agua a 25°C es soluble.

3.3.2 ¿El glifosato es potencialmente peligroso para los humanos?

Según la clasificación de pesticidas por peligro recomendada por la OMS HHP-Lista-PAN-2016-actualizada y traducida al español el 29 agosto 2017, el glifosato se encuentra en el Grupo 2: Efectos a largo plazo - IARC probable carcinógeno(187). Otras agencias internacionales y nacionales han clasificado las propiedades toxicológicas del glifosato en grado IV o como ligeramente tóxico y en gran medida por la combinación o formula con los surfactantes (25,65,188-194).

Otros resultados muestran que R (Round up), pero no su principio activo G (Glifosato en polvo al 95% de pureza), causa efectos agudos y crónicos citotóxicos pronunciados en células epiteliales bucales derivadas del ser humano. Además, las pruebas con corta duración de genotoxicidad muestran que el herbicida, así como su formulación induce roturas de hebras que conducen a la formación de anomalías nucleares que reflejan la inestabilidad del ADN, incluido el daño cromosómico(188).

En la misma vía de la caracterización del peligro del glifosato, resultado de investigaciones concluyen en que la exposición al herbicida, así como la mezcla con sus adyuvantes, el glifosato podría representar un peligro para la salud humana, personalizada en eventos como nacimientos con defectos por alteración en las células germinales de humanos, entre otros eventos.(103, 105, 106,108-110)

Ahora bien, es pertinente examinar la evaluación de la toxicidad realizada por la Agencia para el registro de sustancias tóxicas y enfermedades de los Estados Unidos - Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). La ATSDR resume una serie de estudios en animales con exposiciones agudas y crónicas señalando evidencia de una relación del GLI técnico con

retrasos en el desarrollo, efectos gastrointestinales, como náuseas y vómitos, toxicidad renal y hepática, irritación ocular y efectos de disrupción endocrina(198).

Es importante aclarar que en la mayoría de los estudios epidemiológicos que han determinado las posibles asociaciones del glifosato con efectos en la salud, la evaluación de la exposición solo se ha realizado bajo diligenciamiento de cuestionarios acerca del uso de este herbicida en relación con la frecuencia de uso y cantidad utilizada, en todas las proporciones y frecuencias de exposición; pero no se precisa una medición de las concentraciones corporales de este elemento, por lo cual no es posible comparar con los estándares internacionales, pero si es posible identificar asociaciones entre la exposición a glifosato y los efectos en la salud.

Resultado: En cuanto al interrogante si el glifosato es potencialmente peligroso para los humanos, se observaron diferentes posiciones al respecto. Según la clasificación de las agencias internacionales y nacionales han clasificado las propiedades toxicológicas del glifosato en grado IV o como ligeramente tóxico y en gran medida por la combinación o formula con los surfactantes (25,65,188–194).

4. CAPÍTULO CUATRO: RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DEL PELIGRO DEL GLIFOSATO

El objetivo de la caracterización del peligro es obtener una descripción cualitativa o cuantitativa (según la disponibilidad de información) de las propiedades inherentes del agente que tiene el potencial para causar efectos sanitarios y ambientales adversos como resultado de la exposición(29,87).

En el contexto de la evaluación de riesgos con la metodología empleada (OMS), para realizar la caracterización del peligro de forma cuantitativa, se debe identificar los valores orientativos o de referencia; para este estudio, son extraídos de la evidencia científica rescatada y validada con expertos temáticos y metodológicos (Glifosato-evaluación de riesgos).

Para la presentación de los resultados de este aparte; se presenta de manera similar a la identificación del peligro; primero un diagrama de flujo como hoja de ruta para la caracterización del peligro en función del glifosato y sus valores orientativos o de referencia (

Figura 20).

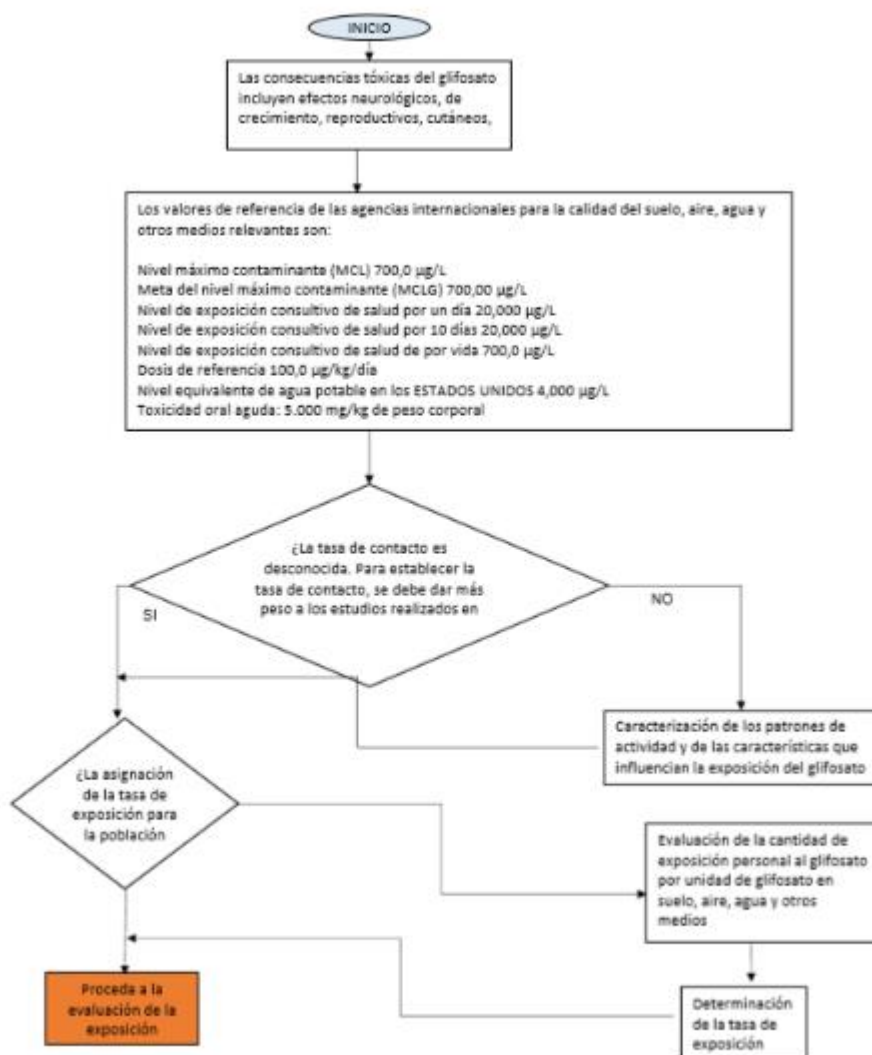
Seguido a esto, una descripción del contexto colombiano con relación a la mezcla utilizada (información suministrada por la DIRAN), y las características generales del uso del herbicida para cultivos ilícitos. Esto como parte de la respuesta al primer interrogante de la herramienta de la OMS para la caracterización del peligro; acerca de las *“Propiedades del producto químico (Glifosato) y el potencial que tiene para causar efectos sanitarios adversos”*.

En tercer lugar, se presentan los valores orientativos (posición de organismos internacionales) así como el resto de interrogantes propuestos en la herramienta de la OMS con la evidencia documental de lo hallado durante la revisión bibliográfica y sus respectivos resultados o conclusiones(29).

De manera adicional, se realizó una reseña de dichos estudios y la tabla de evidencia de donde se extrajeron los valores. Estos estudios comparten resultados con los presentados para la identificación del peligro; pues en su mayoría, cuando se habla del tema de herbicidas, se liga tanto la descripción básica del producto como sus valores orientativos o de referencia (ver anexo 20 de este contrato.

4.1 Hoja de ruta para la caracterización del peligro

Figura 20. Hoja de ruta genérica para la caracterización del peligro según valores orientativos.
Estudio: Glifosato



Fuente: (15) adaptado de: Organización Mundial de la salud. Herramienta de evaluación de riesgos para la salud humana de la OMS: peligros químicos [Internet]. 2017

4.2 Características del uso del Glifosato en Colombia

En el contexto nacional, el glifosato ha sido uno de los herbicidas más empleados para madurar la caña de azúcar desde hace más de 30 años. De igual forma se ha utilizado como herbicida, en cultivos de palma africana, café, cacao, banano y arroz. Al igual que en los cultivos mencionados anteriormente, el glifosato es el herbicida empleado para la erradicación de cultivos ilícitos.

Cabe aclarar que el uso de glifosato en la erradicación de cultivos de coca y amapola, apenas representa una pequeña parte relativamente del total de su uso en Colombia(3).

Como antecedentes de investigación en el tema en Colombia, en lo que tiene que ver con el tema de glifosato y los posibles efectos negativos para la salud humana, se tiene información de doce estudios entre el año 2004 y 2017; con diferentes objetivos y técnicas estadísticas y epidemiológicas, se enuncian:

- Plaguicidas usados en la fumigación de cultivos ilícitos y salud humana: ¿Una cuestión de ciencia o política?(199)
- Citotoxicidad y genotoxicidad en células humanas expuestas invitro a glifosato(200)
- Coca and poppy eradication in Colombia: enviromental and Human Health assessment of aerially applied Glyphosate(41)
- Evaluation of DNA damage in an Ecuadorian population exposed to glyphosate(201)
- Human Health and Enviromental Risk from the use of Glyphosate Formulation to control the production of coca in Colombia: Overview and conclusions(202)
- Regional Differences in time to pregnancy Among Fertile Women From Five Colombian Regions With Different use of Glyphosate(203)
- Biomonitoring of Genotoxic Risk in Agricultural Workers from Five Colombian Regions: Association to Occupational Exposure to Glyphosate(204)
- Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos(205)
- Baseline determination in social, health, and genetic areas in communities affected by glyphosate aerial spraying on the northeastern Ecuadorian border(206)
- Syndromic microphthalmia-3 caused by a mutation on gene SOX2 in a Colombian male patient(207)
- The health consequences of aerial spraying illicit crops: The case of Colombia (208)

4.3 Toxico cinética y Toxicodinamia del Glifosato

La Toxico cinética se define como el estudio de velocidad de cambio de la concentración de las especies tóxicas dentro del organismo, se absorben por vía oral, respiratoria y dérmica. Sufren proceso de biotransformación en el hígado donde por vías puramente química o bioquímica con la participación de enzimas cuantitativamente importantes(36).

Dentro de su metabolismo se da por dos fases, la fase I corresponde a procesos de hidrolisis que aumentan la hidrosolubilidad de los compuestos, en esta fase participan enzimas con actividad oxidasas y mono-oxigenasas. También participa el sistema de citocromo P450 muy importante para metabolización de Xenobiótico. La fase II corresponde a procesos de conjugación y glucoronidación en esta fase se dan reacciones de sulfatación, acetilación, metilación, conjugación con aminoácidos y conjugación con glutatión(209).

La eliminación del glifosato es por orina y en menor cantidad por heces o aire espirado, su máxima excreción se produce a las 48 horas. El comportamiento del tóxico o de la sustancia en el organismo está determinado por los procesos de absorción, distribución, metabolismo y excreción (ADME). La interacción dinámica de todos los procesos que constituyen en ADME, determina el tiempo que permanecerá un agente dentro del organismo en este caso el Glifosato después de que este ha sido expuesto a una dosis determinada(36,87).

Una de las estimaciones propias de cada fase de ADME son las tasas de cambio, estas se obtienen de la aplicación de fórmulas matemáticas y se deben integrar en modelos que representen la dinámica general de la sustancia dentro del organismo(23,81)

Dada esta dinámica, bien sea a nivel de espacio en el que se dé la interacción con la sustancia o por el cambio de identidad química, se puede representar por una ecuación diferencial en la que la deriva de la concentración con respecto al tiempo en un sitio determinado, se expresa como una función de la concentración en ese lugar, la constante de proporcionalidad se denomina velocidad específica y normalmente se representa por la letra "K"(87).

La velocidad de eliminación de un compuesto, en un momento dado, sólo es proporcional a su concentración. La variable eliminación incluye la expulsión del compuesto por todas las rutas de excreción y la desaparición por biotransformación. La cinética de primer orden se representa matemáticamente de la siguiente manera(87):

$$dC/dt = -kelC$$

Donde C = concentración plasmática

kel = constante de velocidad de eliminación por primer orden

t = tiempo al que se muestreó la sangre.

Este modelo lo que explica es que la velocidad global a la que procede el ADME de un compuesto es directamente proporcional a la concentración y que la velocidad no varía linealmente con la dosis, sino que su variación es exponencial. La velocidad de eliminación es alta cuando la dosis es alta, pero disminuye fuertemente a medida que la concentración del tóxico disminuye.

Con respecto a algunos de los tópicos de cómo influye la toxicidad sobre el ciclo de vida, a continuación se presenta en dos escenarios (Tabla 24)

Tabla 23. Influencia del tóxico sobre la edad

Características en los Niños	Cambios fisiológicos en los Adultos mayores
pH neutro y tiempo prolongado de vaciado del estomago	Múltiples enfermedades
Reducción en la capacidad renal	Deficiencias Nutricionales
Aumento en la absorción percutánea	Alta proporción de Grasas
Mayor proporción de agua corporal	Mayor vida media de drogas en el plasma
Menor capacidad de formar ligandos con proteínas	Reducción en la eliminación renal
Menor glucoronidación y actividad microsomal hepática	Reducción en la capacidad de ligar compuestos a las proteínas plasmáticas
	Disminución de la absorción gastrointestinal

Fuente: Peña C, Carter D, Ayala-Fierro F. Toxicología ambiental_ Evaluación de riesgos y Restauración Ambiental. Southwest Hazardous Waste Program. The University of Arizona; 2001. 204 p.

4.3.1 Especificaciones de las mezclas posiblemente utilizadas en Colombia y su comportamiento en las matrices ambientales

Como se mencionó en párrafos anteriores, en Colombia además de su uso herbicida, el glifosato se usa como desecante de granos y por vía aérea como madurante en la caña de azúcar y en los programas de erradicación de cultivos ilícitos, erradicando simultáneamente cultivos y especies silvestres y siendo considerado como un agro tóxico (118, 119).

Los plaguicidas antes de salir del mercado pasan por un proceso de formulación en el cual los ingredientes activos son mezclados con otras sustancias como solventes, coadyuvantes y otros denominados como ingredientes inertes, sobre los cuales no se da información en las etiquetas y que en muchos casos son sustancias activas biológicas, química o toxicológicamente, que pueden conferir a las formulaciones comerciales, características diferentes a las encontradas en cualquiera de los componentes por separado (81).

La mayoría de los productos que contienen glifosato están hechos o se usan con un surfactante para ayudar al glifosato a penetrar los tejidos de la planta, el cual confiere características toxicológicas a la formulación comercial diferentes a las del glifosato solo. En el caso del Roundup® la formulación herbicida más utilizada, se sabe que contiene el surfactante polioxietileno amina (POEA), ácidos orgánicos de glifosato relacionados, isopropilamina y agua(182,188).

Los surfactantes más utilizados en las formulaciones comerciales de glifosato son los POEA (polioxietilenumina) y al no especificarse en las fichas técnicas proporcionadas por la DIRAN se asume que el glifosato utilizado en Colombia contiene este tipo de surfactantes.

4.3.2 Nombres comerciales en Colombia

En Colombia el glifosato está registrado por Monsanto (ICA 1998) bajo los nombres comerciales de Roundup®, Rocket®, Rocky®, Faena®, Patrol®, Squadron®, Ranger® y Fuede®. Pero también otras empresas agroquímicas tienen registradas formulaciones comerciales con base en el mismo ingrediente activo, bajo los nombres de Batalla® (Bayer); Glyfoagri® (Disagri), Socar® (Agrero); Crossout®, candela y Glifosan® (agroser), Power Max®, Credit 41®, Alligare®, Helosate Plus®, entre otras denominaciones (212).

4.3.3 Especificaciones para el proceso de aspersión en Colombia

Las tablas: 24, 25, 26 y 27 presentan las especificaciones propuestas para la aspersión aérea en Colombia durante el año 2020.

Es de anotar, que la información acá descrita, no corresponde a la mezcla ni especificaciones precisas para Colombia y el programa de aspersión aérea de cultivos ilícitos en el año 2020; solo es la descripción de las fichas con que la universidad de Córdoba decidió trabajar, al contar con mayor volumen de información.

Tabla 24. Especificaciones técnicas de PEGIC y PECIA para la actividad de la aspersión aérea con Glifosato

PEGIC 2015	PREPARACIÓN OPERACIÓN ASPERSIÓN (ANTES)	PECIA 2020
El sistema de recolección, análisis y difusión de información con programas disponibles para la fecha	TOMA DE INFORMACIÓN	Equipos de última tecnología para mejorar procesos del centro operacional antinarcóticos. El nuevo PECIA empleara imágenes satelitales de alta resolución.
Se realizaba a través de reconocimientos aéreos empleando fotografías e información de polígonos	PLANEAMIENTO OPERATIVO	Ejecución precisa de la aspersión mediante productos de información y herramientas tecnológicas así como mayor asertividad en la detección de cultivos ilícitos
Empleaba información SIMCI sobre áreas de trabajo donde se excluía parques naturales, resguardos indígenas, consejos comunitarios, cuerpos de agua, cabeceras municipales.	TRAZAS DE VUELO DE ASPERSIÓN	Capacitación de planeadores de misión del comando operación antinarcóticos COPEI con el propósito de estandarizar y generar áreas seguras de operación
Se realizaba de manera análoga, tipo manual, biovisual con asistencia del piloto.	APLICACIÓN	Aspersión automática con codificación COPEI y opción de desactivación manual para uso seguro, mayor confiabilidad en la ejecución precisa de misiones

PECIG 2015	PREPARACIÓN OPERACIÓN ASPERSIÓN (ANTES)	PECIA 2020
Inicio empleando el sistema de localización SATLOC, posteriormente se avanzó al sistema del norte y se complementó con la experiencia del piloto en campo.	TECNOLOGÍA DE REFERENCIACIÓN	Cuenta con el sistema digital G4 SATLOC, aumenta certeza de aplicación con precisión del agroquímico, mediante control automático de la variable y eliminación del error.
Planeación previa policía nacional y la brigada contra el narcotráfico (BRCNA) del ejercito antes de ingresar y asegurar el aérea a fin de garantizarla seguridad de la zona.	SEGURIDAD EN EL AÉREA	Se prevé seguridad con comandos JUNGLA y BRCNA (ejercito) y se buscara la socialización de ejecución de estas operaciones con compañías de erradicación manual.
Selección de áreas de trabajo empleando software ARC GIS , posteriormente se transmitía al sistema del norte adaptado a la aeronave, para que el piloto georreferenciara los cultivos.	PRE PLANEAMIENTO DE LA ASPERSIÓN	Selección de áreas de trabajo en ARC GIS PRO. Referenciar áreas de 2 millas por 2 millas y disminuir el riesgo de exposición por agroquímicos en áreas.
La información final para su revisión se obtenía al culminar la última misión para tenerla disponible al momento de descender del avión y descargar la tarjeta en los sistemas de información.	DESCARGA DE INFORMACIÓN	Se realiza en tiempo real así mismo permite realizar seguimiento en tiempo real a la aeronave a través del COP desde la dirección de antinarcóticos de Bogotá.
Embajada de EEUU en Bogotá y contratistas.	PERSONAL A CARGO DE LA OPERACIÓN	Control del estado colombiano en ejecución del programa de aspersión aérea, a través de la policía nacional con personal capacitado en la operación control y seguimiento.
El avión empleado en las operaciones de aspersión 2015 tenía capacidad para transportar 500 galones de mezcla del producto para el control de cultivos ilícitos.	MEZCLA	Emplea aviones AT802 cargados con máximo de 350 galones contará con sistema de mixtura automatizado (calidad y estandarización de la mezcla)

PECIG 2015	PREPARACIÓN OPERACIÓN ASPERSIÓN (ANTES)	PECIA 2020
Empleo de 10,4 litros de glifosato 480 SL, 0,2 litros Cosmoflux y 13.1 litros de agua por hectárea de cultivo ilícito de coca. Concentración del glifosato en mezcla 44% por hectárea coadyuvante cuestionado (alcohol)	APLICACIÓN	La mezcla emplear asegura el cubrimiento y control de la planta, además del control deriva. Concentración del producto glifosato en mezcla 33% por hectárea. coadyuvante (origen mineral o vegetal)
Verificación de hectáreas asperjadas se realizó con validación de resultados obtenidos de la tarjeta del sistema norte. En algunos casos se generaban bajos rendimientos en calibración que obligaban a cancelar las emisiones.	CALIBRACIÓN DE BOQUILLAS	El sistema G4 SATLOC, mejora la efectividad en la calibración minimiza factores de deriva y descarga efectiva. Facilita el desarrollo de la aspersión aérea. Emplea boquillas que garantizan una aplicación segura, se contará con calibración trimestral por parte de ingeniero certificado con aval por parte de autoridad idónea.
Evaluación al azar de lotes asperjados durante el periodo de la operación de aspersión. Visita <i>insitu</i> realizada por un comité interinstitucional (IGAC, ICA, MSPS ^a , MinINTERIOR, DIRAN) para cuantificar el porcentaje de eficacia de muerte de la planta por acción del herbicida.	SISTEMA DE AUDITORIA	Monitoreo por núcleo de 4 lotes asperjados y 4 % de análisis de cobertura vegetal, liderado por la Policía Nacional con acompañamiento de una auditoria externa e independiente y apoyo de entes como ministerio de ambiente, ANLA, ministerio de agricultura, ICA, ministerio de vivienda o aquella entidad que el gobierno determine.

Fuente: Dirección de Antinarcóticos, Policía Nacional-Colombia

Tabla 25. Características de la mezcla para aspersión aérea en Colombia -PECIA 2020 VS PEGIC 2015

Producto	PECIA 2020		PEGIC 2015	
PRODUCTO FORMULADO HERBICIDA	VOLUMEN (L)	% DE MEZCLA	VOLUMEN (L)	% DE MEZCLA
	10,00 L	33,0 %	10,40 L	44,00 %
COADYUVANTE	0,30 L	1,00 %	0,23 L	1,00 %
AGUA	19,71 L	65,70 %	13,03 L	55,00 %
TOTAL	30,00 L	100,00 %	23,66 L	100,00 %

Fuente: Dirección de Antinarcóticos -Colombia

Tabla 26. Especificaciones para el proceso de aspersión en Colombia

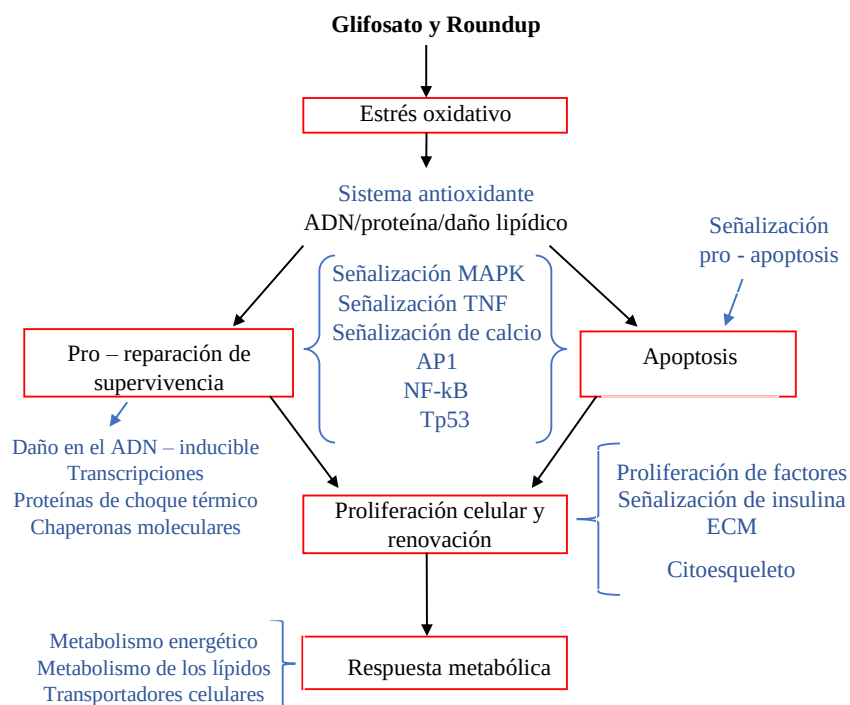
Parámetro	Valor
Altura de aplicación máxima permitida	30 metros de altura
Descarga Máxima de Glifosato	10 L /ha
Descarga Máxima de mezcla	30 L/ha
Coadyuvante (aceite mineral o vegetal)	1,00% del volumen total de la mezcla
Agua	19,70 L/ha -65,70 % del volumen de la mezcla
Tamaño de la Gota	Mayores a 330 micras
Deriva Permisible (metros)	Hasta 10 metros
Temperatura Máxima (grados centígrados)	35 °C
Forma de aplicar (contra viento)	Aplicación en contra de la dirección del viento para eliminar deriva
Humedad relativa (porcentaje)	60-90%
Velocidad del viento en la aplicación (kilómetros por hora)	Hasta 10 km/h
Presión de la Bomba (PSI)	50 PSI ($\pm$ 10)
Tipo de Boquilla	CP11TT0015**
Velocidad de Aplicación del avión (millas kilómetros por hora)	Hasta 150 millas (242 km/h)
Ancho de faja (metros)	32 metros

Fuente: Dirección de Antinarcóticos, Policía Nacional-Colombia

4.3.4 Efectos genotóxicos del glifosato

En lo concerniente a la genotoxicidad, en estudios in vitro, hay evidencia limitada de daños celulares por la acción del GLI puro, aunque un poco más consistente al evaluar a las formulaciones comerciales. Es así, como algunos estudio muestran que el Roundup®, causa efectos citotóxicos pronunciados en células epiteliales bucales derivadas del ser humano. Además, las pruebas de genotoxicidad muestran que el herbicida, así como su formulación induce roturas de hebras que conducen a la formación de anomalías nucleares que reflejan la inestabilidad del ADN, incluido el daño cromosómico(188).

A continuación se presenta de manera gráfica como el glifosato produce daños a nivel celular y del DNA y como se activan los sistemas antioxidantes para la remediación de estos daños (figura 21).

Figura 21. Mecanismo de toxicidad del glifosato en humanos

Fuente: (56) Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišfk M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells

La tabla que se presenta a continuación resume la evidencia publicada de los efectos genotóxicos asociados al glifosato puro o en formulaciones comerciales como la mezcla que se utilizaría para aspersión (7).

Tabla 27. Posibles efectos para la salud humana por exposición a mezclas con glifosato

Genotoxicidad				
Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Bolognesi, 2009(204)	Colombia	Aspersión aérea y por fumigación	Cuestionario y evaluación genética	Daño Genotóxico asociado con la pulverización con glifosato para el control de cultivos ilícitos como lo demuestra la prueba de Micro núcleos es pequeño y parece ser transitorio
Gasnier, 2009(213)	Francia	Uso de fórmulas comerciales de glifosato	Concentraciones de glifosato	Concentraciones mayores 0,50ppm evidenciaron disrupción endocrina de los cultivos celulares y concentraciones de 5,00ppm produjeron daño citotóxico

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Elie-Caille, 2010(214)	Francia		Concentraciones de glifosato	el glifosato se asoció con daño citotóxico por estrés oxidativo a concentraciones de 20 a 50 micro molar
Heu,2012 (a)(215)	Francia		Concentraciones de glifosato	el glifosato se asoció con daño citotóxico por estrés oxidativo a concentraciones de 30 a 70 micro molar
Heu,2012 (b)(216)	Francia		Concentraciones de glifosato	el glifosato produjo deformaciones en el cito esqueleto celular luego de 15micromoles y luego de 30 daños en la membrana celular
Chaufan, 2014(217)	Argentina	Uso de fórmulas comerciales de glifosato	Concentraciones de glifosato	Concentraciones de 35,00ml/L de la formula comercial produjeron daños celular por estrés oxidativo
Santovito, 2018(218)	Italia		Concentraciones de glifosato	Concentraciones de 0,025microgramo/ml se asoció con genotoxicidad u generación de micronúcleos en donde 0,500 se considera un valor estándar

Fuente: Construcción con la revisión de la literatura para efectos en salud, contrato 1097/2019

Fuente: (56)Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišik M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. Arch Toxicol. 1 de mayo de 2012; 86(5):805-13

Frente a la genotoxicidad generada por el glifosato se apreció que este producto tiene la capacidad de producir daño citotóxico a concentraciones inferiores a los estándares establecidos como se pudo evidenciar por varios estudios a nivel internacional (115–119). Adicionalmente, el uso de fórmulas comerciales potencia estos eventos dado que los adyuvantes y surfactantes son sustancias que por sí solas pueden causar daños genotóxicos y en combinación con el glifosato se aprecia un daño mayor a menor concentración (120,121); Finalmente solo existe un estudio reciente que evalúa la capacidad de daño Genotóxico producido por la aspersión aérea en donde se apreció que el glifosato produjo un daño Genotóxico en las personas expuestas (115).

Es importante aclarar que en la mayoría de los estudios epidemiológicos que han estudiado las posibles asociaciones del glifosato con efectos en la salud, la evaluación de la exposición solo se ha realizado bajo diligenciamiento de cuestionarios acerca del uso de este herbicida en relación con la frecuencia de uso y cantidad usada pero no se precisa una medición de las concentraciones corporales de este elemento por lo cual NO es posible comparar con los estándares internacionales pero si es posible identificar asociaciones entre la exposición a glifosato y los efectos en la salud.

4.3.5 Evidencia de los efectos en salud por exposición a glifosato

Otro aspecto a destacar durante la evaluación de riesgo es que los efectos evaluados corresponden tanto a efectos agudos como crónicos, los agudos son aquellos que se observan durante y después de la aspersión aérea con glifosato o fumigación con esta sustancia, mientras que, los efectos crónicos se generan por la acumulación de glifosato en suelo, fuentes de agua o alimentos a los cuales las personas se exponen.

Al evaluar las dosis de exposición se calcularon los efectos según días de exposición para poder establecer el riesgo de efectos agudos y crónicos según las características de persistencia del compuesto en diferentes matrices como son en el suelo, agua y alimentos.

Los efectos agudos se manifiestan poco tiempo después que el Xenobiótico o tóxico ha ingresado al organismo. Generalmente pocas horas y a veces pocos minutos. En las intoxicaciones agudas con plaguicidas los síntomas más comunes son: dolor de cabeza, debilidad general, náuseas, vómitos, dolores o calambres abdominales, diarrea, visión borrosa, sudoración lagrimeo, salivación, dolores musculares, dificultad para respirar. En casos graves pueden presentarse convulsiones, pérdida del conocimiento, coma y la muerte. Cabe resaltar que no todas las veces se presenta todos los síntomas.

Los efectos crónicos se demoran muchos años en aparecer, es difícil detectarlos a tiempo, afectan órganos o sistemas vitales, como el hígado, los pulmones, el sistema nervioso, etc, y sus efectos son generalmente irreversibles. De ahí la importancia de la que la persona que trabaja o este expuesta a plaguicidas u otras sustancias tóxicas se le realicen exámenes médicos periódicamente.

Los tóxicos de acuerdo al sistema y órgano que estén afectando así reciben el nombre:

Neurotóxicos afectan el sistema nervioso.

Hepatotóxicos afectan el hígado

Nefrotóxicos afectan los riñones.

Embriotóxicos o Fetotóxicos afectan al embrión o el feto, mutagénico potencial para producir alteraciones en el material genético de las células de un organismo.

Los efectos que presentan las sustancias pueden ser de diferentes clase entre las más comunes encontramos las siguientes:

Irritantes: producen una inflamación temporal del tejido que tocan, como la piel, los ojos o las vías respiratorias.

Sensibilizante: producen reacciones de tipo alérgico después de varias exposiciones. Por ejemplo: una persona que lleva algún tiempo trabajando con un producto empieza a sentir irritaciones o picazón en la piel cuando entra en contacto con el producto, o sufre accesos violentos de tos cuando aspira sus vapores, polvos o la nube de aspersión.

Según las fuentes consultadas para identificar la probabilidad que el glifosato y sus adyuvantes representaran un peligro para la salud humana, se pudo evidenciar que, aunque este herbicida puede ser levemente toxico dependiendo la exposición, la cantidad, la formula, el surfactante, el contacto, entre otros factores a largo plazo según las características mencionadas puede llegar a tener alto impacto para la salud. Así mismo, en la lista internacional de plaguicidas altamente peligrosos del año 2016 se incluyó al glifosato dentro del grupo con efectos a la salud humana a largo plazo respaldado en su inclusión por parte de la IARC como probablemente carcinógeno(219).

A continuación se presenta una serie de tablas y su descripción con el listado de tipo y carácter de los posibles efectos adversos en salud relacionados con la mezcla de aspersión (Tabla 28).

Efectos generales

En un estudio realizado en zonas agrícolas de Brasil se pudo evidenciar que la intoxicación más frecuente por el uso de plaguicidas y herbicidas fue la ocasionada por glifosato la cual en su mayoría era leve solo un pequeño porcentaje se presentaron complicaciones que requirieron manejo hospitalario (220), otro estudio realizado por Estados Unidos las personas expuestas a glifosato tenían un 33% más de probabilidades de mortalidad prematura y la exposición se midió a través de geo referenciación acerca del uso de glifosato (221); finalmente un estudio realizado en Colombia que evaluó la sintomatología en las personas expuestas a glifosato por aspersión encontró que los resultados de los niveles de glifosato y ácido amino-metil-fosfónico cuantificados y la sintomatología reportada en las encuestas, no mostraron una asociación estadísticamente significativa ($p>0,005$). En este estudio los síntomas que con mayor frecuencia reportaron los individuos que tenían valores de glifosato y ácido amino-metil-fosfónico cuantificables fueron cefalea, ardor ocular, fiebre, mareo y sequedad en la piel (26).

Tabla 28. Clasificación de los efectos por exposición a glifosato reportado en la literatura

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Faria, 2009(220)	Brasil	Ocupacional	Cuestionario	intoxicación por plaguicidas
Varona, 2009(26)	Colombia	Ambiental por aspersión	Cuestionario y medición de glifosato en orina	Los resultados de los niveles de glifosato y ácido amino-metil-fosfónico cuantificados y la sintomatología reportada en las encuestas, no mostraron una asociación estadísticamente significativa ($p>0,005$) los síntomas que con mayor frecuencia reportaron los individuos que tenían valores de glifosato y ácido amino-metil-fosfónico cuantificables fueron cefalea, seguida por ardor ocular, fiebre, mareo y sequedad en la piel

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Caballero, 2019(221)	Estados Unidos	Ocupacional y ambiental	Georreferenciación y evaluación local	Las personas expuestas a glifosato tenían un 33,00% más de probabilidades de mortalidad prematura

Fuente: Construcción con la revisión de la literatura para efectos en salud, contrato 1097/2019

Fuente: (56)Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišák M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. Arch Toxicol. 1 de mayo de 2012; 86(5):805-13

Efectos durante la gestación o congénitos

En la misma vía de la caracterización del peligro del glifosato, resultado de investigaciones concluyen en que la exposición al herbicida, así como la mezcla con sus adyuvantes, el glifosato podría representar un peligro para la salud humana, personalizada en eventos como nacimientos con defectos por alteración en las células germinales, entre otros eventos.(103, 105, 106,108-110).

Tabla 29. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con efectos durante la gestación

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Sathyanarayana, 2009(222)	Estados Unidos	Ocupacional y ambiental	Cuestionario	No se asoció con el peso al nacer
Shaw, 2014(223)	Estados Unidos		Cuestionario, georreferenciación y reportes de uso de plaguicidas	No se asoció con un aumento en la aparición de gastrosquisis
Anifandis, 2018(224)	Grecia		Ensayo de laboratorio	El glifosato disminuyó la motilidad de los espermatozoides de manera significativa
Parvez, 2018(225)	Estados Unidos	Ambiental	Cuestionario y medición de glifosato en orina	Los niveles más altos de Glifosato en orina se correlacionaron significativamente con una gestación más corta
Ehrenstein, 2019(226)	Estados Unidos	Ocupacional y ambiental	Georreferenciación y evaluación local	El glifosato se asoció significativamente con autismo

Fuente: (56)Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišák M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. Arch Toxicol. 1 de mayo de 2012; 86(5):805-13

Efectos endocrinos (tiroideos)

Existen tres estudios que han evaluado los efectos de la exposición a glifosato y la tiroides dos estudio han encontrado afectación en la hormona tiroidea y en la generación de hipotiroidismo(227,228) evaluando una gran número de personas expuestas y solo un estudio no encontró esta asociación(229).

Tabla 30. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con efectos endocrinos

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Goldner, 2010(229)	Estados Unidos	Ocupacional	Cuestionario	no se asoció con problemas tiroideos
Sherestha, 2018(227)	Estados Unidos	Ocupacional	Cuestionario	el glifosato se asoció significativamente con el desarrollo de hipotiroidismo HR 1,3 (1,07-1,58)
Kongtip, 2019(228)	Tailandia	Ocupacional	Cuestionario	el glifosato aumentó los niveles de tsh de manera directa y significativa

Fuente: (56)Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišik M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. Arch Toxicol. 1 de mayo de 2012; 86(5):805-13

Problemas respiratorios

Dos estudios han evaluado los efectos respiratorios surgidos por la exposición a glifosato uno de ellos evidenció un aumento en los casos significativos de rinitis y del número de episodios(230) y el otro estudio evidenció que el glifosato se asoció con sibilancias alérgicas y no alérgicas así como un efecto de dosis respuesta en relación con las sibilancias alérgica lo que confirma que esta sustancia se puede comportar como un sensibilizante pulmonar(231).

Tabla 31. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con problemas respiratorios

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Slager, 2010(230)	Estados Unidos	Ocupacional	Cuestionario	aumento significativo de rinitis y del número de episodios
Hoppin, 2016(231)	Estados Unidos	Ocupacional	Cuestionario	El glifosato se asoció con alteraciones broncoobstructivas alérgicas y no alérgicas. En este trabajo se observó una relación dosis respuesta en relación con la bronco obstrucción de origen alérgico.

Fuente: (56)Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišik M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. Arch Toxicol. 1 de mayo de 2012; 86(5):805-13

Efectos renales

Dos estudios realizados en Sri Lanka(232,233) han presentado asociación con las concentraciones y la exposición a glifosato con la aparición de insuficiencia renal crónica de origen desconocido, lo que puede evidenciar un riesgo a los agricultores o personal expuesto ambientalmente a desarrollar este tipo de patología.

Tabla 32. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con efectos renales

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Jayasumana, 2015 a (232)	Sri Lanka	Ocupacional	Medición de niveles en orina	Se apreciaron altas concentraciones de glifosato en las zonas endémicas de insuficiencia renal crónica vs la zona control y entre los enfermos y los controles de la zona endémica
Jayasumana, 2015 b (233)	Sri Lanka	Ocupacional	Medición de niveles en agua y cuestionario	El uso de glifosato se asoció con la presentación de enfermedad renal crónica de origen desconocido

Fuente: (56)Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišák M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. Arch Toxicol. 1 de mayo de 2012; 86(5):805-13

Enfermedades autoinmunes (artritis reumatoide)

Dos estudios evaluaron el riesgo de desarrollar artritis reumatoide y la exposición a glifosato evidenciando uno de ellos asociación a presentar esta patología(234), mientras que otro estudio no evidenció este riesgo(235); lo que impide emitir una conclusión clara en esta relación

Tabla 33. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con enfermedades autoinmunes

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Parks, 2016	Estados Unidos	Ambiental	Cuestionario	El glifosato se asoció con el desarrollo de artritis reumatoide
Meyer, 2017	Estados Unidos	Ocupacional	Cuestionario	El glifosato no se asoció con artritis reumatoide

Fuente: (56)Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišák M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. Arch Toxicol. 1 de mayo de 2012; 86(5):805-13

Otros efectos

Un estudio realizado en Estados Unidos no evidenció relación entre la exposición a glifosato y el desarrollo de infarto agudo de miocardio(236), mientras que un estudio en China evidenció que los agricultores expuestos a glifosato presentaron anomalías en la conducción nerviosa periférica motor(237).

Tabla 34. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con Otros efectos

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Dayton, 2010(236)	Estados Unidos	Ocupacional y ambiental	Cuestionario	no se asoció con infarto agudo de miocardio en la población estudiada
Zhang, 2018(237)	China	Ocupacional	Cuestionario	El glifosato se asoció con el desarrollo de anomalías en la conducción nerviosa periférica motora

Fuente: (56)Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišák M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. Arch Toxicol. 1 de mayo de 2012; 86(5):805-13

Efectos cancerígenos

Existe evidencia contradictoria en lo referente a la relación de la exposición de humanos a HBG y distintos tipos de cáncer, especialmente el NHL, esto lleva a que en ocasiones se interprete de manera diferente la evidencia experimental, en parte por el hecho de que el enfoque de la IARC está dirigido más a los peligros de los HBG, mientras que la posición de la EPA y la EFSA se basa en la evaluación de riesgos de la exposición al GLI puro(12,57,198). Pero es importante mencionar que existen múltiples trabajos en animales que demuestran la asociación entre la exposición y el desarrollo de cáncer.

También la EPA se basó más en estudios no publicados y la IARC en trabajos arbitrados por pares. Una diferencia fundamental entre ambos enfoques radica en que, al considerar la toxicidad aguda, el análisis se centra en los riesgos como un factor que considera el peligro y la exposición, y se sopesan los peligros identificados posteriormente en función de su probabilidad de ocurrencia a través de exposiciones reales. Sin embargo, en contraste con la toxicidad aguda, la regulación que se basa en el peligro considera la carcinogenicidad, toxicidad para el desarrollo / reproducción, neurotoxicidad y efectos endocrinos sobre los seres humanos u objetos de experimentación (animales o líneas de células en estudios in vitro). La decisión tiene que considerar tanto el análisis basado en los peligros (IARC) como el basado en los riesgos aceptables (EFSA, EPA); el primero puede no ser adecuado para calcular eventos prácticos, y el segundo se ve desafiado si las estimaciones de exposición son inciertas a la luz de los nuevos datos sobre los niveles de residuos en los ecosistemas y la biota en general. Un aspecto que atenta contra la credibilidad del informe de la EFSA es la imputación de plagio que se le ha realizado en una revisión especializada, aunque hay acusaciones de lo mismo en el

sentido contrario pero divulgado en revistas no científicas como Forbes. También hay un factor que va en contra de las posiciones sostenidas por la EPA y la EFSA(12,57,181,219).

A continuación se presenta una tabla resumen de los artículos que han evaluado la asociación entre la exposición a glifosato y el desarrollo de diferentes tipos de cáncer en los últimos 10 años, es así como los cánceres más relacionados con esta exposición son los hematológicos y linfáticos. Existen dos revisiones sistemáticas con metanálisis que han demostrado que existe una asociación positiva con el linfoma no Hodgking y el linfoma de células b (238) y otra que mostró esta asociación con el linfoma Hodgking(47), en estudios individuales se han asociado con el desarrollo de síndrome mielodisplásico(239) y leucemia tanto en niños(240) como en agricultores(241), pero esta asociación no se observó con cáncer de próstata(242).

Tabla 35. Evidencia científica recuperada sobre glifosato y su asociación con Cáncer.

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Román, 2014(242)	Argentina	Ocupacional y ambiental	datos oficiales de uso de plaguicidas	No se observó asociación con el cáncer de próstata
Schinasi, 2014(32)		metanálisis		se encontró en el metanálisis asociación positiva con linfoma de células b RR=2 (IC95%1-1-3,6) y linfoma no Hodgking RR =1,5 (IC95%1,1-2)
Avgerinou, 2016(239)	Grecia	Ocupacional y ambiental	Cuestionario	El glifosato mostro asociación con el síndrome mielodisplásico RR =2,57 (IC95%0,96–6,84) en el análisis multivariado los herbicidas se asociaron significativamente con este síndrome
Malagoli, 2016(240)	Italia	Ambiental	Georreferenciación y evaluación local	Se evidencio una tendencia a presentar leucemia 11 niños en los que vivieran cerca de cultivos donde se utilizó glifosato y otros pesticidas RR=2,04(95% CI 0,50–8,35) y en menores de 5 años RR=5,76 (IC95%0,78–42,70)
Andreotti, 2018(241)	Estados Unidos	Ocupacional	Cuestionario	Los agricultores expuestos a altas concentraciones de glifosato mostraron una tendencia a presentar Leucemia Mieloide Aguda RR=2,44, (IC95% 0,94-6,32), fue un evento similar al evidenciado en estudios previos evaluando esta población

Autor, año	País	Tipo de exposición	Medición de la exposición	Efectos observados
Zhang, 2019(47)		Metanálisis		Se encontró en el metanálisis asociación positiva con linfoma Hodking RR=1,41 (IC95%1-13-1,75)

Fuente: (56)Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišfk M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. Arch Toxicol. 1 de mayo de 2012; 86(5):805-13

4.3.6 Postulados IARC-EPA respecto a los efectos en salud por exposición a glifosato

En la monografía 112, de la IARC sobre la evaluación de riesgos cancerígenos para los humanos, se presenta precisamente la evaluación de carcinogenicidad de algunos insecticidas y herbicidas organofosforados incluidos el Diazinón, el glifosato, el Malatión, el Paratión y el Tetraclorvinfos.

La tabla 36 presenta un resumen comparativo de las posiciones de la IARC y la EPA(137,243–245)

Tabla 36. Paralelo de las posiciones frente al uso del glifosato IARC-EPA

IARC	EPA
Los datos directos sobre la absorción de glifosato en humanos no estuvieron disponibles para el Grupo de Trabajo	No hay riesgos de preocupación para la salud humana por los usos actuales del glifosato. Los productos de glifosato utilizados de acuerdo con las instrucciones de la etiqueta no generan riesgos para niños o adultos
Los estudios en roedores mostraron que el glifosato absorbido sistémicamente se excreta sin cambios en la orina, y que la mayor cantidad se excreta en las heces, lo que indica una absorción deficiente	La EPA informó en su revisión de glifosato que la aparición de adenomas en ratones luego de ser expuestos a este compuesto mediante la dieta no estaba relacionada con el tratamiento y el glifosato no se consideró cancerígeno en dicho estudio
El glifosato se detectó en la orina de humanos que estuvieron expuestos ocupacionalmente al glifosato. AMPA también se ha detectado en la orina humana	Existe un potencial de que el manipulador ocupacional tenga una exposición dérmica e inhalatoria posterior a la aplicación; sin embargo, debido a la falta de toxicidad a través de estas rutas, no se realizó una evaluación cuantitativa de la exposición ocupacional

IARC	EPA
Existe una fuerte evidencia de que el glifosato causa genotoxicidad. La base de evidencia incluye estudios que dieron resultados en gran medida positivos en células humanas in vitro, en sistemas modelo de mamíferos in vivo e in vitro, y estudios en otros organismos no mamíferos. Los estudios in vivo en mamíferos dieron resultados generalmente positivos en el hígado, con resultados mixtos para el riñón y la médula ósea. Existe una fuerte evidencia de que el glifosato causa genotoxicidad. La base de evidencia incluye estudios que dieron resultados en gran medida positivos en células humanas in vitro, en sistemas modelo de mamíferos in vivo e in vitro, y estudios en otros organismos no mamíferos. Los estudios in vivo en mamíferos dieron resultados generalmente positivos en el hígado, con resultados mixtos para el riñón y la médula ósea.	La evaluación del gran volumen de datos de genotoxicidad disponible requiere la consideración de la validación del sistema de ensayo, las especies del sistema de prueba utilizadas, la relevancia del punto final para la mutación hereditaria, la reproducibilidad y la consistencia de los efectos y la respuesta a la dosis, y la relación de los efectos con la toxicidad La relevancia de muchos de los ensayos en especies de sistemas de prueba (peces, ostras, insectos, caracoles, gusanos y caimanes) que nunca han sido validados para la evaluación de la genotoxicidad en humanos con fines regulatorios, es cuestionable. Además, la ruta de exposición intraperitoneal para muchos de los estudios in vivo en mamíferos no es apropiada, ya que no refleja la exposición humana normal, con dosis que exceden la exposición ocupacional en órdenes de magnitud
La evidencia de la genotoxicidad causada por las formulaciones basadas en glifosato es fuerte. Para AMPA, la evidencia de genotoxicidad es moderada. Si bien el número de estudios que examinaron los efectos de AMPA no fue grande, todos los estudios dieron resultados positivos	La evidencia indica que el riesgo Genotóxico potencialmente asociado con la exposición al glifosato en las áreas donde se aplica el herbicida para la erradicación de la coca y la amapola es bajo. La atribución de un efecto Genotóxico debido a la exposición al glifosato en lugar de una multitud de otras causas demográficas y ambientales parece bastante tenue dada la incertidumbre de la exposición real
Existe evidencia sólida de que las formulaciones a base de glifosato, AMPA y glifosato pueden inducir estrés oxidativo	En relación con el estrés oxidativo, esto solo se encontró en un estudio en ratas a las que se administró ingrediente activo de glifosato intraperitoneal (Astiz et al. 2009), y en numerosos estudios que utilizaron la administración intraperitoneal o métodos in vitro con formulaciones basadas en glifosato. La vía de administración intraperitoneal no se considera relevante para exposiciones humanas. El glifosato tiene baja absorción gastrointestinal y mala absorción dérmica. También hubo cierta inconsistencia en los resultados. Entonces, la evidencia de glifosato que causa estrés oxidativo es considerado débil

IARC	EPA
Existe evidencia débil de que el glifosato o las formulaciones basadas en glifosato inducen efectos mediados por el receptor	El glifosato se ha sometido a una evaluación de Nivel I bajo el Programa de detección de disruptores endocrinos de la EPA. Con base en toda la información disponible, la EPA concluyó, que los datos existentes no indican que el glifosato tiene el potencial de interactuar con las vías de señalización de estrógenos, andrógenos o tiroides
Existe evidencia débil de que el glifosato puede afectar el sistema inmunitario, tanto la respuesta humoral como el celular, con el tratamiento a largo plazo en roedores	
No hubo datos disponibles sobre la susceptibilidad relacionada con el cáncer después de la exposición al glifosato para el Grupo de Trabajo	La Agencia concluyó que no es probable que el glifosato sea cancerígeno para los humanos. Después de evaluar numerosos estudios de una variedad de fuentes, la Agencia no encontró indicios de que los niños sean más sensibles al glifosato por exposición <i>intrauterina</i> o postnatal. Como parte de la evaluación de riesgos para la salud humana, la Agencia evaluó a todas las poblaciones, incluidos bebés, niños y mujeres en edad de procrear, y no encontró riesgos de preocupación al ingerir alimentos con residuos de glifosato. La EPA tampoco encontró riesgos de preocupación para los niños que ingresan o juegan en áreas residenciales tratadas con glifosato
En general, los datos proporcionan una fuerte evidencia de genotoxicidad y estrés oxidativo. Hay evidencia de que estos efectos pueden operar en humanos	Los estudios utilizados en apoyo de esta conclusión fueron principalmente estudios in vitro de células de mamíferos. En tales estudios, las células de mamíferos se exponen directamente a la sustancia de prueba (glifosato o una formulación a base de glifosato) a altas concentraciones que no se alcanzarían razonablemente en una exposición in vivo, ya sea en animales o humanos. Todos los estudios realizados de acuerdo con pautas validadas internacionalmente arrojaron resultados negativos, mientras que los estudios que utilizan métodos / especies de prueba no validados, o con formulaciones que contienen glifosato o que usan altas dosis intraperitoneales son inapropiados para la evaluación de la genotoxicidad en humanos

Con base en esto el documento concluye:

- Hay evidencia limitada en humanos de la carcinogenicidad del glifosato. Se ha observado una asociación positiva para el linfoma no Hodking.
- Existe suficiente evidencia en animales experimentales para la carcinogenicidad del glifosato.
- El glifosato es probablemente cancerígeno para los humanos (Grupo 2A).

4.3.7 Posiciones de la EPA, EFSA y JMPR frente al uso del glifosato y sus efectos para la salud humana

La EPA recientemente emitió un concepto con el fin de continuar con el uso del glifosato en los estados unidos, como resultado de esta actividad publicaron el documento "Glyphosate Interim Registration Review Decisión Case Number 0178"(246), en cuál es el resultado de una evaluación de evidencias científicas sobre el riesgo en la salud humana debido a la exposición a glifosato, en análisis se presentó en el documento "Glyphosate Draft Human Health Risk Assessment for Registration Review"(247).

El glifosato exhibe baja toxicidad entre especies, duraciones, etapas de la vida y rutas de exposición. En la mayoría de los estudios en su base de datos de riesgos, los efectos se observan a dosis iguales o superiores a la dosis límite (> 1.000,00 mg / kg / día).

Los efectos observados incluyeron: disminuciones en el peso corporal e indicadores menores de toxicidad para los ojos, el hígado y / o los riñones. No se observaron efectos en los estudios de inhalación y dérmica específicos de la ruta. No hubo evidencia de que el glifosato sea neurotóxico o inmunotóxico.

El glifosato no mostró evidencia de una mayor susceptibilidad cuantitativa o cualitativa después de la exposición en el útero a ratas o conejos. En ratas, la toxicidad materna y del desarrollo se observó solo en o por encima de la dosis límite. En conejos, la toxicidad materna se componía principalmente de signos clínicos (diarrea, pocas y / o heces blandas) y no se observó toxicidad en el desarrollo. En uno de los estudios de toxicidad reproductiva en ratas de dos generaciones, no se observaron efectos adversos en los animales parentales, incluida la toxicidad reproductiva. Si bien hubo una mayor susceptibilidad cuantitativa posnatal, los efectos de la descendencia se observaron solo a la dosis límite (1.000,00 mg / kg / día) y consistieron en una edad retrasada y un aumento de peso al alcanzar la separación prepucial (PPS) (247).

La toxicidad aguda del glifosato es baja para las vías oral, dérmica e inhalatoria (Categorías III o IV). La evaluación del potencial carcinogénico basada en la evidencia de los datos de toxicidad animal, genotoxicidad y estudios epidemiológicos concluyó que el glifosato debe clasificarse como "no probable que sea cancerígeno para los humanos".

El estudio se desarrolló en conejos y fue seleccionado para evaluar la exposición crónica a la dieta y la exposición oral incidental (NOAEL = 100,00 mg/kg/día). Se aplicó un factor de

incertidumbre total de 100X (10X entre especies, 10X intraespecies y 1X para el factor de seguridad de acuerdo con la ley de protección de la calidad de alimentos) a estos escenarios de exposición. No se seleccionó un criterio de valoración dietético agudo, ya que no se observaron efectos atribuibles a una dosis única. No se seleccionaron valores críticos cutáneos y de inhalación ya que no se observó toxicidad en los estudios de toxicidad específicos para ambas rutas.

La JMPR asociada a la WHO publicó en el año 2016 el documento “Pesticides Residues in Food 2016: FAO Plant Production and Protection Paper 227”(248), en el cual analizó la evidencia científica publicada a la fecha sobre los riesgos de la exposición al glifosato.

Reafirmaron el ADI grupal (glifosato + AMPA + N-acetil-glifosato + N-acetil-AMPA) de 1 mg/kg/día, en base al NOAEL de 100 mg/kg/día procedente del estudio a largo plazo de toxicidad y carcinogenicidad en ratas, considerando los efectos sobre la glándula salival. Se aplicó un factor de seguridad de 100. Señalaron que los efectos hallados pueden ser secundarios a la irritación local debido al bajo pH del glifosato en solución, pero no pudo establecer esto inequívocamente.

Por otro lado, concluyeron que no era necesario establecer una ARfD (dosis de referencia aguda) para glifosato, AMPA, N-acetil-glifosato y N-acetil-AMPA debido a su baja toxicidad aguda, y a la ausencia de toxicidad en el desarrollo de ratas y conejos, y también a la ausencia de cualquier otro efecto toxicológico que se produciría con resultado de una dosis única.

Los estudios toxicológicos más relevantes fueron resumidos en la tabla 37, mientras que los valores críticos provenientes de la evaluación de los estudios se muestran en la tabla 38.

Tabla 37. Estudios toxicológicos más relevantes para el glifosato

Espece	Estudio	Efecto	NOAEL	LOAEL
Ratón	Estudios de toxicidad y carcinogenicidad de 18 a 24 meses	Toxicidad	1.600,00 ppm equivalente a 153,00 mg/kg de peso corporal/día	8.000,00 ppm equivalente a 787,00 mg/kg de peso corporal/día
		Carcinogenicidad	No se pudo excluir la posibilidad de que el glifosato sea cancerígeno a dosis muy altas.	
Ratas	Estudio de neurotoxicidad aguda	Neurotoxicidad	2.000,00 mg/kg peso corporal	-
	Estudios de toxicidad y carcinogenicidad 24 meses	Toxicidad	100,00 mg/kg/peso corporal/día	300,00 mg/kg/peso corporal/día

Espece	Estudio	Efecto	NOAEL	LOAEL
		Carcinogenicidad	32.000,00 ppm equivalente a 1.750,00 mg/kg de peso corporal/día	-
	Estudio de dos generaciones de toxicidad reproductiva	Toxicidad reproductiva	6.000,00 ppm equivalente a 417,00 mg/kg de peso corporal/día	-
		Toxicidad parental	30.000,00 ppm equivalente a 1.983,00 mg/kg de peso corporal/día	10.000,00 ppm equivalente a 668,00 mg/kg de peso corporal/día
		Toxicidad de la descendencia		10.000,00 ppm equivalente a 985,00 mg/kg de peso corporal/día
	Estudios de toxicidad en el desarrollo	Toxicidad maternal	300,00 mg/kg/peso corporal/día	1.000,00 mg/kg/peso corporal/día
		Toxicidad embrionaria y fetal	300,00 mg/kg/peso corporal/día	1.000,00 mg/kg/peso corporal/día
Conejos	Estudios de toxicidad en el desarrollo	Toxicidad maternal	100,00 mg/kg/peso corporal/día	175,00 mg/kg/peso corporal/día
		Toxicidad embrionaria y fetal	250,00 mg/kg/peso corporal/día	450,00 mg/kg/peso corporal/día
Perros	Estudios de toxicidad de 13 semanas y de 1 año	Toxicidad	15.000,00 ppm equivalente a 448,00 mg/kg de peso corporal/día	30.000,00 ppm equivalente a 926,00 mg/kg de peso corporal/día

Fuente: tomado de JMPR 2016³

Tabla 38. Criterios de valoración críticos para establecer valores guía para la exposición al glifosato

Estudios de toxicidad de corta duración	
Efecto crítico	Signos clínicos (heces blandas, diarrea), hígado, glándulas salivales y peso corporal reducido.
NOAEL oral	
relevante más bajo	300,00 mg/kg peso corporal/día (90 días; ratas)
NOAEL dérmico	
relevante más bajo	> 5.000,00 mg/kg peso corporal/día (21 días; conejo)
NOAEC de inhalación relevante más bajo	No hay datos
Estudios de toxicidad y carcinogenicidad de larga duración	
Efecto crítico	Reducción de peso corporal, heces blandas, hígado (toxicidad), glándulas salivales (peso de los órganos, histología), ojo (cataratas, degeneración de las fibras del cristalino)
NOAEL relevante más bajo	100,00 mg/kg peso corporal/día (2 años; ratas)
Carcinogenicidad	No es cancerígeno en ratas; no pudo excluir la posibilidad de carcinogenicidad en ratones a dosis muy altas
Genotoxicidad	No existe potencial Genotóxico vía oral en mamíferos
Toxicidad reproductiva	
Efecto crítico	Peso corporal reducido y retraso en el desarrollo (ausencia de toxicidad maternal)
NOAEL parental	
relevante más bajo	417,00 mg/kg peso corporal/día (ratas)
NOAEL de descendencia	
relevante más bajo	417,00 mg/kg peso corporal/día (ratas)
NOAEL reproductivo	
relevante más bajo	1.983,00 mg/kg peso corporal/día (ratas)
Neurotoxicidad	
Efecto crítico	Ligero aumento de malformaciones a dosis altas para la madre
NOAEL de neurotoxicidad aguda	
	2.000,00 mg/kg peso corporal, las dosis más altas ensayadas
NOAEL de neurotoxicidad subcrónica	
	1.547,00 mg/kg peso corporal/día, las dosis más altas ensayadas
NOAEL de neurotoxicidad de desarrollo	Sin datos

Fuente: tomado de JMPR 2016³

La JMPR concluyó que la base de datos existente sobre el glifosato era adecuada para caracterizar los riesgos potenciales para la población general, incluidos los fetos, los lactantes y los niños. En general, hay alguna evidencia de una asociación positiva entre la exposición al glifosato y el riesgo de Linfoma no Hodgkin (basado en estudios de caso-control y el metanálisis). Sin embargo, aunque existe un estudio de cohorte con muchos datos y de gran calidad, en este no se encontró evidencia de asociación en ningún nivel de exposición(248).

Finalmente, la JMPR concluyó que debido a la ausencia de potencial carcinogénico en roedores a dosis relevantes para humanos y a la ausencia de genotoxicidad por en mamíferos (vía oral), y considerando la evidencia epidemiológica de las exposiciones ocupacionales, es poco probable que el glifosato represente un riesgo carcinogénico para los humanos a través de la dieta(248).

La EFSA publicó el documento "Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance glyphosate"⁴ en el cual evaluaron la evidencia científica disponible sobre el glifosato con el fin de establecer el riesgo de la población Europa tras la exposición a glifosato a través de los alimentos(249).

La EFSA observó baja toxicidad aguda cuando se administró glifosato (como ácido o sales de glifosato) por vía oral, dérmica o por inhalación; el principio activo no produce irritación de la piel ni sensibilización dérmica. El ácido de glifosato es muy irritante para los ojos (provoca lesiones oculares graves), mientras que las sales de glifosato no necesitan clasificación con respecto a la irritación ocular. Los órganos que son afectados por el glifosato son el tracto gastrointestinal, las glándulas salivales, el hígado y la vejiga urinaria en los roedores; por su parte, tras la exposición crónica, las ratas desarrollaron cataratas(249).

El NOAEL basado en estudios crónicos en ratas fue de 100,00 mg/kg peso corporal/día. En perros la ganancia de peso corporal se ve limitada y se aprecian signos gastrointestinales y toxicidad hepática tras la exposición a corto plazo al glifosato para altas dosis de glifosato (alrededor de 1000 mg/kg peso corporal/día). El glifosato no presentó potencial Genotóxico y no se observó evidencia de carcinogenicidad en ratas o ratones. En sólo uno, de un total de cinco estudios en ratones albinos suizos, se presentó un aumento estadísticamente significativo de la incidencia de linfomas malignos a la dosis máxima de 1.460,00 mg/kg peso corporal/día. No obstante, este valor excede la dosis de referencia límite (1.000,00 mg/kg peso corporal/día) recomendada por la OECD estudios sobre exposición oral de toxicidad crónica y carcinogenicidad. También, fue claro para los expertos que se reconoce que esta cepa de ratones presentaba una incidencia histórica de linfomas malignos.

El ADI de glifosato se estableció en 0,50 mg/kg peso corporal/día, de acuerdo con el NOAEL materno y del desarrollo de 50,00 mg/kg peso corporal/día, proveniente del estudio de toxicidad del desarrollo en conejos. El factor de incertidumbre se estableció en 100.

La dosis de referencia aguda (ARfD) se estableció en 0,50 mg/kg peso corporal/día, basada en el mismo NOAEL de 50,00 mg/kg peso corporal/día con el que se determinó el ADI, debido a la aparición de toxicidad severa, denotada como la mortalidad de gestantes y el aumento de la incidencia de pérdidas post-implantación en dos de los siete estudios de toxicidad del desarrollo en conejos. Se utilizó aplicando un factor de incertidumbre de 100.

De acuerdo a los estudios epidemiológicos disponibles, la EFSA concluyó que existe evidencia muy limitada de una asociación entre las formulaciones basadas en glifosato y el linfoma no Hodgkin, la información no es concluyente para una relación asociativa causal o clara entre el glifosato y el cáncer en estudios en humanos. La gran mayoría de los expertos no confirmó evidencia de carcinogenicidad en ratas o ratones debido en las pruebas de comparación por pares no se presentó significancia estadística, además la falta de consistencia en múltiples estudios en animales y que sólo se presentó un ligero aumento de la incidencia a dosis iguales o superiores a la dosis límite, a la falta de lesiones pre neoplásicas y estar dentro del rango de control histórico(249)

La EFSA concluyó, con solo una excepción, que es poco probable que el glifosato represente un peligro de cáncer para los humanos(249).

Resultado Según las fuentes consultadas para identificar la probabilidad que el glifosato y sus adyuvantes representaran un peligro para la salud humana, se pudo evidenciar que, aunque este herbicida puede ser levemente toxico dependiendo la exposición, la cantidad, la formula, el surfactante, el contacto, entre otros factores a largo plazo según las características mencionadas puede llegar a tener alto impacto para la salud y generar afectación a la salud humana produciendo alteraciones importantes en diferentes sistemas orgánicos tales como el endocrino, respiratorio, renal y neurológico, así como con afectaciones en la duración de la gestación y la generación de malformaciones congénitas. Adicionalmente, se apreció que este producto tiene la capacidad de producir daño citotóxico a concentraciones inferiores a los estándares establecidos y finalmente el glifosato se incluyó en la lista internacional de plaguicidas altamente peligrosos del año 2016 dentro del grupo con efectos a la salud humana a largo plazo respaldado en su inclusión por parte de la IARC como probablemente carcinógeno(219).

Sin embargo, existen posiciones de otros organismos basados en resultados de diferentes estudios, donde se concluye que es poco probable que el glifosato represente un peligro de cáncer para los humanos.

4.4 Interrogantes para la caracterización del peligro del Glifosato

4.4.1 ¿Qué propiedades del producto químico tienen potencial para causar efectos sanitarios adversos?

En primer lugar, y como se ha venido mencionando, parte del resultado de la búsqueda de las propiedades del producto químico y su potencial para causar efectos sanitarios adversos, fue la revisión de las fichas técnicas del herbicida y coadyuvante utilizados probablemente para Colombia (se trabajó con la información más completa que suministró la DIRAN) y no se obtuvo información sobre la mezcla exacta para determinación del riesgo y efectos en salud, pero según revisión bibliográfica la probabilidad que el glifosato y sus adyuvantes representaran un peligro para la salud humana, se pudo evidenciar que, aunque este herbicida puede ser levemente toxico dependiendo la exposición, la cantidad, la formula, el surfactante, el contacto, entre otros factores a largo plazo según las características mencionadas puede llegar a tener alto impacto para la salud y generar una grave afectación de la salud humana produciendo afectaciones importantes en diferentes sistemas orgánicos tales como el endocrino, respiratorio, renal y neurológico, así como con afectaciones en la duración de la gestación y la generación de malformaciones congénitas. Adicionalmente, se apreció que este producto tiene la capacidad de producir daño citotóxico a concentraciones inferiores a los estándares establecidos.

En el anexo 20, que contiene las reseñas de algunos estudios tenidos en cuenta para la identificación y caracterización del peligro, así como en el aparte de este documento que tiene que ver con la presentación de la evidencia recuperada en relación a los efectos para la salud por exposición a glifosato, es importante aclarar que existen diversos valores de referencia generados por las agencias internacionales y mayoría de los estudios epidemiológicos o experimentales que han estudiado las posibles asociaciones del glifosato con efectos en la salud; como un punto en contra de la presente evaluación, estudios anteriores con la misma finalidad, han evaluado la exposición bajo el diligenciamiento de cuestionarios acerca del uso de este herbicida en relación con la frecuencia de uso y cantidad usada, pero no se precisa una medición de las concentraciones corporales de este elemento por lo cual NO es posible comparar con los diferentes estándares internacionales pero si es posible identificar asociaciones entre la exposición a glifosato y los efectos en la salud.

En segundo lugar se presenta la clasificación toxicológica y la persistencia del glifosato.

4.4.2 ¿Qué propiedades descritas se pueden relacionar con el efecto y de qué manera?

4.4.2.1 Clasificación Toxicológica de glifosato 48 SL COAGRO 48% ICAS 2699

La organización mundial de la salud OMS ha recomendado, sujeta a actualizaciones periódicas, una clasificación de los plaguicidas según su peligrosidad, entendiendo esta como su capacidad para producir daño agudo a la salud cuando se da una o múltiples exposiciones en un tiempo

relativamente corto. Se basa en la dosis letal media (DL₅₀) aguda por vía oral o dérmica de las ratas, según sea el producto formulado comercializado en forma sólida o líquida(23,81).

La DL₅₀ (dosis letal 50%) oral aguda se define como la cantidad de una sustancia que es necesario ingerir de una sola vez para producir la muerte del 50% de los animales de ensayos, esta dosis se expresa generalmente en mg/Kg de peso del animal ensayado(36,250).

La toxicidad dérmica aguda, se refiere a la aplicación de una sola vez de un producto sobre la piel afeitada del animal en ensayo, que normalmente es el conejo aunque se realiza también en ratas. Al igual que la toxicidad oral aguda se expresa en términos de DL₅₀ y en mg/kg de peso(211,251).

Koc = La caracterización y las propiedades inducidas en la absorción de una sustancia dan información acerca de su movilidad. Generalmente cuando una sustancia tiene alta adsorción al suelo, tiene reducida movilidad(252).

El glifosato se considera una sustancia casi inmóvil en el suelo y eso está expresado por el Koc.

$$\text{Koc} = \frac{\text{Cantidad de Producto adsorbida en el C del suelo}}{\text{Cantidad disponible en Agua}}$$

En el caso del glifosato este valor alcanza 21000 ml/g, es decir, que la mayor proporción de herbicida está unida a las partículas sólidas.

Presión de Vapor = otra forma de movilidad sería a través del aire por evaporación, la presión de vapor nos define la capacidad de evaporación de una sustancia. Para el glifosato es de 0,0131 mPa a 25°C. La volatilidad se considera insignificante, es decir que es escasa la cantidad de glifosato que se evapora en condiciones normales(252).

Solubilidad = el glifosato es muy soluble en agua (10.500,00 mg/L)

En Argentina se hizo un estudio de movilidad de plaguicidas en suelo. Los suelos estudiados tienen un alto contenido de arena y casi la mitad del contenido de arcillas el glifosato se adsorbe a las arcillas) y de materia orgánica(253).

Se observa que para que el glifosato se movilice debe haber macro poros y grietas. Una gran intensidad de precipitaciones después de la aplicación y el suelo debe estar muy húmeda(253).

Las formulaciones que hay en el mercado tienen como activos a distintas concentraciones:

- Sal Isopropilamina (48,00 y 62,00 %)
- Sal de Dimetilamina (60,80%)
- Sal Potásica (43,80, 62,00 y 66,20%)
- Sal Amoniacal (40,50, 39,60, 74,70, 78,00 y 79,00%)

Los concentrados solubles

Llamados también líquidos solubles o soluciones concentradas. Se identifican por las letras SL. Se componen de un ingrediente activo que es soluble en agua, o en solventes que se mezclan en el agua, como alcoholes o acetonas (y en este caso presentan los riesgos de los solventes), adherentes y humectantes. Una vez disueltos en agua no requieren agitación adicional. No son abrasivos. Pueden tener problemas de precipitación cuando se mezclan con aguas duras (salobres) o fertilizantes(180,254).

Dadas estas condiciones, es necesario conocer específicamente glifosato que se utilizará en la mezcla y su concentración SL para poder establecer el riesgo al que se esté sometido tanto en salud humana como en salud ambiental; adicionalmente se debe determinar qué tipo de solvente está presente en este producto y como puede actuar a nivel de las diferentes matrices ambientales o biológicas a que haya a lugar.

Con respecto a Cosmo-OIL emulsión: los emulsificantes posibilitan la mezcla con agua de productos que normalmente no se mezclan con ella, como el aceite. Su molécula tiene un extremo polar hidrofílico, soluble en agua y un extremo no polar lipofílico, soluble en aceites. Una sustancia puede tener una o varias propiedades surfactantes(185).

Dentro de la forma de Aspersión: el plaguicida se aplica sin diluir en agua o diluido en agua o aceite, con equipos que producen una nube de gotas de tamaño variable. Este tipo de aplicación es el más común.

Dentro de los efectos en salud de un tóxico pueden clasificarse de varias maneras así:

Locales: cuando el tóxico afecta solamente el sitio donde se aplica o sistémicos cuando comprometen todo el organismo(20,255).

Reversible: cuando los efectos son temporales o irreversibles cuando dejan lesiones permanentes o producen la muerte(20,255).

Agudos: los que resultan de una exposición única o Crónica que resultan de la exposición repetida a dosis más bajas que la dosis aguda, pero en forma continua y por tiempo prolongado(20,255).

De igual forma, los efectos que presentan las sustancias pueden ser de diferentes clase entre las más comunes se encuentran:

Irritantes: producen una inflamación temporal del tejido que tocan, como la piel, los ojos o las vías respiratorias.

Sensibilizante: producen reacciones de tipo alérgico después de varias exposiciones. Por ejemplo: una persona que lleva algún tiempo trabajando con un producto empieza a sentir irritaciones o picazón en la piel cuando entra en contacto con el producto, o sufre accesos violentos de tos cuando aspira sus vapores, polvos o la nube de aspersión(205,251).

4.4.2.2 Persistencia del glifosato(50)

Según la PPDB (Pesticida Properties Database) elaborado por agricultura and Environment Unit de la University of Hertfordshire (Inglaterra) la persistencia del glifosato es:

DT ₅₀ a campo:	12 días
DT ₅₀ a Laboratorio a 20°C:	49 días
DT ₉₀ a Laboratorio a 20°C:	159 días

Se define como DT₅₀ (Greenhalk, 1980) la cantidad de días necesarios para que un plaguicida se reduzca a la mitad de la concentración inicial.

Se denomina DT₉₀ la cantidad de días necesarios para que un plaguicida se reduzca al 90% de la concentración inicial. Este parámetro no tiene relación como la disponibilidad del producto para los integrantes del ecosistema ya que el herbicida puede permanecer en el suelo, pero eso no significa que esté disponible para interactuar con los organismos allí presentes.

4.4.3 ¿Existen valores orientativos o de referencia basados en la salud de organizaciones internacionales para el Glifosato?

Siguiendo el objetivo de la caracterización del peligro o identificación del valor orientativo o de referencia del glifosato el cual es obtener una descripción cualitativa o cuantitativa de las propiedades inherentes de este agente y cuál es su potencial para causar efectos sanitarios adversos como resultado de la exposición, se presenta a continuación la posición de diferentes organismos frente a este herbicida, continuando con los interrogantes que permiten caracterizar el peligro del agente.

4.4.3.1 Países

Estados Unidos de América

(28, 97,102)

a) Estándares de agua y criterios de salud (USA)

- Nivel máximo contaminante (MCL) 700,00 µg/L
- Meta del nivel máximo contaminante (MCLG) 700,00 µg/L
- Nivel de exposición consultivo de salud por un día 20.000,00 µg/L
- Nivel de exposición consultivo de salud por 10 días 20.000,00 µg/L
- Nivel de exposición consultivo de salud de por vida 700,00 µg/L
- Dosis de referencia 100,00 µg/kg/día.
- Nivel equivalente de agua potable en los ESTADOS UNIDOS 4.000,00 µg/L

Colombia

La secretaria general de la comunidad andina, emitió la resolución 2075 de 2019, elaboró el Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola, el cual tiene como centro los procedimientos y criterios para la clasificación toxicológica de los productos por su peligrosidad elaborada por la OMS y la evaluación del riesgo toxicológico atendiendo los hallazgos en las variables investigadas de los diferentes trabajos, los residuos, y anotaciones al rotulado(44,184,256,257).

Con ayuda de las siguientes tablas (39 Y 40) se realiza una clasificación de la peligrosidad de los herbicidas por las diferentes vías de exposición.

Tabla 39. Clasificación toxicidad aguda, oral, cutánea e inhalatoria

Clasificación		Criterio			
Categoría	Oral DL ₅₀ (mg/kg)	Cutánea DL ₅₀ (mg/kg)	Inhalatoria		
			Gases CL ₅₀ (ppm en Volumen)	Vapores CL ₅₀ (mg/L)	Polvos y nieblas CL ₅₀ (mg/L)
1	≤5	≤50	≤100	≤0.5	≤0.05
2	>5 y ≤50	>50 y ≤200	> 100 y ≤500	>0.5 y ≤2.0	>0.05 y ≤0.5
3	>50 y ≤300	>200 y ≤1000	>500 y ≤2500	>2.0 y ≤10	>0.5 y ≤1.0
4	>300 y ≤2000	>1000 y ≤2000	>2500 y ≤20000	>10 y ≤20	>0.5 y ≤5.0

Fuente: Resolución No 2075 Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola de 2019.

Tabla 40. Potencial de irritación ocular y cutánea.

Niveles de severidad por irritación ocular		
NIVELES	CRITERIOS	FRASES DE ADVERTENCIA PARA LA ETIQUETA
SEVERIDAD I	Corrosivo (Destrucción no reversible del tejido ocular) o compromiso de la córnea o irritación persistente por más de 21 días	Corrosivo, causa daño irreversible a los ojos
SEVERIDAD II	Compromiso de la córnea o irritación que desaparece en 8 - 21 días	Causa daño temporal a los ojos
SEVERIDAD III	Compromiso de la córnea o irritación que desaparece en siete o menos días	Causa irritación moderada a los ojos
SEVERIDAD IV	Efectos mínimos que desaparecen en menos de 24 horas	No requiere Frase de advertencia

Niveles de severidad por irritación cutánea		
NIVELES	CRITERIOS	FRASES DE ADVERTENCIA PARA LA ETIQUETA
SEVERIDAD I	Corrosivo (Destrucción de tejido en la dermis y/o formación de cicatrices)	Corrosivo, causa quemadura a la piel.
SEVERIDAD II	Irritación severa a las 72 horas (eritema severo o edema)	Causa irritación a la piel
SEVERIDAD III	Irritación moderada a las 72 horas (eritema moderado)	Evita contacto con la piel y la ropa
SEVERIDAD IV	Irritación leve o ligera, o eritema ligero, o no irritación	No requiere Frase de advertencia.

Fuente: Resolución No 2075 Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso

Agrícola de 2019.

Evaluación toxicológicaNiveles que no causan efecto tóxico**AMPA**

Rata: 400,00 mg / kg pc por día (estudio de toxicidad de 90 días)
 150,00 mg / kg pc por día (toxicidad materna en un estudio de toxicidad del desarrollo)
 400,00 mg / kg pc por día (toxicidad fetal en un estudio de toxicidad del desarrollo)
 Perro: 300,00 mg / kg pc por día (dosis más alta en un estudio de toxicidad de 90 días)

Glifosato (desde 1986- JMPR)

Ratón: 0,50% en la dieta, igual a 814,00 mg / kg pc por día (estudio de dos años de toxicidad y carcinogenicidad)
 Rata: 31,00 mg / kg pc por día (estudio de toxicidad y carcinogenicidad de 26 meses)
 Perro: 500,00 mg / kg pc por día (estudio de toxicidad de un año)

Estimación de la ingesta diaria aceptable para humanos

0,00-0,30 mg / kg pc (suma de glifosato y AMPA)

Criterios toxicológicos para establecer valores de referencia para la exposición dietética y no dietética al ácido aminometilfosfónico (AMPA)

Exposición humana	Ruta relevante, tipo de estudio, especie	Resultados / observaciones
A corto plazo (1-7 días)	Toxicidad oral, rata	DL ₅₀ = 8300,00 mg / kg de peso corporal
	Irritación de la piel, conejo	No irritante
	Irritación ocular, conejo	No irritante
	Sensibilización de la piel	Sin datos
Mediano plazo (1-26 semanas)	Oral repetido, 90 días, toxicidad, rata	NOAEL = 400,00 mg / kg pc por día: cambios en el tracto urinario NOAEL = 150,00 mg / kg pc por día: toxicidad materna
	Oral repetido, toxicidad del desarrollo, rata	NOAEL = 400,00 mg / kg pc por día: toxicidad del desarrollo.
	Toxicidad reproductiva oral repetida	Sin datos
A largo plazo (> 1 año)	Oral repetido, toxicidad	Sin datos

Canadá

El control está a cargo de la Dirección General de producción e inspección de alimentos, la dirección de pesticidas y se visualiza en el documento de decisión E92-02-. (28, 102, 166, 167)

a) Estándares para agua potable en Canadá y criterios de salud

Concentración máxima aceptable intermedia (IMAC) de glifosato es 0,28 mg/L (Guideline January 1987). Cantidad admitida insignificante diariamente para el glifosato (NDI) de 0,03 mg/kg bw por día.

- Líneas guía de calidad del agua para la protección de la vida acuática en Canadá.
- Líneas guía de agua fresca 65,00 µg/L.
- Líneas guía de calidad del agua para la protección del uso de agua en la agricultura en Canadá.
- Líneas guía de agua para ganado 280,00 µg/L.

b) Health Canadá

Regulaciones que enmiendan las normas para alimentos y drogas (1198-Glifosato y Trimethylsulfoptium).P.C. 2002-1794 24 de octubre, 2002.

- Límite máximo de residuos en fracciones de avena molida, excluyendo la harina: 35,00 mg/Kg.
- Límite máximo de residuos mg/Kg en sojas: 20,00 mg/Kg.
- Límite máximo de residuos ppm en fracciones de cebada y trigo molido, excluyendo harina y avena: 15,00 mg/kg.
- Límite máximo de residuos mg/Kg en cebada y canola: 10,00 mg/Kg.
- Límite máximo de residuos en guisantes y trigo: 5,00 mg/Kg.
- Límite máximo de residuos en frejol y lenteja: 4,00 mg/Kg.
- Límite máximo de residuos en cereales, lino: 3,00 mg/Kg.
- Límite máximo de residuos en riñón de ganado, cabras, cerdos, aves y ovejas: 2,00 mg/Kg.
- Límite máximo de residuos en asparagus: 5,00 mg/Kg.
- Límite máximo de residuos en hígado de ganado, cabras, cerdos, aves y ovejas: 0,20 mg/Kg.

Unión Europea

En 1996 se estableció el límite máximo de glifosato residual en soya: 20,00 mg/kg. La compañía Monsanto, por su parte, consiguió un permiso en el que se establece una concentración máxima de glifosato en alimentos derivados de cultivos transgénicos de 20,00 mg/Kg en la soya transgénica (42,184,256,256,258).

a) Directiva 2006/60/CE de la Comisión de las Comunidades Europeas

Según esta directiva los límites máximos de residuos de glifosato son:

- Producto Glifosato(mg/kg) Producto Glifosato(mg/kg)
- Mandarinas 0,50 Fresas 0,10
- Naranjas 0,50 Frutas de caña 0,10
- Frutos de cáscara 0,10 Bayas 0,10
- Judías 2,00 Papas 0,50
- Guisantes 10,00 Lúpulo 0,10
- Frutos de pepita 0,10 Tubérculos 0,10
- Frutos de hueso 0,10 Bulbos 0,10
- Hortalizas 0,10 Leguminosas 0,10
- Uvas 0,50 Frutos 0,10

4.4.3.2 Organismos de vigilancia y control.**United States Environmental protection Agency (EPA)**

En 1974 el Congreso aprobó la ley sobre seguridad del agua potable. Esta ley requiere que la EPA determine niveles seguros de químicos en el agua potable que puedan hacer o causar problemas de salud. Estos niveles no obligatorios, basados únicamente en posibles riesgos de salud u exposición, son llamados metas máximas de niveles contaminantes (Maximum Contaminant Level Goals) (180).

El MCLG para el glifosato se fijó en 0,70 partes por millón (ppm) porque la EPA considera que este nivel de protección no podría causar ningún problema de salud potencial descrito.

Basado en el MCLG, la EPA fijó un Standard obligatorio llamado nivel de contaminación máximo (MLC). Los MLCS son fijados lo más cercano posible a los MCLG, considerando la capacidad de los sistemas públicos de agua para detectar y remover contaminantes usando convenientes tecnologías de tratamiento.

El MCL ha sido fijado en 0,70 ppm porque la EPA cree que, con los recursos y tecnología actuales, este es el nivel mínimo en que los sistemas de agua pueden razonablemente ser requeridos para remover el contaminante en el caso en que ocurra en el agua potable.

Estos estándares de agua potable y las regulaciones para asegurarlos son denominados requisitos básicos nacionales del agua potable. Todos los proveedores públicos de este servicio deben acogerse a ellos.

El glifosato está clasificado por la EPA como clase E (evidencia de no carcinogénesis en humanos). Pero aclara que exposiciones continuadas a residuos en aguas en concentraciones superiores a 0,70 mg/L pueden causar efectos negativos en seres humanos.

Valoraciones sobre exposición y riesgo

Exposición dietética: los niveles de tolerancia han sido establecidas (40 CFR 180.364) para residuos de glifosato en o sobre una variedad de comida y productos alimenticios. Estos niveles están también establecidos para órganos de animales que puedan ser consumidos por humanos (riñón a 4,00 ppm e hígado a 0,50 ppm) y para carne de aves a 0,10 ppm, huevos a 0,05 ppm y productos de carne de aves a 1,00 ppm, basados en estudios para alimentación de animales y razonables dietas de ganado en el peor de los casos.

Según la EPA, en Estados Unidos el glifosato se propone usar en vegetación indeseada, dentro y fuera de sembradíos, bosques, áreas industriales y áreas residenciales. La etiqueta del producto que ha venido utilizando hasta la fecha estipula “Este producto es solamente para uso en áreas donde no hay cultivos o árboles. No para uso en cultivos, árboles, u otras plantas cultivadas para la venta u otros usos comerciales”. La fumigación de cultivos de alimentos ciertamente no es consistente con el uso “no-agrícola” de herbicidas en los ESTADOS UNIDOS, de acuerdo con los requisitos de la EPA.

En los Estados Unidos los usos principales de glifosato son aplicados para eliminar maleza. Con el único fin de fumigar plantas indeseables, el uso “no agrícola” en EE.UU. consiste en aplicaciones de soluciones concentradas de herbicida donde hay poco o ningún contacto de trabajadores con las plantas que han sido fumigadas. La EPA sostiene que, en dicho país, el uso en “sitios agrícolas es en promedio de menos de 0,75 libras de ingrediente activo de glifosato por acre.” La EPA usa especificaciones en formulaciones significativamente menos tóxicas, autorizando el uso de un máximo de 2,94% de solución. La mayoría de las etiquetas para uso forestal y vías de transporte de glifosato en Estados Unidos sugiere la aplicación con helicóptero.

4.4.3.3 Organismos Relacionados con la Protección de la salud

FAO

Hoja de datos de pesticidas N° 91 Glifosato

Recomendaciones en la regulación de su compuesto(40,44)

a) Transporte y almacenamiento

Formulaciones en la categoría 4: Debe ser transportado y almacenado con una clara etiqueta, en un envase rígido a prueba de filtraciones, hecho de acero inoxidable, fibra de vidrio,

aluminio, plástico o plástico revestido de acero. No mezclar, rociar o guardar en un envase galvanizado o no revestido de acero. El almacenamiento debe ser bajo llave, mantener fuera del alcance de los niños o personas no autorizadas y mantener bien lejos de la comida o bebidas.

Formulaciones en la categoría 5: Debe transportarse y almacenarse con una clara etiqueta, en un envase rígido a prueba de filtraciones, hecho de acero inoxidable, fibra de vidrio, aluminio, plástico o plástico revestido de acero. No almacenar en envases galvanizados ni envases no revestidos de acero. Transporte y almacenamiento debe estar fuera del alcance de los niños y lejos de alimentos y bebidas

b) Manejo

Formulaciones en la categoría 4: Vestimenta de protección debe ser utilizada por todas las personas que manejen el componente. Adecuadas facilidades deben estar a disposición todo el tiempo durante el manejo y el lugar de manejo debe ser cerrado. Comer, beber y fumar debe ser prohibido durante el manejo y antes y después debe limpiarse.

Formulaciones en la categoría 5: Deben proveerse todas las facilidades requeridas para el manejo de cualquier químico.

Regulaciones adicionales recomendadas si es distribuido por avión

Todas las formulaciones: Pilotos y cargadores deben tener entrenamiento especial en métodos de aplicación y reconocimiento de síntomas tempranos de envenenamiento por pesticidas. Los cargadores deben vestir overoles, guantes de plástico y gafas. Hombres de pabellón deben adicionalmente vestir un sombrero impermeable, y tienen que estar localizados lejos de la zona de fumigación.

c) Descripción

Formulaciones en la categoría 4- recomendaciones mínimas de precaución: Glifosato es un herbicida que puede ser venenoso si se ingiere. Las Irritaciones de piel y ojos pueden ser consecuencia del contacto. Evitar todo contacto con la boca y la piel y la inhalación de aerosoles generados durante los procedimientos de mezcla o aplicación. Lavar salpicaduras hacia la piel y los ojos inmediatamente. Lavar manos y cara antes de comer o fumar, después de manejar el pesticida. Cambiar vestimenta inmediatamente después del trabajo. Cuando se maneja concentrado se debe usar guantes protectores, gafas y vestimenta proyectiva limpia. Almacenar lejos de comida y mantener fuera del alcance de niños. Deshacerse de los envases vacíos. Si ocurre envenenamiento, buscar atención médica. No almacenar o aplicar este producto en envases o tanques de aspersión de acero galvanizado o no revestido de acero (excepción acero inoxidable).

Formulaciones en la categoría 5- disposiciones mínimas de precaución: Esta fórmula contiene glifosato, un herbicida que puede ser venenoso si se ingiere. Evitar todo contacto con la boca,

piel y ojos. Puede ser irritante en los ojos y piel. Lavar las manos y la cara después del uso. Almacenar en contenedores etiquetados fuera del alcance de los niños. Deshacerse de los envases vacíos. No almacenar o aplicar este producto en envases o tanques de aspersión de acero galvanizado o no revestido de acero (excepción acero inoxidable).

d) Residuos en comida

El límite máximo de residuos (MRLs) fue propuesto por la FAO/OMS en la Reunión para residuos de pesticidas. La cantidad admitida aceptable diariamente (ADI) fue establecida en 0-0,3 mg/kg b.w.

e) Glifosato DuPont

Glifosato DuPont es un herbicida de uso agrícola, no selectivo, para el control post-emergente de las malezas anuales y perennes, que se puede utilizar en pre-siembra de soya, maíz, girasol; en pre-cosecha de trigo; y en cultivos perennes en aplicaciones dirigidas.

Glifosato DuPont es de acción sistémica: Una vez aplicado sobre las malezas, es absorbido por hojas y tallos verdes, y traslocado hacia las raíces y órganos vegetativos subterráneos, ocasionando la muerte total de las malezas emergidas.

Los efectos son lentos, sobre todo en especies perennes, donde después de transcurridos 4-5 días desde la aplicación comienza el amarillamiento y marchitamiento de hojas y tallos que culminan con la muerte total de las malezas.

La FAO/OMS regula las cantidades que deben utilizarse dependiendo el tipo de cultivo en el cual se utiliza

f) Dupont Premium (Principio activo glifosato: 74,7%)

DUPONT PREMIUM WG es un herbicida, de uso agrícola, selectivo para cultivos genéticamente modificados (soya RR, maíz RR y algodón RR), tolerantes al principio glifosato, para el control postemergente de las malezas anuales y perennes.

DUPONT PREMIUM WG es de acción sistémica, siendo absorbido por hojas y tallos verdes, y traslocado hacia las raíces y órganos vegetativos subterráneos, ocasionando la muerte total de las malezas emergidas. También se puede usar como no selectivo para el control de malezas en áreas agrícolas, industriales, caminos, vías férreas etc.

Los efectos son graduales, sobre todo en las especies perennes, donde después de transcurridos 4-5 días desde la aplicación comienza el amarillamiento y marchitamiento de hojas y tallos que culminan con la muerte total de las malezas.

La FAO/OMS regula las cantidades que deben utilizarse dependiendo el tipo de cultivo en el cual se utiliza.

OMS (1994) Glyphosate (Environmental Health Criteria 159), Geneva

Glifosato y AMPA tienen estructuras químicas similares. Estudios de metabolismo del glifosato en animales experimentales indica que esencialmente nada es biotransformado en AMPA. Datos toxicológicos sobre el metabolismo son esencialmente para asistencia de riesgos. La Reunión comparó el perfil de toxicidad de la AMPA con la del glifosato y concluyó que los mayores destinatarios de la toxicidad de AMPA han sido investigados. Los resultados demuestran una leve toxicidad. La Reunión concluyó que los dos componentes tienen perfiles toxicológicos similares y considera que una base de datos completa sobre AMPA es innecesaria. AMPA no fue considerado como una preocupación toxicológica grande como su componente. La Reunión estableció un grupo ADI para AMPA sola o en combinación con glifosato de 0,00-0,10 mg/kg b.w (248). sobre la base de un estudio de 26 meses de toxicidad en alimentos para ratas gradados técnicamente con glifosato, usando un factor seguro de 100 (40,61).

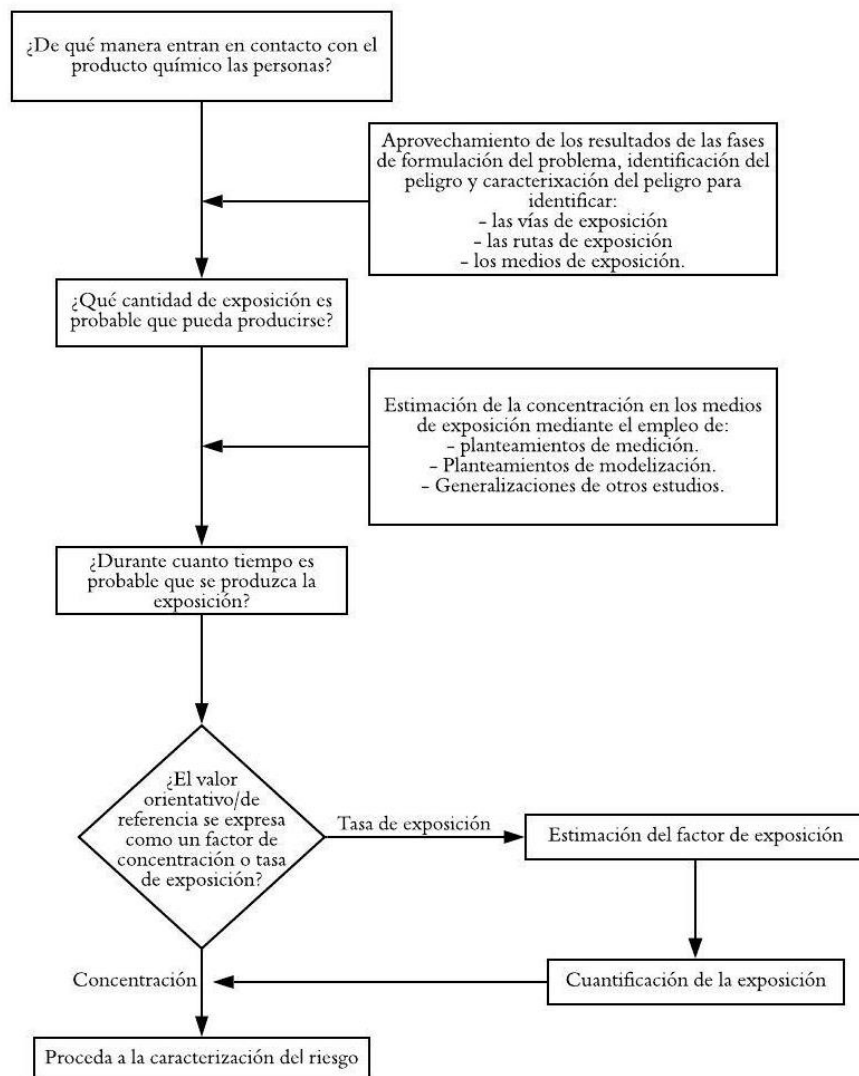
4.4.4 ¿Qué premisas sobre la exposición y la dosis se incorporan para determinar el efecto que tiene el Glifosato sobre la salud humana?

Según las fuentes consultadas se pudieron identificar que la exposición y la dosis del glifosato varían según la cantidad, la formula, el surfactante, la forma de aplicación y el contacto, entre otros. Tal y como recomienda la OMS en la herramienta para la evaluación de riesgos, frente a la ausencia de información sobre la absorción y exposición total al glifosato a las condiciones locales, en esta evaluación se elige confiar en los valores orientativos/de referencia proporcionados anteriormente en esta sección (29,259–271). No obstante, es necesario dejar claro que de los estudios recuperados, solo dos reportaron que la aspersión se hizo de forma aérea y ninguno detalla en las condiciones técnicas en que se desarrolló el proceso(205,272).

Sin embargo, como parte importante de esta premisa, se cuenta con fórmulas presentadas a través de estudios preliminares y manuales internacionales. Cabe mencionar que se realizó una ampliación en la búsqueda de fuentes secundarias, con el fin de identificar elementos que proporcionaran información y permitieran en mayor medida una estimación concreta de este punto (dosis-respuesta), a través de la exploración de bases de datos nacionales y que pudieran aportar a la evaluación de riesgo diferencial entre las regiones estudiadas. Con la información recuperada, se construyeron y ajustaron las ecuaciones que permitieron determinar dicha estimación, así como los cocientes de peligro y los índices de riesgo, presentados en el presente capítulo y los compendios relacionados con los capítulos cinco y seis sobre la evaluación de la exposición y caracterización del riesgo.

Las vías de exposición para sustancias químicas pueden ser inhalatoria, dérmica u oral; se presenta a continuación la formula y criterios hallados en literatura para las dos principales vías de exposición: inhalada y dérmica(273,274).

5. CAPÍTULO CINCO: RESULTADOS EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN**Figura 22. Hoja de ruta para la evaluación de la exposición**



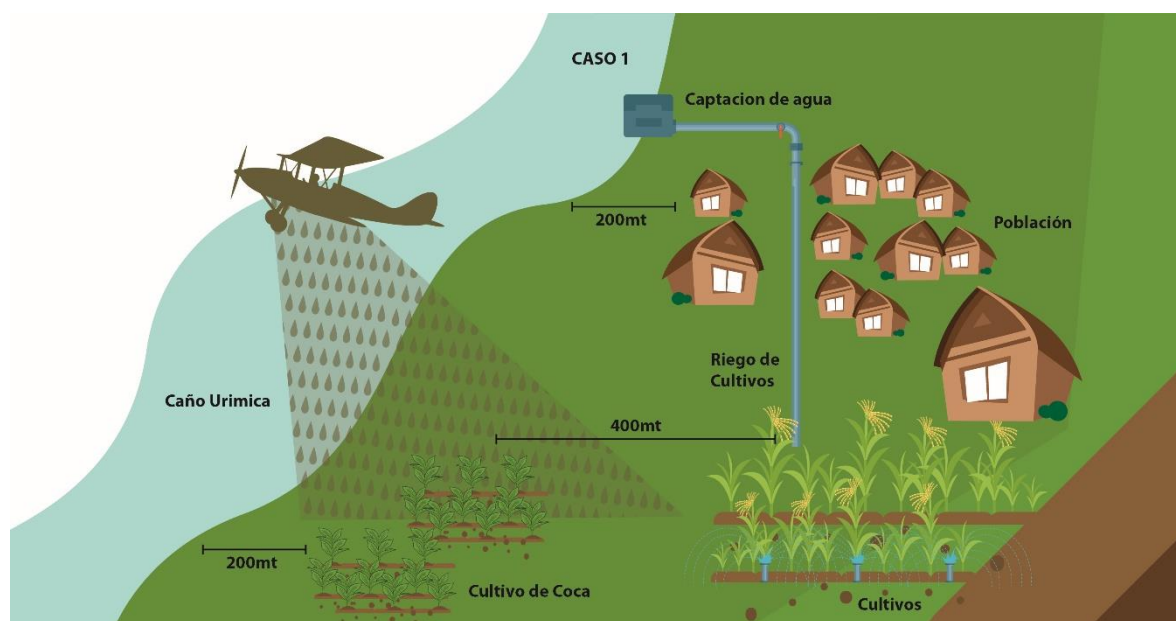
5.1 Identificación de vías, rutas y medios de exposición

La caracterización específica de las posibles rutas y vías de exposición fue desarrollada a partir de:

- Los resultados obtenidos de la identificación y caracterización del peligro.
- De las consideraciones tenidas en cuenta a partir de datos reales y supuestos establecidos en el contexto definido para el área de estudio.

En la **Figura 23** se puede apreciar las principales rutas potenciales, vías y medios de exposición asociadas al consumo de agua y alimentos en la población; luego de plantear un escenario en donde se vincula el proceso de aspersión con la probable contaminación de cuerpos de agua aledaños.

Figura 23. Rutas potenciales de exposición asociado al consumo de agua



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Para la identificación de los elementos que componen la ruta de exposición en el estudio de caso se determinaron 3 posibles puntos de contacto (PC):

PC1: contacto a través del consumo de agua del caño Urimica.

PC2: Mediante el contacto cutáneo con el agua al momento de su manipulación (aseo personal y/o desarrollo de actividades cotidianas).

PC3: podría existir la posibilidad de que los cultivos de sostenimiento estén contaminados por glifosato o por su principal metabolito AMPA, debido a que utilizan la fuente de agua para el riego.

Bento et al. 2018 afirmaron sobre el transporte del glifosato hacia las aguas superficiales, lo asociaron principalmente con el % de materia orgánica y minerales arcillosos del suelo, que son transportados fácil y rápidamente con la escorrentía, convirtiéndose así en un riesgo de contaminación de los ambientes terrestres (campos adyacentes) y acuáticos (275). De igual forma, Rashid et al. 2010 afirmaron que, el uso intensivo y la aplicación generalizada de glifosato indican un potencial para que este pesticida llegue a las aguas superficiales como resultado de la deriva de la pulverización, la escorrentía y el transporte de partículas por la erosión del suelo (276).

En el entendido que la plantación de coca se encuentre a 200 m del caño Urimica, podría existir la posibilidad de que debido a la deriva el glifosato llegue a esta matriz; si bien los pilotos no rocían deliberadamente las aguas superficiales, puede producirse una sobre pulverización de pequeños cursos de agua y los bordes de estanques, embalses y lagos podrían verse afectados (277).

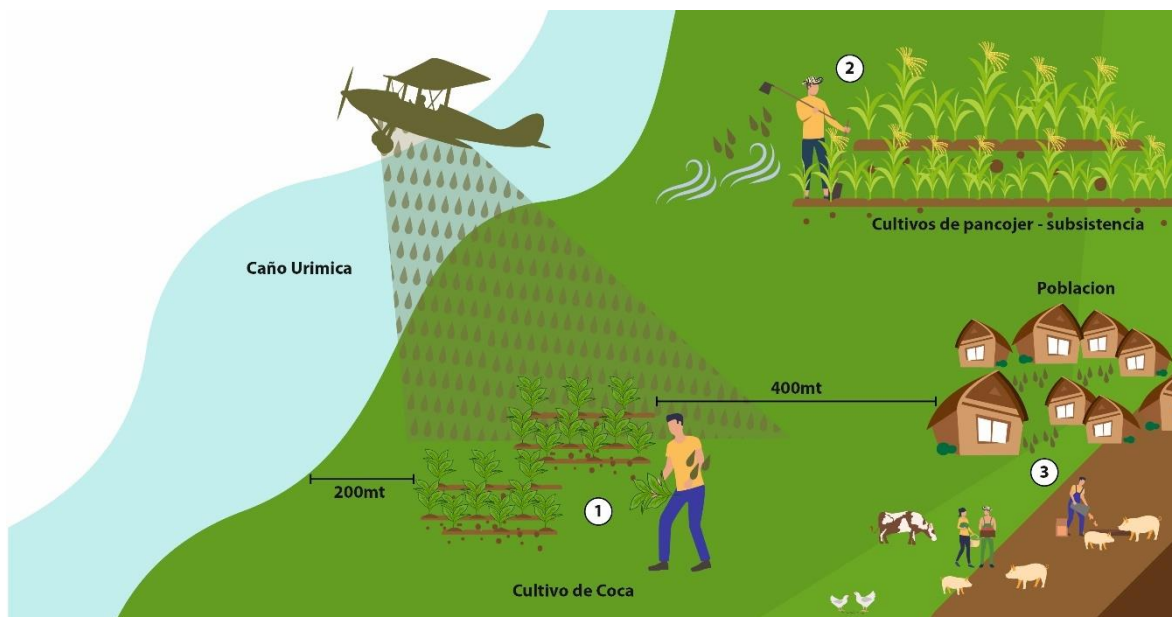
Finalmente, para los puntos de contacto establecidos, se determinaron los demás elementos de la ruta de exposición en el Anexo 8, se puede encontrar el procedimiento realizado para llegar a la información almacenada en la Tabla 41.

Tabla 41. Caracterización de las rutas de exposición asociada al uso del agua

Nombre de la Ruta	Elementos de la ruta de exposición				
	Fuente	Medio físico	Punto de contacto	Vía de exposición	Población
Agua de consumo	Difusa	Aire	Hogar	Ingestión directa	Población residencial
Contacto dérmico	Difusa	Aire	Hogar	Contacto y reacción Dérmica	Población residencial
Alimentos de consumo	Difusa	Aire	Hogar	Ingestión directa	Población residencial

Fuente: Elaboración propia, basada en la Sociedad Española de Sanidad Ambiental, 2016.

De la misma manera que para la figura anterior, pero esta vez vinculado al proceso de aspersión con una probable contaminación del aire (ver Figura 24) y teniendo en cuenta los resultados identificados en un estudio realizado en Bélgica; donde se encontró que los contenidos más altos de glifosato y AMPA se encuentran en las fracciones más pequeñas del suelo (PM_{10} y menos), que se inhalan fácilmente, se convierte en un factor de exposición humana (278).

Figura 24. Rutas potenciales de exposición asociadas a la calidad del aire.

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

En la Figura 24, se muestran los posibles puntos de contacto establecidos:

PC1: Es probable que las personas se encuentren en el campo de coca durante la aspersión de glifosato y el herbicida sea rociado directamente mediante vía cutánea e inhalatoria.

PC2: Las personas se encuentran en la zona de cultivos de pan coger, durante la aspersión de glifosato, la cual se encuentra a 400 metros aproximadamente, de acuerdo con la dirección del viento, cierta cantidad es arrastrado hasta donde se encuentran las personas, los cuales perciben vía inhalatoria al glifosato.

PC3: Las personas se encuentran dentro de las viviendas del caserío ubicado a 400 metros del sitio donde realizan la aspersión y debido al transporte de las partículas éstas entran al interior de las viviendas en menor concentración.

Lo anterior está en concordancia con lo establecido por F de Sousa et al. 2019, donde afirmaron que es probable que las exposiciones por inhalación de la población general sean mayores para las poblaciones que viven cerca de aplicaciones agrícolas (279).

Los elementos de la ruta de exposición se muestran en la Tabla 42, el procedimiento para su obtención se muestra en el Anexo 8.

Tabla 42. Caracterización de las rutas de exposición asociadas a la calidad del aire

Nombre de la Ruta	Elementos de la ruta de exposición				
	Fuente	Medio físico	Punto de contacto	Vía de exposición	población
Contacto accidental	Difusa	Aire	Cultivo de coca	Contacto y reacción Dérmica	Población residencial
Inhalación accidental	Difusa	Agua	Cultivo de pan coger	Inhalación	Población residencial
Material particulado	Difusa	Biota/ Cadena alimentaria	Hogar	Inhalación	Población residencial

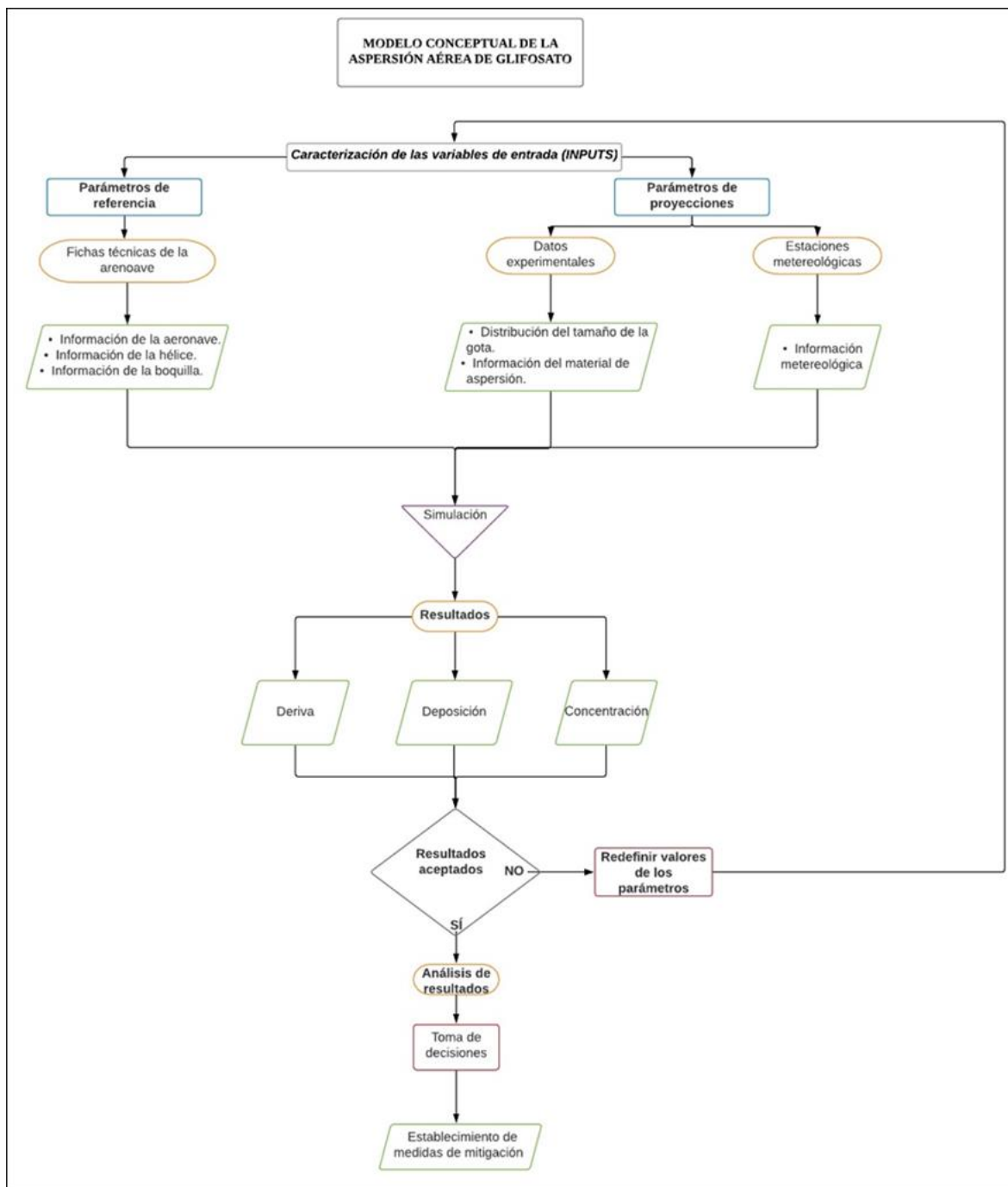
Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

A partir de los resultados presentados en las tablas 35 y 36, y en concordancia con las figuras 23 y 24; es factible que en situaciones de aspersión que involucren actividades y situaciones como las que se representan se identifiquen rutas potenciales asociadas a los componentes agua, aire y suelo y que la exposición se manifieste a través de las vías: inhalación, contacto dérmico e ingesta directa.

5.2 Elaboración de los modelos conceptuales

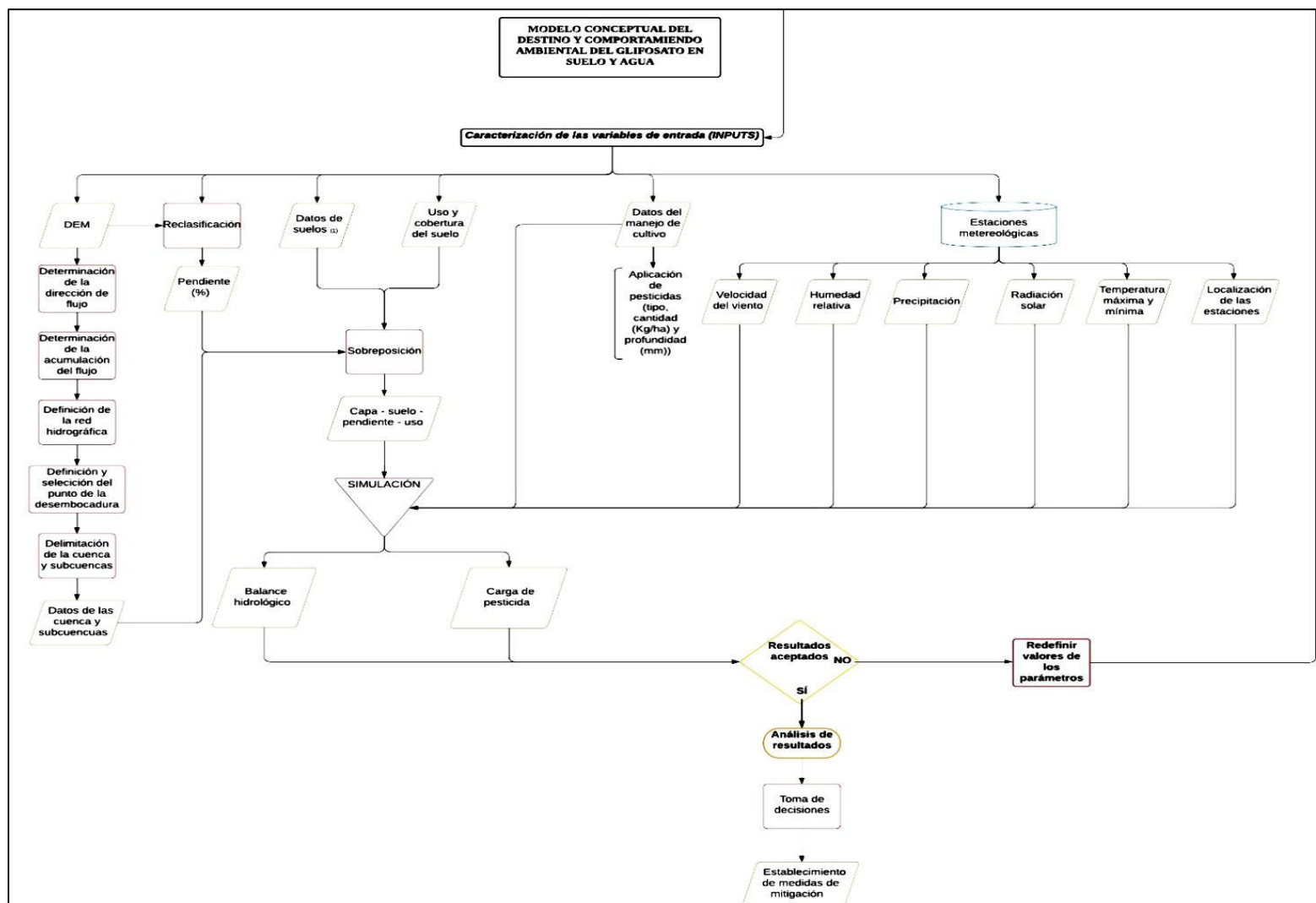
Fueron elaborados modelos conceptuales genéricos para estudiar el posible destino y comportamiento ambiental del glifosato. Estos modelos son flujogramas que representan las relaciones entre las diferentes variables de entrada que influyen directa o indirectamente en el proceso, como respuesta los modelos podrán generar resultados asociados a la determinación de la deriva, la deposición e incluso la concentración del pesticida en las diferentes matrices ambientales. En relación con la matriz Suelo-Agua, el modelo aplicado también debe ser capaz de generar un balance del ciclo hidrológico terrestre y el comportamiento del pesticida en cada una de sus fases. Los modelos se muestran en las Figuras 25 y 26.

Figura 25. Modelo conceptual genérico – Matriz Atmósfera



Fuente: EPA; USDA; Spray Drift Task Force, 2012.

Figura 26. Modelo conceptual genérico - Matriz Suelo-Agua



Fuente: USDA y Texas A&M University, 2012.

5.3 Revisión sistemática para modelos de dispersión y/o comportamiento ambiental de pesticidas

La revisión sistemática permitió la identificación de diferentes modelos utilizados en estudios donde se simuló el comportamiento del glifosato en las matrices ambientales atmosfera y suelo-agua. De acuerdo con estos resultados, fue posible identificar previamente a las simulaciones las posibles vías de exposición y algunas características de la sustancia y su comportamiento ambiental en los diferentes medios. La revisión sistemática también se centró en el estudio de efectos del glifosato, coadyuvantes y metabolitos en la salud ambiental, determinándose los posibles impactos sobre la microbiota del suelo, la calidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos y la afectación de la fauna y flora en general.

Estos modelos, permiten la determinación de concentraciones de la mezcla en las diferentes matrices ambientales, reflejan el comportamiento ambiental del glifosato para cada una de las vías de exposición y se convierten en herramientas de toma de decisiones en cuanto a la protección de los recursos naturales potencialmente afectados, toda vez que es posible determinar los medios sobre los cuales podrían permanecer las concentraciones más altas del glifosato, y confrontar con la teoría ya establecida posibles impactos, estrategias de mitigación y/o prevención conforme al instrumento requerido para tal fin, que es el Plan de Manejo Ambiental. Adicionalmente, la determinación de la concentración de la mezcla en cada una de las matrices se constituye es un aporte significativo desde la exposición ambiental para el cálculo de la Dosis de Exposición Estimada en una de vías de exposición (inhalatoria, oral y dérmica), donde se requiere considerar estas concentraciones como variables ambientales y relacionarlas matemáticamente con otras variables asociadas a la exposición y a las características de salud de las poblaciones estudio. Entre los modelos levantados mediante la revisión sistemática se presentan los siguientes:

5.3.1 Matriz aire

Existen diferentes estudios a partir de los cuales se ha buscado examinar los efectos de la aplicación de sustancias químicas en el aire, basados en múltiples variables de entrada que permitan analizar el comportamiento de la aspersión, teniendo en cuenta factores meteorológicos, químicos utilizados, depósito de la aspersión de sustancias, potencial de deriva de aspersión fuera del blanco objetivo, entre otros.

- **AERMOD:** es un modelo utilizado para calidad del aire, para modelar el impacto del nivel de suelo y fuentes industriales en terrenos planos o moderadamente complejos. Puede simular simultáneamente muchas fuentes con diferentes formas, en el suelo o elevadas, flotantes o no flotantes, emitiendo uno o más contaminantes. AERMOD es capaz de explicar la estructura vertical no homogénea de la capa límite (también mediante el uso de un perfil vertical de variables meteorológicas). El modelo AERMOD incluye una amplia gama de opciones para modelar los impactos de las fuentes de contaminación en la calidad del aire, lo que lo convierte en una opción popular entre la comunidad de modelos para una variedad

de aplicaciones. Dado que el modelo AERMOD está especialmente diseñado para soportar los programas de modelado regulatorio de la EPA, las opciones de modelado regulatorio serán el modo de operación predeterminado para el modelo (280).

- **WRF-Chem:** es el modelo de investigación y pronóstico del tiempo (WRF) junto con la química. El modelo simula la emisión, transporte, mezcla y transformación química de gases traza y aerosoles simultáneamente con la meteorología. El modelo se utiliza para la investigación de la calidad del aire a escala regional, el análisis de programas de campo y las interacciones a escala de nubes, entre nubes y considerando variables químicas. Es un modelo de predicción/dispersión meteorológica acoplada para simular la liberación y el transporte de constituyentes. Así como también, tiene en cuenta variables para calidad del aire acoplado con interacción total de especies químicas con predicción de radiación O_3 y UV, así como partículas (PM). No todas las opciones de emisiones están configuradas para funcionar en todas las posibles opciones de lista de nombres relacionadas con el modelo WRF-Chem. En otras palabras, la generación de datos de entrada de emisiones para simular el estado de la química de la atmósfera puede ser muy complejo(281).
- **AGDISP:** el modelo de AGDisp (Agricultural Dispersal model) se desarrolló originalmente para estimar las concentraciones en el aire y la deposición fuera del objetivo de la deriva de la pulverización de pesticidas derivada de aplicaciones aéreas y varios estudios han validado con éxito el desempeño del modelo a este respecto (282). Es un modelo de principios lagrangianos, de dominio público y tiene un módulo de traspaso gaussiano para estimar la deriva de la pulverización más allá de 2605 pies. El modelo AGDISP cuenta con el apoyo continuo de asociaciones entre varias agencias gubernamentales y entidades del sector privado y está en continua mejora para llevar el comportamiento del modelo con mayor precisión en línea con los datos medidos en el campo (283).

Los estudios realizados para validar esta característica del modelo se han basado principalmente en experimentos de túnel de viento y / o el uso de compuestos fluorescentes o metal agregado sales como trazadores de deriva. Aunque estos métodos tienen las ventajas de un análisis rápido y fácil, es posible que no proporcionen una representación real de la deriva del aerosol del ingrediente activo real debido a la diferencia fisicoquímica, que pueden afectar parámetros tales como las tasas de evaporación y deposición. La degradación de los trazadores fluorescentes tras la exposición a la luz solar también puede generar incertidumbres. El ingrediente activo, el malatión, se ha utilizado para controlar la deriva de la pulverización hasta 5 m a favor del viento, donde los resultados se compararon con las fórmulas empíricas (284).

Se ha determinado que el modelo es fuertemente dependiente del tamaño de gota, donde las gotas más pequeñas tienen más probabilidades de permanecer en el aire y desplazarse a favor del viento mientras que las gotas más grandes precipitan fácilmente en el suelo y es menos probable que se muevan a favor del viento (285). El hecho de que se demostró que el tamaño de gota es la variable principal que afecta la deriva del rociado fuera del objetivo

es compatible con resultados de estudios previos (286). Existen análisis a través del modelado con AGDisp que determinan que, la mayoría de la aspersión se deposita de manera segura dentro del área objetivo o a unos pocos cientos de metros de la aplicación, en el sentido del viento. Para la aspersión de cultivos, un área amortiguadora no asperjada apropiada para proteger a las plantas sensibles de la deriva de la aspersión sería de 50 a 120 m. Se propone que sea un amortiguador bidireccional ya que la deriva sólo ocurre en sentido del viento y no en sentido contrario (282).

- **AgDrift:** es un modelo mecanicista porque utiliza fórmulas matemáticas detalladas para describir la dispersión de las gotas de rociado cerca de un avión según el tipo de propulsión y las superficies aerodinámicas (287). Entre los factores incorporados por AgDrift para estimar la distribución de la concentración espacial de las partículas de pulverización depositadas se incluyen la velocidad del avión, el tipo y la orientación de las boquillas de pulverización, la presión de pulverización, la distribución del tamaño de las gotas de las boquillas específicas y la influencia de las propiedades fisicoquímicas de la mezcla de pulverización y la evaporación de las gotas.

Para hacer una predicción precisa de la deriva y deposición a favor del viento, AgDrift requiere un conjunto consistente de entradas que representen la aeronave como lo es rotor o hélice, velocidad de vuelo, peso, RPM del rotor, condición de vuelo, las boquillas y las distribuciones de tamaño de gota que crean, las propiedades del material de pulverización y la meteorología ambiental como velocidad del viento, la dirección del viento, la temperatura y la humedad relativa, que representan la capa donde se produce la liberación y la deriva del rocío. Otras entradas en el modelo incluyen la altura de pulverización, la cantidad de hileras voladas a través del bloque de rociado, hilera ancha y desplazamiento de franja (distancia entre la más lejana línea de vuelo a favor del viento y el borde del campo).

Los resultados trazados típicos disponibles de AgDrift incluyen distribución de tamaño de gota incremental y acumulativa, deposición a favor del viento, deposición promedio (promediada sobre un ancho de estanque definido), flujo/concentración a través de un plano vertical colocado a favor del viento, ancho de franja y variación de la deposición media dentro del bloque de pulverización como función del coeficiente de variación y fracción en la dirección del viento. Las limitaciones de AgDrift se encuentran principalmente en la extensión de la física en la que se basa el modelo y la extensión de los datos de campo contra los cuales se ha evaluado el modelo. AgDrift es actualmente un modelo de campo cercano que es aplicable a la región en la que se espera que la estela del avión tenga influencia sobre el comportamiento del material de pulverización liberado.

Para esta matriz, los modelos AgDisp y AgDrift permitieron conocer el potencial de deriva de pulverización de la deriva y son utilizados en Estados Unidos para regular el uso de herbicidas. La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA) ha sido un participante clave en el desarrollo de estas herramientas de modelado (288), y las usa rutinariamente

para evaluaciones de riesgos que involucran la deriva de pesticidas. Uno de los factores más importantes que afectan la aplicación de pulverización y el modelado del destino ambiental es el espectro del tamaño de gota aplicado por la aeronave o el pulverizador.

En este sentido, la simulación del comportamiento del herbicida a ser aplicado es un fundamento importante para el análisis sobre las decisiones que se adopten al momento de justificar y legitimar las fumigaciones, en busca de la erradicación de cultivos ilícitos, sin perjuicio de generar riesgos sobre el ambiente o la salud humana, a partir de la variación en la aplicación del glifosato, de manera que se ajuste a las necesidades ambientales de cada zona.

5.3.2 Matriz Suelo-Agua

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica de los modelos de comportamiento ambiental del herbicida (glifosato) y su metabolito en el componente suelo y agua, partiendo de las condiciones de aplicación de la mezcla de aspersión. Se obtuvieron los siguientes modelos:

- **SWAT (Soil Water Assessment Tool):** Es uno de los modelos más utilizados para estudios en el suelo (289), su objetivo es predecir los efectos a largo plazo de la gestión y las prácticas agrícolas en un año (es decir, las rotaciones de los cultivos, las fechas de plantación y cosecha, el riego, las tasas y el calendario de aplicación de fertilizantes y plaguicidas), este modelo simula escenarios de concentración del pesticida en el suelo (por excesos en el proceso de aplicación) y en cuerpos de agua superficial y subterránea (por escurrimientos debido a lluvias o flujos de agua) (290).

Las principales variables de entrada a tener en cuenta para realizar la simulación son: parámetros climáticos, geológicos, actividades antrópicas destinadas para el suelo, propiedades fisicoquímicas del pesticida, existencia de depósitos de agua y calidad fisicoquímica de estos, dando como resultado un perfil de las concentraciones del pesticida en los sistemas de estudio (290). K. Holvoet, A, et al. 2008 utilizaron el modelo descrito para modelar la dinámica de la aparición de los plaguicidas en diferentes cuencas fluviales de Europa, dando como resultado una relación directa entre las concentraciones y cargas de pesticida medidas en campo y simuladas mediante el modelo SWAT (291). Así mismo Yasser Abbasi, et al. 2019 realizaron un enfoque de modelación utilizando el modelo SWAT para simular la descarga, carga de sedimentos y transporte de residuos de plaguicidas en la cuenca del río Malewa; la simulación mensual de sedimentos mostró que, a pesar de haber sobrestimado ligeramente los resultados de la simulación, el rendimiento global del modelo se califica como aceptable (292).

Philip Janney, et al. 2019, aseguran que esta aplicación de modelización puede proporcionar una nueva comprensión de la carga continua de aguas superficiales de plaguicidas a escala de cuenca hidrográfica, permitiendo la evaluación de los impactos ambientales con mucha mayor certeza, facilitando así la consideración de estrategias de mitigación refinadas (293).

Dinora Bautista Ávalos, et al. 2014, afirman que el SWAT es un modelo adecuado para evaluar la contaminación por fuentes difusas en un cuerpo de agua, en su caso se determinó el comportamiento de herbicidas y plaguicidas en la subcuenca del lago Chapala, México (294).

- **Modelo *Model Maker 4* (AP Benson):** es aplicado para 1) evaluar la cinética de disipación de glifosato y AMPA de mejor ajuste en diferentes condiciones, teniendo en cuenta la formación y disipación simultánea de AMPA en los modelos; 2) evaluar el efecto combinado de la temperatura, la humedad del suelo y la luz / oscuridad en la disipación de glifosato y la formación / disipación de AMPA en suelo loess, en condiciones bióticas y abióticas; y 3) comprender qué factores tienen un papel importante en la disipación de glifosato y la formación / disipación de AMPA. Estos resultados pueden utilizarse como base para evaluar los riesgos potenciales para el medio ambiente y la salud humana (179).
- **El Modelo *APEX*, (*Agricultural Policy / Environmental eXtender*):** es una herramienta flexible y dinámica que es capaz de simular una amplia gama de prácticas de gestión, sistemas de cultivo y otros usos de la tierra para diversos paisajes agrícolas, incluyendo granjas enteras y microcuencas. El modelo se puede configurar para nuevas estrategias de gestión de la tierra, como los impactos de la franja de filtro en las pérdidas de contaminantes de los campos de cultivo ascendentes, análisis de transporte de plaguicidas, los escenarios de pastoreo rotativo intensivo que representan el movimiento de las vacas entre los potreros, las vías fluviales con vegetación en combinación con los impactos de la franja de filtro y la aplicación de estiércol a la tierra eliminado de corrales de ganado o estanques de almacenamiento de residuos (295).

5.4 Simulaciones en los modelos seleccionados

5.4.1 Aplicación del Software AgDrift para matriz Atmósfera

Los datos de entrada de la simulación se muestran en la Tabla 5 (Capítulo de metodología) y se ilustra en el anexo 10 (documento adicional). A continuación, se presenta un resumen del procedimiento empleado para la simulación, aclarándose que el informe detallado, con metodología y resultados se presenta en el Anexo 5 (documento adicional). El software AgDrift es uno de los modelos usados por la EPA (la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos por sus siglas en inglés) para evaluar el riesgo por el uso de pesticidas en el aire. Este modelo, en general, es utilizado para predecir los patrones de deposición de pesticidas liberados a la atmósfera y de esta manera poder determinar la exposición al pesticida en diferentes ambientes. Entre los cinco modelos recomendados por la EPA para la evaluación del riesgo en la matriz aire se destacan dos por sus citaciones en estudios científicos: AGDISP y AgDRIFT, ambos basados en ecuaciones lagrangianas y ecuaciones simplificadas que describen los efectos de la estela del avión en la turbulencia ambiental y con una interfaz de usuario bastante similar para los dos modelos, ya que AgDRIFT es básicamente, la evolución del AGDISP y utiliza 3

grandes grupos de datos para su funcionamiento: la información técnica de la aeronave, la información del producto a dispersar y la información meteorológica de la zona (la cual se tiene en cuenta una vez se supera la turbulencia generada por el avión y las boquillas).

El modelo AgDRIFT no solo se eligió por ser recomendado por la EPA sino por las investigaciones que se han realizado en Colombia utilizándolo, como es el caso de la investigación “Coca and Poppy Eradication in Colombia: Environmental and Human Health Assessment of Aerially Applied Glyphosate” llevada a cabo por Solomon et. Al (2007) en la que se realiza un estudio basado en modelos (entre los que se cuenta el AgDRIFT) y los datos sobre el uso de glifosato en el programa de erradicación con un enfoque clave en el medio ambiente y la salud humana.

Los resultados de AgDrift, específicamente las concentraciones de la mezcla a diferentes alturas, se utilizan como variable para la determinación de la DEE por vía inhalatoria, teniendo en cuenta que la concentración a 3 metros de altura estaría en el rango respirable por una persona. Consecuentemente, la obtención de este dato es indispensable para la evaluación de la exposición.

Se llevan a cabo las siguientes etapas para la aplicación del modelo:

1. Interfaz del software AgDrift y creación del proyecto.
2. Se escogió la opción *ASAE Medium to Coarse* la cual da un $DVM_{0,50}$ de 340 μm , un valor cercano a la $DVM_{0,50}$ de la información suministrada.
3. Después de cerrar la interfaz superior, el programa abre otra interfaz en parte inferior: en la cual se seleccionó el botón *Aircraft* y se modificaron las propiedades a un modelo T-802, la aeronave por utilizar durante la aspersión aérea.
4. Se aumentan el número de las boquillas a 60 y se configura su distribución. Cabe resaltar que, según la información suministrada por la DIRAN, el número de boquillas del avión a utilizar en la aspersión será de 96 boquillas, en este caso la DIRAN indicó que se trata de un avión especialmente diseñado y elaborado para dicho fin. Por lo tanto, fue imposible obtener las propiedades y distribución de las boquillas y la modelación pudo desarrollarse únicamente bajo el escenario permitido por el software con un máximo de 60 boquillas. Dicha falencia de información puede modificar el resultado de la deriva, estimándose a partir de la modelación que el porcentaje que podría aumentar oscila entre el 5-6%.
5. El ancho de faja se obtuvo por la información suministrada por la DIRAN (32 metros), se hizo la conversión a pies ya que el programa utiliza esas unidades. De igual manera, la velocidad del viento 10 km/h se convirtió a millas/h; tomamos un ángulo de 90, teniendo en cuenta que en el área de aplicación el viento corre perpendicular al desplazamiento de la aeronave. Así mismo, se convirtió la temperatura de °C a °F y la humedad relativa se asumió en 70%, encontrándose dentro del rango dispuesto en la Tabla 6.

6. Por último, en el botón *spray material* se introdujo el porcentaje de ingrediente activo, agua y coadyuvantes, de acuerdo con la Tabla 6
7. Finalmente, se ejecutó la simulación en el software AgDrift accionando el botón *RUN*.

5.4.2 Resultados de la simulación AgDrift

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la simulación, las Figuras que se muestran fueron tomadas del programa AgDrift.

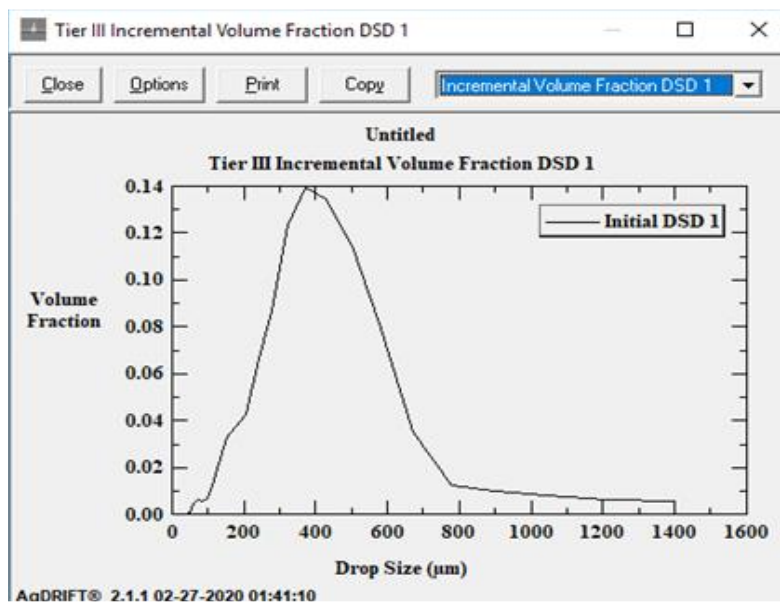
- *Distribución de tamaño de la gota*

De acuerdo con el DVM50 dado por la DIRAN (330 μ m) se elige en el modelo una categoría de gota que corresponda o se acerque a este valor, en este caso a 340 μ m; Las gráficas en las Figuras 27 y 28, muestran la distribución en el tamaño de la gota elegida en el software. Por eso su forma de campana de gauss en la primera gráfica (296).

Esta información permite constatar que la simulación se hace de acuerdo con los datos suministrados, los cuales provienen de ensayos de túnel de viento realizados en la Universidad de Nebraska³. Es de aclarar que es una distribución que está en la biblioteca del software, de acuerdo con ensayos experimentales para la cual, se observa que el valor DMV 0,50 de la distribución de las de las gotas gira alrededor de la media: 340 μ m.

Figura 27. Distribución del tamaño de la gota

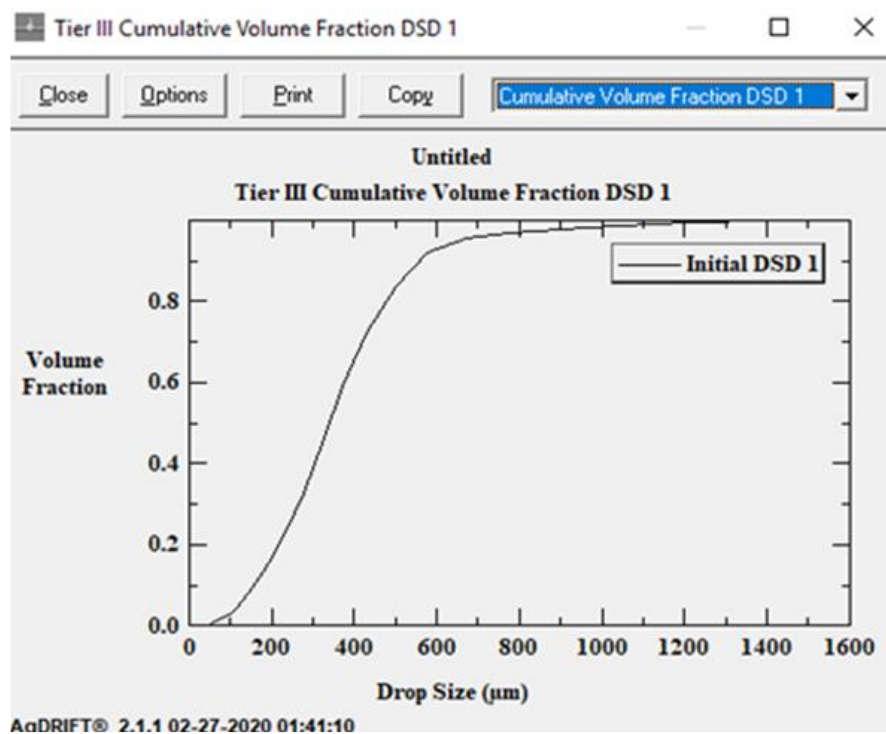
³ Información suministrada en reunión realizada entre Ministerio de Salud, DIRAN y equipo consultor de UNICORDOBA en Bogotá, febrero 12/2020.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Nota: la figura muestra la fracción de volumen incremental de nivel III DSD 1 (nombre arrojado por defecto del programa), donde, el eje Y hace referencia a la fracción de volumen y el eje X al tamaño de la gota expresado en micrómetros (μm).

Figura 28. Distribución del tamaño de la gota



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

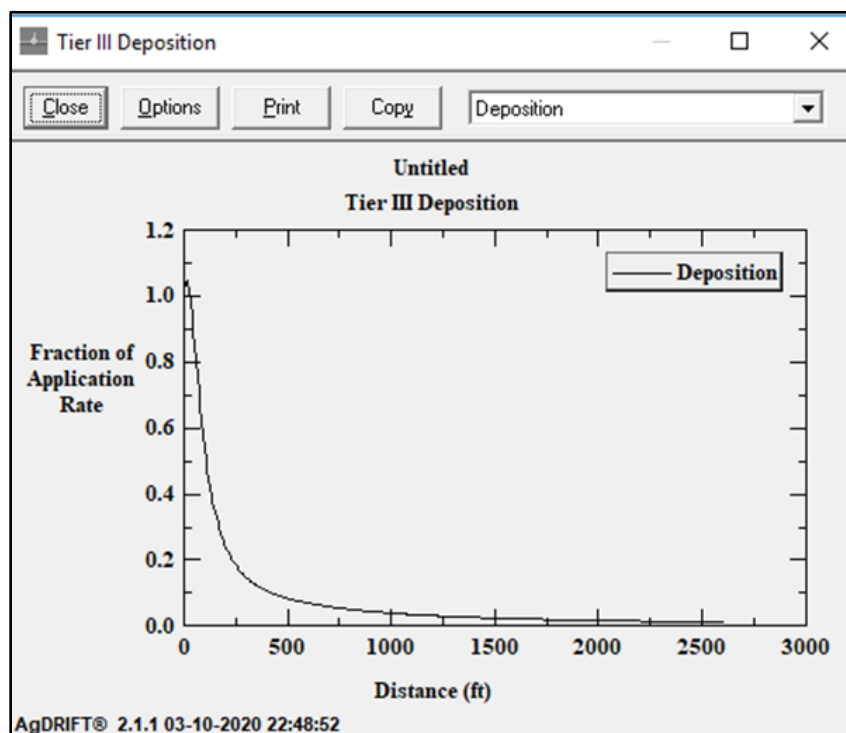
Nota: la figura muestra la fracción de volumen incremental de nivel III DSD 1 (nombre arrojado por defecto del programa), donde, el eje Y hace referencia a la fracción de volumen y el eje X al tamaño de la gota expresado en micrómetros (μm).

- **Deposición**

La deposición traza presenta el depósito del material de pulverización activo del borde del área de aplicación (la distancia cero en la escala horizontal) Figura 29. La distancia entre el borde del área de aplicación y la línea central del avión de pulverización es el desplazamiento de la franja, y se incluye automáticamente en el cálculo de la deposición. Para tener en cuenta el desplazamiento de la franja, se aplica una corrección adicional a la trayectoria de vuelo, de modo que en el borde del área de aplicación la deposición es 0.5 de la velocidad aplicada.

La curva representa el depósito en el suelo definido dentro de la distancia sobre la cual se genera la deposición. En este caso el resultado de deposición del ingrediente activo está por encima de los 100 metros del límite del área de aspersión. Estos resultados están acordes con Hewitt, et al., 2007 donde la deriva obtenida se encontró entre un rango de 100-200 metros (296).

Figura 29. Deposición del herbicida



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

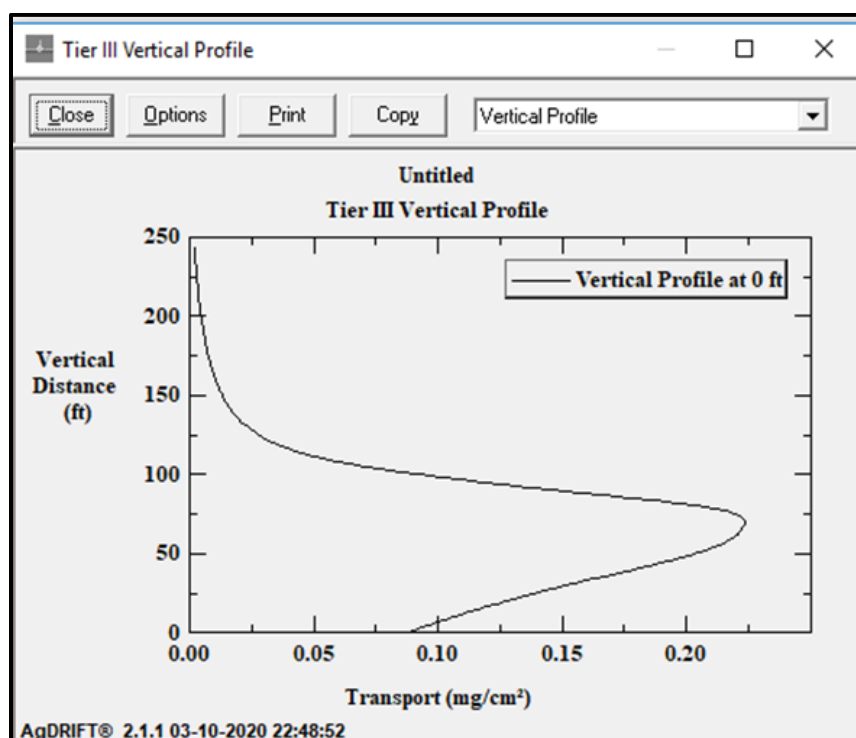
Nota: La figura muestra la deposición de nivel III, donde el eje Y representa la fracción de la tasa de aplicación de glifosato con respecto a la distancia de deposición de este en unidades de pie (ft), representado en el eje X.

La curva de deposición representa el depósito en el suelo definido dentro de la distancia sobre la cual se genera la deposición. En este caso el resultado de deposición del ingrediente activo está por encima de los 100 metros del límite del área de aspersión.

- ***Perfil vertical de deposición***

El perfil vertical traza muestra el transporte vertical (mg/cm^2) a través de un plano de flujo situado a favor del viento del borde del bloque de pulverización. El plano de flujo representa todo el material de pulverización activo en la ubicación especificada; la distancia es desde el suelo hasta una altura donde no existe transporte apreciable (296,297). Es apreciable que el mayor flujo de transporte se da a una altura de 80 pies (24.4 metros) y que una fracción muy baja está por encima de la altura desde donde se realiza la aspersión, tal como se presenta en la Figura 30.

Figura 30. Perfil vertical de deposición.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

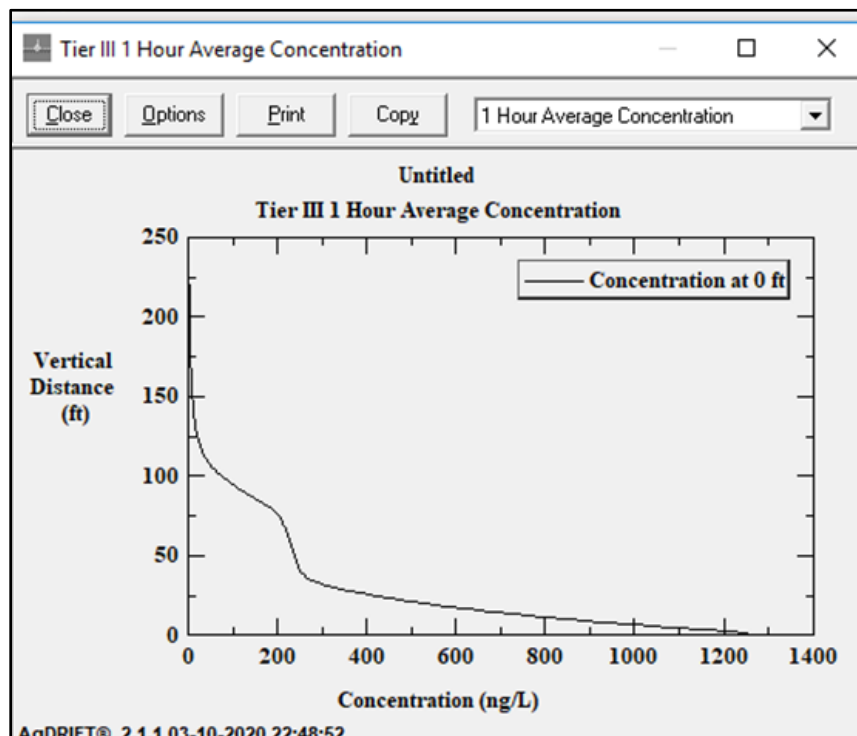
Nota: la figura muestra la fracción de volumen incremental de nivel III DSD 1 (nombre arrojado por defecto del programa), donde, el eje Y hace referencia a la fracción de volumen y el eje X al tamaño de la gota expresado en micrómetros (μm).

- **Concentración en el rango de una hora**

Los gráficos de concentración promedio de 1 hora son similares al perfil vertical (Figura 31), pero presenta la concentración de nubes (ng/L). El cálculo de la concentración promedio requiere una división por la velocidad del viento ambiental, que en la superficie 0 pies/s. Por esta razón, la concentración promedio no se calcula en la superficie (298). Los resultados coinciden con lo referido al perfil vertical, la nube más concentrada se presenta a 80 pies (24.4 metros), disminuyendo su concentración a medida que desciende. Para una altura de 3 metros aproximadamente (rango respirable) se observa una concentración de 850 ng/L o 0,00085

mg/L. El software no permite determinar periodos de tiempo menores a una hora, pero de acuerdo con la gráfica la deposición se da antes de dicho tiempo.

Figura 31. Concentración promedio de 1 hora



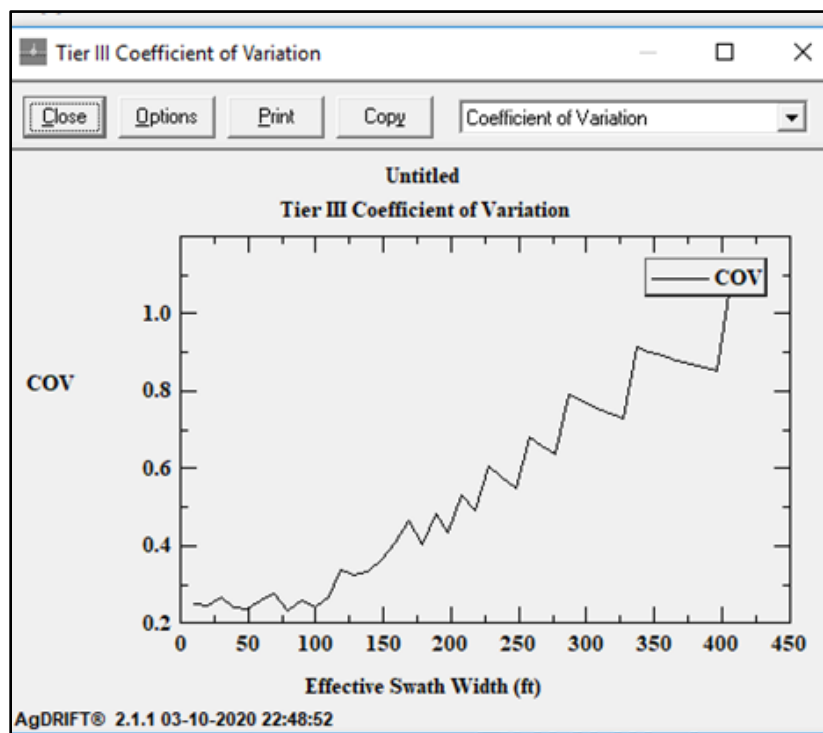
Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

- ***Coefficiente de variación***

El coeficiente de variación (COV) determina el comportamiento del ancho de franja efectivo en función de la desviación estándar relativa (COV) del patrón de deposición de línea de vuelo múltiple dentro del bloque de pulverización. Dentro de AgDRIFT, la predicción de una sola línea de vuelo se superpone consigo misma en intervalos fijos a través del bloque de pulverización; luego se generan estadísticas para determinar qué tan uniforme es el patrón de deposición (esa estadística es COV) (296,299).

En general, se acepta que $COV = 0,30$ es un valor mínimo aceptable para lograr una cobertura y control adecuados. Los resultados revelan que el valor mínimo es 0,25 por lo tanto se puede afirmar que se está al límite para lograr una cobertura adecuada con los datos usados en este ensayo (Figura 32). Esto indica que se debería analizar el ancho de franja utilizado en este experimento (32 metros) para optimizar su valor y lograr que las líneas de aspersion no se superpongan.

Figura 32. Coeficiente de variación



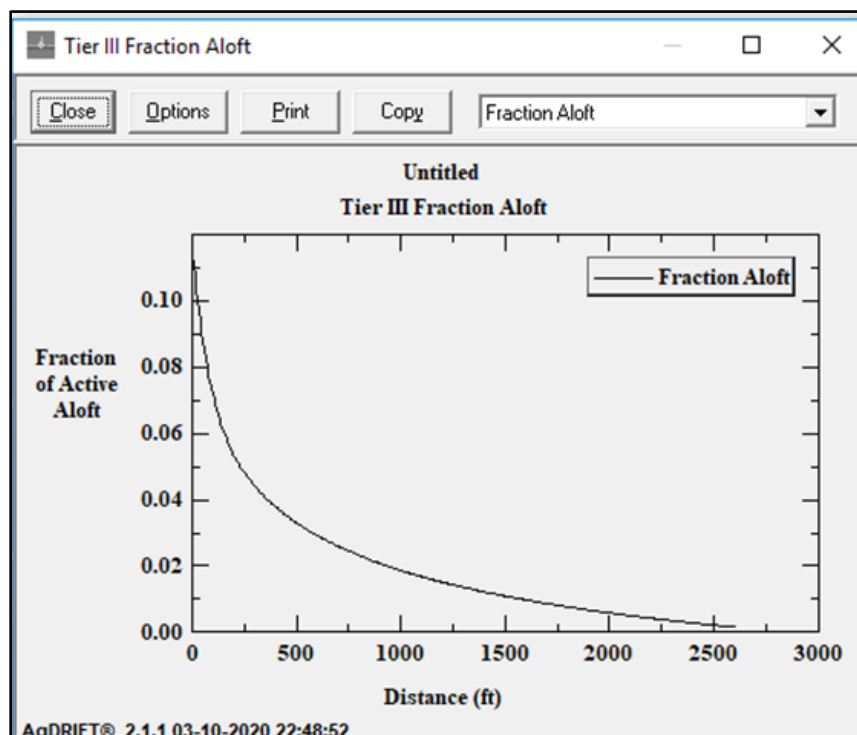
Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

- **Fracción Aloft**

La fracción Aloft indica la fracción de material de pulverización activa liberada en función de la distancia a favor del viento del borde del área de aplicación. En el borde del área de aplicación, la fracción Aloft será igual a la suma de los valores numéricos para la deposición a favor del viento y la deriva aerotransportada (300).

Esta fracción está relacionada con el tamaño de la gota, donde en los primeros metros caen las gotas de mayor volumen y a una distancia mayores las de volúmenes menores; tiene un comportamiento paralelo a la gráfica de deposición. En la Figura 33, se puede observar que la fracción es alta en los primeros 200 pies (61 metros) con una pendiente pronunciada la cual disminuye por encima de los 200 pies.

Figura 33. Fracción Aloft



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Nota: el eje Y representa el coeficiente de variación (COV) con respecto al ancho efectivo de franja del eje X en unidades de pies (ft)

- **Contabilidad Total**

En la contabilidad total del comportamiento de la mezcla se observó que un porcentaje alto de la mezcla cae en el suelo y una parte se comporta como vapor; la Figura 34 es importante porque ayuda a entender el comportamiento del principio activo, el cual se comporta de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas, propiedades como la presión de vapor baja del glifosato (301); por lo que se puede concluir que la fracción de vapor que aparece en la Figura 34 está compuesta principalmente por vapor de agua (teniendo en cuenta los valores altos de la temperatura y la humedad relativa). Este nos indica que el glifosato (ingrediente activo) permanecerá en el aire solo la distancia contenida en la deriva (150 metros), después de esta distancia no debería existir glifosato en el aire.

En la literatura sobre la deriva producida por aspersión área de plaguicidas se han encontrado tres factores que inciden en su longitud:

- 1) Factores fisicoquímicos de la mezcla del producto aplicado
- 2) La técnica de aplicación
- 3) Factores meteorológicos.

En este proyecto de modelación de la aspersión por glifosato, los factores fisicoquímicos de la mezcla (concentraciones de glifosato, coadyuvantes) y las técnicas de aplicación (tamaño de boquilla, diámetro de la gota de aspersión, velocidad de la aeronave) han sido evaluados previamente por la Policía Nacional y fijados en las operaciones de aspersión.

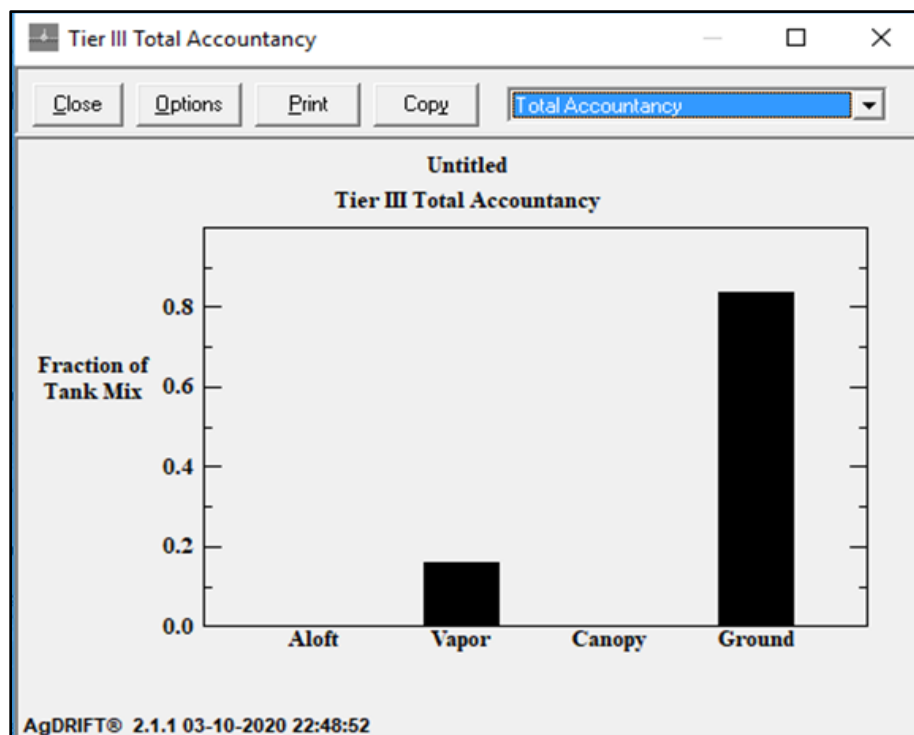
Está comprobado por ensayos de sensibilidad con el modelo AgDrift, que el tamaño de la gota influye en la distancia de la deriva y en la eficiencia de la aplicación; a menor tamaño de la gota mayor deriva; esto implica una mayor cantidad de mezcla de herbicida que se pierde y una concentración más alta de glifosato fuera del blanco (cultivos ilícitos). Esto trae como consecuencia pérdida de producto (altos costos), menos efectividad en la aplicación y un mayor riesgo para los organismos vivos que se encuentran alrededor de los cultivos.

Por su parte, las variables meteorológicas fueron modeladas como se muestra en el Anexo 5, para evaluar sus diferentes efectos sobre la deriva. En este sentido, se simularon cambios en la temperatura y humedad relativa con el modelo AgDrift obteniéndose diferencias bajas en cuanto a la deriva y eficiencia en la fumigación.

Por su parte, se identificó una relación directamente proporcional entre el cambio de la variable velocidad del viento y longitud de la deriva; esto nos lleva a concluir que un aumento de la velocidad del viento, por ejemplo de 10 Km/h a 15 Km/h podría aumentar la deriva de 150 m a 230 m; además de una mayor pérdida de producto, ya que un mayor porcentaje de la mezcla saldrá de la zona blanco de aspersión (cultivos ilícitos) con la pérdida que esto representa para la eficiencia de la fumigación y la exposición a concentraciones más altas de organismos vivos que se encuentran cerca de la zona. En síntesis, el control de la velocidad del viento, es clave para reducir la deriva y con ello, reducir la exposición de las comunidades habitantes en las zonas aledañas a los cultivos aspergidos. Así, el cálculo de la Dosis de Exposición Estimada, para la vía inhalatoria contemplará la concentración de glifosato en la atmosfera estimada por AgDrift.

En este punto, es bueno aclarar que los manuales e investigaciones internacionales (FAO, 2004; Cavallo, 2006) recomiendan no realizar aspersiones con velocidades del viento por encima de los 10Km/h. En el informe de La Comisión Científica Ecuatoriana (2007) "El Sistema de Aspersiones Aéreas del Plan Colombia y sus Impactos Sobre el Ecosistema y la Salud en la Frontera Ecuatoriana", se recomienda no hacer aspersiones con glifosato por encima de los 8 km/h. Las empresas Bayer y Syngenta están de acuerdo en que no se debe asperjar, con glifosato, por encima de los 8Km/h. Cabe aclarar que tampoco se debe asperjar por debajo de los 5 Km/h para evitar la reversión térmica. Para concluir se puede decir que la velocidad de viento recomendable para realizar aspersiones áreas con glifosato debe estar comprendida entre 5-10 Km/h.

Figura 34. Contabilidad Total del comportamiento de la mezcla



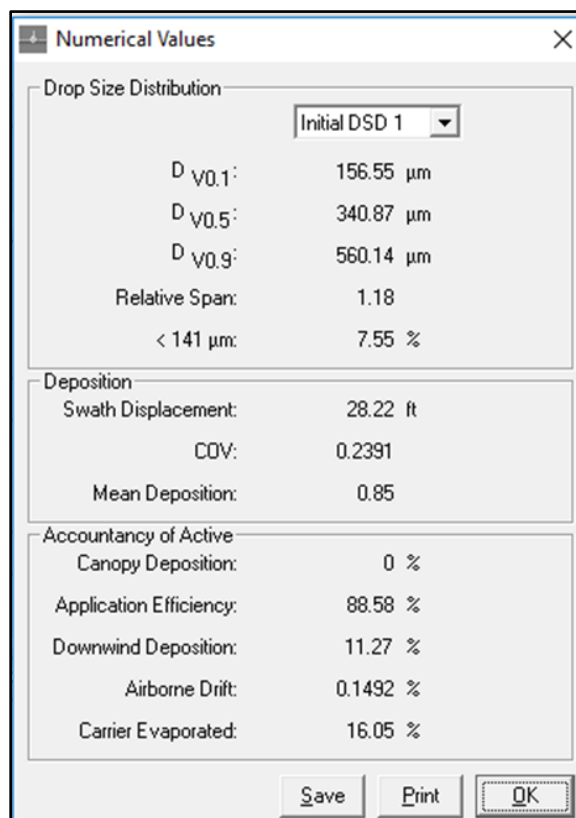
Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Nota: El eje Y representa la fracción activa aloft con respecto a la distancia en pies (ft) que recorren las gotas de glifosato según su tamaño.

- **Balance General**

En la Figura 35, se puede observar el resumen de los resultados más importantes obtenidos en el ensayo, encontramos valores como la eficiencia de la aplicación (88,58%) y el porcentaje de mezcla que se pierde en la deposición (11,27%); se puede realizar un balance de masa, teniendo como base la rata de mezcla aplicada, y así se puede calcular la cantidad de componente activo que cae fuera del lugar de aplicación (deriva).

Otro aspecto importante a considerar es que el glifosato es un compuesto no-volátil y al no volatilizarse, el glifosato aspergido a 30 metros de altura, permanecerá en la atmósfera, por un periodo de tiempo determinado, a concentraciones que varían de acuerdo con la altura y la dinámica de deposición. En este sentido, poblaciones localizadas en el margen de deriva podrán estar expuestas durante la aplicación de glifosato por aspersión aérea. De acuerdo con el modelo AgDrift las concentraciones a una altura respirable (aproximadamente 3 metros) dentro del área de deriva, serán de 850,00 ng/L para un periodo de la curva de deposición de 1 hora.

Figura 35. Balance general de la simulación

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Nota: el balance general refleja los datos de la distribución del tamaño de la gota, deposición de glifosato y la contabilidad de los activos luego de la simulación

En el Anexo 5 (documento adicional) se realizaron diferentes corridas del modelo, variando las entradas para analizar escenarios y determinar las variables que más influyen en la deriva y la deposición. Estas simulaciones son un importante instrumento para la toma de decisiones y la definición de medidas de prevención y/o mitigación de la exposición.

Algunos de los principales escenarios planteados fueron los siguientes.

- ***Variación de la Velocidad del Viento***

En esta modelación se utilizó una velocidad del viento de 10 Km/h; (ver figuras 36,37 y 38); diferentes investigaciones consideran que 10Km/h es una velocidad muy alta para realizar aspersiones áreas, Teske et al. 2001 refiere que no debe ser mayor de 8 Km/h e indica que la empresa syngenta concluye que no se debe asperjar con una velocidad del viento mayor de 6 km/h (296). Hewit et al. 2001 concluyen que está prohibido aspersiones áreas con velocidades de viento mayores de 9 Km/h (302).

Experimentalmente se ha comprobado que a mayores velocidades del viento se genera una mayor deriva, ya que las gotas tienen un mayor desplazamiento y evaporación, lo que aumenta el riesgo por formación de atmósferas tóxicas y disminuye la eficiencia del tratamiento (303,304).

Figura 36. Cambio del parámetro velocidad del viento

The screenshot shows the AgDRIFT software interface with the following parameters set:

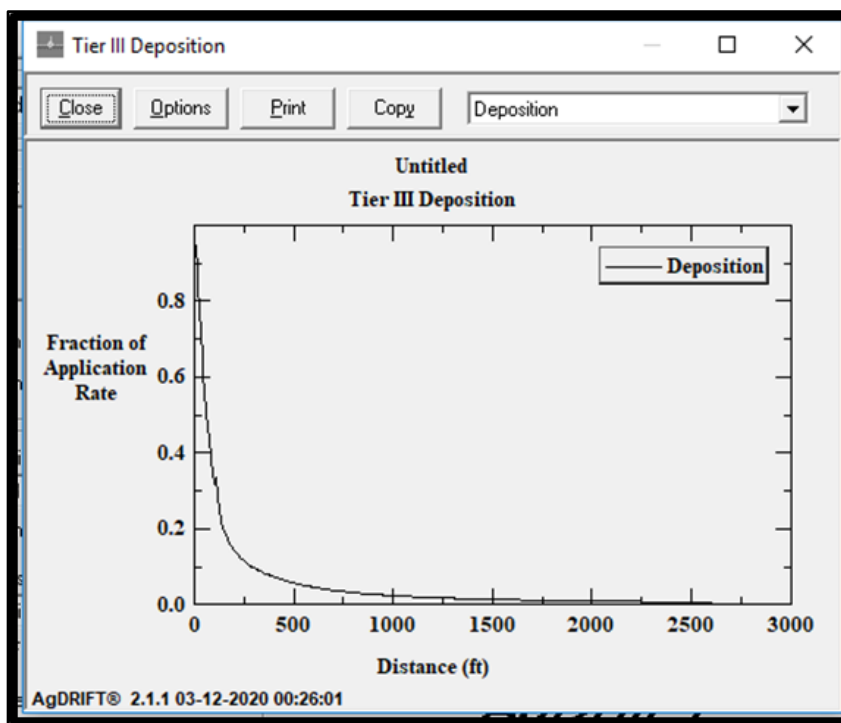
- Title:** Untitled
- Aircraft:** Type: User-defined (Air Tractor AT-802A)
- Nozzles and DSD:** Boom Height: 100 ft, Flight Lines: 20
- Swath:** Swath Width Definition: Fixed Width, Swath Width: 105 ft, Swath Displacement Definition: Fraction of Swath Width, Fraction: 0.2851, ☐ Half Boom Effect
- Spray Material:** Material: User-defined (Gifosato)
- Meteorology:** Wind Speed: 4 mph, Wind Direction: -90 deg, Temperature: 95 deg F, Rel. Humidity: 70 %
- Atmospheric Stability:** Stability: Overcast
- Advanced Settings:** Edit button
- Transport:** Flux Plane: 0 ft
- Canopy:** Type: Basic, Canopy Roughness: 4.2 ft, Canopy Displacement: 21 ft
- Terrain:** Surface Roughness: 0.0246 ft, Upslope Angle: 0 deg, Sideslope Angle: 0 deg

The AgDRIFT logo and "Tier III Aerial Forestry" text are visible at the bottom right of the interface.

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

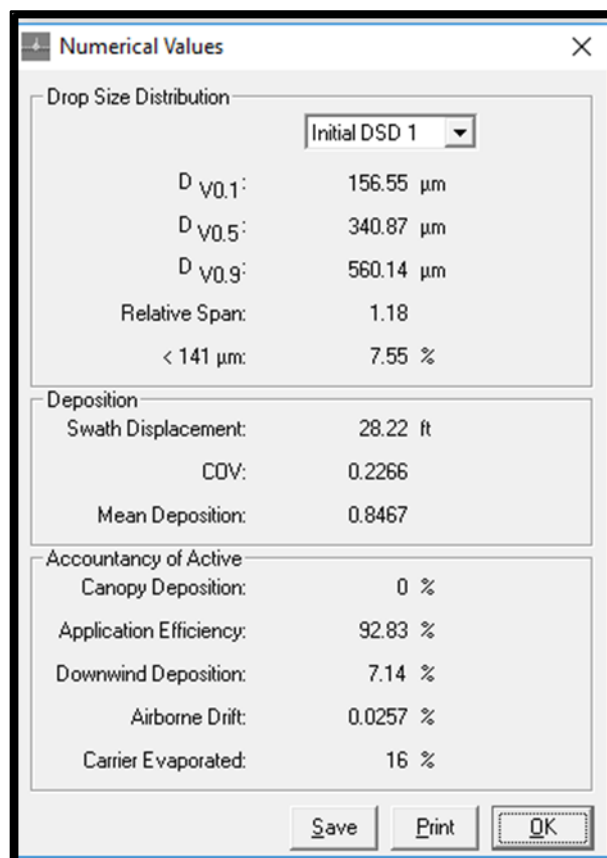
Nota: la figura muestra los parámetros utilizados para la simulación, cambiando el parámetro de la velocidad del viento a 4 millas/hora (mph) equivalente a 10 Km/h. Los datos de la aeronave se expresan en pies (ft), la temperatura se expresa en grados Fahrenheit (°F).

Figura 37. Curva de deposición



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Nota: La figura muestra la deposición, donde el eje Y representa la fracción de la tasa de aplicación de glifosato con respecto a la distancia de deposición de este en unidades de pie (ft), representado en el eje X.

Figura 38. Balance de la modelación

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

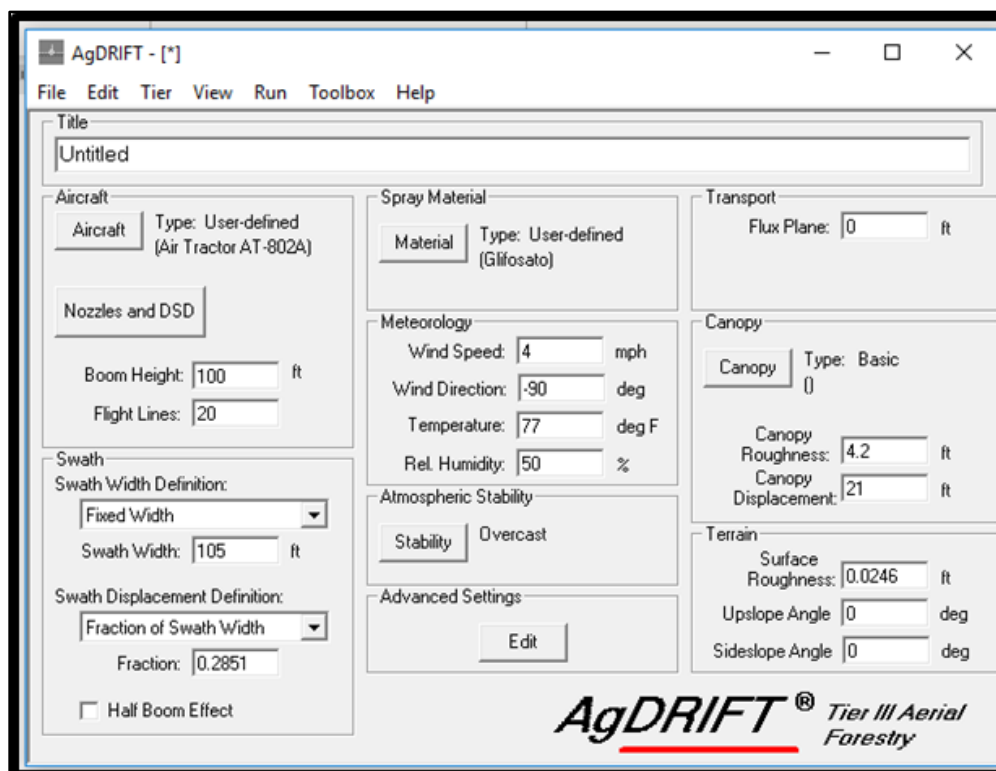
Nota: el balance general refleja los datos de la distribución del tamaño de la gota, deposición de glifosato y la contabilidad de los activos luego de la simulación. se encontraron valores como la eficiencia de la aplicación es de 92,83% y el porcentaje de mezcla que se pierde en la deposición es de 7,14%.

Al variar la velocidad del viento de 10 Km/h a 6,5 Km/h, se corrobora la conclusión sobre su influencia en el porcentaje de la deriva (305,306). Se dejaron las demás variables constantes y se disminuyó la velocidad, obteniéndose una disminución del porcentaje de deriva del 36,60%.

- **Variación de la deposición**

Con los parámetros entregados por la División Antinarcóticos de la policía nacional (Tabla 6 de la metodología), se observó una deriva superior a los 100 metros; estos datos concuerdan con investigaciones realizadas en Colombia sobre la aspersión de glifosato donde se utilizó la misma altura de descarga, proporción de mezcla y tipo de avión (301). Se aclara que el DMV₅₀ usado Cunha et al. 2017 es menor, también hay que mencionar que la velocidad del viento estuvo por debajo de 5 Km/h. A continuación, se presenta la simulación variando tamaño de la gota.

Figura 39. Cambio de los parámetros tamaño gota, velocidad del viento, temperatura y humedad

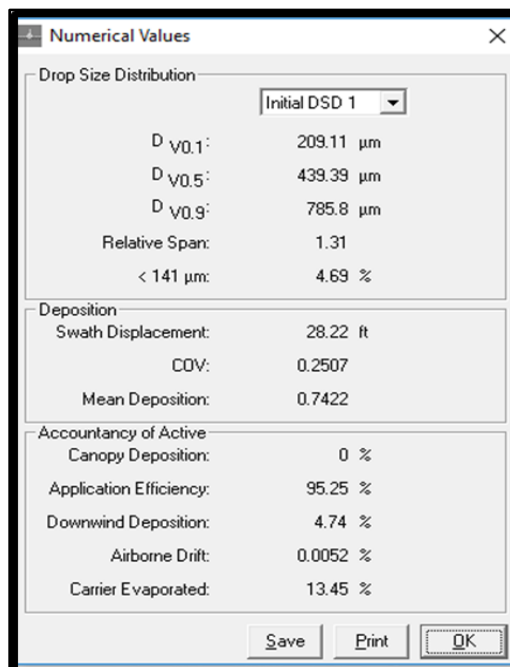


Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Nota: la figura muestra el cambio en los valores de Temperatura a 77 °F (25°C), velocidad del viento a 4 millas/hora (mph) equivalente a 10 km/h y de humedad relativa al 50%.

A partir de simulaciones con diversas combinaciones de variables se logró identificar el comportamiento ambiental de la mezcla en el componente de aire. El 88.58% del herbicida que cae dentro de los límites del cultivo (8.849 L/ha) golpea la hoja y con la ayuda del coadyuvante penetra en la planta. Teniendo en cuenta que no es un proceso que se dé en un 100% de efectividad, es lógico pensar que un porcentaje se deposita sobre el suelo y a partir de este momento su destino puede variar y su comportamiento en las matrices ambientales suelo y agua deberá ser analizado (Ver figuras 39,40 y 41)Figura 39.

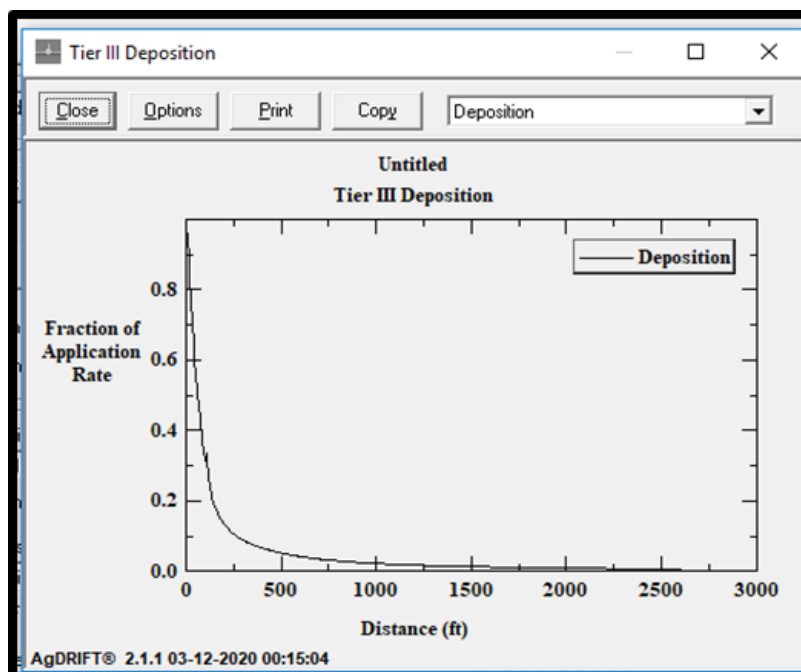
Figura 40. Balance de masa



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Nota: el balance general refleja los datos de la distribución del tamaño de la gota, deposición de glifosato y la contabilidad de los activos luego de la simulación. se encontraron valores como la eficiencia de la aplicación es de 95,25% y el porcentaje de mezcla que se pierde en la deposición es de 4,74%.

Figura 41. Curva de deposición



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Nota: La figura muestra la deposición, donde el eje Y representa la fracción de la tasa de aplicación de glifosato con respecto a la distancia de deposición de este en unidades de pie (ft), representado en el eje X.

Matriz Suelo-Agua

La aspersión aérea con glifosato puede generar efectos nocivos sobre la salud de las personas o al medio ambiente, principalmente, si no se desarrolla bajo estándares de calidad acordes con la normativa asociada vigente y con las investigaciones reportadas por la comunidad científica internacional. La mezcla (65,70% agua, 33,30% glifosato y 1,00% coadyuvante de origen mineral), al ser aspergida a 30 metros de altura desde una aeronave, se desplaza en la atmosfera de conformidad con las variables y características de la propia actividad de aspersión (tal como se describió en el modelo conceptual de la aspersión en la atmosfera y en las simulaciones realizadas con AgDrift®).

Es posible afirmar, que, en cualquier escenario, el pesticida tendrá un contacto directo con el suelo, el cual dependerá de la cantidad del pesticida y de los valores de absorción en la planta reportados (la literatura reporta entre 65,00 y 73,00% para Cosmo-Flux, al no tener datos suministrados por la casa comercial o por la literatura relacionados con el antiderivante Cosmo Oil se asume el 70,00% de absorción en la planta).

De esta forma, la cantidad de glifosato que llega al suelo implica un riesgo de contaminación y lixiviación que depende de las propiedades del químico, las características del suelo y las condiciones climáticas, teniendo en cuenta que la literatura reporta una tasa de descomposición alta para el glifosato. No obstante, debe contemplarse el escenario probable de un riesgo de contaminación por vía hidrogeológica y/o por sus metabolitos.

Por otro lado, es necesario resaltar que la permanencia del pesticida en las primeras capas del suelo puede ocasionar impactos sobre la microfauna y microbiota del mismo y disminuir la favorabilidad para la siembra de otros cultivos (307).

Teniendo en cuenta la información planteada anteriormente, se buscó estudiar el destino y comportamiento del glifosato en el suelo, estableciéndose escenarios supuestos para la determinación de las variables de entrada que permitan realizar la evaluación de la exposición. El software escogido para realizar la simulación del estudio de caso sobre la cuenca hidrográfica del Caño Urimica, localizada al noroeste del municipio de Cumaribo, en el departamento de Vichada, fue el software Soil and Water Assessment Tool (SWAT) que es un modelo a pequeña escala de cuenca hidrográfica que se utiliza para simular la calidad y cantidad de agua superficial y subterránea y predecir el impacto ambiental del uso de la tierra, las prácticas de gestión de la tierra y el cambio climático (ver anexo 6-documento adicional)

De esta manera, utilizando el software SWAT, se realizó un análisis para las unidades de respuesta hidrológica de la cuenca que permitió generar estimaciones sobre el destino y comportamiento ambiental del glifosato. Al considerarse una misma zona biogeográfica del país con características de los suelos, coberturas, pendientes y condiciones climáticas poco variables se supone un comportamiento ambiental similar para el pesticida en toda el área.

El procedimiento de la simulación realizada con SWAT implica el análisis de Unidades de Respuesta Hidrológica, este y los resultados obtenidos se muestra en el Anexo 7 (Documento adicional).

El modelo muestra un sistema de variables de entrada que interactúan entre sí. La tabla 43 presenta esta información.

Tabla 43. Variables de entrada de SWAT

Variable de entrada (Input)	Fuente
Modelo Digital de Elevación	Alaska Satellite Facility
Uso y cobertura de suelos	IGAC
Tipos de suelos	IGAC
Datos meteorológicos	IDEAM
Datos del pesticida	DIRAN

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Nota: algunas de las características de cada variable fueron asumidas por defecto de la Geodatabase del SWAT, tal como se explicó en la metodología.

5.4.3 Resultados de la simulación con SWAT

El resultado de la modelación fueron en síntesis los siguientes 6 archivos.

1. Documento.std: proporciona un resumen de las cargas medias de la cuenca del HRU a las corrientes.
2. Documento.rch: este archivo de salida del canal principal contiene información resumida para cada alcance de la ruta en la cuenca.
3. Documento.sub: proporciona los resultados de cada una de las subcuencas.
4. Documento.mgt: proporciona las especificaciones del manejo y operación de cada una de las subcuencas.
5. Documento.pst: proporciona, por aplicación, la cantidad de pesticida que se absorbe en el suelo y la cantidad que se solubiliza en agua.
6. Documento.wql: proporciona los resultados de la calidad del agua.

A continuación, se muestra la Tabla 44 con el resumen de los datos de la cuenca por mes para un promedio multianual. Para efectos de la modelación se determinó el periodo comprendido entre 2000-2015, es decir 16 años de datos.

Tabla 44. Promedio mensual de los datos de la cuenca

Mes	Precipitación	Escorrentía Superficial	Escorrentía Lateral	Almacenamiento de Agua	Evaporación	Transporte de sedimentos	Evapotranspiración potencial
1	23,84	7,12	1,27	59,27	6,62	5,10	163,20
2	20,75	3,72	0,88	27,94	10,05	1,90	144,23
3	90,37	29,51	2,01	48,02	85,29	10,44	152,02
4	149,41	37,22	3,14	55,37	74,94	3,76	108,24
5	192,02	40,37	5,01	65,84	73,27	1,49	104,22
6	238,30	64,84	8,30	109,23	55,70	1,99	82,86
7	205,25	57,83	8,46	129,56	41,12	8,43	99,33
8	178,30	51,01	7,73	139,41	29,32	19,52	104,64
9	133,80	32,00	5,78	119,28	26,68	11,59	116,21
10	139,81	40,92	5,81	127,56	25,09	20,44	113,85
11	171,39	59,05	6,95	140,60	22,37	29,22	106,47
12	79,00	18,22	3,37	94,84	17,46	9,76	140,49

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Finalmente, el modelo generó resultados sobre el destino y comportamiento del pesticida, teniendo en cuenta que la cantidad de glifosato en L/Ha que caen fuera del área de cultivo se estimó en 1,141 L/Ha. Para una densidad del glifosato de 1,70 Kg/L, se tiene que la cantidad que se deposita en el área de deriva es 1,94 Kg/Ha.

Adicionalmente se sabe que 8.849 L/Ha caen sobre el área de cultivo, es decir 15,04 Kg/Ha, de los cuales se estima que el 30,00% no es absorbido por la planta y por lo tanto cae sobre el suelo, así, 4,51 Kg/Ha quedan en el suelo del cultivo objetivo.

La cantidad total de glifosato sobre el suelo, que se considera como entrada para el modelo es 6,45 Kg/Ha. Sin embargo, es necesario profundizar en los cálculos a partir de datos más precisos de la densidad del glifosato utilizado, determinando así la carga potencialmente contaminante que ingresa al suelo y que puede representar riesgos por contacto y/o consumo a través de los medios hidrogeológico e hidrológico. Para ello, puede ser necesario realizar estudios de campo y monitoreos fisicoquímicos en aire y suelo. Para efectos de la modelación también se asumió que la profundidad del glifosato en el suelo es de 5cm, este valor es el máximo permitido para ingresar en SWAT y está de acuerdo con los datos que reporta la bibliografía (308–310).

La Tabla 45 muestra los resultados de la modelación de Glifosato en diferentes Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU).

Tabla 45. Modelación del pesticida

Destino	Carga (Kg/Ha)
Roundup (Planta + Suelo)	5,284
Roundup disuelto en escorrentía	$2,00 \times 10^{-9}$
Roundup absorbido en escorrentía	$6,70 \times 10^{-8}$
Roundup lixiviado por el perfil del suelo	$2,36 \times 10^{-5}$
Roundup entrando por flujo lateral a la corriente	$2,34 \times 10^{-4}$
Cantidad total de Roundup en la planta	0,000
Cantidad total de Roundup en el suelo	5,030

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

El valor de carga depositada en el suelo obedece al valor de ingresado de 6,45 Kg/Ha. Recordando que la aplicación no se hizo para el área total de la cuenca, sino para el área de las HRU más representativas de cada subcuenca. Así, la aplicación del pesticida en promedio para toda la cuenca sería considerada como 5,28 Kg/Ha. De la cual se obtuvo una carga disuelta en escorrentía igual a $2,00 \times 10^{-9}$ Kg/Ha y la absorbida es de $6,70 \times 10^{-8}$ Kg/Ha para un total de carga transportada por escorrentía de $6,90 \times 10^{-8}$ Kg/Ha.

La carga que se lixivia por el perfil del suelo fue de $2,36 \times 10^{-5}$ Kg/Ha y el flujo lateral que entra en la corriente es de $2,34 \times 10^{-4}$ Kg/Ha. Todos estos valores son un promedio anual que realiza el software considerando el balance hidrológico mostrado en la ilustración 4 del Anexo7 (documento adicional).

Considerando los resultados de la modelación se puede evidenciar, que el mayor porcentaje del contaminante que no se absorbe en la planta permanece en las primeras capas del suelo, tal como se referencia en la literatura utilizada como base para la evaluación de la exposición. Teniendo en cuenta dichos valores se determinaron las concentraciones posibles para glifosato en Suelo y Agua.

Para hacer el cálculo de la concentración en suelo, se tienen en cuenta los 5 centímetros de profundidad máxima alcanzada por el glifosato (310,311). De esta forma, la concentración por centímetro cubico de suelo es de: 0,01006632 mg/cm³.

Para hacer el cálculo de la concentración en agua se toma la suma de cargas de la escorrentía y se calcula una concentración para los tres medios (Escorrentía, desplazamiento lateral directo a la fuente y lixiviación que puede afectar aguas subterráneas). Para el cálculo de la concentración se tuvo en cuenta la fórmula de Carga del Pesticida (CP) definida anteriormente. Los resultados del balance hídrico para un promedio anual se muestran en la Tabla 46.

Tabla 46. Promedios anuales de parámetros hidrológicos

Parámetro	Valor
Precipitación	1621,60 mm
Escorrentía superficial	441,75 mm
Flujo lateral en el suelo	58,70 mm
Recarga total del acuífero	648,60 mm
Acumulación total de agua en el suelo	1117,06 mm
Percolación en el perfil del suelo	652,46 mm
Evaporación	467,90 mm
Evapotranspiración potencial	1437,20 mm
Carga total de sedimentos	123,65 T/Ha

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

La Tabla 47 muestra los resultados de las posibles concentraciones encontradas por el modelo SWAT para las matrices agua asociadas a una posible lixiviación vertical y lateral, de acuerdo con las variables asumidas.

Tabla 47. Valores de concentraciones en agua

C_Lixiviación en perfil de suelo	0,005002614 mg/m ³ *año
C_Flujo lateral	0,049560000 mg/m ³ *año

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Es importante resaltar que estos valores contienen un margen de incertidumbre importante que no permite concluir de forma contundente y única sobre el destino de la mezcla y sus potenciales metabolitos, no obstante, si permiten evidenciar que una posible vía de exposición generadora de afectaciones a la salud o al medio ambiente por glifosato es el contacto con el suelo. En el suelo, el glifosato puede modificar y afectar la microfauna y fauna, las propiedades físicas y químicas del suelo y constituir una amenaza para la seguridad alimentaria por estar en contacto con plantas proveedoras de alimento. Adicionalmente, existe un riesgo directo por contacto con el suelo, que es mayor en campesinos que trabajan jornaleo y labranza de la tierra o en niños que suelen hacer actividades recreativas que implican dicho contacto.

La modelación con SWAT resultó en valores coherentes sobre el destino y comportamiento ambiental del glifosato, al compararse con la teoría (291,311,312). Sin embargo, es necesario aclarar que fueron realizadas varias suposiciones en las variables de entrada del modelo, debido a la falta de información específica y a la inexistencia de una base de datos a nivel nacional que permita obtener valores detallados de los diferentes parámetros y/o variables que SWAT considera en sus algoritmos (Ver Anexo 9, glosario de variables de SWAT). Por ello, resulta necesario plantear una fase dos del proyecto en la que la recolección de la información tanto a nivel bibliográfico y en bases de datos, como a nivel de línea base y análisis en campo sea realizada con mayor profundidad y tiempo. En esta fase se podrá calibrar y posteriormente validar el modelo aplicado.

La modelación realizada en esta fase permite validar la herramienta e identificar sus ventajas y desventajas. De igual manera, evaluar la información disponible a nivel nacional e incluso la información suministrada por la DIRAN específicamente para este modelo, que en ninguno de los casos es suficiente para ejecutar la modelación con datos 100% propios. En este sentido, la modelación más que detallar un valor de concentración exacto, indica rutas potenciales de exposición y los medios que puede suponer mayor riesgo.

Finalmente, es importante destacar, que los resultados de la modelación permiten determinar la concentración del glifosato en cada una de las matrices ambientales, la cual es una de las variables necesarias y fundamentales para realizar la cuantificación de la exposición mediante las fórmulas previamente descritas en la metodología. Sin embargo, la estimación de la concentración por sí sola, no es una herramienta de toma de decisiones frente a escenarios de exposición, sino que se integra a otras variables para calcular la Dosis de Exposición Estimada DEE, como se muestra en el ítem 5.6. Posteriormente la DEE permite definir el índice de riesgo.

Matriz alimentos

Para determinar la concentración de glifosato que está presente en los alimentos, fue necesario tener en cuenta que el 11,27 % de la mezcla asperjada se deposita fuera del área de cultivo y por lo tanto la modelación en alimentos parte de ese valor para realizar el cálculo.

Teniendo en cuenta la curva de deposición presentada por el software AgDrift, se estimó la concentración de glifosato en el aire a 1 y 2 metros de altura, partiendo de la suposición de que una planta de tomate y arroz tienen una altura aproximada de 1 metro, mientras que la de limón de 2 metros. Estos alimentos fueron reportados como de mayor consumo en la región por la ENSIN (2005, 2010) (135,140).

La concentración de glifosato en estas alturas, representa aquella a la cual el fruto se encuentra expuesto. Sin embargo, para determinar la concentración de glifosato dentro del alimento, es necesario definir algunas características del alimento para determinar su área superficial, asumimos para ello, las características presentadas en la Tabla 48.

Tabla 48. Características de los alimentos más consumidos en Vichada

Alimentos	Características	Área Superficial
Arroz	Diámetro: 1,73mm Altura: 5,20mm Masa: 0,03 g Forma: Cilíndrica	Área = 0,0235 cm ²
Tomate	Diámetro: 5,00 cm Masa: 50,00 g Forma: Esférica	Área = 78,53 cm ²
Limón	Diámetro: 1,73mm Altura: 5,20mm Masa: 0,03 g Forma: Esférica	Área = 19,63 cm ²

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Posteriormente fue necesario determinar cuánto volumen del herbicida cae sobre el alimento. Para realizar dicho cálculo es necesario el levantamiento primario de información mediante ensayos como: simulaciones de túnel de viento o análisis de laboratorio realizados con las boquillas de aspersión que permitan determinar el diámetro volumétrico de la gota (DVM) a diferentes alturas. Sin embargo, para efectos de la modelación y considerando la falta de información y la imposibilidad de obtenerla dentro del alcance del presente estudio, asumimos el DVM a la altura de 1 y 2 metros a partir del análisis de la distribución de gotas que presenta el AgDrift, y que se utilizó para la simulación de la aspersión del glifosato para el desarrollo de esta investigación.

Por otro lado, para efectos del cálculo del porcentaje de adsorción de la mezcla glifosato-coadyuvante, se revisó algunos artículos de investigación donde se determina la eficiencia de adsorción de glifosato en matrices de frutas y hortalizas. Finalmente, a partir del diámetro y

asumiendo que las gotas tienen una forma esférica cuando caen sobre el fruto, se calculó el área superficial de la gota.

Fue necesario determinar el número de gotas que caen sobre las superficies de los alimentos; para ellos dividimos el área superficial de los alimentos entre el área superficial estimada para las gotas; después obtenemos el volumen de la mezcla glifosato-coadyuvante que cae sobre la superficie del arroz, tomate y limón; con este volumen y la concentración de la gota obtenemos la cantidad en nano gramos que se encuentra depositada en la superficie de los alimentos. En este punto cabe aclarar que por medio de la revisión bibliográfica asumimos un porcentaje en la eficiencia de adsorción del plaguicida al interior de los alimentos (70%) (310,313) con este valor que se encuentra en el interior del tomate, arroz y limón podemos obtener la concentración de glifosato puesto que tenemos la masa de los alimentos (Ver Tabla 49).

Tabla 49. Concentraciones de glifosato en los alimentos más consumidos en Vichada

Matriz	Concentración de herbicida (ng/L)	Concentración de herbicida (ng/g)
Tomate	3,90	0,0019
Limón	10,41	0,0011
Arroz	119,00	0,0178

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Las concentraciones estimadas para cada uno de los alimentos son un insumo fundamental que debe integrarse al análisis de la Dosis de Exposición Estimada, concretamente para la vía oral, a partir de la cual se podrán definir escenarios de exposición, dependiendo las características de ingesta promedio de cada alimento, el factor de exposición y el peso corporal de las personas, en la zona estudiada. Todos estos valores, fueron presentados en la metodología y se obtuvieron de las fuentes secundarias en ella referenciadas.

Es importante aclarar que la concentración de 3,90 ng/L no es clara en cuanto a la matriz donde se reporta, ya que en matrices líquidas-agua, las concentraciones se reportan como mg/L, ug/L o ng/L, y para las matrices sólidas en mg/kg, ug/kg y ng/kg. Considerando que esta concentración de 3,90 ng/L es en agua, no es posible que se pueda determinar a día de hoy con la instrumentación comercial disponible. Las metodologías para determinar glifosato en agua incluyen HPLC con detección UV o FLD, electroforesis capilar, cromatografía iónica, LC/MS, GC con detección FPD o MS. Con algunas de estas metodologías, y en el mejor de los casos, se puede llegar a detectar hasta varias decenas de ng/L, es decir, un orden de magnitud por encima del valor de interés, esto se resume en las tablas presentadas por la EFSA(249) y por IARC(219) en sus monografías.

Para determinar esas cantidades se requieren sensores basados en polímeros de impresión molecular, los cuales podrían llegar a detectar concentraciones de glifosato de 0,17 ng/L(314) y hasta 0.005 ng/L(315), sin embargo, es una tecnología que aún se encuentra en desarrollo.

Ahora bien, con los resultados obtenidos por los modelos ejecutados para cada una de las matrices identificadas (teniendo en cuenta, tanto la información secundaria adoptada y los supuestos definidos) no se recomienda definir escenarios de exposición de acuerdo con las categorías alta, media y baja asociado a población residente hasta tanto no se valide la información con monitoreos ambientales y caracterización de la población. Sin embargo, los resultados permiten identificar las rutas y vías potenciales definidas anteriormente, toda vez que se observan concentraciones presentes en cada una de ellas. Es necesario verificar su efecto, sobre todo, en la salud de la población vulnerable (por ejemplo: niños, mujeres lactantes, población con delgadez crítica, etc.).

Los modelos aplicados permitieron estimar los determinantes del nivel de exposición tales como:

- Concentración de la mezcla en los medios: aire, suelo, agua y alimentos (Figura 27) (tablas 45,47 y 48)
- Factores como la duración, frecuencia de la exposición y fluctuaciones de la exposición, fueron definidos teóricamente de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada y se presentan en el numeral 2.10 del presente documento.

5.5 Cuantificación de la exposición

5.5.1 Especificación matemática de la dosis de exposición estimada por rangos de edades

Las dosis de exposición estimadas para las tres vías de exposición consideradas se realizaron conforme a la metodología establecida en la Sección 2.10.

Adicionalmente, dado que para cada grupo etario se tiene un intervalo de confianza (IC) para el peso (ver Tabla 8 y 9), entonces se generaron aleatoriamente $n=200$ valores asumiendo una distribución uniforme continua cuyos parámetros corresponden a los límites inferior y superior del IC. Cada uno de los valores generados corresponde al peso de una persona de determinado grupo etario. Finalmente, para cada uno de los grupos etarios se calcularon 200 dosis de exposición estimadas (una por cada peso generado), lo cual permitió a su vez construir un IC al 95% para esta medida.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada vía de exposición:

Vía Dérmica

Asumiendo en las Ecuaciones [5] y [6], los valores del peso corporal generados bajo el procedimiento anteriormente descrito, el área superficial de cada grupo etario descrito en la Tabla 12 y un factor de exposición de FE=1, es decir de una exposición continua de 365 días, se obtienen las siguientes dosis medias de exposición estimadas, con sus respectivos intervalos de confianza al 95%, por grupo etario y género. Respecto al factor de exposición, se consideraron los resultados hallados por (Okada et al. 2019), quienes establecieron que la vida media del glifosato en el suelo varía entre 9 y 38 días; de modo que en este caso se asume que FE es un valor generado a partir de una distribución uniforme continua $U(9/365, 38/365)$ (139).

Tabla 50. Dosis de exposición estimada para vía dérmica

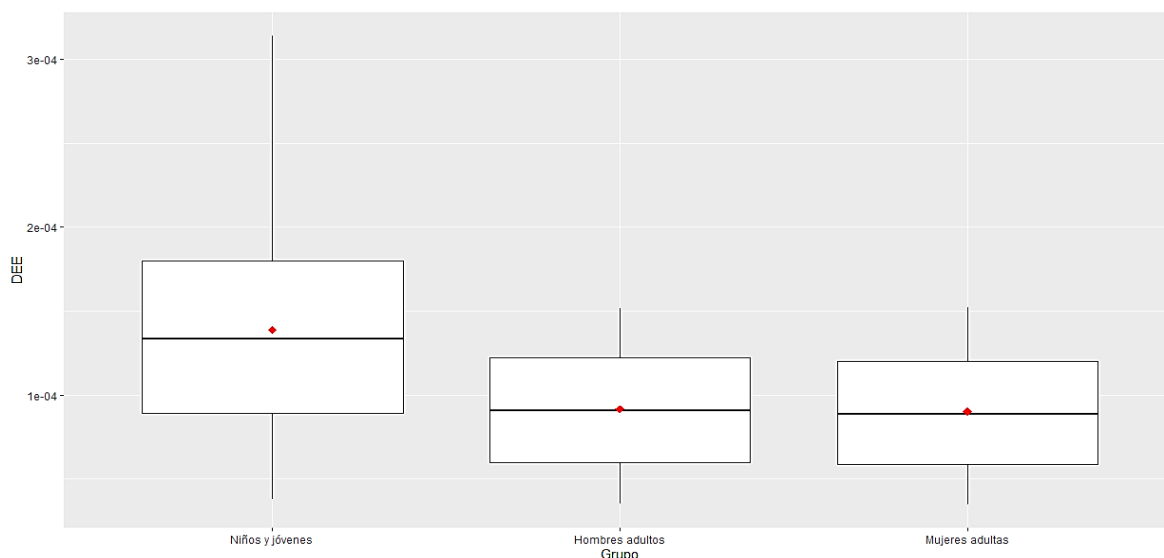
Grupo	Media	Desviación	IC (95%)	
Niños y jóvenes	0,0001387	5,850E-05	0,0001371	0,0001403
0-1 mes	0,0001235	4,581E-05	0,0001195	0,0001275
1-3 meses	0,0001405	5,213E-05	0,0001359	0,0001451
3-6 meses	0,0001618	6,003E-05	0,0001566	0,0001671
6-12 meses	0,0001916	7,109E-05	0,0001854	0,0001979
1-2 años	0,0001567	5,812E-05	0,0001516	0,0001618
2-3 años	0,0001474	5,468E-05	0,0001426	0,0001522
3-6 años	0,0001361	5,049E-05	0,0001317	0,0001406
6-11 años	0,0001239	4,594E-05	0,0001198	0,0001279
11-16 años	0,0001086	4,027E-05	0,0001050	0,0001121
16-21 años	0,0000973	3,596E-05	0,0000940	0,0001001
Hombres adultos	0,0000920	3,394E-05	0,0000902	0,0000929
21-31 años	0,0000913	3,383E-05	0,0000883	0,0000942
21-31 años	0,0000912	3,383E-05	0,0000882	0,0000942
31-41 años	0,0000902	3,345E-05	0,0000873	0,0000931
41-51 años	0,0000926	3,435E-05	0,0000896	0,0000956
51-61 años	0,0000915	3,395E-05	0,0000885	0,0000945
61-71 años	0,0000922	3,420E-05	0,0000892	0,0000952
Mujeres adultas	0,0000901	3,344E-05	0,0000888	0,0000914
21-31 años	0,0000928	3,442E-05	0,0000898	0,0000958
31-41 años	0,00008980	3,333E-05	0,0000869	0,0000928
41-51 años	0,0000886	3,287E-05	0,0000857	0,0000915
51-61 años	0,0000885	3,284E-05	0,0000856	0,0000914
61-71 años	0,0000907	3,365E-05	0,0000878	0,0000937

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Se espera bajo las condiciones dadas, que la dosis de exposición estimada de glifosato para la vía dérmica sea de 0,00011476 mg/cm²-día, variando ésta entre 0,0001137 y 0,0001158 (valores obtenidos en la simulación SWAT).

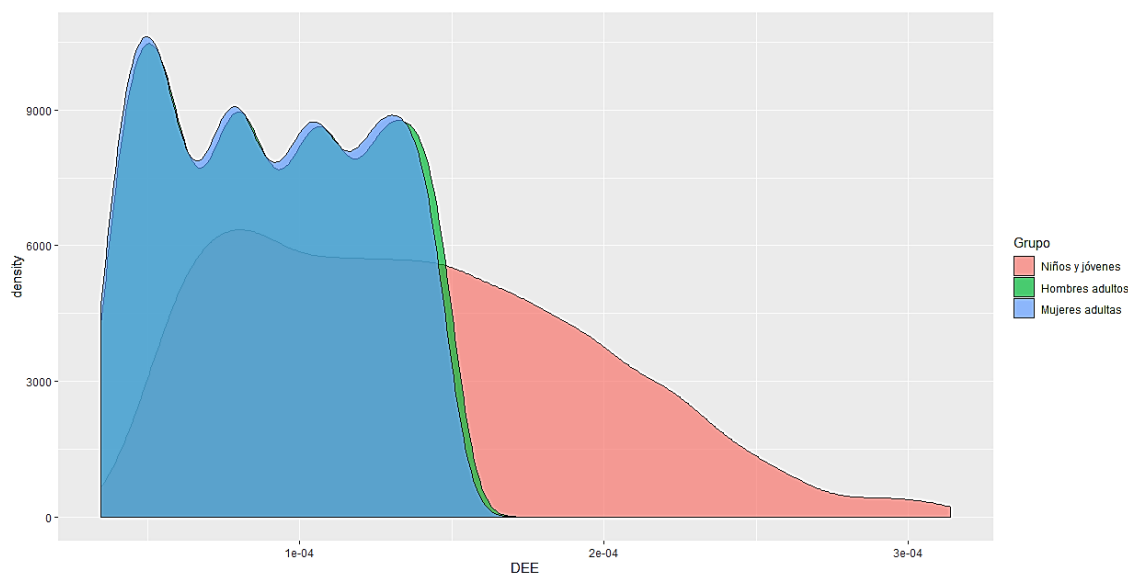
Al examinar la Dosis de Exposición Estimada por grupo (Figura 42) se encuentra que es mayor la dosis de exposición en los niños y jóvenes, que en las mujeres y hombres adultos. Adicionalmente, no existe una diferencia significativa con un margen de error del 5%, entre las dosis medias de exposición de los hombres y las mujeres adulto. La figura 41 permite verificar estos resultados a partir de las densidades de estos tres grupos. En dicha figura se observa que la densidad correspondiente a los jóvenes y niños tiende a ser más achatada y es la única distribución asimétrica positiva. En general, la forma de las densidades de los grupos se debe a los distintos comportamientos de la dosis de exposición dentro de cada grupo etario.

Figura 42 Comparación de las dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica para niños y jóvenes, mujeres y hombres adultos



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

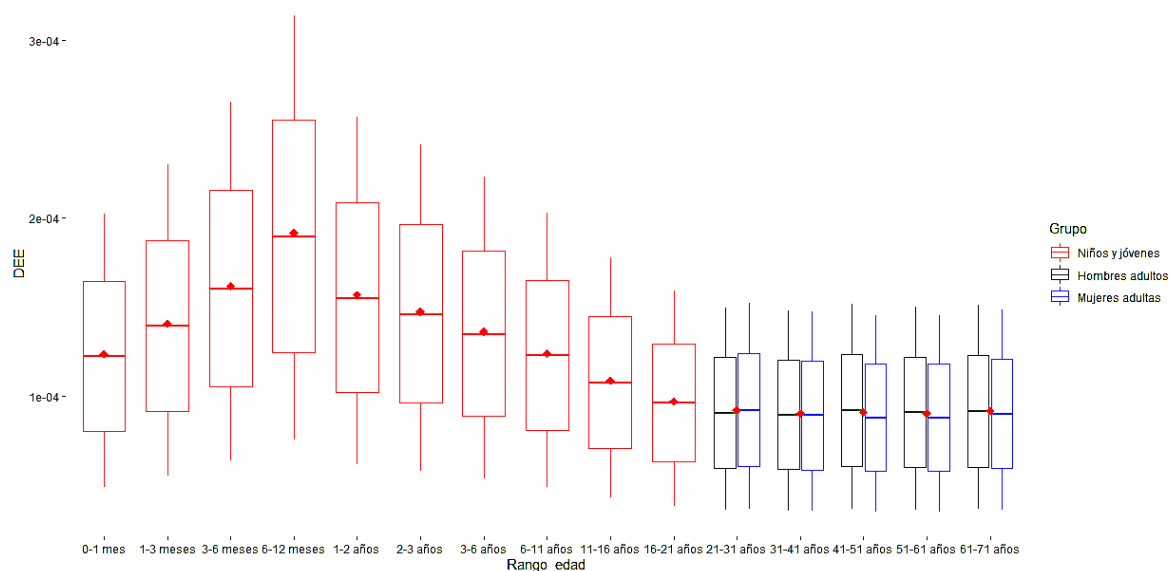
Figura 43. Densidades asociadas a las dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica para niños y jóvenes, mujeres y hombres adultos.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

En la Figura 43 se observa que entre los 0 y 1 mes de nacido la dosis de exposición vía dérmica se estima que es inferior a $2e-04$ mg/cm²-día y tiende a crecer hasta alcanzar su valor máximo entre los 6 y 12 meses de edad; luego tiende a decrecer y se estabiliza en la edad adulta (independientemente del género). Se asume que la dosis de exposición al glifosato vía dérmica es mayor en los niños de 0 - 6 años que en los adultos.

Este resultado se debe principalmente a la influencia de la variable Peso Corporal en la ecuación matemática implementada, en cuyo caso podría presentarse una mayor exposición en proporción a la masa corporal. Es necesario y recomendable trabajar con datos que permitan variar el resultado del numerador de la fórmula, principalmente en lo que se refiere a la Tasa Promedio de Contacto (TC) y el Factor de exposición (F), los cuales se asumieron a partir de la literatura e información secundaria registrada en diferentes bases de datos. Por lo tanto, se recomienda realizar un levantamiento de información primaria, por medio de encuestas de consumo para cada municipio objeto de estudio y determinar un Factor de Exposición real, de conformidad con la actividad ocupacional de las personas. O en su defecto, contar con la posibilidad de crear simulaciones poblacionales a partir de los datos registrados en bases de nacionales (ENSIN, ENCV, EIH, etc.)

Figura 44. Dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica por rango de edad y grupo

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Vía Inhalación

En esta vía de exposición se usó la Ecuación [4] para hallar la dosis de exposición estimada. Para ello se consideró además, de los valores de los pesos generados aleatoriamente con base en el IC descrito para cada grupo etario (Tablas 8 y 9), una tasa de contacto según el nivel de actividad (ver Tabla 51), y una exposición continua (FE=1). Las dosis de exposición detalladas por nivel de actividad y rango de edad, con sus respectivos intervalos de confianza el 95%, se muestran en las Tablas 51 y 52, respectivamente.

Tabla 51. Dosis de exposición estimada vía inhalación por nivel de actividad

Nivel de actividad	Media	Desviación	IC (95%)	
Dormido	0,2251068	0,1784050	0,111754	0,3384599
Sedentario	0,2324198	0,187813	0,113089	0,3517504
Bajamente activo	0,578874	0,467302	0,281964	0,8757840
Moderadamente activo	1,1002963	0,795072	0,595131	1,6054611
Altamente activo	2,0307371	1,448985	1,110096	2,9513779

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Tabla 52. Dosis de exposición estimada para vía dérmica

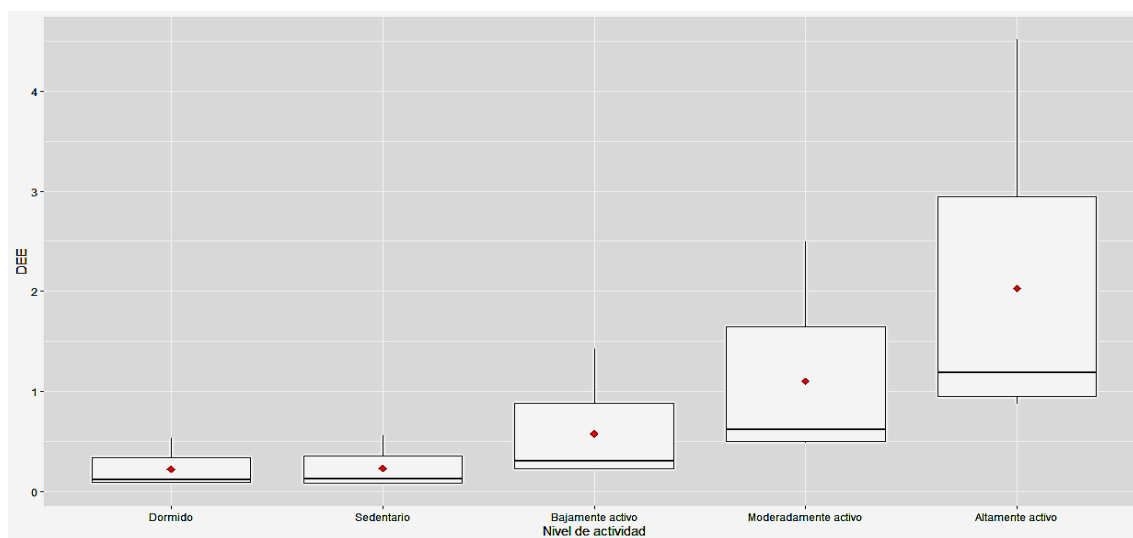
Rango de edad	Media	Desviación	IC (95%)*	
0-1 año	1,8385678	1,6500683	-0,2102626	3,8873983
1-2 años	1,9061126	1,6646779	-0,1608580	3,9730832
2-3 años	1,5814857	1,3951148	-0,1507782	3,3137496
3-6 años	1,1203200	0,9919107	-0,1112998	2,3519398
6-11 años	0,7772746	0,7256413	-0,1237281	1,6782772
11-16 años	0,5346081	0,5045149	-0,0918300	1,1610462
16-21 años	0,4116706	0,3938385	-0,0773445	0,9006857
21-31 años	0,3689396	0,3693998	-0,0897309	0,8276100
31-41 años	0,3554791	0,3475093	-0,0760106	0,7869688
41-51 años	0,3731530	0,3620207	-0,0763550	0,8226610
51-61 años	0,3809609	0,3685944	-0,0767095	0,8386314
61-71 años	0,3532698	0,3311168	-0,0578659	0,7644055

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

*Los valores negativos de deben aproximar a su valor real más cercano, en este caso cero (0).

A partir de la Tabla 51 y la Figura 45, se puede considerar que existe una relación proporcionalmente directa entre el nivel de actividad en el momento del contacto y la dosis de exposición inhalatoria estimada independientemente de la edad. Evento esperado dado que a mayor actividad física existe un aumento en la frecuencia respiratoria, lo que favorece el intercambio gaseoso y permite un aumento en la dosis acumulada corporal.

Figura 45. Dosis de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria por nivel de actividad

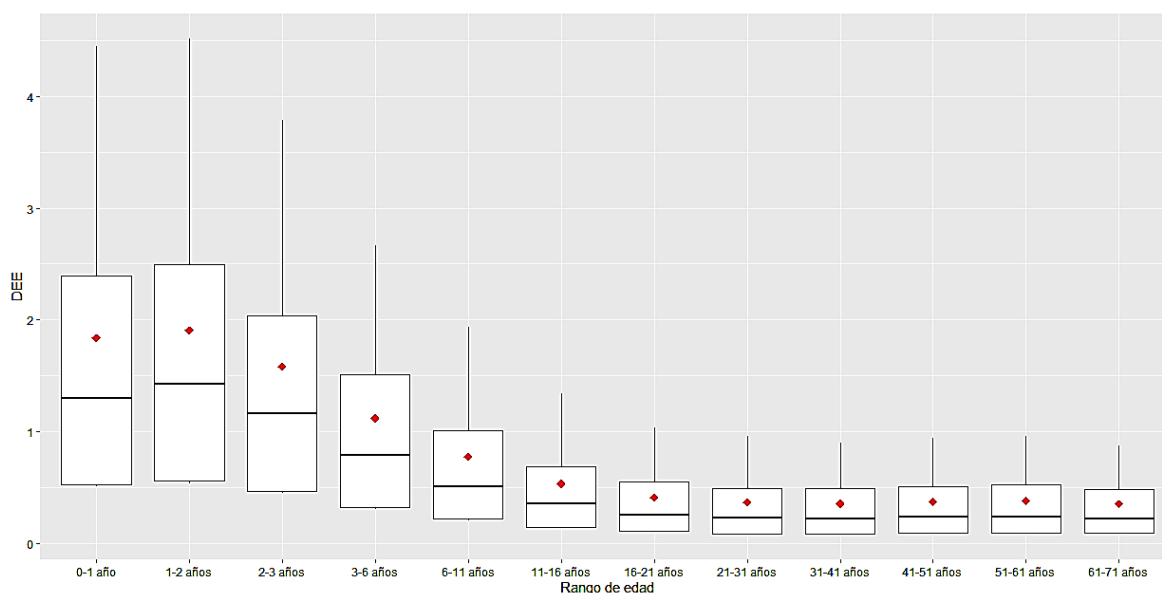


Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Con relación al efecto de la edad se observa que para la vía de exposición dérmica, en los primeros 3 años de vida se tiene una mayor dosis de exposición estimada, encontrándose su valor máximo entre uno y dos años ver la Tabla 52.

En la Figura 46, se puede observar que existe una diferencia significativa, con margen de error del 5%, entre las dosis medias de exposición entre los niños de 0- 3 años frente a otros grupos etarios. Esto es posiblemente explicado por qué los niños menores de 6 años especialmente los menores de 3 años, tiene una menor superficie corporal, lo que permite una mayor distribución del glifosato (o mezcla) y potencialmente su mayor absorción, que se traduce en una dosis acumulada superior en este grupo.

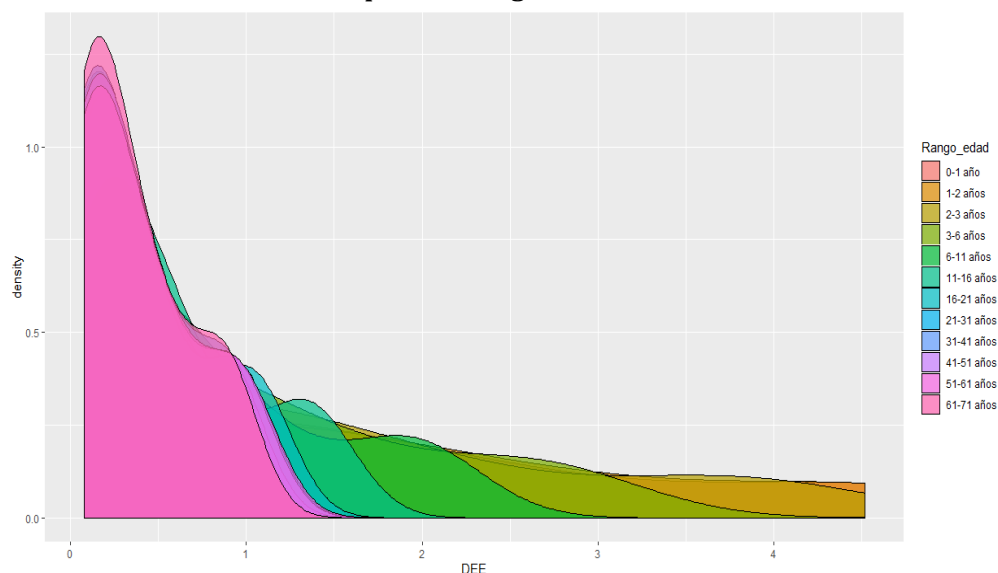
Figura 46. Dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica por rango de edad



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Cabe destacar que las distribuciones asociadas a las dosis de exposición estimadas para los rangos de edad se caracterizan por ser asimétricas positivas (Ver figura 46); es decir, que se tiene la presencia de valores atípicos (o no normales), lo cual hace que se tenga una alta variabilidad asociada a las dosis de exposición según los rangos de edad, y por tanto los intervalos de confianza dados en la Tabla 46 sean amplios. En este caso las personas adultas sin importar el sexo, muestran un riesgo aparentemente mayor de exposición por vía inhalatoria y los datos de dichas dosis varían entre los diferentes rangos de edad.

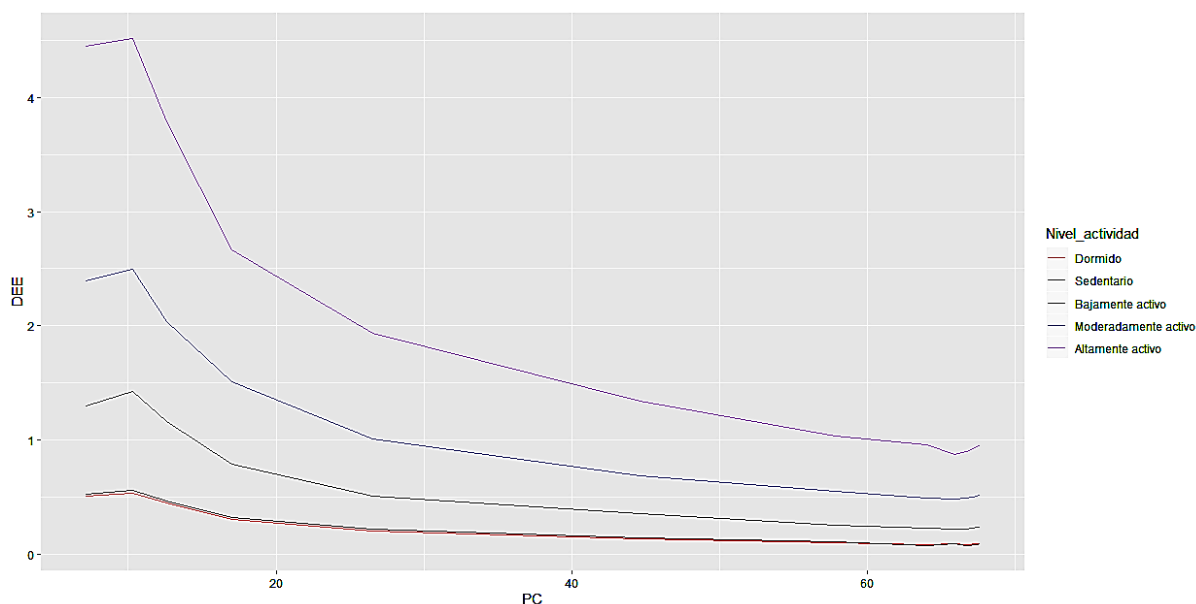
Figura 47. Densidades asociadas a las dosis de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria para los rangos de edad



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

En la Figura 47 es claro que los perfiles de la dosis de exposición vs. Peso, sigue la misma tendencia para los distintos niveles de actividad. Se observa que, a mayor peso, menor dosis de exposición al inhalar glifosato y mayor la dosis para los individuos altamente activos. En general, se asume que a partir de los 50 kg las dosis de exposición tienden a estabilizarse.

Figura 48. Perfiles de la dosis de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria por nivel de actividad.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

En general, se puede concluir que se espera que bajo los supuestos dados que la dosis media de exposición estimada de glifosato vía inhalación sea de 0,8334868 mg/kg-día, variando ésta entre 0,5712509 y 1,0957227.

Vía Oral – ingesta directa

La determinación de las dosis de exposición estimadas se hizo empleando la ecuación[7], tomando como parámetros de entrada los pesos medios de cada grupo etario presentados en las tablas 8 y 9, y la ingesta promedio de agua (ver Tabla 10). Las distintas dosis de exposición estimadas para cada una de las tres fuentes de contaminación consideradas y rangos de edad, se muestran en la Tabla 53. En dicha tabla, se observa para cada rango de edad, una tasa promedio de contacto (TC) y peso medio, las dosis de exposición estimada para escorrentía (DEE_{ES}), para lixiviación (DEE_{Lix}), y la dosis de exposición estimada de flujo lateral hacia corriente de agua (DEE_{Lat}), así como la Dosis de exposición total; la cual corresponde a la suma de las tres fuentes.

Tabla 53. Dosis de exposición estimada para vía oral

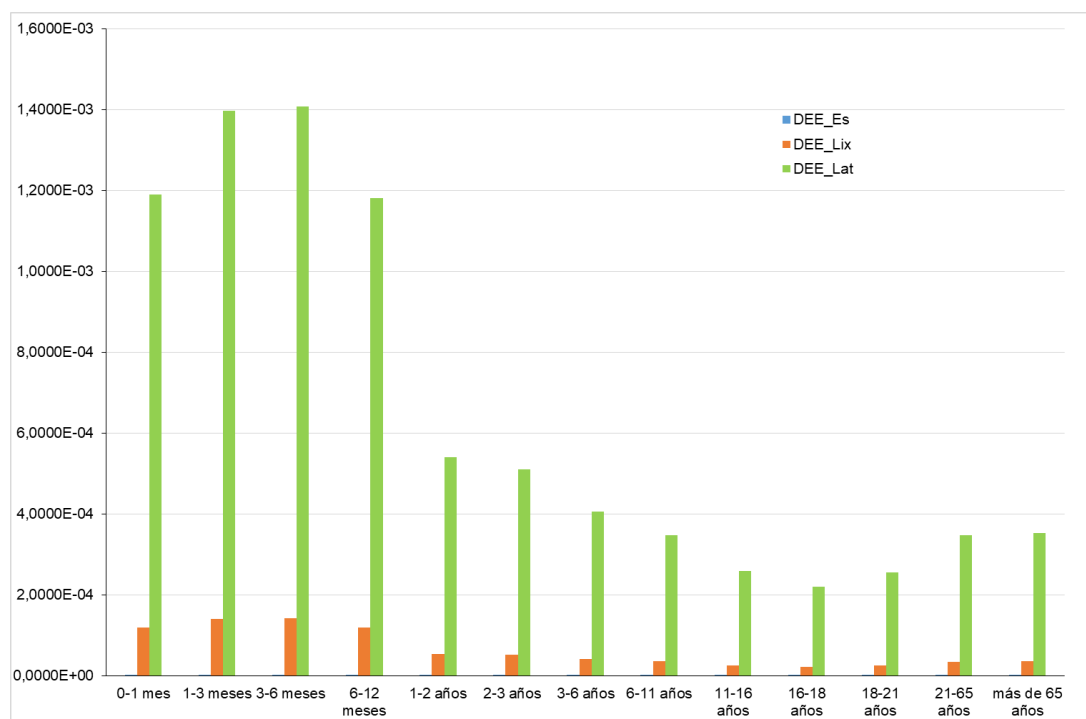
Rango de Edad	TC	Peso medio	TC/Peso	DEE_Es	DEE_Lix	DEE_Lat	DEETotal
0-1 mes	4,70E-04	7,15	6,57E-05	3,51E-07	1,20E-04	1,19E-03	1,31E-03
1-3 meses	5,52E-04	7,15	7,72E-05	4,12E-07	1,41E-04	1,40E-03	1,54E-03
3-6 meses	5,56E-04	7,15	7,78E-05	4,15E-07	1,42E-04	1,41E-03	1,55E-03
6-12 meses	4,67E-04	7,15	6,53E-05	3,49E-07	1,19E-04	1,18E-03	1,30E-03
1-2 años	3,08E-04	10,30	2,99E-05	1,59E-07	5,46E-05	5,41E-04	5,96E-04
2-3 años	3,56E-04	12,60	2,82E-05	1,51E-07	5,16E-05	5,11E-04	5,63E-04
3-6 años	3,82E-04	17,00	2,25E-05	1,20E-07	4,10E-05	4,06E-04	4,48E-04
6-11 años	5,11E-04	26,55	1,93E-05	1,03E-07	3,51E-05	3,48E-04	3,83E-04
11-16 años	6,37E-04	44,60	1,43E-05	7,62E-08	2,61E-05	2,58E-04	2,85E-04
16-18 años	7,02E-04	57,80	1,21E-05	6,48E-08	2,22E-05	2,20E-04	2,42E-04
18-21 años	8,16E-04	57,80	1,41E-05	7,53E-08	2,58E-05	2,55E-04	2,81E-04
21-65 años	1,23E-03	63,95	1,92E-05	1,02E-07	3,50E-05	3,47E-04	3,82E-04
más de 65 años	1,23E-03	65,90	1,95E-05	1,04E-07	3,57E-05	3,54E-04	3,89E-04

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Por otra parte, de la Figura 49, pudiera decirse que independientemente de la fuente, las dosis de exposición estimadas por consumo de agua, es mayor en los niños entre 1 y 6 meses de edad debido a que los niños de ese rango de edad tienen el mayor consumo de agua por unidad de peso corporal (ver la razón tasa de contacto/peso medio en la Tabla 53) es decir, los resultados mostrados no representan que los niños entre 1 y 6 meses consumen más agua sino que, a pesar de tener el menor consumo entre los grupos etarios analizados, el peso corporal les otorga un nivel de exposición mayor con relación a los adultos.

Por otro lado, de las tres fuentes de exposición oral consideradas, la que presenta una mayor dosis de exposición estimada es la asociada a la concentración de glifosato que fluye lateralmente hacia la corriente de agua (Estimada por SWAT), seguida de la concentración de

glifosato que se lixivia por el perfil de suelo y potencialmente podría afectar los acuíferos (Estimada por SWAT).

Figura 49. Comparación de las dosis de exposición vía oral para las tres fuentes consideradas

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

En general, a partir de los pesos generados aleatoriamente para cada grupo etario se infiere que se espera que bajo las condiciones dadas, la dosis media de exposición estimada del glifosato vía oral sea de $7.1283\text{E-}04$ mg/kg-día, variando ésta entre $4.0555\text{E-}04$ y $1.0201\text{E-}03$.

Análisis de sensibilidad

Se realizó un análisis de sensibilidad, usando el método de Monte Carlo, con el fin de determinar qué parámetro de los que intervienen en las ecuaciones de la Dosis de Exposición Estimada tienen mayor influencia en los resultados, asumiendo que uno de los parámetros permanece constante. Se asignaron funciones de probabilidad a algunos de los parámetros y valores de esas distribuciones, seleccionados al azar. Así mismo, se establecieron distintos valores para los parámetros factor de exposición y concentración que reflejaran el estimado límite, el estimado de tendencia central, y el estimado de alto nivel de cada uno de ellos. Posteriormente se calculó la dosis de exposición estimada usando las ecuaciones mostradas a continuación. Este proceso se repitió, sin pérdida de generalidad, $n=500$ veces para obtener una distribución de los resultados que reflejará la incertidumbre total de los valores de entrada.

En general, en las tres vías se utilizó el intervalo de confianza (IC) dado para el peso de cada rango de edad, para generar para cada uno de ellos valores de una distribución uniforme continua $U(\text{Limite inferior del IC}, \text{Limite superior del IC})$.

Para la vía de exposición dérmica se consideran como valores iniciales del FE a $9/365$ y $38/365$ por que se asume que las personas están expuestas la misma cantidad de días al año, que Okada

et al. (153) establecieron para la vida media del glifosato en el suelo (es decir, entre 9 y 38 días), y posteriormente se va incrementando este factor de exposición hasta llegar a un estado límite de alto nivel. En las otras dos vías de exposición, se consideraron sin pérdida de generalidad tres valores que reflejen los tres estados especificados. Con respecto a la concentración se tomó como base la concentración del glifosato hallada con el modelo conceptual, y se fue incrementando proporcionalmente.

Específicamente para cada vía de exposición, se consideraron los siguientes valores para el factor de exposición y concentración:

- **Exposición vía dérmica**

$$FE = (9/365, 38/365, 0,50, 0,97, 0,98, 0,99, 1,00)$$

$$C = (0,01006632, 0,01006632 + 0,01, 1,00, 3,00, 5,00)$$

- **Exposición vía inhalatoria**

$$FE = (0,50, 0,95, 1,00)$$

$$C = (0,85, 0,95, 0,96, 0,97, 0,98, 1,00, 3,00, 5,00)$$

- **Exposición vía oral**

$$FE = (0,50, 0,95, 1,00)$$

$$C_{Es} = (0,000014622, 0,000014622 + 0,05, 0,000014622 + 0,10, \\ 0,000014622 + 0,15, 0,000014622 + 0,20)$$

$$C_{Lix} = (0,005002614, 0,005002614 + 0,05, 0,005002614 + 0,10, 0,005002614 \\ + 0,15, 0,005002614 + 0,20)$$

$$C_{Lat} = (0,04956, 0,04956 + 0,05, 0,04956 + 0,10, 0,04956 + 0,15, 0,04956 + 0,20)$$

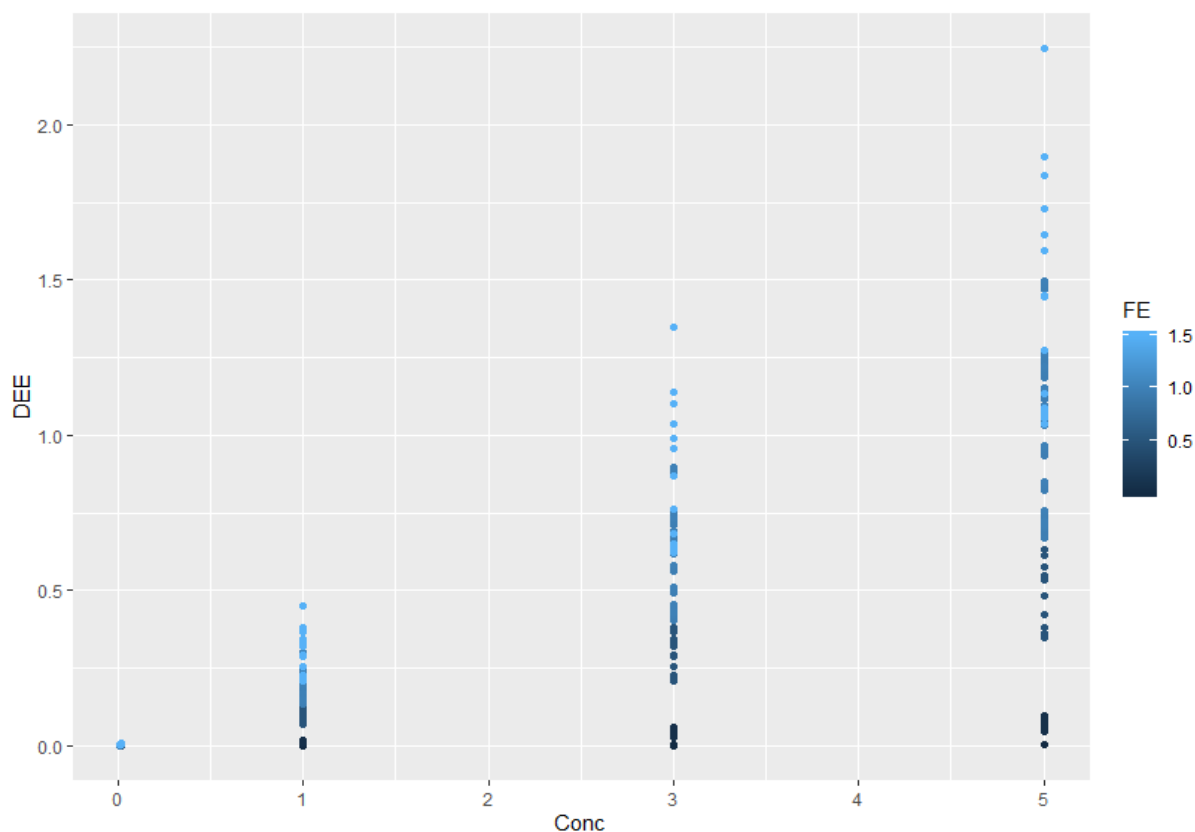
5.5.2 Cálculo de la exposición

Los resultados se muestran continuación por vía de exposición:

Vía Dérmica

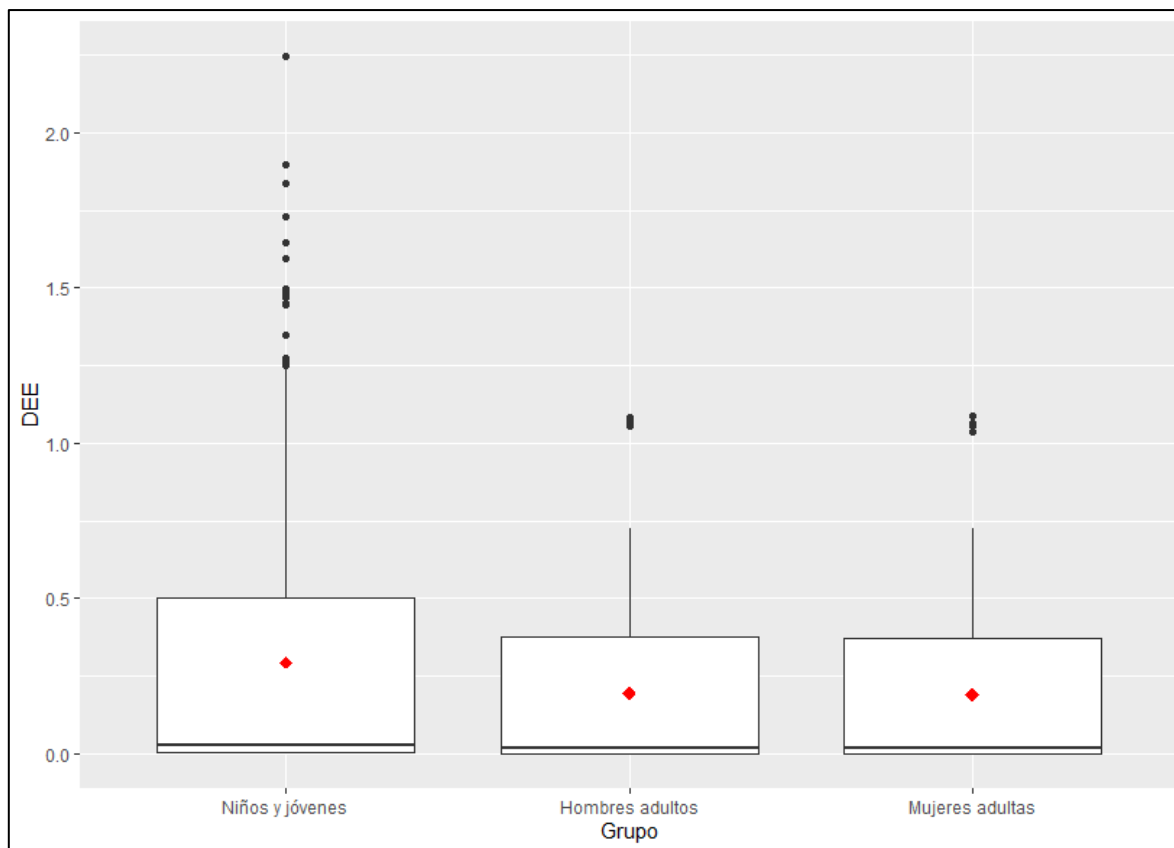
Al incrementar la concentración del glifosato en el suelo o el factor de exposición de los individuos, la dosis estimada de la exposición se incrementa significativamente (Ver figura 50).

Figura 50. Efecto del factor de exposición (FE) y la concentración de glifosato en el suelo, sobre la Dosis de Exposición Estimada



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

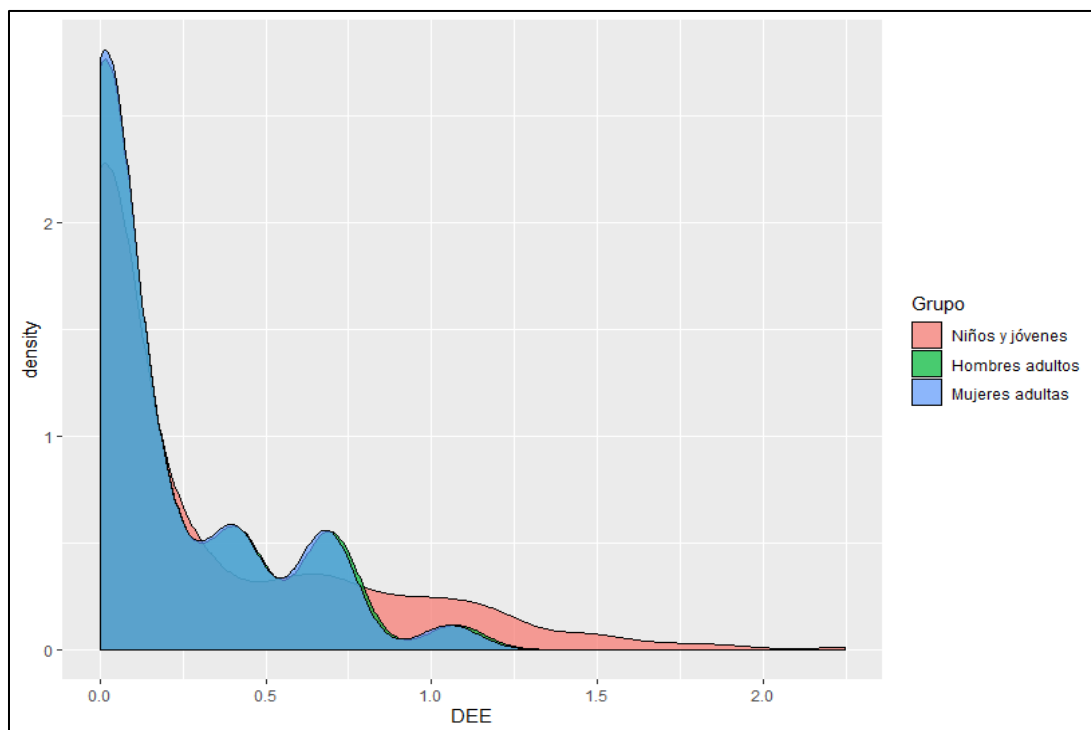
Por otra parte, de la Figura 51, se deduce que al considerar valores extremos del factor de exposición o de la concentración del glifosato en el suelo, no existe una diferencia significativa entre las dosis medias de exposición estimadas de los tres grupos examinados: niños y jóvenes, mujeres y hombres adultos. No obstante, se mantiene el hecho de que el grupo de niños jóvenes son los que presentan una dosis de exposición más elevada.

Figura 51. Comparación de la dosis de exposición estimada por grupo

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Por otra parte, al comparar las densidades de la Figura 43 y 52, se deduce que, si bien las mujeres y hombres adultos siguen manteniendo una distribución de densidad similar entre sí para las dosis de exposición, ésta distribución tiende a parecerse a la de los niños y jóvenes. Más aún, en el grupo de adultos se observan valores extremos (poco frecuentes) y por eso la asimetría positiva de las gráficas.

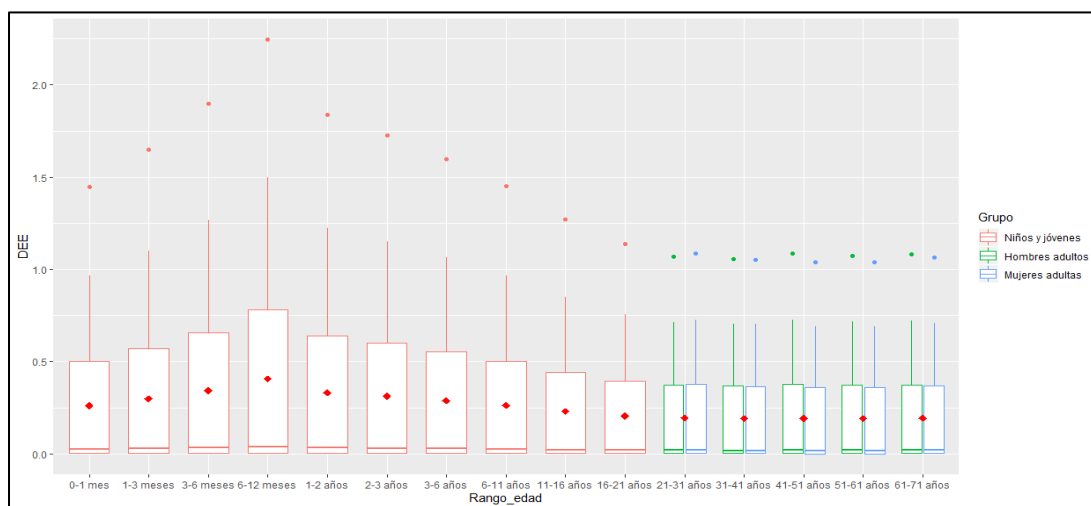
Figura 52. Densidades asociadas a las dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica para niños y jóvenes, mujeres y hombres adultos, cuando se asumen valores límites de concentración y de factor de exposición.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Por rangos de edad, se mantiene el hecho de que las mayores dosis de exposición se den entre los 6 y 12 meses de edad (Véase Figura 53).

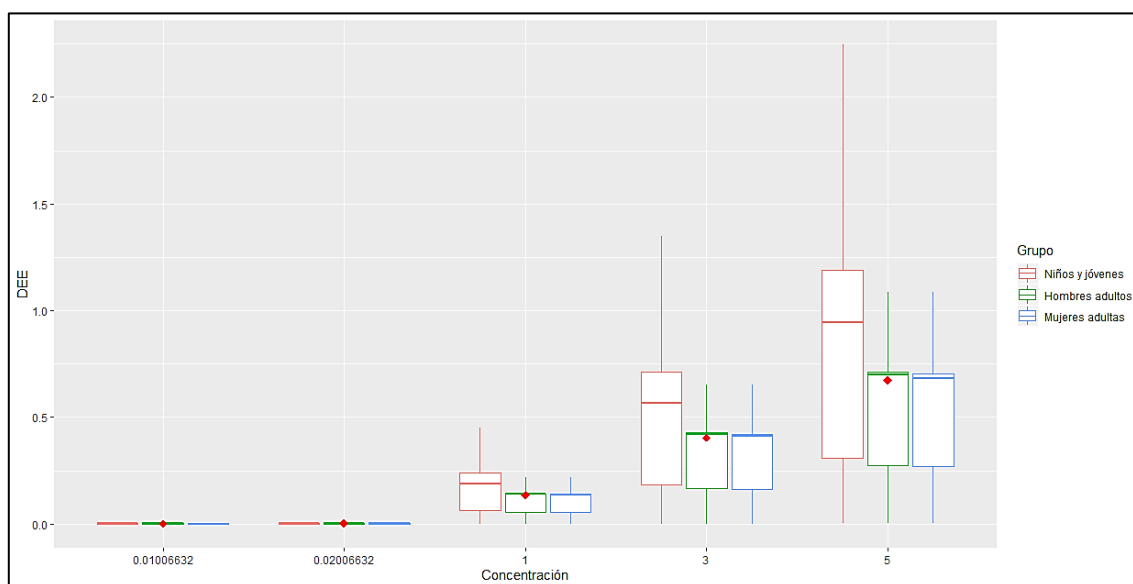
Figura 53. Dosis de exposición estimadas de glifosato vía dérmica por rangos de edad, cuando se asumen valores límites de concentración y de factor de exposición.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

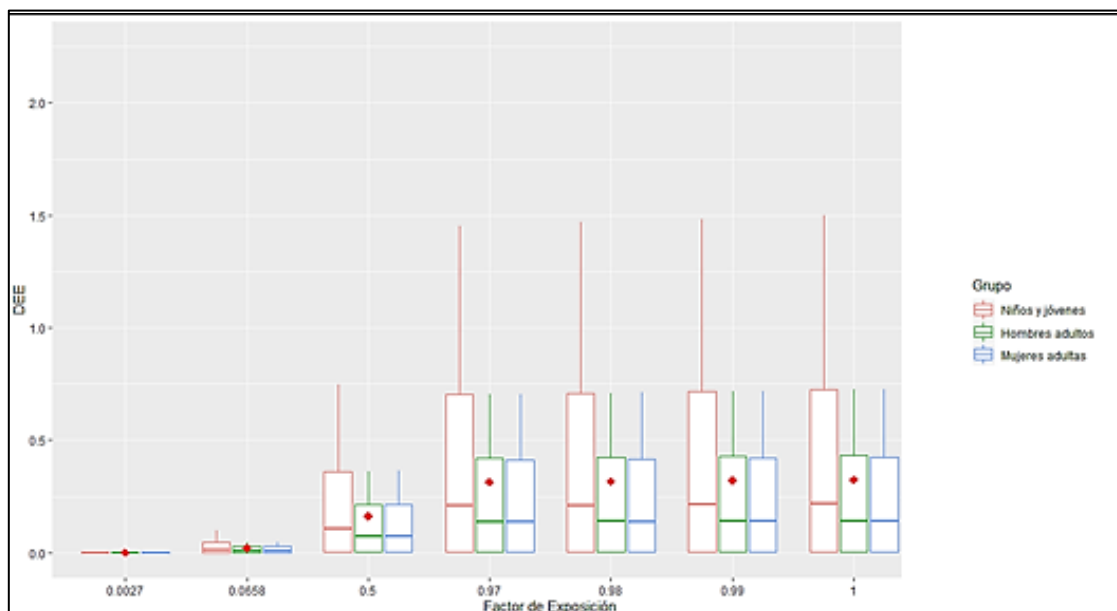
La Figura 54 muestra que al aumentar la concentración en 0.01 mg/cm^2 no afecta significativamente la dosis de exposición estimada; sin embargo, cuando ésta se aumenta en más de 0.9 mg/cm^2 se obtiene un incremento significativo. Similarmente ocurre con el factor de exposición, el cual a partir de un incremento de 0.05 mg/cm^2 produce un cambio significativo en la dosis de exposición estimada (ver Figura 55).

Figura 54. Efecto de la concentración sobre la dosis de exposición estimada de glifosato vía dérmica.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Figura 55. Efecto del factor de exposición sobre la dosis de exposición estimada de glifosato vía dérmica.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

En la Tabla 54, se presentan las dosis medias de exposición estimadas según los niveles de concentración de glifosato en el suelo y el factor de exposición, las cuales respaldan los anteriores resultados.

Tabla 54. Efecto de la concentración el factor de exposición sobre la dosis media de exposición estimada para vía dérmica

Niveles de concentración de glifosato en el suelo						
Factor de exposición	0,0100663	0,0200663	1,0000	3,0000	5,0000	Total
0,0027397	0,0000049	0,0000098	0,0004915	0,0014745	0,0024576	0,0008877
0,0657534	0,0001188	0,0002367	0,0117964	0,0353892	0,0589819	0,0213046
0,50	0,0009029	0,0017999	0,0897017	0,2691052	0,4485087	0,1620037
0,97	0,0017518	0,0034919	0,1740213	0,5220640	0,8701067	0,3142872
0,98	0,0017698	0,0035279	0,1758154	0,5274461	0,8790769	0,3175272
0,99	0,0017879	0,0035639	0,1776094	0,5328282	0,8880471	0,3207673
1,00	0,0018059	0,0035999	0,1794035	0,5382104	0,8970172	0,3240074
Total	0,0013564	0,0027038	0,1347431	0,4042291	0,6737152	0,2433495

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Vía Inhalatoria

Las dosis medias de exposición al glifosato por vía inhalatoria, al variar las concentraciones en el aire del herbicida y su factor de exposición, se muestran en la Tabla 55. En ella se observa que ambos parámetros tienen un efecto significativo sobre la respuesta. Siendo mayor el efecto de las concentraciones en el aire del glifosato sobre la Dosis de Exposición Estimada.

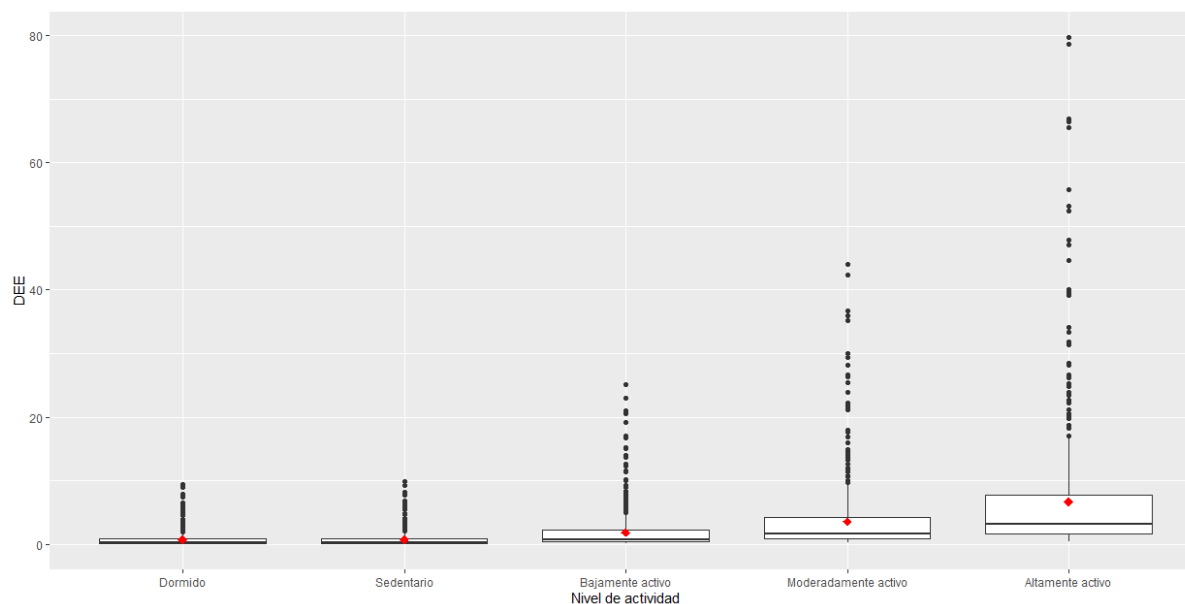
Tabla 55. Efecto de la concentración y el factor de exposición sobre la dosis media de exposición estimada para vía dérmica

Concentraciones de glifosato en el aire									
Factor de exposición	0,85	0,95	0,96	0,97	0,98	1,00	3,00	5,00	Total
0,50	0,4167	0,4658	0,4707	0,4756	0,4805	0,4903	1,4709	2,4514	0,8402
0,95	0,7918	0,8850	0,8943	0,9036	0,9129	0,9315	2,7946	4,6577	1,5964
1,00	0,8335	0,9315	0,9413	0,9512	0,9610	0,9806	2,9417	4,9029	1,6805

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Por otra parte, al incrementar las concentraciones y los factores de exposición, se hace más evidente que a mayor nivel de actividad se obtienen mayores dosis de exposición (Véase Figura 56).

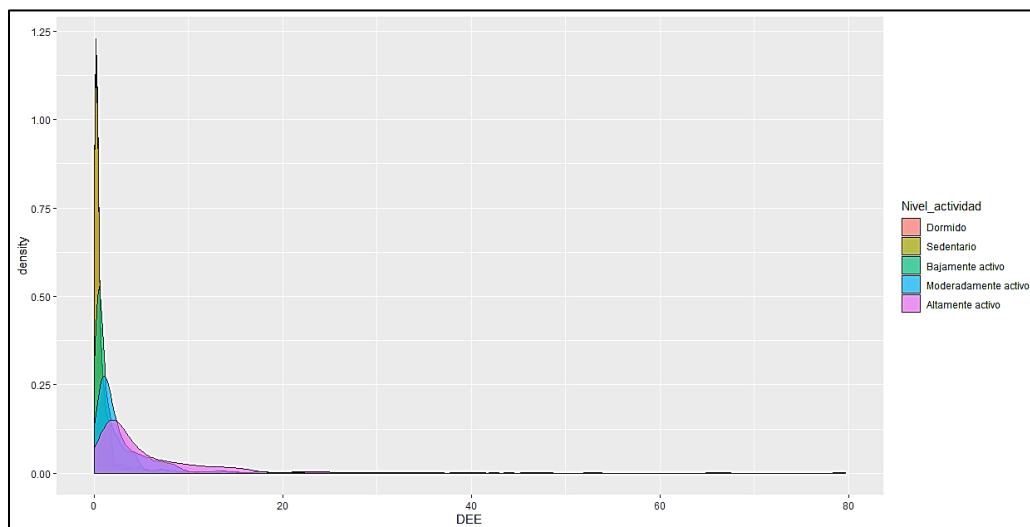
Figura 56. Comparación de la dosis de exposición estimada por nivel de actividad



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Al examinar las distribuciones de densidad de las dosis de exposición asociadas a los distintos niveles de actividad (Ver Figura 57) se observa que todas las distribuciones son asimétricas positivas, es decir, que si bien la mayoría de las dosis de estimación se producen en el intervalo 0-5mg/kg-día, también se presentan en cada nivel de actividad valores extremos para dichas dosis estimadas, siendo mayores para aquellos individuos con un nivel de actividad alto.

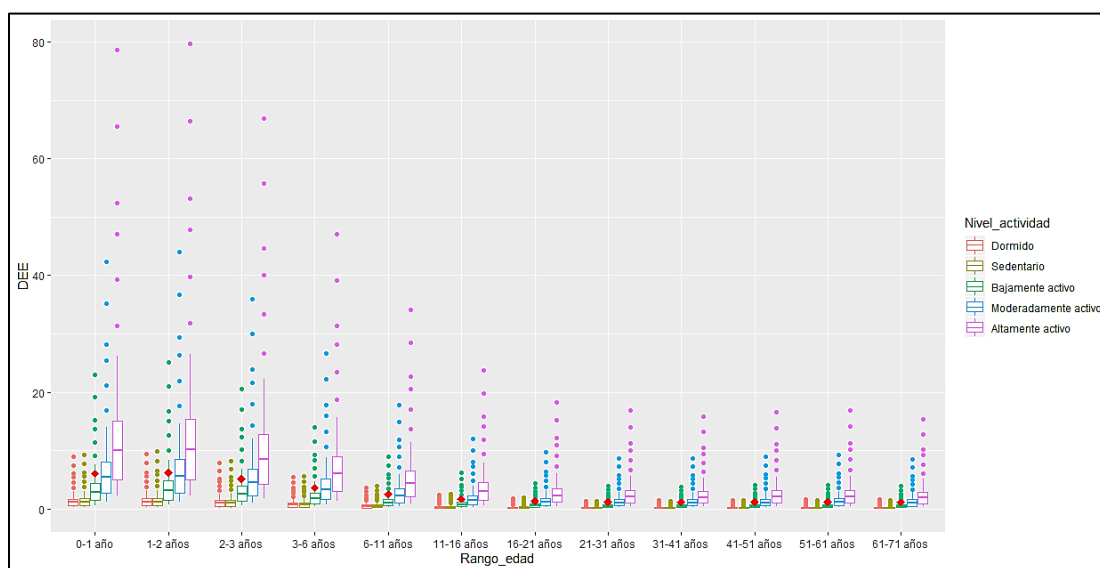
Figura 57. Densidades asociadas a las dosis de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria para los niveles de actividad, cuando se asumen valores límites de concentración y de factor de exposición.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Al considerar los valores extremos de los parámetros factor de exposición y concentración, se nota que permanece la tendencia de que los niños entre 0 y 3 años son los que presentan una mayor dosis de exposición inhalatoria, siendo esta mayor cuando se tiene un nivel de actividad alto (Ver Figura 58).

Figura 58. Dosis medias de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria para los niveles de actividad y rangos de edad, cuando se asumen valores límites de concentración y de factor de exposición.

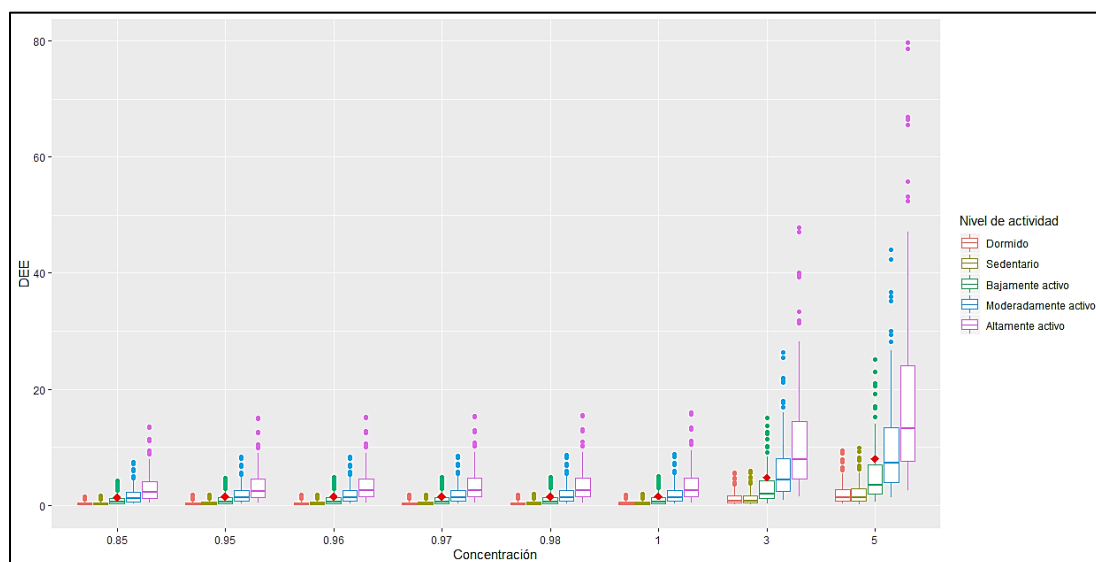


Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Por otra parte, de las Figuras 59 y 60, se asume que independientemente de la edad entre mayor actividad mayor dosis de exposición. El hecho de considerar concentraciones extremas de glifosato en el aire y factores de exposición altos, hacen que las dosis de exposición incrementen

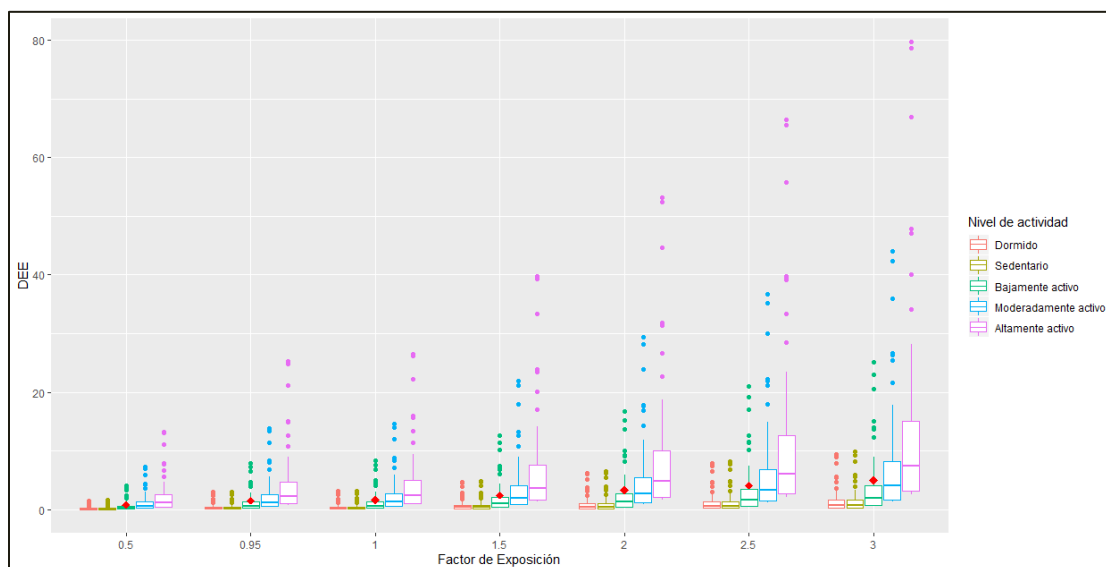
significativamente con respecto a la concentración obtenida del modelo conceptual, y que es tomada en este caso como comportamiento medio.

Figura 59. Dosis medias de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria cuando se asumen valores límites de concentración



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Figura 60. Dosis medias de exposición estimadas de glifosato vía inhalatoria cuando se asumen valores límites para el factor de exposición



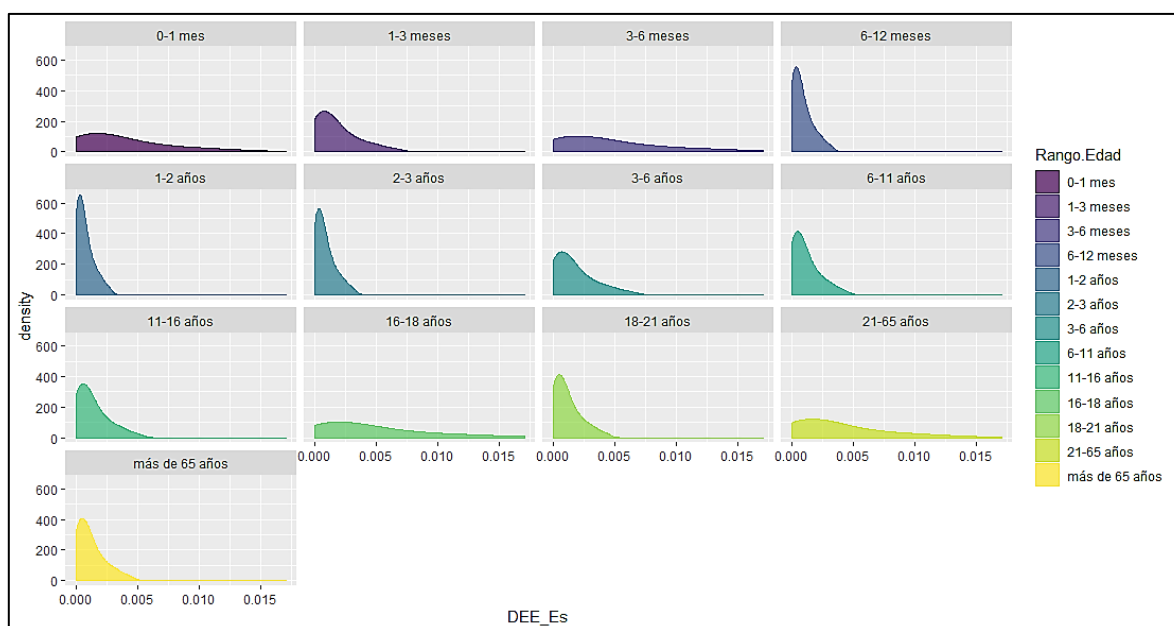
Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Vía Oral

Se consideraron distintos escenarios para examinar la variabilidad de las respuestas obtenidas a partir de las tres fuentes: Dosis de exposición estimada para escorrentía (DEE_{ES}), Dosis de exposición estimada para lixiviación (DEE_{Lix}), y Dosis de exposición estimada de flujo lateral hacia corriente de agua (DEE_{Lat}).

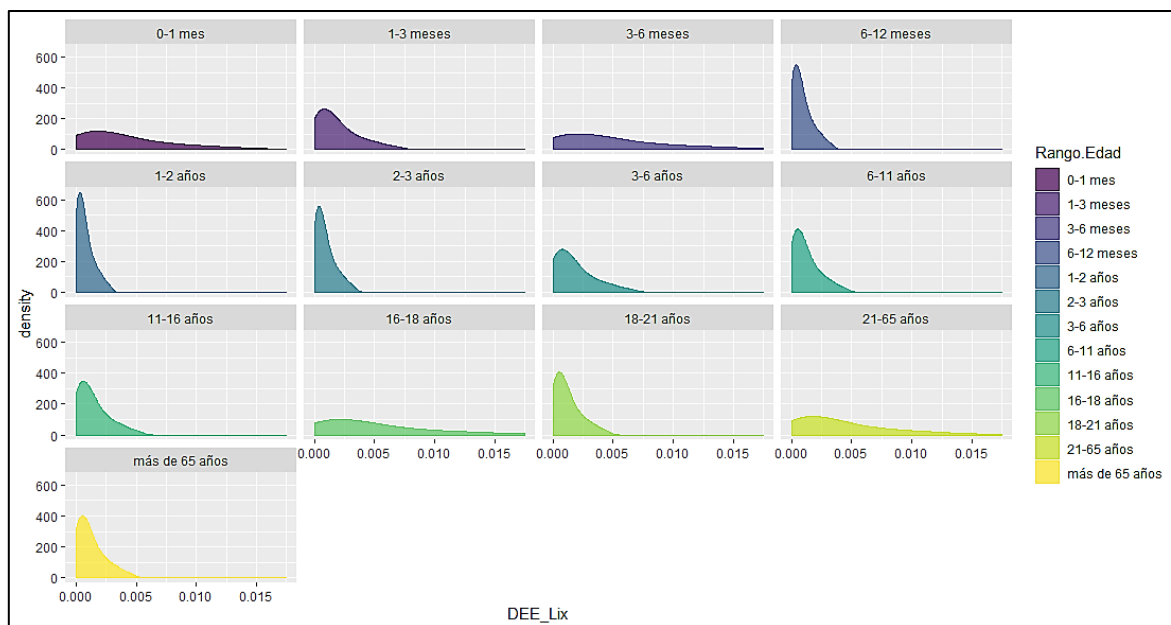
En el proceso de simulación, se encontró que las densidades de cada rango de edad son las mismas en las tres dosis de exposición estimadas, todas son asimétricas positivas, diferenciándose sólo en el largo de la cola de la distribución, es decir, en los valores máximos que pueden obtener para cada dosis estimada (Ver Figuras 61, 62 y 63).

Figura 61. Distribuciones de probabilidad generadas para las dosis de exposición estimadas DEES por rangos de edad.



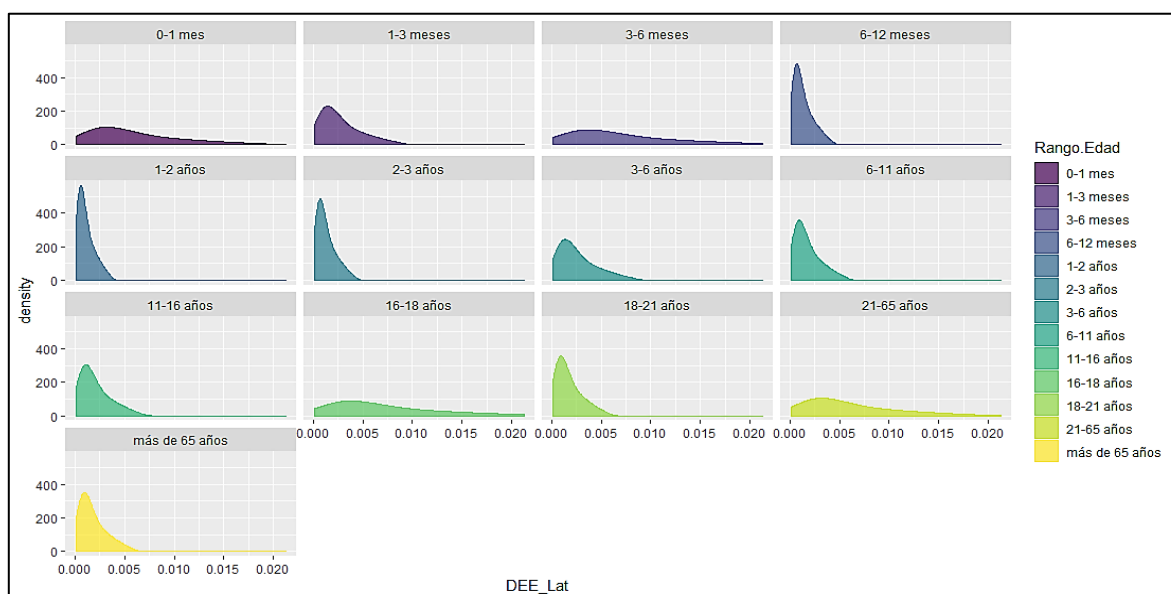
Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Figura 62. Distribuciones de probabilidad generadas para las dosis de exposición estimadas DEELix por rangos de edad



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Figura 63. Distribuciones de probabilidad generadas para las dosis de exposición estimadas DEELat por rangos de edad.

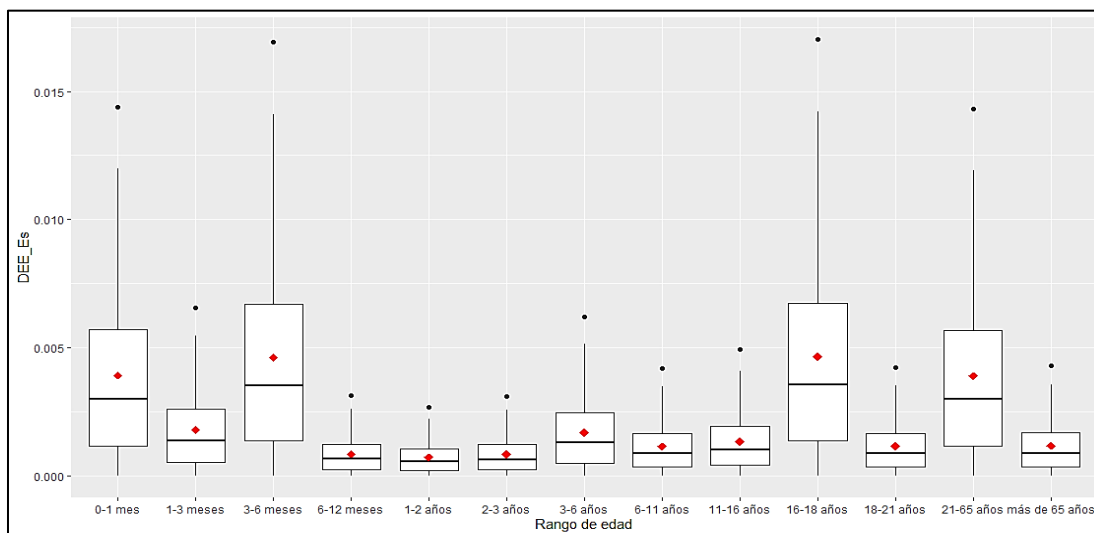


Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Este hecho implica, además, que al comparar las dosis de exposición estimadas por rangos de edad se observe el mismo patrón del gráfico para las tres fuentes (Véase Figura 64 a la 66): Las dosis medias de exposición estimadas son mayores para los individuos entre 0-1 mes, 3-6

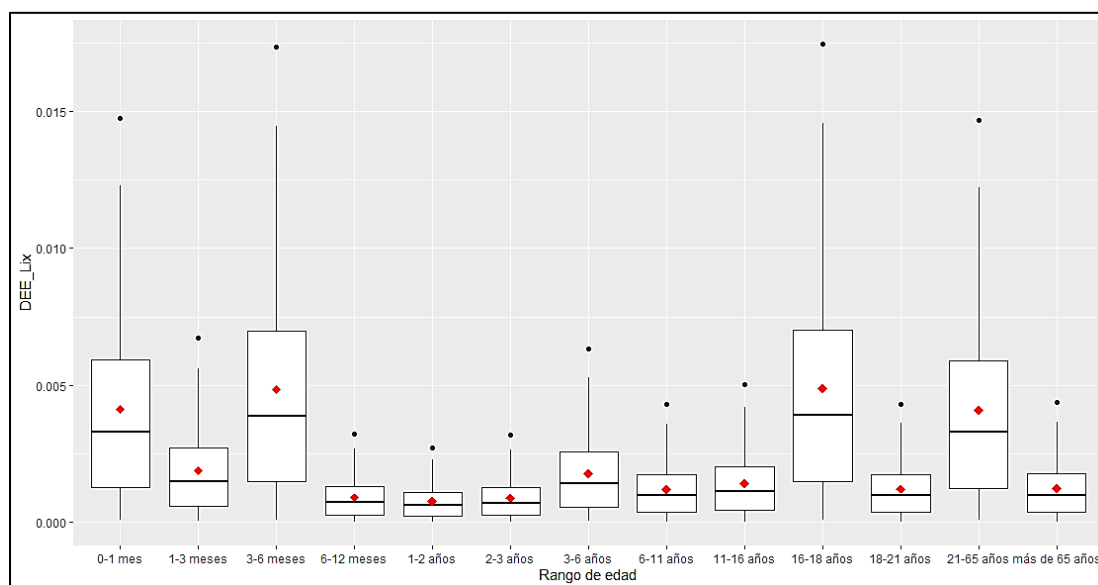
meses, 15-18 años, y 21-65 años. Las cuales difieren significativamente de las dosis medias de exposición obtenidas para los individuos con edades entre los 6 meses y 3 años.

Figura 64. Dosis medias de exposición estimadas DEEEs por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición y la concentración.



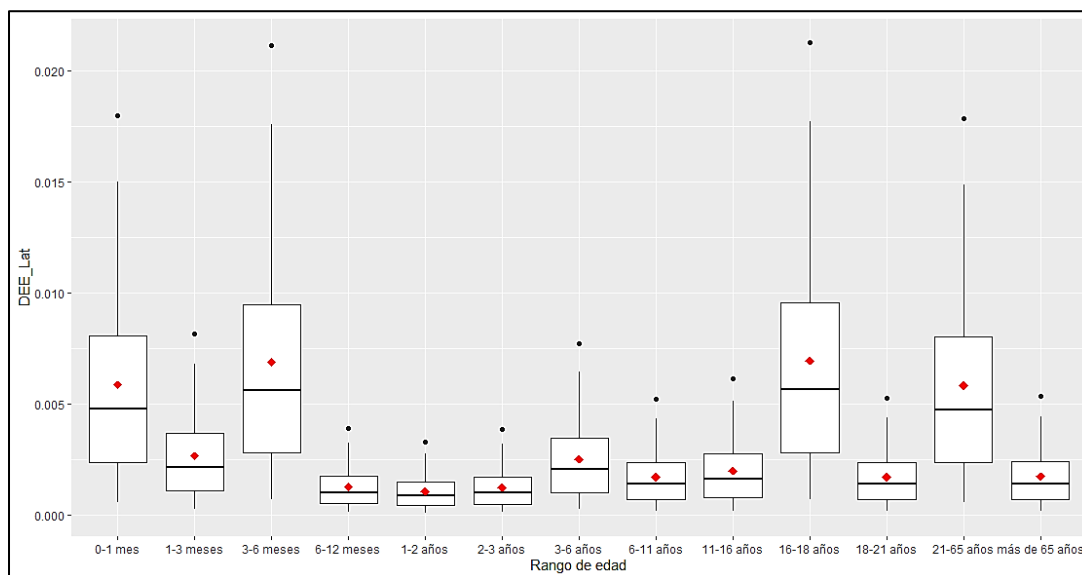
Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Figura 65. Dosis medias de exposición estimadas DEELix por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición y la concentración.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

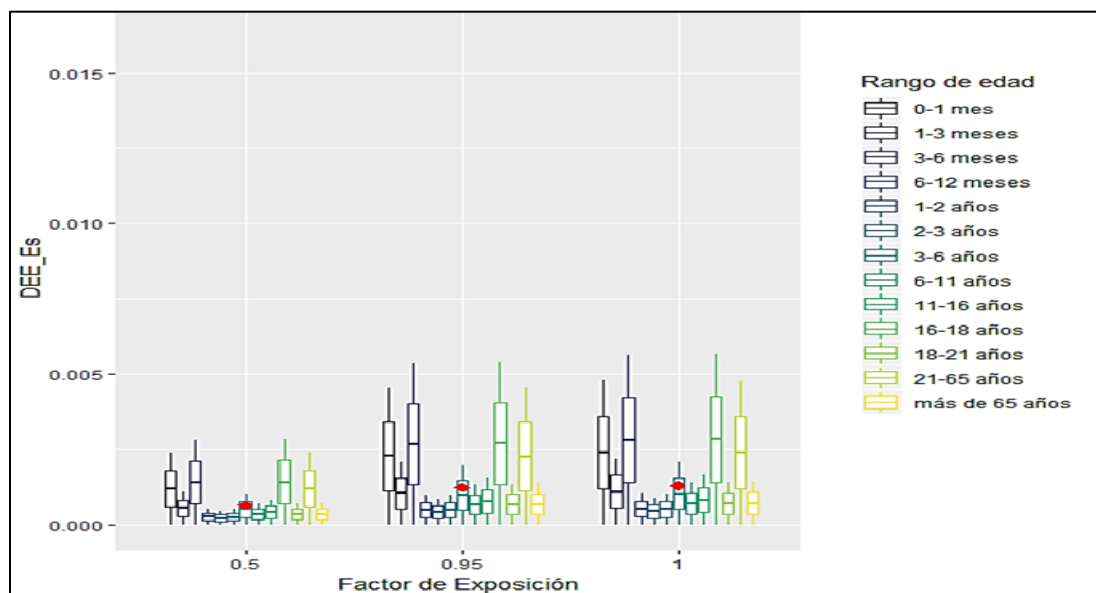
Figura 66. Dosis medias de exposición estimadas DEELat por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición y la concentración.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

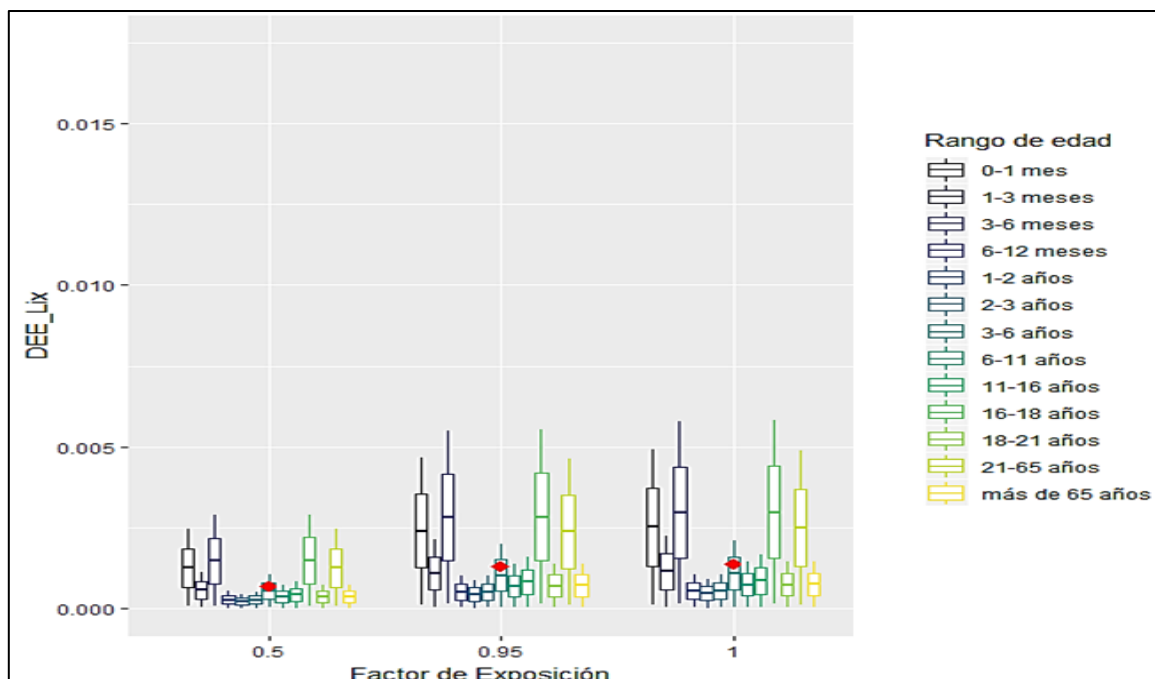
Al examinar el efecto del factor de exposición se observó, para las tres dosis de exposición estimadas, que el patrón de comportamiento por rangos de edad se mantiene para cada uno de los factores de exposición considerados. No obstante, las dosis de estimación tienden a aumentar significativamente, conforme lo hace el factor de exposición (Ver Figura 67 y 68).

Figura 67. Dosis medias de exposición estimadas DEEEs por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición.



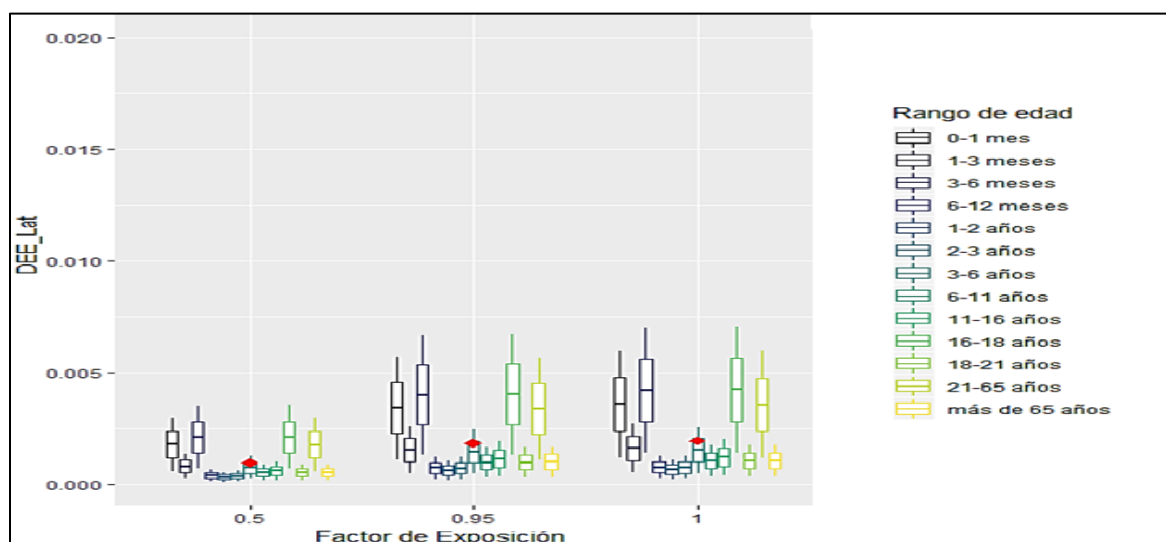
Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Figura 68. Dosis medias de exposición estimadas DEELix por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Figura 69. Dosis medias de exposición estimadas DEELat por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para el factor de exposición.

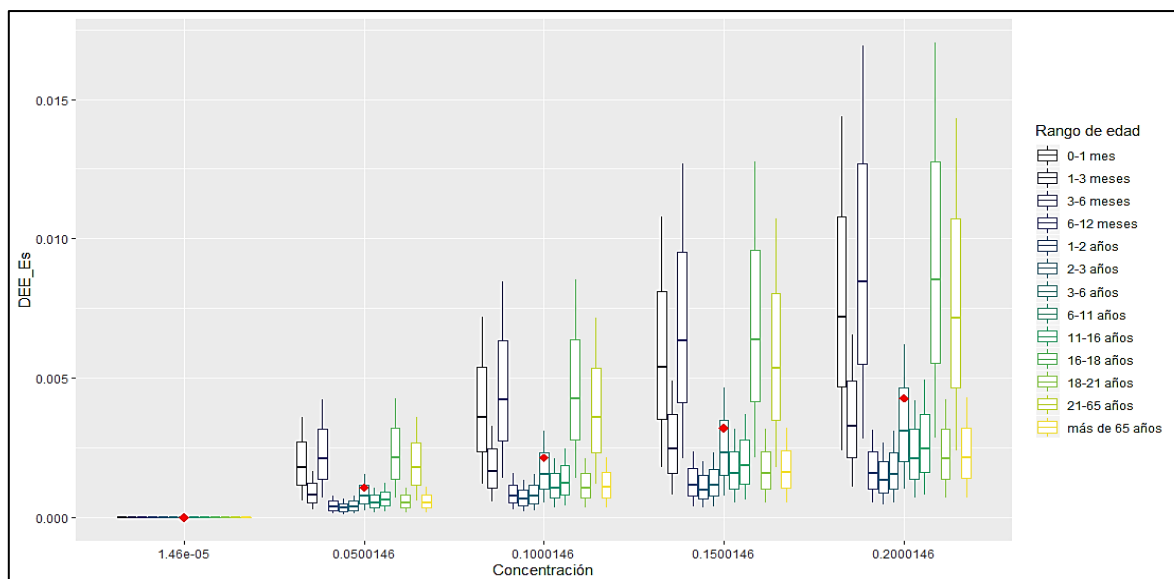


Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Con respecto al efecto de las concentraciones, de las Figuras 70, 71 y 72, se observa que, si bien se mantienen los patrones de comportamiento por rangos de edad en las tres dosis de exposición estimadas, la concentración que tiene un mayor efecto en la respuesta es la

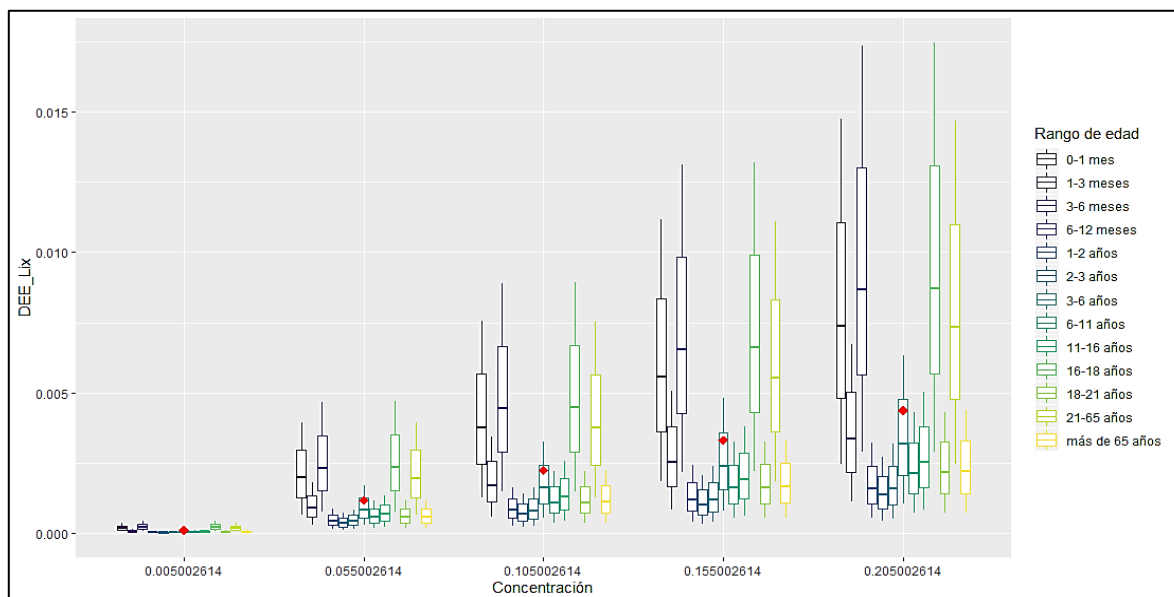
relacionada con la concentración que fluye lateralmente hacia la corriente de agua, seguida por la ligada a la concentración que se lixivia en el suelo.

Figura 70. Dosis medias de exposición estimadas DEEEs por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para la concentración.



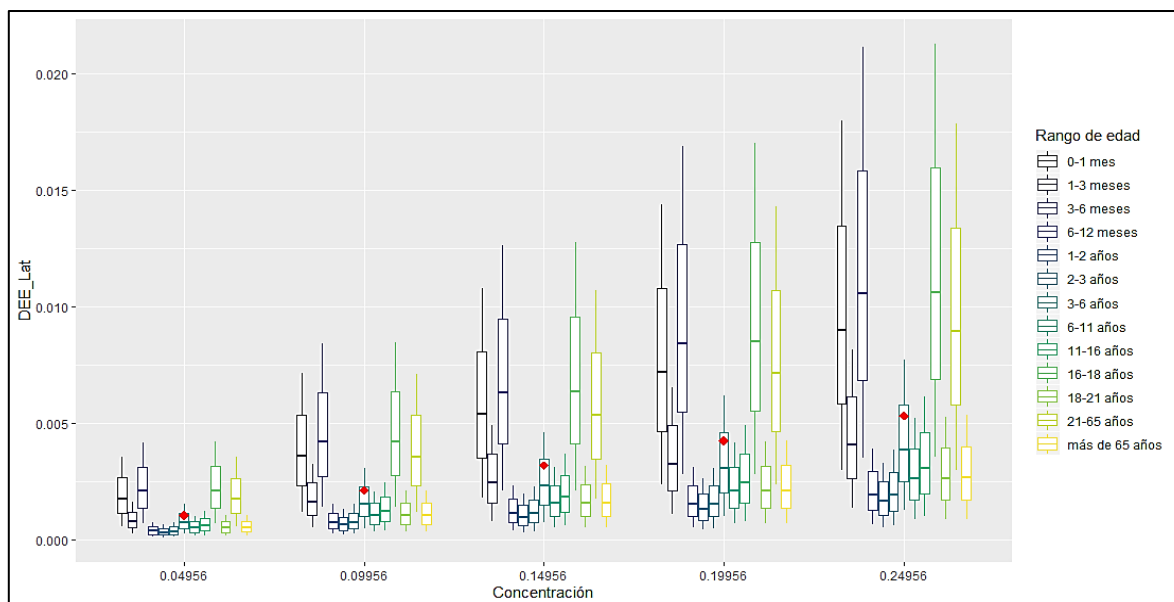
Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Figura 71. Dosis medias de exposición estimadas DEELix por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para la concentración.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Figura 72. Dosis medias de exposición estimadas DEELat por rangos de edad, cuando se asumen valores límites para la concentración.



Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Las dosis medias de exposición al glifosato, al variar las concentraciones de glifosato y su factor de exposición, para las tres fuentes consideradas se muestran en las Tablas 56, 57 y 58.

Tabla 56. Efecto de la concentración de glifosato y el factor de exposición sobre la dosis media de exposición estimada para escorrentía

Factor de exposición	Niveles de concentraciones					Total
	0,00001462	0,05001462	0,10001462	0,15001462	0,20001462	
0,50	9,55 E-08	0,0003266	0,0006531	0,0009796	0,0013061	0,0006531
0,95	1,81 E-07	0,0006205	0,0012409	0,0018612	0,0024817	0,0012409
1,00	1,91 E-07	0,0006532	0,0013062	0,0019592	0,0026123	0,0013062
Total	3,12 E-07	0,0010685	0,0021366	0,0032048	0,0042729	0,0021366

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Tabla 57. Efecto de la concentración de glifosato y el factor de exposición sobre la dosis media de exposición estimada de flujo lateral hacia corriente de agua.

Factor de exposición	Niveles de concentraciones					Total
	0,0495600	0,0995600	0,1495600	0,1995600	0,2495600	
0,50	0,0003236	0,0006502	0,0009767	0,0013032	0,0016297	0,0009767
0,95	0,0006150	0,0012353	0,0018557	0,0024760	0,0030964	0,0018557
1,00	0,0006473	0,0013003	0,0019533	0,0026063	0,0032594	0,0019533
Total	0,0010588	0,0021269	0,0031951	0,0042632	0,0053314	0,0031951

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Tabla 58. Efecto de la concentración de glifosato y el factor de exposición sobre la dosis media de exposición estimada para lixiviación.

Factor de exposición	Niveles de concentraciones					Total
	0,0050026	0,0550026	0,1050026	0,1550026	0,2050026	
0,50	3,27E-05	0,0003592	0,0006857	0,0010122	0,0013387	0,0006857
0,95	6,21E-05	0,0006824	0,0013028	0,0019232	0,0025436	0,0013028
1,00	6,53E-05	0,0007184	0,0013714	0,0020244	0,0026774	0,0013714
Total	0,0001069	0,0011750	0,0022432	0,0033113	0,0043795	0,0022432

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

5.5.3 Especificación matemática de la dosis de exposición estimada para rangos específicos: pesos promedio y pesos de delgadez crítica

Las dosis de exposición estimadas para de los nuevos rangos de edades en cada una de las vías de exposición se muestran a continuación.

Las dosis de exposición estimadas de personas según sexo con piel sana ($kp = 0,0000595 \text{ cm/hora}$), factores de exposición de 9 días (DEE_9), 38 días (DEE_{38}) y un año (DEE_{365}), según su tipo de peso (normal o bajo) se muestran en la Tabla 59, respectivamente.

Puede observarse, que para una persona con un peso normal, la dosis de exposición dérmica aumenta conforme lo hace los días de exposición, e independientemente del sexo y el factor de

exposición, existe una relación proporcional directa entre la edad y la dosis de exposición estimada, observándose en mayor medida, aunque no muy marcado, que afecta a los niños y niñas con edades de cinco años.

Tabla 59. Dosis de exposición estimada para vía dérmica para una persona con peso normal

Grupo	Edad (años)	Área superficial dérmica promedio (cm ²)	Peso medio	DEE_9	DEE_{38}	DEE_{365}
Masculino	5	7600	18,30	4,91 E-05	0,0002072	0,0019899
	10	10800	31,40	4,06 E-05	0,0001716	0,0016481
	15	15900	52,20	3,60 E-05	0,0001519	0,0014595
	25	20500	67,10	3,61 E-05	0,0001524	0,0014639
	35	21000	70,40	3,52 E-05	0,0001488	0,0014293
	45	21500	70,70	3,59 E-05	0,0001517	0,0014571
	60	21100	68,70	3,63 E-05	0,0001532	0,0014716
Femenino	5	7600	18,20	4,93 E-05	0,0002083	0,0020009
	10	10800	31,10	4,10 E-05	0,0001732	0,0016639
	15	15900	51,50	3,65 E-05	0,0001540	0,0014793
	25	18100	58,20	3,67 E-05	0,0001551	0,0014902
	35	18500	62,10	3,52 1E-05	0,0001486	0,0014274
	45	18800	64,30	3,45 E-05	0,0001458	0,0014009
	60	18900	63,10	3,54 E-05	0,0001494	0,0014352

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Según la Tabla 60, es mayor la dosis de exposición vía dérmica en personas de cinco años respecto a personas de 10 y 15 años, detallándose además que son los menores de sexo masculino y de esta edad quienes tienen mayor riesgo en la dosis de exposición respecto a las niñas de la misma edad, con una relación de 2,4:1.

Al calcular la dosis de exposición vía dérmica por rango de edad y sexo en personas con bajo peso, se observaron cambios en los menores de 10 años sin importar el sexo, identificándose un aumento en la dosis de exposición para estas personas (Ver Tabla 60)

Por su parte en la Tabla 61, se observa un aumento en ambos sexos en la dosis de exposición vía dérmica para las personas de 25 años y más, pero siendo mayor este indicador en los hombres.

Tabla 60. Dosis de exposición estimada para vía dérmica para personas de 5, 10 y 15 años con bajo peso

Género	Edad	Área superficial dérmica promedio (cm ²)	Peso medio	DEE ₉	DEE ₃₈	DEE ₃₆₅
Masculino	5	7.600	16,75	5,32E-04	2,12E-04	0,0020939
	10	10.800	28,21	4,52E-05	1,91E-04	0,0018344
	15	15.900	52,20	3,60E-05	1,52E-04	0,0014595
Femenino	5	7.600	16,61	5,41E-05	2,28E-04	0,0021924
	10	10.800	28,48	4,48E-05	1,89E-04	0,0018170
	15	15.900	51,50	3,65E-05	1,54E-04	0,0014793

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Tabla 61. Dosis de exposición estimada para vía dérmica para personas de 25 años o más, años con bajo peso

Municipio	Género	Edad	Área superficial dérmica promedio (cm ²)	Peso medio	DEE ₉	DEE ₃₈	DEE ₃₆₅
San José del Guaviare	Masculino	25	20.500	48,08	5,04E-05	2,13E-04	2,04E-03
		35	21.000	46,05	5,39E-05	2,28E-04	2,19E-03
		45	21.500	47,67	5,33E-05	2,25E-04	2,16E-03
		60	21.100	46,68	5,34E-05	2,25E-04	2,17E-03
	Femenino	25	18.100	48,08	4,45E-05	1,88E-04	1,80E-03
		35	18.500	46,05	4,75E-05	2,00E-04	1,93E-03
		45	18.800	47,67	4,66E-05	1,97E-04	1,89E-03
		60	18.900	46,68	4,78E-05	2,02E-04	1,94E-03
Cumaribo	Masculino	25	20.500	48,08	5,04E-05	2,13E-04	2,04E-03
		35	21.000	46,05	5,39E-05	2,28E-04	2,19E-03
		45	21.500	47,67	5,33E-05	2,25E-04	2,16E-03
		60	21.100	46,68	5,34E-05	2,25E-04	2,17E-03
	Femenino	25	18.100	48,08	4,45E-05	1,88E-04	1,80E-03
		35	18.500	46,05	4,75E-05	2,00E-04	1,93E-03
		45	18.800	47,67	4,66E-05	1,97E-04	1,89E-03
		60	18.900	46,68	4,78E-05	2,02E-04	1,94E-03
El Retorno	Masculino	25	20.500	46,67	5,19E-05	2,19E-04	2,10E-03
		35	21.000	47,55	5,22E-05	2,20E-04	2,12E-03
		45	21.500	47,57	5,34E-05	2,25E-04	2,17E-03
		60	21.100	47,23	5,28E-05	2,23E-04	2,14E-03
	Femenino	25	18.100	46,67	4,58E-05	1,93E-04	1,86E-03
		35	18.500	47,55	4,60E-05	1,94E-04	1,86E-03
		45	18.800	47,57	4,67E-05	1,97E-04	1,89E-03

Municipio	Género	Edad	Área superficial dérmica promedio (cm ²)	Peso medio	DEE ₉	DEE ₃₈	DEE ₃₆₅
		60	18.900	47,23	4,73E-05	2,00E-04	1,92E-03
Mapiripan	Masculino	25	20.500	45,98	5,27E-05	2,22E-04	2,14E-03
		35	21.000	45,09	5,50E-05	2,32E-04	2,23E-03
		45	21.500	44,12	5,76E-05	2,43E-04	2,33E-03
		60	21.100	45,67	5,46E-05	2,30E-04	2,21E-03
	Femenino	25	18.100	45,98	4,65E-05	1,96E-04	1,89E-03
		35	18.500	45,09	4,85E-05	2,05E-04	1,97E-03
		45	18.800	44,12	5,03E-05	2,13E-04	2,04E-03
		60	18.900	45,67	4,89E-05	2,06E-04	1,98E-03

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Para las vías de exposición inhalatoria y oral por ingesta de agua (Ver Tablas 62 y 66) también se tiene que es mayor la dosis de exposición estimada en las edades tempranas con respecto a las personas de mayor edad, esto debido a que la cantidad de aire inspirado y de agua consumida con relación al peso, es mayor en los niños que en los adultos.

Al estimar la dosis de exposición para la vía inhalatoria y en personas con bajo peso, se observa que la dosis de exposición al igual que para las personas con peso normal, tiende a estabilizarse a partir de los 16 años, independientemente del sexo. Sin embargo, se observa un incremento en la dosis de exposición para las personas con bajo peso y sobre todo en los niños y niñas de cinco años.

Por su parte, para la dosis de exposición vía oral- ingesta, calculada en personas con bajo peso, se observó también un cambio significativo para todos los grupos de edad y ambos sexos (Tablas 63, 64 y 66).

Tabla 62. Dosis de exposición estimada para vía inhalatoria para una persona con peso normal

Género	Edad	TC (m ³ /día)	Peso medio	DEE (mg/kg-día)
Masculino	5	10,10	18,30	0,4691257
	10	12,00	31,40	0,3248408
	15	15,20	52,20	0,2475096
	25	15,70	67,10	0,1988823
	35	16,00	70,40	0,1931818
	45	16,00	70,70	0,1923621
	60	15,70	68,70	0,1942504
Femenino	5	10,10	18,20	0,4717033
	10	12,00	31,10	0,3279743
	15	15,20	51,50	0,2508738

Género	Edad	TC (m ³ /día)	Peso medio	DEE (mg/kg-día)
	25	15,70	58,20	0,2292955
	35	16,00	62,10	0,2190016
	45	16,00	64,30	0,2115086
	60	15,70	63,10	0,2114897

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Tabla 63. Dosis de exposición estimada para vía inhalatoria para personas de 5, 10 y 15 años con bajo peso

Género	Edad	TC (m ³ /día)	Peso medio	DEE (mg/kg-día)
Masculino	5	10,10	16,75	0,5218519
	10	12,00	28,21	0,3615739
	15	15,20	52,20	0,2475096
Femenino	5	10,10	16,61	0,5168573
	10	12,00	28,48	0,3581461
	15	15,70	51,50	0,2591262

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Tabla 64. Dosis de exposición estimada para vía inhalatoria para personas de 25 años o más, años con bajo peso

Municipio	Edad	TC (m ³ /día)	Peso medio	DEE (mg/kg-día)
San José del Guaviare	25	15,70	48,08	0,2775600
	35	16,00	46,05	0,2953600
	45	16,00	47,67	0,2853000
	60	15,70	46,68	0,2858600
Cumaribo	25	15,70	46,49	0,2870500
	35	16,00	45,19	0,3009500
	45	16,00	45,95	0,2959500
	60	15,70	45,40	0,2939100
El Retorno	25	15,70	46,67	0,2859200
	35	16,00	47,55	0,2860200
	45	16,00	47,57	0,2858900
	60	15,70	47,23	0,2825700
Mapiripan	25	15,70	45,98	0,2902400
	35	16,00	45,09	0,3015900
	45	16,00	44,12	0,3082400
	60	15,70	45,67	0,2921800

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Tabla 65. Dosis de exposición estimada para vía oral –ingesta de agua - para una persona con peso normal

Género	Edad	Peso medio (kg)	TC(m ³ /día)	DEE (mg/kg-día)
Masculino	5	18,30	0,000382	1,22 E-06
	10	31,40	0,000511	9,49 E-07
	15	52,20	0,000637	7,11 E-07
	25	67,10	0,00127	1,10 E-06
	35	70,40	0,00127	1,05 E-06
	45	70,70	0,00127	1,05 E-06
	60	68,70	0,00129	1,09 E-06
Femenino	5	18,20	0,000382	1,22 E-06
	10	31,10	0,000511	9,58 E-07
	15	51,50	0,000637	7,21 E-07
	25	58,20	0,00127	1,27 E-06
	35	62,10	0,00127	1,19 E-06
	45	64,30	0,00127	1,15 E-06
	60	63,10	0,00129	1,19 E-06

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Tabla 66. Dosis de exposición estimada para vía oral –ingesta de agua- de personas de 5, 10 y 15 años con bajo peso

Género	Edad	Peso medio (kg)	TC(m ³ /día)	DEE (mg/kg-día)
Masculino	5	16,75	0,000382	0,0004851
	10	28,21	0,000511	0,0003855
	15	52,20	0,000637	0,0002597
Femenino	5	16,61	0,000382	0,0004894
	10	28,48	0,000511	0,0003818
	15	51,50	0,000637	0,0002632

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Tabla 67. Dosis de exposición estimada para vía oral –ingesta de agua- de personas 25 años o más, años con bajo peso

Municipio	Edad	Peso medio (kg)	TC(m ³ /día)	DEE (mg/kg-día)
San José del Guaviare	25	48,08	0,00127	0,000562
	35	46,05	0,00127	0,000587
	45	47,67	0,00127	0,000567
	60	46,68	0,00129	0,000588
Cumaribo	25	46,49	0,00127	0,000581
	35	45,19	0,00127	0,000598
	45	45,95	0,00127	0,000588
	60	45,41	0,00129	0,000605
El Retorno	25	46,67	0,00127	0,000579
	35	47,55	0,00127	0,000568
	45	47,57	0,00127	0,000568
	60	47,23	0,00129	0,000581
Mapiripan	25	45,98	0,00127	0,000588
	35	45,09	0,00127	0,000599
	45	44,12	0,00127	0,000612
	60	45,68	0,00129	0,000601

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Con respecto a las dosis de exposición estimadas en los tres alimentos considerados (Ver Tabla 68) se encontró que la dosis de exposición para una persona de peso normal es mayor en el arroz que en el tomate y el limón, independientemente del sexo y la edad.

Tabla 68. Dosis de exposición estimada para vía oral- ingesta de alimentos- para una persona sana con peso normal

Sexo	Edad	Peso medio (kg)	Arroz (g/día)	Tomate (g/día)	Limón (g/día)	DEE (arroz)	DEE (Tomate)	DEE (Limón)
Masculino	5	18,30	134,90	34,80	0,00	4,79E-05	1,34E-06	0,00E+00
	10	31,40	196,40	40,60	29,10	4,06E-05	9,11E-07	3,72E-07
	15	52,20	238,70	46,10	42,30	2,97E-05	6,22E-07	3,25E-07
	25	67,10	204,20	49,90	34,30	1,98E-05	5,24E-07	2,05E-07
	35	70,40	204,20	49,90	56,30	1,88E-05	4,99E-07	3,21E-07
	45	70,70	204,20	49,90	56,30	1,88E-05	4,97E-07	3,20E-07
	60	68,70	163,80	48,60	0,00	1,55E-05	4,98E-07	0,00E+00
Femenino	5	18,20	134,90	34,80	0,00	4,82E-05	1,35E-06	0,00E+00
	10	31,10	196,40	40,60	29,10	4,10E-05	9,20E-07	3,76E-07

Sexo	Edad	Peso medio (kg)	Arroz (g/día)	Tomate (g/día)	Limón (g/día)	DEE (arroz)	DEE (Tomate)	DEE (Limón)
	15	51,50	196,40	40,60	29,10	2,48E-05	5,55E-07	2,27E-07
	25	58,20	204,20	49,90	34,30	2,28E-05	6,04E-07	2,37E-07
	35	62,10	204,20	49,90	56,30	2,14E-05	5,66E-07	3,64E-07
	45	64,30	204,20	49,90	56,30	2,06E-05	5,47E-07	3,52E-07
	60	63,10	163,80	48,60	0,00	1,69E-05	5,43E-07	0,00E+00

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Tabla 69. Dosis de exposición estimada para vía oral -ingesta de alimentos- de personas con bajo peso

Género	Edad	Peso medio (kg)	Arroz (g/día)	Tomate (g/día)	Limón (g/día)	DEE (arroz)	DEE (Tomate)	DEE (Limón)
Masculino	5	18,30	134,90	34,80	0,00	4,79E-05	1,34E-06	0,00E+00
	10	31,40	196,40	40,60	29,10	4,06E-05	9,11E-07	3,72E-07
	15	52,20	238,70	46,10	42,30	2,97E-05	6,22E-07	3,25E-07
	25	67,10	204,20	49,90	34,30	1,98E-05	5,24E-07	2,05E-07
	35	70,40	204,20	49,90	56,30	1,88E-05	4,99E-07	3,21E-07
	45	70,70	204,20	49,90	56,30	1,88E-05	4,97E-07	3,20E-07
	60	68,70	163,80	48,60	0,00	1,55E-05	4,98E-07	0,00E+00
Femenino	5	18,20	134,90	34,80	0,00	4,82E-05	1,35E-06	0,00E+00
	10	31,10	196,40	40,60	29,10	4,10E-05	9,20E-07	3,76E-07
	15	51,50	196,40	40,60	29,10	2,48E-05	5,55E-07	2,27E-07
	25	58,20	204,20	49,90	34,30	2,28E-05	6,04E-07	2,37E-07
	35	62,10	204,20	49,90	56,30	2,14E-05	5,66E-07	3,64E-07
	45	64,30	204,20	49,90	56,30	2,06E-05	5,47E-07	3,52E-07
	60	63,10	163,80	48,60	0,00	1,69E-05	5,43E-07	0,00E+00

Fuente: Elaboración a partir de los resultados - Contrato 1097/2019.

Con relación a la evaluación de la exposición se planteó un modelo determinístico que permitió cuantificar las dosis de exposición estimadas para distintas vías de exposición tomando como

parámetros de entrada a los valores fijos e intervalos de valores especificados en la literatura en estudios relacionados con el glifosato. Se consideró el efecto del bajo peso en la dosis de exposición estimada, y se encontró que es posible que las personas con un bajo peso tengan mayores dosis de exposición que aquellas que tienen un peso normal.

Según lo observado, la vía más efectiva para la transferencia de glifosato a las personas es la vía inhalatoria debido a que por esta vía se logra una absorción mucho más efectiva del toxico así como una acumulación mal alta en el medio aéreo; la vía dérmica es la segunda vía más importante de transferencia de glifosato, derivado de la contaminación de las fuentes de agua, sin embargo, es importante resaltar que esta exposición varía según la forma de contaminación de las aguas, ya sea por escorrentía o desplazamiento lateral. Finalmente la vía de ingesta de alimentos contaminados, según los modelos realizados, presenta menor efectividad en la transferencia de glifosato, pero es la vía de exposición más importante para las personas que no viven cerca de los sitios de aspersión directa.

Teniendo en cuenta el contexto del programa aspersión propuesto por la DIRAN y a la luz de los resultados obtenidos en los numerales 5.4. Y 5.5. Se recomienda evaluar con información de fuente primaria de cada una de las posibles zonas identificadas para aspersión, la `posible existencia de escenarios de exposición ocupacional.

Se puede considerar que a partir de los resultados obtenidos de la deriva de deposición de la mezcla, que en una longitud de aproximadamente 150 m partiendo del borde del área objetivo se configura un escenario de exposición ambiental directo a la población (dado el caso que alguna esté localizada en ese radio de acción). Llegar a establecer categorías (alta, media, baja) en esos escenarios tendrá mayor relevancia una vez se cuenten con las caracterizaciones de las variables socioeconómicas y ambientales de las poblaciones objetivo del proyecto de aspersión con glifosato.

Los resultados acá presentados en relación con la evaluación de la exposición y ejercicio matemático desarrollado son producto de la búsqueda y recolección de información de la región estudiada (Orinoquia); Se trabajó con datos simulados soportados en la literatura, buscando mejorar la exactitud y precisión de los modelos llevados a cabo.

Con la información que se obtuvo se establece que, posiblemente, el uso de herbicidas como el glifosato no solo puede tener impacto sobre la salud humana, sino además en la salud ambiental; por lo tanto, se pueden plantear estrategias que permiten teóricamente acercarse al impacto que puede generar el uso de glifosato sobre el medio ambiente.

Se dispone entre diferentes elementos del modelo de fuerzas motrices (FM), (Anexo 4) el cual involucra categorías, definidas como las condiciones de carácter estructural tanto sociales, económicas y demográficas que afectan las condiciones ambientales en un territorio específico. La FM es la categoría donde las condiciones y los riesgos ambientales pueden desarrollarse o evitarse. Desde una perspectiva de determinación social, las fuerzas motrices se derivan de los

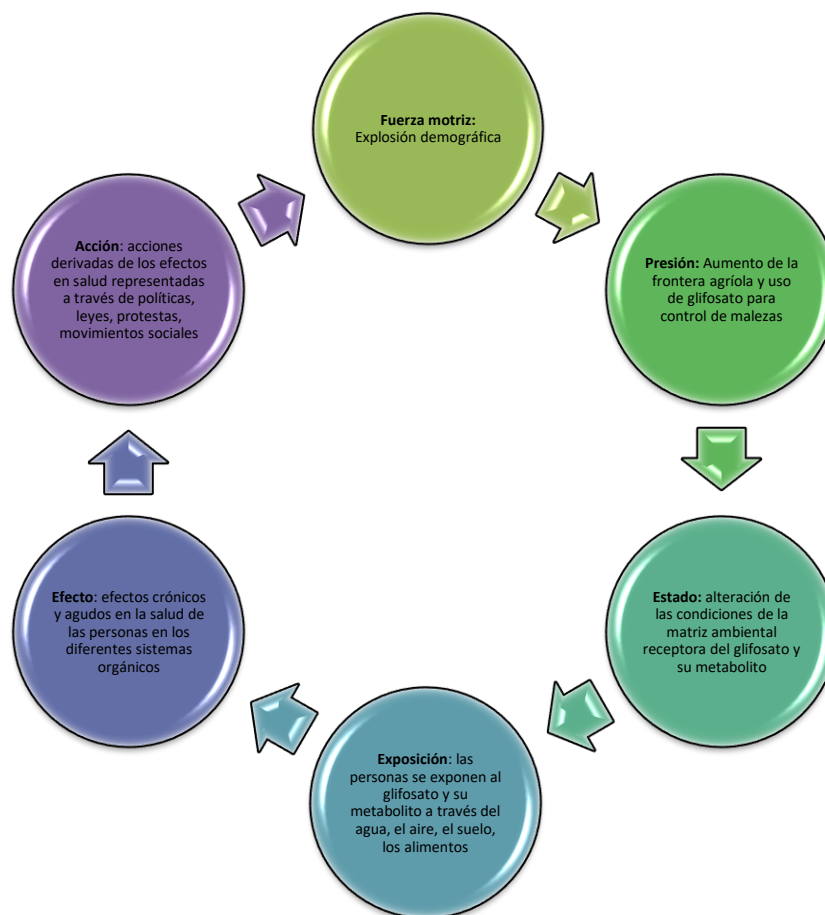
procesos de producción, distribución y consumo que se definen en una determinada sociedad y que no corresponden con asuntos individuales sino más estructurales. Es decir, son los seres humanos insertos en ciertas condiciones quienes a través de los procesos de producción, distribución y consumo generan las condiciones o los riesgos que pueden afectar la salud humana. Es en estos procesos que se impulsan actividades capaces de impactar negativamente el ambiente, redundando en efectos adversos a la salud de la población(316).

El modelo de Fuerzas motrices o modelo Presión- Estado – Respuesta o FPEIR o FPEEEA establece la (E) Exposición como una de las dimensiones del modelo que sirve para explicar de una manera teórica los problemas que se enmarcan en el campo de la salud ambiental. La exposición procede del (Es) Estado de afectación de las matrices ambientales donde es depositado/acumulado el contaminante químico, en este caso es el depósito del glifosato y de sus metabolitos en agua, aire, suelo, flora, fauna, alimentos. A su vez la exposición precede al (Ef) efecto sobre ecosistemas y sobre la salud de las comunidades, tanto a nivel agudo como crónico.

La evaluación del riesgo ecológico, basado en un modelo desarrollado para la evaluación de riesgos a la salud humana, identifica las rutas y mecanismos de exposición a agentes que producen impactos deletéreos en los ecosistemas. A diferencia de la usada para determinación de riesgos en humanos donde la evaluación se enfoca en una sola especie y en un problema específico, el riesgo ecológico ha tenido que para enfocarse, escoger entre miles de especies para lo cual es imposible seleccionar una sola especie como representativa del sistema, la cual sirva como guardián o centinela de protección para las demás especies del mismo. También, es muy difícil generalizar ya que cada ecosistema es único en sus características y complejo en su estructura. Así, los ecosistemas pueden ser terrestres o acuáticos y pueden ir desde escalas muy pequeñas hasta por ejemplo la cuenca completa de un río(316).

A través del siguiente esquema se puede representar gráficamente el modelo de Fuerzas Motrices y su interacción con la exposición (Figura 73).

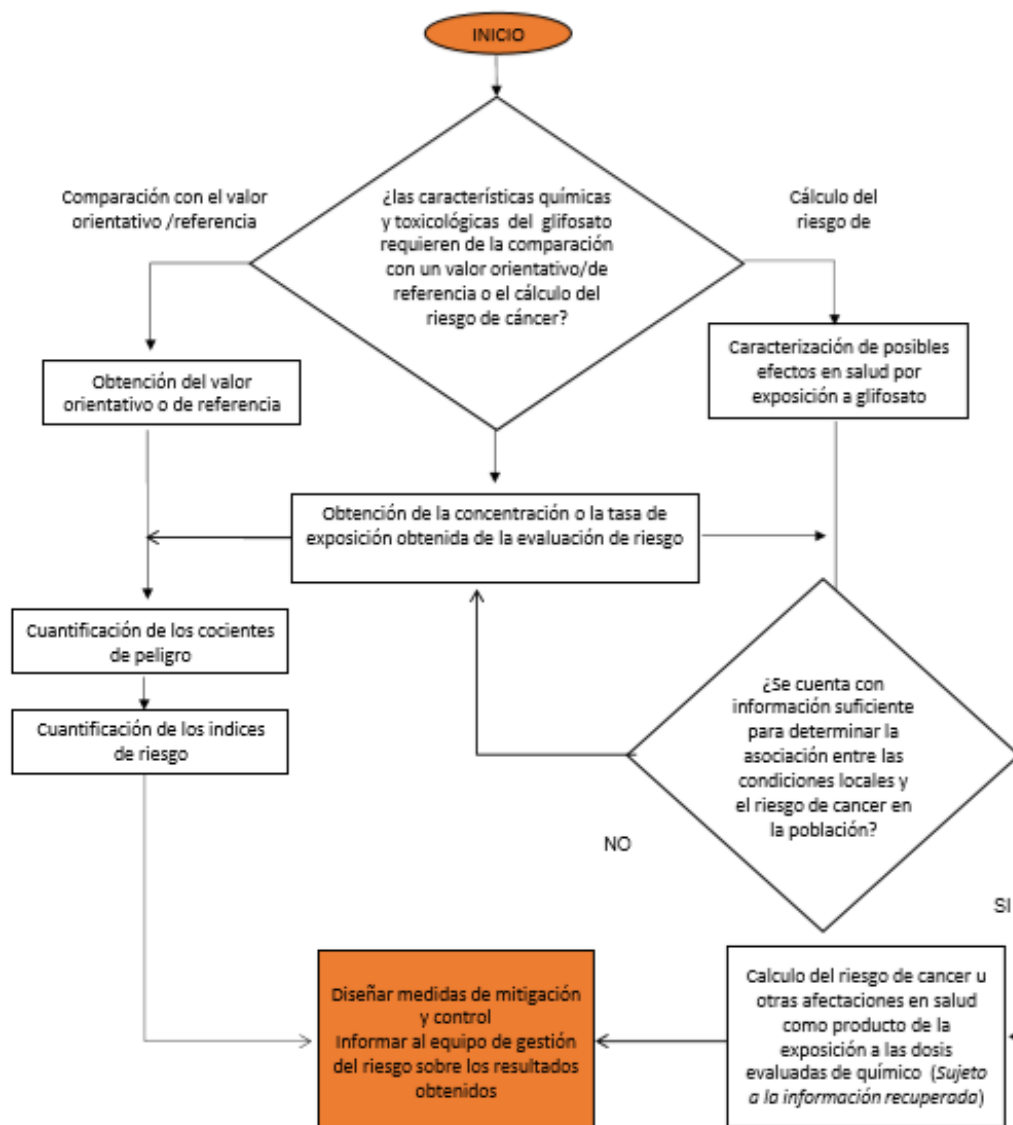
Figura 73. Fuerzas motrices y exposición



Fuente: Adaptado de Modelo De Fuerzas Motrices En El Marco De La Dimensión De Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Pública Herramienta para la evaluación de riesgos en salud-OMS

6. CAPÍTULO SEIS: CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

Figura 74. Hoja de ruta genérica para la caracterización del riesgo- estudio: Glifosato



Fuente: Herramienta para la evaluación de riesgos en salud-OMS

6.1 Características geográficas, demográficas y sanitarias de los departamentos y municipios estudiados

Para la interpretación de los resultados obtenidos de los análisis de situación de salud (ASIS) de los departamentos estudiados, se tuvo en cuenta el mismo periodo de tiempo que se utilizó para la búsqueda de literatura (2009-2018), esto con el fin de identificar y describir el comportamiento de las condiciones de exposición, posibles efectos para la salud y lo relacionado con la atención sanitaria durante los momentos en que se llevaron a cabo actividades de aspersión (antes del año 2015) y una vez entró en vigencia la medida de precaución que ordenó la suspensión de las aspersiones aéreas en el territorio nacional (después del año 2015 a la fecha).

De los tres capítulos que contienen los análisis de situación de salud, para la caracterización de las condiciones de interés para esta evaluación, se tomó información básica de las condiciones territoriales, demográficas y sanitarias de las regiones estudiadas. De igual forma, se extrajo información específica de trece indicadores del capítulo que tiene que ver con el *“abordaje de los efectos en salud y sus determinantes”*. Los indicadores que se incluyeron en el procesamiento y posterior análisis, son los que entregan las bases de datos consultadas en SISPRO y para el tiempo de consulta establecido, a continuación se describen estos indicadores:

- Mortalidad general
- Mortalidad por grandes causas
- Mortalidad por sexo
- Mortalidad por grupo de edad
- Morbilidad atendida por curso de vida
- Morbilidad atendida por área de residencia
- Morbilidad atendida por sexo
- Eventos de alto costo
- Eventos de notificación obligatoria (ENOS)
- Servicios públicos
- Condiciones de trabajo
- Prevalencia de fumadores
- Instituciones prestadoras de servicios de salud (IPS)

Es necesario aclarar, que los indicadores incluidos para conocer la situación de salud de los municipios tenidos en cuenta para la evaluación de riesgos, fueron seleccionados de acuerdo a los objetivos de la misma y según la evidencia científica recuperada en relación a los posibles efectos para la salud por exposición a glifosato. Sin embargo, no se encontró toda la información para todos los indicadores (morbilidad atendida por área de residencia, condiciones de trabajo, prevalencia de fumadores, IPS).

Para los indicadores: enfermedades alto costo y enfermedades de notificación obligatoria (ENOS), fueron clasificados cinco y diez eventos respectivamente, dado que según expertos

consultados (médicos toxicólogos) y literatura recuperada pueden estar asociados a la exposición a glifosato, las entidades tenidas en cuenta fueron (en su orden): Prevalencia (casos existentes) de enfermedad renal crónica con necesidad de terapia de restitución o reemplazo renal, número de personas con hipertensión arterial, incidencia (casos nuevos) de enfermedad renal crónica fase cinco (ERC-5) con necesidad de terapia de restitución o reemplazo renal, incidencia de leucemia aguda pediátrica mieloide en menores de 15 años y la incidencia de leucemia aguda pediátrica linfóide en menores de 15 años. Para las ENOS: Exposición a contaminantes relacionados con ERA, intoxicaciones por plaguicidas, intoxicaciones por otras sustancias químicas, intoxicación por solventes, eventos cardiovasculares, anomalías congénitas, cáncer de mama y cuello uterino, cáncer infantil, leucemia aguda pediátrica mieloide y leucemia aguda pediátrica linfóide.

A continuación se presenta la descripción de lo observado para el departamento y por municipio incluido para la evaluación de riesgo, considerando que la información obtenida para varios de los territorios no estaba completa, ni constante en los años observados.

6.1.1 Departamento del Meta

6.1.1.1 Características geográficas y territoriales

El Departamento del Meta está localizado en la región central del país entre los 04°54'25" y los 01°36'52" de latitud norte, y los 71°4'38" y 74°53'57" de longitud oeste. Su capital es Villavicencio principal centro urbano de la Orinoquía colombiana. Este departamento es uno de los más extensos del país, con un área de 85.770 km², que equivalen al 7,5% del territorio nacional. Además de esto el Meta posee una gran riqueza hídrica debido a los numerosos afluentes del río Orinoco que cruzan el departamento y que nacen en la Cordillera Oriental(317).

El departamento del Meta está dividido en 29 municipios, 115 inspecciones de policía, así como, numerosos caseríos y sitios poblados. El territorio está formado por tres grandes regiones fisiográficas; la primera la constituye la parte montañosa representada por el flanco oriental de la cordillera Oriental, con alturas que alcanzan los 4.000 m sobre el nivel del mar, ubicada en el occidente del departamento, en límites con los departamentos de Caquetá, Huila y Cundinamarca; la segunda corresponde al piedemonte o el área de transición entre la cordillera, la llanura, y la serranía de La Macarena, ubicada en forma casi perpendicular a la cordillera Oriental(318).

La red hídrica del Meta es compleja debido a la presencia de la cordillera y la serranía de La Macarena, a la cantidad y comportamiento estacional de las precipitaciones, factores que originan numerosos y caudalosos ríos, entre los que se destacan el Meta, Gabarra, Duda, Manacacías, Yucao, Guatiquía, Guayuriba, Ariari, Guacabía y Guaviare, río que en el sur marca límite con el departamento de Guaviare. Todos los ríos que se originan en el departamento

drenan hacia el río Orinoco, a excepción del río Macaya que hace parte de la cuenca del río Amazonas(318).

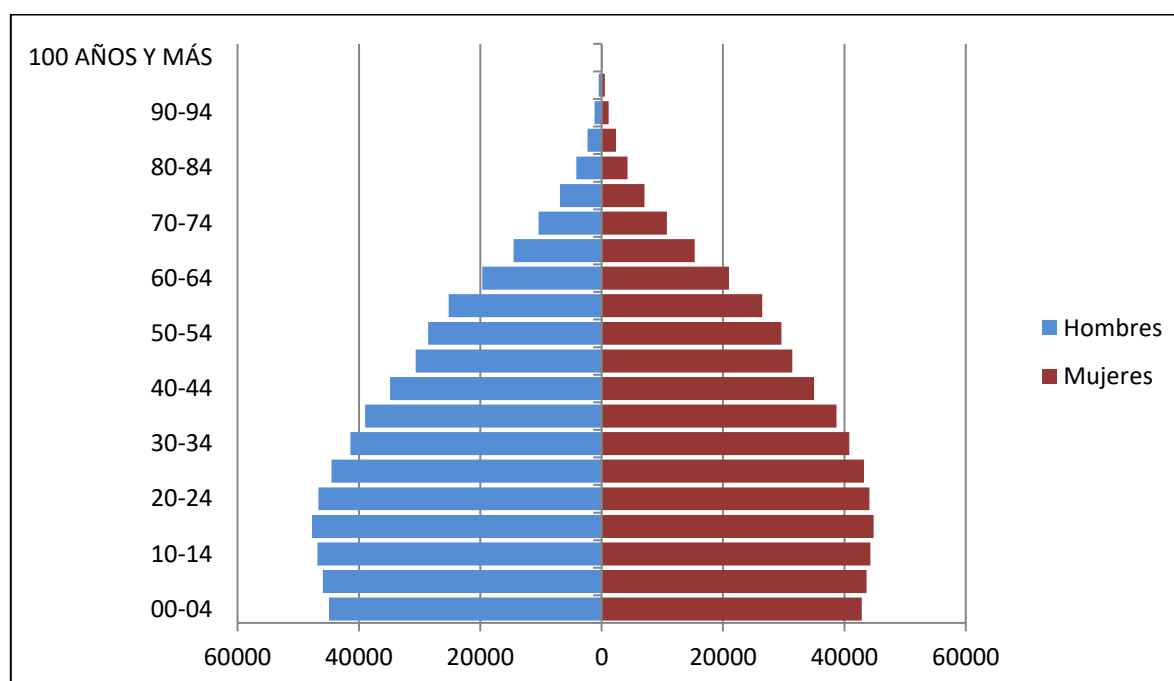
Según el ASIS nacional del año 2019, el Riesgo para consumo de agua potable del departamento es 18,8, clasificado como riesgo medio. En cuanto al reporte de afiliación de los trabajadores al Sistema General de Riesgos Laborales (SGRL), Meta hace parte de los ocho departamentos que se llevan el 9,57% de la proporción de afiliación de los trabajadores dependientes(319).

La misma fuente, entrega reportes sobre accidentes calificados de origen laboral; se observa entre 2013 y abril a 2018, se registraron 45.869 casos (11,76%) en los departamentos del Meta, Caldas, Tolima, Magdalena, Norte de Santander, Boyacá, Cesar y Cauca(319).

6.1.1.2 Características demográficas

Según las proyecciones poblacionales del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), para el año 2020 el departamento del Meta cuenta con 1.063.454 habitantes. Para este mismo año 2020, Villavicencio, capital de este departamento cuenta con 545.302 habitantes, representando el 51,2% de la población del departamento. Existen dos municipios con una población que supera los 60.000 habitantes: Acacías y Granada; cinco municipios con población entre 20.001 y 35.000 habitantes: Puerto López, La Macarena, Vista Hermosa, San Martín y Puerto Concordia; ocho municipios con población entre 10.001 y 20.000 habitantes; y trece municipios con población inferior a 10.000 habitantes. La edad promedio de la población es de 23 años. El 64,6% de la población vive en área urbana y el 35,4% vive en zona rural(318).

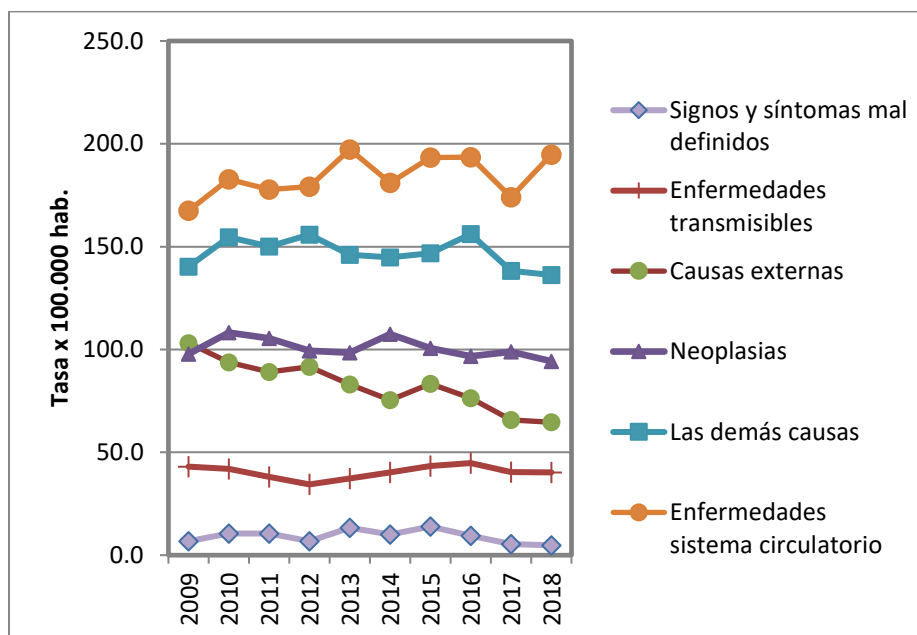
La distribución por sexo se encuentra de forma similar (50,8% hombres y 49,2% mujeres), y por edades de la población por edades indica que el 33,4% de la población es menor de 13 años, el 14,9% está entre 13 y 19 años y el 51,7% es mayor de 20 años, siendo la población entre 20 y 49 años equivalentes al 40,9% del total(318) (Figura 75).

Figura 75- Estructura poblacional Departamento del Meta 2020

Fuente: Proyecciones poblacionales- DANE 2020

6.1.1.3 Condiciones sanitarias

En el periodo estudiado (2009-2018), en el departamento se presentaron 4753 muertes por todas las causas, las mayores tasas de mortalidad para este periodo fueron las ocasionadas por enfermedades del sistema circulatorio, seguido de las muertes clasificadas en el grupo de las otras enfermedades. El año con la tasa de mortalidad general más alta fue el 2016 ($4,85/10^5$ hab.) y en el año 2013 fue el periodo en el que se presentaron más muertes por enfermedades del sistema circulatorio ($197,3/10^5$ hab.). La tercera causa de muerte en el departamento para los diez años analizados fueron las ocasionadas por las neoplasias, siendo el año 2010 con mayor número de casos ($108,2/10^5$ hab.) Figura 76.

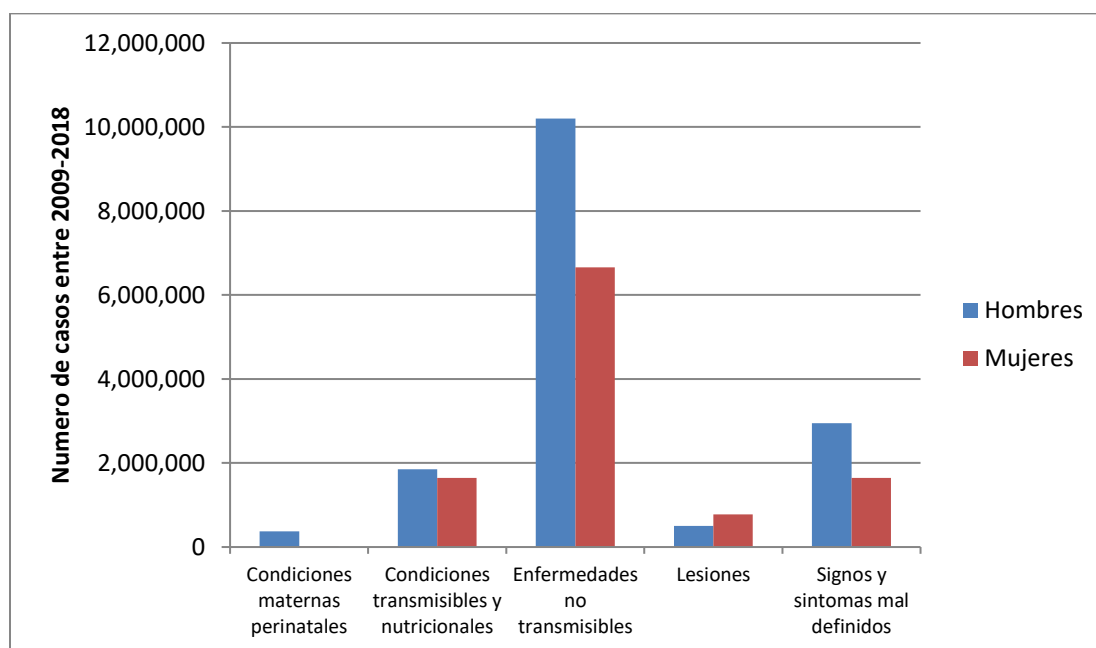
Figura 76. Mortalidad por grandes causas Departamento del Meta 2009-2018

Fuente: Construcción a partir de los datos observados en SISPRO-ASIS- Contrato 1097/2019

En cuanto al sexo, fue mayor la mortalidad en hombres, el año 2016 aportó mayor número de muertes con una tasa de (5,86/10⁰⁵ hab.), para este indicador demográfico por grupo de edad, se observaron 1359 casos en el año 2018 en las personas mayores de 80 años.

En cuanto a la morbilidad atendida por curso de vida se observó que el mayor número de personas diagnosticadas presentó enfermedades no transmisibles en todos los cursos arrojados por el cubo de datos, siendo mayor en las personas adultas (29 a 59 años- 4.214.765 casos), seguido de los adultos mayores (2.049.303). Para el año 2018 se observaron 40.160 casos en los menores entre 6 y 11 años, 56.748 menos que el año 2014, periodo donde se presentó mayor número de personas diagnosticadas con este tipo de enfermedades. En patologías asociadas a condiciones transmisibles y nutricionales el mayor número (46.124) se registró en la adultez.

Respecto a la morbilidad atendida por sexo, se observó un comportamiento similar al detallado en el indicador de mortalidad, donde el sexo masculino aportó de manera significativa a los casos observados respecto a las mujeres, con una relación 1,48:1, siendo en ambos sexos las enfermedades transmisibles las de mayor porcentaje de diagnóstico, en segundo lugar para los hombres los signos y síntomas mal definidos (1.078.479) para el año 2014 con tendencia a la baja, para las mujeres en ese mismo año el segundo diagnóstico observado fueron las condiciones transmisibles y nutricionales (156.856) y con el mismo comportamiento observado para los hombres Figura 77.

Figura 77. Morbilidad atendida por sexo, Departamento del Meta 2009-2018 (número de casos)

Fuente: Construcción a partir de los datos observados en SISPRO-ASIS- Contrato 1097/2019

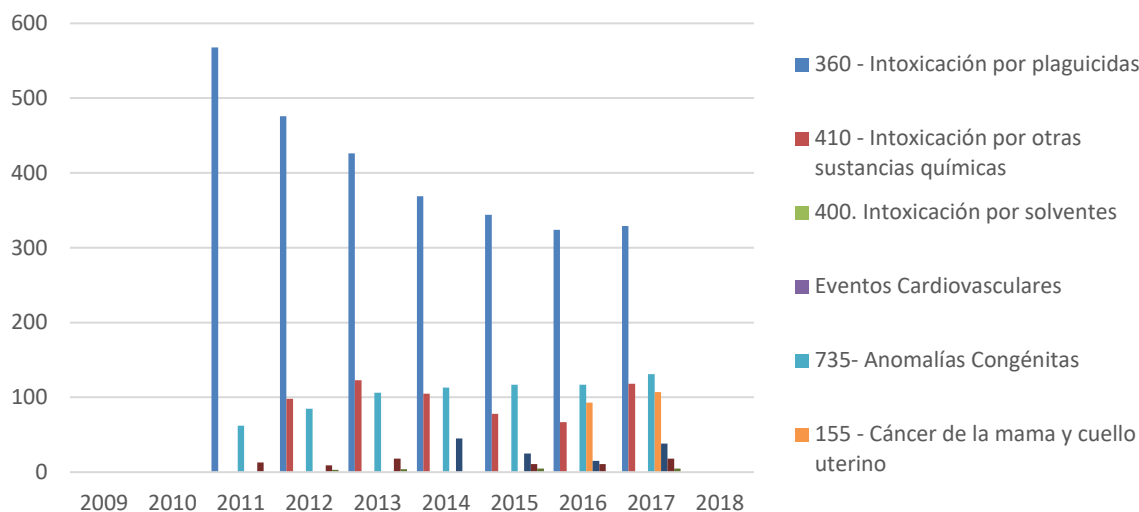
En relación con los eventos de alto costo, para el año 2018, según el ASIS nacional, el Meta reportó 28.123 casos de enfermedad renal crónica; para este mismo año, en relación a la prevalencia de enfermedad renal crónica con necesidad de terapia de restitución o reemplazo renal, se observó una tasa de 1,90 casos/ 10^5 hab.; hallándose para el mismo período de tiempo (2018), una tasa de incidencia (casos nuevos) de enfermedad renal crónica fase cinco (ERC-5) con necesidad de terapia de restitución o reemplazo renal una tasa 7,01 casos/ 10^5 hab, (único dato reportado para el periodo).

En los años analizados (2009-2018), la incidencia de leucemia aguda pediátrica mieloide (menores de 15 años) se presentó en mayor proporción en el año 2017 con 1,67 casos/ 10^5 hab. Por último, en lo que tiene que ver con este tipo de eventos de alto costo, en 2017 se observó la tasa de incidencia de Leucemia aguda pediátrica linfóide en menores de 15 años más alta de todo el periodo en estudio, la cual fue de 5,67 casos/ 10^5 menores de 15 años, la segunda tasa de incidencia más alta registrada en este periodo fue en el año 2013, con 5,56 casos/ 10^5 menores de 15 años. En cuanto a enfermedades precursoras, en 2018 se registró una prevalencia de hipertensión arterial en personas de 18 a 69 años de 5.22 casos/ 10^5 hab.

Otro de los indicadores explorados fue los eventos de notificación obligatoria, en el periodo estudiado los eventos con mayor notificación fueron las intoxicaciones por plaguicidas (2836), siendo el año 2011 con el mayor número de casos (568), seguido de intoxicaciones por otras sustancias químicas (589) con mayor número de casos en el año 2013 (123); en tercer lugar las anomalías congénitas (731) y cáncer de mama y cuello uterino (200), ambos con mayor porcentaje en el año 2017. Cabe anotar que para el 2009, 2010 y 2018 no se obtuvo reporte de

ningún evento de notificación obligatoria seleccionado para esta evaluación de riesgos (Ver anexo 21-ASIS) Figura 78.

Figura 78. Eventos de notificación obligatoria- Departamento del Meta 2009-2018



Fuente: Construcción a partir de los datos observados en SISPRO-ASIS- Contrato 1097/2019

Para la Tabla 70 las variables analizadas corresponden al cálculo de los valores medios de los porcentajes de coberturas de acueducto y alcantarillado de los municipios objeto de estudio, en donde se observó por ejemplo, que en los casos donde la información es concisa se presenta el aumento de los porcentajes de cobertura a través de los años, sobre todo en las zonas urbanas.

Tabla 70. Porcentajes medios de coberturas por año

Año	Alcantarillado		Acueducto	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural
2009	47,42	0,00	77,33	5,95
2010	44,12	6,11	55,56	11,86
2011	19,04	19,04	32,28	3,85
2012	48,88	16,43	49,03	3,72
2013	22,09	18,22	35,19	5,34
2014	38,45	18,23	51,70	4,51
2015	69,83	20,37	76,58	4,97
2016	47,69	2,82	56,41	20,67
2017	64,05	4,62	78,29	11,86
2018	64,88	6,94	67,28	16,56

Fuente: Sistema de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano -SIVICAP

En cuanto al índice de riesgo de calidad del agua (IRCA), sin clasificar por área, solo estuvo en riesgo alto para el año 2010. En zona urbana en riesgo alto los años 2010 y 2017, riesgo medio para los demás años exceptuando 2018 de donde no se observó reporte; para la zona rural el único año que se clasificó como riesgo medio fue el 2009, los años restantes en riesgo alto y sin dato para el año 2018.

El componente de condiciones de trabajo, está conformado por: cobertura de población ocupada en riesgo laboral, incidencia de accidentalidad de trabajo e incidencia de enfermedades relacionadas al trabajo; se obtuvo solo información para la segunda condición y para el año 2013 (943 casos).

Para prevalencia de fumadores no se obtuvo dato en ninguno de los años observados y en cuanto a las Instituciones prestadoras de servicios de salud, solo para el año 2018, se observó el registro de 65 instituciones públicas y 370 privadas.

A continuación se desarrolla la caracterización de las condiciones de territorio, demográficas y sanitarias de los municipios incluidos para la presente evaluación.

Mapiripán

Características geográficas y territoriales del municipio

El Municipio de Mapiripán se encuentra en el Departamento del Meta, localizado en el centro del país constituido por ocho veredas y el casco urbano, al occidente de la cordillera Oriental. Limita al norte con los departamentos de Cundinamarca y Casanare, al sur con Guaviare y Caquetá, al oriente con Vichada y Guaviare y al occidente con Caquetá, Huila y Cundinamarca(320).

Su extensión total es de 11938 km, de los cuales el 99,96% pertenecen al área rural (11.395,3 km) y solo el 0,04%(4,7km) corresponde al área urbana(320).

Características físicas del territorio

El municipio de Mapiripán corresponde a la transición entre las sabanas naturales y la selva amazónica. Con una altitud de 250 metros sobre el nivel del mar, presenta una topografía plana a fuertemente ondulada, donde se distinguen claramente terrazas, vegas y colinas, con alturas entre 150 y 300 metros y pendientes entre el 0% y el 25%; es un conjunto alternado de sabanas y serranías, delimitado por bosques de galería de los caños que drenan el municipio y sus tierras están comprendidas en el piso térmico cálido. Perteneció a la macro cuenca del Río Guaviare, que a su paso por el municipio es irrigada por subcuencas pertenecientes a la vertiente del Orinoco; Con igual importancia se encuentra el río Manacacías, en el costado noroccidental(320).

Por ser una zona de transición entre la Orinoquia y la Amazonia, el municipio cuenta con una gran riqueza faunística y vegetal pero que se ha visto afectado por procesos de colonización

llevados a cabo durante las últimas 4 décadas y mal manejo de los mismos, amenazando con la extinción de estos recursos. Se ha talado una gran cantidad de bosque con el propósito de ampliar las zonas agrícolas y ganaderas. Esto ha tenido impacto en los procesos erosivos en las márgenes de los ríos y los caños especialmente, agregando a esto el hecho de que no existe ningún programa real de reforestación (320).

Contexto y estructura demográfica

Según el análisis de situación de salud del municipio, para el año 2018 la población del municipio de Mapiripán era de 18.532 habitantes de los cuales el 51.85% correspondían a Mujeres (9.609 Hab), el porcentaje de Hombres es de 48.14 % que corresponde a (8.923 Hab). En relación al porcentaje de población municipal del total departamental era de 1.8 % para el mismo año(320).

Llama la atención la cifra observada en las proyecciones poblacionales del DANE, pues para el año 2018 presenta 7.007 habitantes y para el año 2020 una población total de 7156 personas en el municipio; siendo discordante con la información registrada en el documento municipal(321).

El municipio de Mapiripán tiene una extensión de 11.938 Km², para el año 2018, la densidad poblacional fue de 1.55 km² por habitante. La dispersión poblacional en el área rural conllevó a densidades poblacionales muy disímiles hasta de un habitante por kilómetro cuadrado(320).

Los hogares en Mapiripán para el año 2018, estaban conformados en promedio por 3,9 personas; observándose además que aproximadamente el 59.3% de los hogares tienen 4 o menos habitantes por hogar, el 37.2% de los hogares tienen entre 5 a 7, mientras el 3.7 % tienen entre 8 y 10 habitantes por hogar(320).

La estructura poblacional del Municipio de Mapiripán es regresiva y demuestra el descenso de la fecundidad y la natalidad con un estrechamiento en su base para el año 2018 respecto a años anteriores; los grupos de edad donde hay mayor cantidad de población son: primera infancia a los menores de 5 años de edad, infantes a los niños y niñas entre 6 a 11 años, adolescentes a las personas entre 12 a 18 años, jóvenes a personas entre 14 a 26 años(320).

Otros indicadores demográficos

Relación hombre/mujer: En el año 2005 por cada 99 hombres, había 100 mujeres, mientras que para el año 2018 por cada 93 hombres, había 100 mujeres.

Índice de vejez: En el año 2005 de 100 personas, 10 correspondían a población de 65 años y más, mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 12 personas.

Índice demográfico de dependencia: En el año 2005 de 100 personas entre los 15 a 64 años, había 63 personas menores de 15 años o de 65 años y más (dependientes), mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 57 personas.

Índice de dependencia mayores: En el año 2005, 12 personas de 65 años y más dependían de 100 personas entre los 15 a 64 años, mientras que para el año 2018 fue de 13 personas(320).

Condiciones de salud

En el municipio de Mapiripán, entre los años 2009 y 2018, la mayor tasa de mortalidad por todas las causas se presentó en el año 2014 (2,02 muertes/10⁰⁵ hab.). Las muertes por causas externas ocupan el primer lugar del periodo estudiado, seguido por las muertes por otras causas y las ocasionadas por enfermedades del sistema circulatorio; las enfermedades transmisibles y las neoplasias ocupan el cuarto y quinto lugar respectivamente. Este mismo comportamiento se observó para el año 2018.

Aunque no se obtuvo información de las neoplasias en el municipio para los años 2013, 2014 y 2016, pudo observarse para los demás años un comportamiento inconstante, observándose un aumento progresivo en las tasas de mortalidad entre los años 2009 y 2011, una disminución de casi 14 casos/10⁰⁵ hab., para el año 2012 (12,95(48,95/10⁰⁵ hab.), un aumento súbito para el año 2017 (25,11 muertes/10⁰⁵ hab.) y luego terminar el ciclo (2018) con 5,44 casos/10⁰⁵ hab.

En cuanto a la morbilidad atendida por curso de vida, se observó para la primera infancia e infancia que las enfermedades transmisibles y nutricionales fueron las de mayor diagnóstico para el periodo estudiado, en la adolescencia, juventud, adultez y vejez, son las enfermedades no transmisibles y el año 2014 los que representaron el mayor número de diagnósticos en el periodo.

Para las enfermedades de alto costo, para la prevalencia de enfermedad renal crónica fase cinco con necesidad de TRR, solo se obtuvo el dato para el año 2018 (3,26 pacientes/10⁰⁵ hab.), se observaron 457 casos de hipertensión arterial, la mayoría de estos en el año 2016 (159), no se obtuvo datos para la incidencia de ERC-5, ni leucemia aguda pediátrica mielóide en menores de 15 años; y para la incidencia de leucemia aguda pediátrica linfóide en menores de 15 años, solo se observó el dato para los años 2015 y 2017, con tasas similares (5,37 y 5,32 pacientes/10⁰⁵ menores de 15 años respect.).

Por último, en lo relacionado con los eventos de notificación obligatoria, solo se observaron diez casos en el periodo estudiado para intoxicaciones por plaguicidas, con el mayor número de caso en el 2009(3) y el 2017(2). Un caso para intoxicación por sustancias químicas en el 2016, uno para cáncer de mama y cuello uterino en el mismo año y la misma cantidad (1) para el año 2014 de leucemia aguda pediátrica linfóide.

Durante el periodo de 2009 a 2018, los eventos asociados a causas externas han causado el mayor número de muertes en la población, la tasa más alta de mortalidad por estas causas se registran en el año 2014 con 59,89 muertes por cada 100.000 habitantes, como segunda causa de muerte en el periodo se registran las enfermedades del sistema circulatorio con una tasa de 69,94 muertes por 100.000 habitantes en 2009. Estas muertes han disminuido progresivamente, con excepción del año 2015. En el 2018 el riesgo de morir por enfermedades

del sistema circulatorio era de 36 por cada 100.000 habitantes, como tercera causa más frecuente de muerte se encuentran las ocasionadas por las demás causas. Registrando su tasa de mortalidad más alta en el 2016 con 38.56 por cada 100.000 habitantes. Con respecto a las muertes por neoplasias el comportamiento no ha tenido cambios importantes, en el 2018, 11 de cada 100.000 habitantes del municipio tuvieron riesgo de fallecer por esta causa.

La Macarena

Características geográficas y territoriales del municipio

Está ubicada en el departamento del Meta, en jurisdicción de los Municipios de la Macarena, Mesetas, Vista hermosa, San Juan de Arama y Puerto Rico. Tiene una extensión total de 1.019.036 hectáreas comprendidas entre los 400 y 1.400 m.s.n.m con un clima de bosque húmedo tropical y una temperatura de 17 grados centígrados. Hace parte del parque Nacional de La Macarena que fue creado para conservar la biodiversidad existente en su área, en los diferentes ecosistemas andinos y amazónicos, así como su fauna y su flora. La sierra está considerada como uno de los refugios de vida silvestre más importantes del planeta. Como obra de la naturaleza, es de gran interés científico, indispensable para el estudio de la flora, la fauna y la gea(322).

El municipio de La Macarena es el tercer Municipio del Departamento del Meta con la mayor extensión territorial, ya que el primero es Puerto Gaitán (17,430 Km) Mapiripán (11,400 Km) y La Macarena (11.229 Km). Limita por el norte con los municipios de la Uribe y Vistahermosa; al sur con el departamento de Caquetá, al oriente con el municipio de Vistahermosa y el departamento del Guaviare y al occidente con el departamento del Caquetá(322).

Características físicas del territorio

La Serranía de La Macarena, ubicada en forma casi perpendicular a la cordillera Oriental. Serranía de la Macarena; comprende además, los paisajes de altillanura con vegetación de sabana y bosque primario; el municipio se sitúa en las cuencas hidrográficas de los ríos Guaviare y Tunia(322).

Los Centros Poblados que se localizan sobre las márgenes de los Ríos Guayabero, Losada y Tunia, presentando problemas de deforestación en las rondas, y son notorios los efectos erosivos en las riberas. Esta red hídrica existente, además de ser la fuente acuífera para consumo y requerimientos domésticos, brindan recursos pesqueros y en la época de invierno se convierten en la principal vía de comunicación de algunos centros poblados, con el resto del Municipio(322).

En relación a los factores ambientales, se observan varios factores, como el caso de las viviendas desocupadas no solo en la cabecera municipal sino en los Centros Poblados, por lo general pertenecen en su mayoría a habitantes rurales que las utilizan únicamente como posada para

los días de mercado, según el ASIS municipal, las condiciones en que se encuentran estas viviendas son precarias e insalubres, facilitando los focos de proliferación de vectores, que afectan la salud pública(322).

Contexto y estructura demográfica

Para el año 2018 el municipio de La Macarena, tenía una población de 26.890 habitantes según la proyección del Censo DANE, de los cuales el 53.7% son hombres y el 46.3 % corresponde a las mujeres. En el casco urbano se ubicaron 4.639 habitantes y en el área Rural 31.127. La densidad poblacional es de 3.1 habitantes por kilómetro cuadrado (hab/km2)(322).

Según el ASIS municipal del año 2018, para el año 2005 la Macarena contaba con un total de 1057 hogares, de los cuales 925 estaban ubicados en la zona urbana y 132 en la zona rural; el promedio de personas por hogar es de 4,0(321,322).

En cuanto a la estructura poblacional, en el municipio de la Macarena para el año 2018 la mayoría de personas se encontraban concentradas en los menores de 34 años (32,5%), observándose que a medida que aumenta la edad cambia la estructura poblacional, para ese año, el 49,3% de la población se clasifica en el grupo económicamente activo (322).

Otros indicadores demográficos

Relación hombre/mujer: En el año 2005 por cada 106,4 hombres había 100 mujeres y para el año 2018 por cada 105 hombres había 100 mujeres.

Índice de vejez: En el año 2005 de 100 personas, 7 correspondían a población de 65 años y más, mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 7 personas.

Índice demográfico de dependencia: En el año 2005 de 100 personas entre los 15 a 64 años, había 67,6 personas menores de 15 años o de 65 años y más (dependientes) , mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 61,09 personas.

Índice de dependencia mayores: En el año 2005, 7,40 personas de 65 años y más dependían de 100 personas entre los 15 a 64 años, mientras que para el año 2018 se observó un aumento de 1,82 personas (9,22) (322).

Condiciones de salud

En el 2018 en el municipio de la Macarena la mayor tasa de mortalidad por grandes causas se registra en las causas externas con 78,20 muertes x 100.000 habitantes, con tendencia al aumento, en segundo lugar, las enfermedades del sistema circulatorio con 36,01 muertes x 100.000 habitantes, seguido de las demás causas con 30.28 muertes por cada 100.000 habitantes.

En cuanto a morbilidad el mayor número de diagnósticos registrados en todos los cursos de vida, exceptuando primera infancia, ha sido por enfermedades no transmisibles con (1.979) registros en infancia, (3004) en la adolescencia, (2.581) en la juventud, (9353) adultez, (4.130) vejez. En el último año de observación (2018) se generaron 2272 diagnósticos teniendo en cuenta las atenciones de todos los cursos de vida.

En relación a los eventos de notificación obligatoria para el periodo 2009-2018 los eventos que más se notificaron fueron las intoxicaciones por plaguicidas con 32 casos; En el año 2012 se registró el mayor número de eventos (12). Las intoxicaciones por otras sustancias químicas son el segundo tipo de intoxicaciones más frecuentes registradas en el periodo con 10 casos. Los eventos como cáncer de mama y cuello uterino solo registran (1) caso en el 2016 y en el 2017 cáncer infantil (1), leucemia aguda pediátrica linfóide (1). En relación con los Eventos de alto costo solo en el 2017 se registra Tasa de incidencia de 8,26 para de Leucemia aguda pediátrica linfóide menores de 15 años 8,26, los demás eventos de alto costo no registran eventos. La notificación de enfermedades precursoras como la hipertensión se ha mantenido constante, solo se tienen registros de los últimos tres años del periodo en estudio. en 2018 fueron diagnosticadas 157 personas con esta patología.

Puerto Rico

Características geográficas y territoriales del municipio

El municipio de Puerto Rico se encuentra al Sur del Departamento del Meta y enmarcado dentro de los siguientes límites: Norte: con el municipio de Puerto Lleras, Sur: con el Departamento del Guaviare, Oriente: con los municipios de Puerto Concordia y Mapiripán y Occidente: con el municipio de Vistahermosa(323).

La estructura territorial del municipio de Puerto Rico, se caracteriza por la existencia de la cabecera localizada a 18 kilómetros de la vía central (Granada -San José del Guaviare) sobre la margen izquierda del río Ariari con aproximadamente 3.320 habitantes y cuenta con algunos centros poblados como Toledo, La Lindoza, La Tigra, Barranco Colorado, y Puerto Chispas; y cuenta con 45 veredas (323).

La extensión total del municipio es de 341.687 hectáreas, correspondiendo el 99,96% a extensión rural y únicamente el 0,04 a extensión urbana; la población habita en un 72% en esta área del municipio. Del total de hectáreas del municipio, el 60% se encuentran aptas para ser explotadas con la agricultura y el porcentaje restante hace parte de la zona de la reserva del parque natural de la sierra de la macarena(323).

Características físicas del territorio

El municipio se encuentra localizado al sur del departamento del Meta, teniendo como vértebra el Río Ariari, con una distancia a Granada de 127 kilómetros en terreno carretable afirmado y a una distancia de 212 kilómetros de Villavicencio(323).

En el municipio de Puerto Rico en su extensión territorial posee grandes áreas de bosques y sabanas naturales, los cuales aún conservan una gran cantidad de recursos hídricos, fauna y flora (323).

Contexto y estructura demográfica

Según el ASIS municipal, Puerto Rico, tiene una población total de 18.870 habitantes para el año 2018, presentando para los últimos nueve años un aumento de 8,9% de población, manteniendo una dinámica poblacional tipo estacionaria moderna donde se observa crecimiento leve de la población mayor de 55 años y reducción de la población menor de 19 años(323).

La distribución poblacional por área para el año 2018 es de 27,06% urbana y el 72,94% para el área rural. En cuanto al número de hogares, el ASIS del año 2018 presenta 18701 hogares, de los cuales 5106 están ubicados en el área urbana y los 13764 en el área rural(323)..

En la distribución de la población se observa que una tercera parte se encuentra por debajo de los 15 años, proporción que disminuye en la medida que aumenta la edad, el 55% de la población corresponde a la población económicamente activa y los adultos mayores representan el 6% de la estructura piramidal (323).

Otros indicadores demográficos

Relación hombre/mujer: En el año 2005 por cada 138,08 hombres había 100 mujeres y para el año 2018 por cada 133,3 hombres había 100 mujeres.

Índice de vejez: En el año 2005 de 100 personas, 6 correspondían a población de 65 años y más, mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 8 personas.

Índice demográfico de dependencia: En el año 2005 de 100 personas entre los 15 a 64 años, había 68,6 personas menores de 15 años o de 65 años y más (dependientes) , mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 63,08 personas.

Índice de dependencia mayores: En el año 2005, 6,68 personas de 65 años y más dependían de 100 personas entre los 15 a 64 años, mientras que para el año 2018 se observó un índice de 9,14 mayores de 65 años por cada 100 personas entre los 15 y 64 años (323).

Condiciones de salud

En el municipio de Puerto Rico, durante el periodo 2009-2018, la mayor tasa de mortalidad por todas las causas se presentó en el año 2009 (2,78/10⁰⁵ hab.). Las muertes por enfermedades del sistema circulatorio fue el grupo que más casos aportó para el municipio en ese periodo de tiempo, siendo mayor en el año 2012 con una tasa de 137,06/10⁰⁵ hab., y con tendencia a disminuir, seguido de las muertes por causas externas y los decesos por otras causas.

Para el año 2018, las muertes por causas externas ocuparon el primer lugar en el municipio con una tasa de 129,63/10⁰⁵ hab., seguido por las muertes ocasionadas con enfermedades del sistema circulatorio como base (72,41/10⁰⁵ hab.), y las muertes por las demás causas (46,13/10⁰⁵ hab.).

Las neoplasias en el municipio se comportaron de una manera un poco fluctuante entre los años 2009 y 2011, pues hubo una disminución importante en los casos registrados entre los dos primeros años ((de 69,2 a 8,07/10⁰⁵ hab.) para incrementarse los registros en el siguiente año en casi 43 casos más por cada/10⁰⁵ hab., los siguientes años un incremento constante, observándose a partir del año 2016 una disminución en los casos registrados hasta llegar a 6,82/10⁰⁵ hab. En el año 2018.

En cuanto a la morbilidad atendida por curso de vida, en la primera infancia e infancia los diagnósticos más frecuentes son los signos y síntomas mal definidos, con mayor número de casos en el año 2017 y 266 casos en el 2016 respectivamente, similar a lo observado en el municipio de Mapiripan, para las personas que según su edad y otros determinantes se ubican en los demás cursos de vida, las enfermedades no transmisibles son los eventos de mayor atención en el periodo estudiado, siendo el año 2014 el de mayor número de diagnósticos para estos grupos.

En lo relacionado con las enfermedades de alto costo, de las cuatro enfermedades seleccionadas para esta evaluación, se observó para el año 2018 una prevalencia de 3,26 casos por 10⁰⁵ hab., para el caso de la hipertensión arterial se observaron 1085 casos para el municipio, con la mayoría de ellos en el año 2016 (444), en cuanto a la tasa de incidencia de leucemia aguda pediátrica linfóide en menores de 15 años, los datos reportados se observan para los años 2015 y 2017, siendo mayor para el primer año con una tasa de 5,37 casos /10⁰⁵ menores de 15 años en riesgo de haber desarrollado esta enfermedad. Para los demás eventos de alto costo seleccionados no se observaron datos.

Por último, en lo relacionado con los eventos de notificación obligatoria, se observaron 46 casos en el periodo estudiado para intoxicaciones por plaguicidas, con el mayor número de casos en los años 2013 y 2014 cada uno con 11 casos. Nueve (9) casos de intoxicación por sustancias químicas siendo mayor en el año 2017 con tres casos, seis casos de anomalías congénitas (3) casos en el 2017 y un caso reportado de cáncer de mama o cuello uterino en para el año 2016.

Vista Hermosa

Características geográficas y territoriales del municipio

El municipio cuenta con una extensión total de 4084 Km², extensión área urbana de 1023 Km² y rural de 3061 Km², altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar) 460 m.s.n.m, la temperatura media es de 27°C. El municipio de Vista Hermosa hace parte del Área de Manejo Especial de la Macarena, creada, delimitada y zonificada mediante el Decreto 1989 de 1989, cuyas categorías de ordenamiento están reglamentadas a través del Decreto 1974 de 1989, que normatiza los Distritos de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables(324).

La zona rural del municipio de Vista Hermosa cuenta con 115.050 Hectáreas aproximadamente, es la zona de mayor extensión del municipio, corresponde al 75% de la extensión total. Esta zona se divide en 47 veredas y dos zonas de reserva, donde habita el 56,9% de la población del municipio según proyecciones de población del DANE(321,324).

Características físicas del territorio

El Municipio de Vista Hermosa Meta, tiene una superficie de 4.693 Kilómetros cuadrados, ocupa el 4.8% del total del departamento; se encuentra entre los pisos térmicos cálido y templado cuya temperatura oscila entre 18 y 32 °C y la precipitación se presenta entre 2500 y 3.500 mm.(324).

Según el ASIS municipal, Vista Hermosa por sus características topográficas se clasifica en montañosa a partir de la cota de 600msnm hasta la 1300msnm., dentro de la serranía de la Macarena; con el 23.6 % ondulado y el 7.9 % quebrado y con el 68.5% plano. La parte más alta del municipio es la cota de 11300msnm., donde nace caño unión. La zona de altillanura ubicada sobre la margen izquierda del río Guejar, está entre los 250msnm. y los 300msnm (324).

Contexto y estructura demográfica

Según las proyecciones poblacionales DANE, en el año 2018 la población del municipio de Vista Hermosa era de 26.790 habitantes de los cuales el 50,76% (13.599) de la población son Hombres y el restante 49.24% (13.191) son mujeres(324).

El municipio tiene una extensión de 4749 km², para el año 2018 la densidad poblacional es de 5,64 por cada Km². De igual forma, la población rural (16.958) representa casi el doble de la población que habita en la zona urbana (9832) (321,324).

Se observó en el ASIS municipal que los hogares del municipio cuentan con 4 personas en promedio, para el año 2018 Vista Hermosa contaba con 3218 hogares y 1238 viviendas (324).

La distribución por sexo y edad, mostró una proporción similar entre hombres y mujeres (50.7 y 49,2% respect.), y un comportamiento progresivo con descenso en la fecundidad y natalidad; así mismo, se observa que el 38,72% de la población del municipio se encuentra entre 27 y 59 años seguido de juventud y adolescencia, esperando que para el año presente(2020) los adultos entre los 17 y 59 años de edad sean el mayor grupo poblacional (321,324).

Otros indicadores demográficos

Relación hombre/mujer: En el año 2005 por cada 112,5 hombres había 100 mujeres y para el año 2018 por cada 103,9 hombres había 100 mujeres.

Índice de vejez: En el año 2005 de 100 personas, 7 correspondían a población de 65 años y más, mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 8 personas.

Índice demográfico de dependencia: En el año 2005 de 100 personas entre los 15 a 64 años, había 67,9 personas menores de 15 años o de 65 años y más (dependientes) , mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 59,94 personas.

Índice de dependencia mayores: En el año 2005, 7,54 personas de 65 años y más dependían de 100 personas entre los 15 a 64 años, mientras que para el año 2018 se observó un índice de 8,76 mayores de 65 años por cada 100 personas entre los 15 y 64 años.

Condiciones de salud

En el municipio de Vista Hermosa-Meta, durante el periodo 2009-2018, la mayor tasa de mortalidad general se presentó en el año 2012 (4,43/10⁰⁵ hab.). Las muertes por causas externas fueron las de mayor porcentaje, seguido de las enfermedades del sistema circulatorio, en tercer lugar se observó la tasa de muerte clasificada como “demás causas”.

Para el año 2018, las muertes por enfermedades del sistema circulatorio ocuparon el primer lugar en el municipio con una tasa de 203,9/10⁰⁵ hab., la más alta del departamento para el periodo estudiado, seguido por las muertes de las demás causas y las causas externas en tercer lugar (48,20/10⁰⁵ hab.) aunque esta tasa no difiere mucho con las muertes ocasionadas por enfermedades transmisibles.

Las neoplasias en el municipio no se comportaron de manera constante o con alguna tendencia marcada, el año con mayor número de muertes fue el 2009 (95,23/10⁰⁵ hab.), observándose su crecimiento y disminución en los años estudiados, pero cerrando el año 2018 con 80,14 casos/10⁰⁵ hab., menos que lo observado al comienzo del periodo estudiado.

En cuanto a la morbilidad atendida por curso de vida, en la primera infancia los diagnósticos más frecuentes son las condiciones transmisibles y nutricionales con mayor número observados en el 2010 (533), seguido de las enfermedades no transmisibles (485), para los demás ciclos de vida se observó que las enfermedades no transmisibles ocuparon el primer lugar en los diagnósticos clasificados en el periodo estudiado, siendo los años 2014 y 2015 los de mayor número para estos grupos de edad.

En lo relacionado con las enfermedades de alto costo, de las cuatro enfermedades seleccionadas para esta evaluación, solo se obtuvo el dato para la tasa de prevalencia de enfermedad renal crónica fase cinco con necesidad de TRR, observándose que en el año 2018, 93 personas en el municipio de cada 100.000 habitantes estuvieron en riesgo de tener esta enfermedad; se identificaron 1768 personas con hipertensión, el año que más casos aportó fue el 2017 (594), para la tasa de incidencia de leucemia aguda pediátrica mielóide en menores de 15 años solo se observó el dato para el año 2013, con 11,57 menores de 15 años de cada 100.000 personas del mismo grupo de edad que estuvieron en riesgo de desarrollar esta enfermedad y para la tasa de incidencia de leucemia aguda pediátrica linfóide en menores de 15 años, solo se observó el dato para los años 2009, 2010, 2011 y 2015, siendo mayor la tasa en el año 2010 ($12//10^{05} < 15$ años).

Por último, en lo relacionado con los eventos de notificación obligatoria, los de mayor notificación fueron las intoxicaciones por plaguicidas (99 para el periodo), siendo el año 2016 el de mayor notificación, las intoxicaciones por sustancias químicas y los eventos cardiovasculares se comportaron de forma similar (seis casos cada evento), cáncer de mama o cuello uterino y leucemia aguda pediátrica linfóide cada uno con cuatro casos para el periodo estudiado.

Puerto Concordia

Características geográficas y territoriales del municipio

Puerto Concordia es un municipio que se encuentra ubicado geográficamente en la parte sur del departamento del Meta, su cabecera está localizada en la margen izquierda del río Ariari, a los 20° 41' 24" de latitud norte y 72° 45' 16" de longitud oeste; tiene una altura sobre el nivel del mar de 200 m. Dista de Villavicencio 276 km. El área municipal es de 1.304.8 km², su temperatura promedio oscila entre los 24° C y los 27° C; presenta un régimen de lluvias bimodal, con una época de invierno entre los meses de abril y noviembre, siendo los meses de junio y julio los más lluviosos, y una época de verano que va desde el mes de diciembre hasta el mes de marzo; tiene una humedad relativa que oscila entre el 76% y el 89%, y presenta una precipitación promedio anual de 2.600 m.m (325).

Características físicas del territorio

La totalidad del área del municipio de Puerto Concordia pertenece a la gran cuenca del río Orinoco y a las cuencas de los ríos Ariari y Guayabero, que al unirse estos dos últimos, conforman la cuenca del río Guaviare. Estas integran la red vial fluvial del municipio por donde se comunica con los Departamentos del Meta, Guaviare, Vichada, Vaupés, y la República de Venezuela(325).

El municipio de Puerto Concordia recibe alta influencia del Departamento del Guaviare, dada la cercanía con este departamento, encontrándose solo a 25 minutos de su capital. El sistema de referencia en salud esta articulado de tal manera que los pacientes son evacuados por vía aérea desde este Departamento (325).

Contexto y estructura demográfica

Las proyecciones poblacionales del DANE presentan para el año 2018 una población para el municipio de Puerto Concordia de 22.559 habitantes; una distribución por sexo muy similar (49,7% hombres, 50,3% mujeres). Según el ASIS del municipio, la densidad poblacional para el año 2005 era de 12 habitantes por km², para el 2018 aumentó a 15,9 habitantes por Km²(325).

Para el año 2018, del total de habitantes el 49% habitaban en cabecera municipal y un 50,6% en zona rural, diferente a lo observado en los demás municipios, donde al menos alrededor de las tres cuartas partes de la población habitan en el área rural. Según el DANE, en Puerto Concordia para el año 2018 existían 2390 hogares, en una relación de 1,34 hogares por vivienda (321,325).

En relación a la estructura poblacional, se observa que tiene forma progresiva de base ancha, con predominancia en la población entre 14 y 59 años, en la que se representa la fuerza laboral y productiva del municipio (321,325).

Otros indicadores demográficos

Relación hombre/mujer: En el año 2005 por cada 109,2 hombres había 100 mujeres y para el año 2018 por cada 106,9 hombres había 100 mujeres.

Índice de vejez: No se observaron cambios entre los años 2005 y 2018, donde por cada 100 personas, 10 correspondían a población de 65 años y más.

Índice demográfico de dependencia: En el año 2005 de 100 personas entre los 15 a 64 años, había 74,8 personas menores de 15 años o de 65 años y más (dependientes) , mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 58,7 personas.

Índice de dependencia mayores: En el año 2005, 11,9 personas de 65 años y más dependían de 100 personas entre los 15 a 64 años, mientras que para el año 2018 se observó un índice de 10,2 mayores de 65 años por cada 100 personas entre los 15 y 64 años.

Condiciones de salud

En el municipio de Puerto Concordia durante el periodo de 2009 a 2018 las enfermedades asociadas a tasas más altas de mortalidad son: eventos de causas externas, las enfermedades del sistema circulatorio y las demás causas respectivamente. El año en el que se registró la tasa más alta de mortalidad por causas externas fue en 2013, con una tasa de 102.45 muertes/10⁰⁵ hab., está también fue la tasa de mortalidad más alta registrada de todas las causas de muerte. En cuanto a las neoplasias, los primeros años de observación muestran tasas más altas y van disminuyendo a través del tiempo. El año en el que se registró menor riesgo de fallecer por neoplasias fue en el 2018, con una tasa de 3.62 muertes/10⁰⁵ hab.

En 2018 la mayor tasa de mortalidad se asocia a patologías clasificadas como eventos de causas externas 88.60 muertes/10⁰⁵ hab., siendo la más alta en los últimos cinco años de observación, en segundo lugar las asociadas a las demás enfermedades con una tasa de 60,90 muertes/10⁰⁵ hab. Finalmente, las asociadas a enfermedades del sistema circulatorio con 56,41 muertes/10⁰⁵ hab.

En cuanto a la morbilidad atendida por curso de vida han sido por enfermedades no transmisibles las enfermedades que han generado mayor número de diagnósticos registrados en todos los cursos de vida con excepción de la primera infancia en el que el mayor número de diagnósticos se asocian a las enfermedades transmisibles y nutricionales. El año en el que más se generaron registros fue el 2013 en todos los cursos de vida. El mayor número de diagnósticos relacionados a enfermedades no transmisibles se genera en la adultez con 4878 registros. En 2018 en la primera infancia se observaron 178 casos.

Con relación a eventos de notificación obligatoria, en el municipio durante el periodo observado se registraron 39 casos de intoxicación por plaguicidas, en 2017 se evidencia una disminución en la frecuencia de notificación de casos con relación al año anterior, en 2017 se registran 2 casos y en 2016, 6 casos, no se observa notificación de casos de neoplasias de notificación obligatoria y por lo menos se cuenta 1 caso de anomalías congénitas en el 2016.

En alto costo se observa una tasa de incidencia de leucemia aguda pediátrica linfóide de 15.31 por cada 10⁰⁵ menores de 15 años en el 2012, en 2018 se registra una prevalencia de Enfermedad Renal Crónica -5 con necesidad de Terapia de Reemplazo Renal de 25 por cada/10⁰⁵ hab.)

Puerto Lleras

Características geográficas y territoriales del municipio

El municipio de Puerto Lleras se encuentra ubicado al sur occidente del departamento del Meta, su extensión total es de 2410 kilómetros cuadrados. Dista de la capital departamental a 146 kilómetros, la cabecera urbana está localizada en la margen izquierda del río Ariari. Sus límites son por el norte con el municipio de San Martín y Fuente de Oro, con el sur con Puerto Rico, por el oriente con Mapiripán y por el occidente con los municipios de Fuente de Oro, San Juan de Arama y Vista Hermosa(326).

Características físicas del territorio

El Municipio de Puerto Lleras, se encuentra ubicado a una altitud de 240 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) su relieve se considera como un esquema general bastante sencillo, debido a que corresponde a un sector casi plano y ondulado, denominado llanuras sedimentarias. En algunas zonas del municipio se observan zonas de mesetas y es muy común encontrar los bosques de galería en diferentes sitios del municipio. El río Ariari pasa a lo largo del municipio de Puerto Lleras, generando las zonas de bajos, las cuales en la actualidad son destinadas a la agricultura(326).

El municipio tiene una extensión total de 2.410 Kilómetros cuadrados (Km²). En la zona urbana se tienen 1.35 Kilómetros cuadrados (Km²) y en la zona rural 2.408.65 Kilómetros cuadrados (Km²), el municipio se encuentra en la llanura oriental o más conocida como los llanos orientales, considerada también como planicies bajas, no tiene un sistema montañoso como tal, por lo cual carece de pendientes pronunciadas. Debido a la presencia del río Ariari este municipio hace parte de la subregión del Bajo Ariari (326).

Contexto y estructura demográfica

La población total según registros DANE para el municipio de Puerto Lleras en el año 2018 fue de 9.491 habitantes, de los cuales 55,1% son hombres y 44,8 mujeres. En el ASIS municipal se hace hincapié en la disminución en el tamaño de la población a través del tiempo; ya que se pasó de tener 10.666 habitantes en el 2005 a 9.491 en el 2018, con una disminución del 11%(321,326).

El municipio de Puerto Lleras se asemeja en la distribución poblacional por área de residencia a la mayoría de los municipios incluidos para esta evaluación de riesgos; en donde más de la mitad de la población habita en la zona rural de la región, para el caso siete de cada diez puertollerenses habitan en la zona rural del municipio(326).

La estructura poblacional muestra cambios importantes a través del tiempo, dado que es regresiva; es decir con menor proporción poblacional en nacimientos y primera infancia, se presenta un aumento en la población mayor de 40 años, siendo aún más marcado este aumento en los grupos de edad de 50 a 54 años y de 55 a 64 años.

Otros indicadores demográficos

Relación hombre/mujer: En el año 2005 por cada 121 hombres había 100 mujeres y para el año 2018 por cada 123 hombres había 100 mujeres.

Índice de vejez: para el año 2005 de cada 100 personas, 6 pertenecían a población de 65 años o más, mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 7 personas.

Índice demográfico de dependencia: En el año 2005 de 100 personas entre los 15 a 64 años, había 62 personas menores de 15 años o de 65 años y más (dependientes), mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 56 personas.

Índice de dependencia mayores: Para los años 2005 y 2018 no se presentaron cambios en las personas de 65 años y más que dependían de personas entre los 15 a 64 años, para estos dos periodos 7 personas de 65 años o más dependían de 100 personas entre los 15 y 64 años de edad.

Condiciones de salud

Durante el periodo de 2009 a 2018 las tasas más altas de mortalidad están relacionadas a enfermedades del sistema circulatorio, las demás causas y causas externas respectivamente. En este periodo la tasa de mortalidad más alta asociada a enfermedades del sistema circulatorio se registró en el 2013, en ese año aproximadamente 249 de cada /10⁰⁵ hab., tuvieron riesgo de fallecer por este tipo de patologías, desde el 2016 a 2018 se ha evidenciado una disminución progresiva de este tipo de muertes, sin embargo continúan siendo la segunda causa de muerte en el 2018. La tasa de mortalidad por neoplasias, no han mostrado una tendencia constante, el 2011 fue el año en el que mayor riesgo de fallecer por estas enfermedades se registró en el municipio con una tasa de 116.84 muertes/10⁰⁵ hab.

Durante el 2018 la tasa de mortalidad más alta se asoció a enfermedades clasificadas en el grupo de las demás causas, la tasa registrada fue de 147,26 /10⁰⁵ hab.), seguido de la tasa asociada a las enfermedades del sistema circulatorio con 145,87 muertes/10⁰⁵ hab., y en tercer lugar las asociadas a Neoplasias con 91,82 muertes/10⁰⁵ hab.

Con relación a la morbilidad atendida por curso de vida, las enfermedades no transmisibles han generado el mayor número de diagnósticos registrados en todos los cursos de vida durante el periodo de 2009 a 2018, con excepción de la primera infancia en el que los diagnósticos relacionados a las condiciones transmisibles y nutricionales fueron más frecuentes. Se evidencia una disminución del número de diagnósticos registrados en 2018 con respecto a años anteriores, este comportamiento es similar en todos los cursos de vida.

Entre los eventos de notificación obligatoria observados las intoxicaciones por plaguicidas es el evento con mayor número de notificaciones, durante todo el periodo se notificaron 114 casos. A partir del 2015 se ha evidenciado una disminución en la notificación de casos, registrándose 9, 5 y 5 casos sucesivamente. En 2018 no hay reporte de intoxicaciones. Las intoxicaciones por

sustancias químicas se notifican con menor frecuencia comparada por las provocadas por plaguicidas, durante el periodo se notificaron seis casos. Con relación a las neoplasias de notificación obligatoria solo se reporta un caso que corresponde a cáncer de la mama y cuello uterino.

En cuanto a eventos de alto costo es importante resaltar que en el 2013 se registró una tasa de incidencia de la leucemia aguda pediátrica linfóide de 28.84 casos /10⁵ menores de 15 años, en el resto de años observados no se evidencian casos.

6.1.2 Departamento del Guaviare

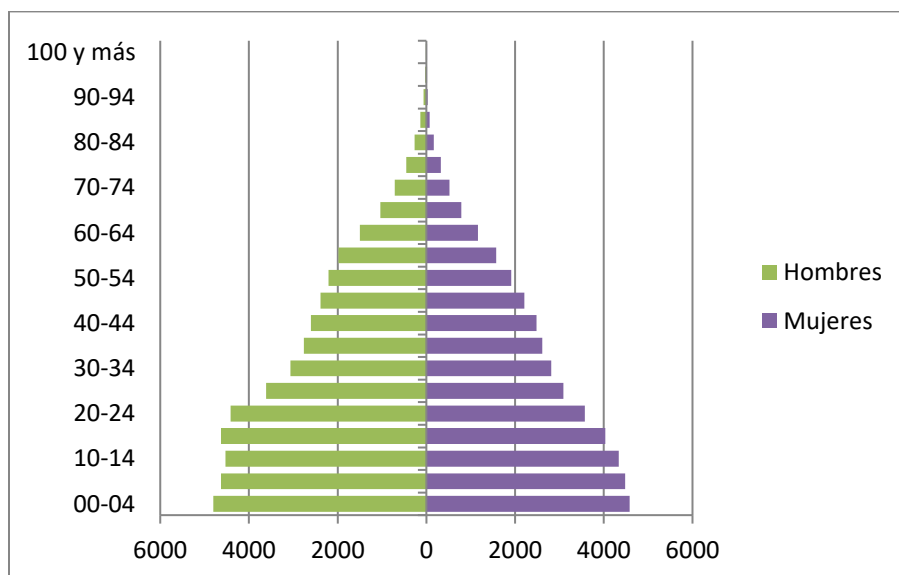
6.1.2.1 Características geográficas y territoriales

El departamento del Guaviare se encuentra ubicado al sur oriente de Colombia, limita por el norte con los ríos Guayabero y Guaviare que lo separan de los departamentos de Meta y Vichada; por el oriente con los departamentos de Guainía y Vaupés; por el sur con los departamentos de Vaupés y Caquetá y por el occidente con los departamentos de Caquetá y Meta. Sus coordenadas geográficas son 00°39'28" y 02°54'51" de latitud norte y 69°59'31" y 73°39'36" de longitud oeste. Abarca una *superficie* 53.460 Km², otras fuentes oficiales ofrecen 55.391 km² de extensión. Sus suelos son bañados por numerosos ríos y una red de caños, divididos principalmente en dos cuencas: Cuenca del río Orinoco y cuenca del río Amazonas.

6.1.2.2 Características demográficas

El Departamento de Guaviare cuenta con una población total de 86.657 habitantes y una densidad poblacional de 1,62 hab/km² (327–329) (Figura 79).

Figura 79. Estructura poblacional Departamento del Guaviare- 2020

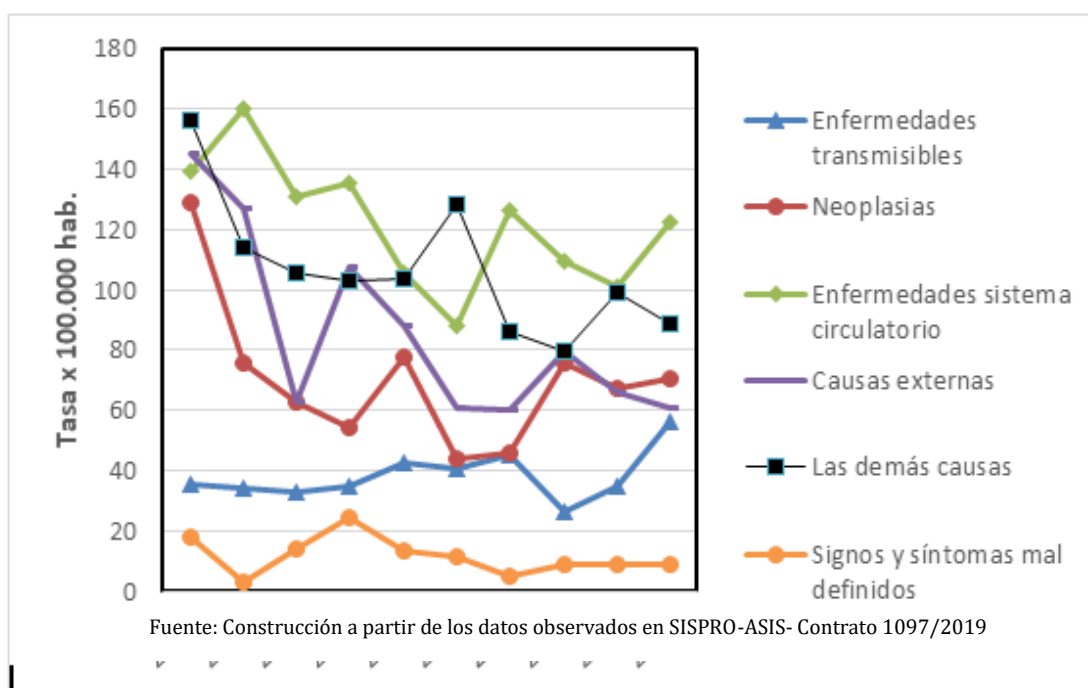


Fuente: Proyecciones poblacionales- DANE 2020

6.1.2.3 Condiciones sanitarias

Durante el periodo de observación 2009-2018, en el Guaviare se registraron 2.868 muertes relacionadas a todas las causas. Durante los años 2009 a 2016 las tasas de mortalidad más altas estuvieron asociadas a enfermedades del sistema circulatorio, causas externas y las demás causas, con excepción del año 2011 en el que las neoplasias ocuparon el tercer lugar en las tasas de mortalidad en el Departamento. En el 2018, las tres tasas de mortalidad más altas están asociadas a las enfermedades del sistema circulatorio con 122.4 muertes/10⁰⁵ hab., seguido de las demás causas con 88.64 muertes/10⁰⁵ hab. y las neoplasias con 70.75 muertes/10⁰⁵ hab. Este mismo comportamiento se observó en el año inmediatamente anterior. Figura 80.

Figura 80. Mortalidad por grandes causas Departamento del Guaviare 2009-2018



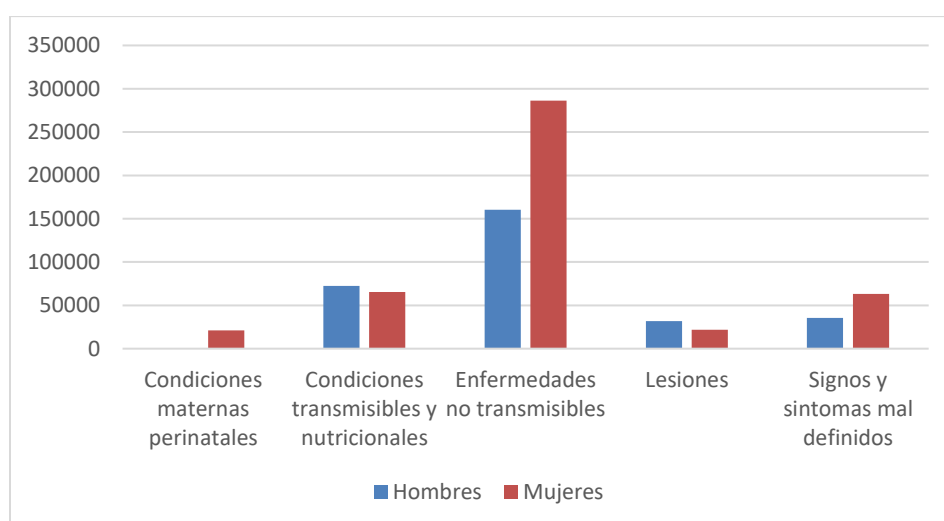
Fuente: Construcción a partir de los datos observados en SISPRO-ASIS- Contrato 1097/2019

En cuanto a la mortalidad según el sexo, fue mayor en los hombres. El año 2009 aportó mayor número de muertes con una tasa de 4.42 muertes/10⁰⁵ hab., durante el 2017 las tasas de mortalidad registradas fueron 3,4 y 1,54 por/10⁰⁵ habitantes hombres y mujeres respectivamente. El número de muertes es mayor en población mayor de 80 años en la que se registraron 407 muertes durante el periodo de observación, seguida de la población de 75 a 79 años con 266 muertes. La población menor a 5 años (Mortalidad en la niñez) registró 224 muertes en el mismo periodo.

Otro de los indicadores analizados fue la morbilidad atendida según curso de vida, en el año 2018 los diagnósticos relacionados a enfermedades transmisibles fueron los más frecuentes en

la primera infancia con 1.534 registros, en adultez con 12.331 registros y en vejez con 3.742 registros. En la infancia el mayor número de diagnósticos se relacionan a signos y síntomas mal definidos (3.301 registros). En la adolescencia las lesiones son los diagnósticos más frecuentes (3.702 registros) y en la juventud las enfermedades asociadas a condiciones maternas y perinatales (9.905 registros) son las de mayor número. Respecto a la morbilidad atendida por área de residencia en el departamento, no se observó ningún registro en ninguno de los años estudiados. Con relación a los diagnósticos registrados en las atenciones según el sexo, en ambos grupos los relacionados a enfermedades no transmisibles son los más frecuentes Figura 81.

Figura 81. Morbilidad atendida por sexo, Departamento del Guaviare 2009-2018 (número de casos)

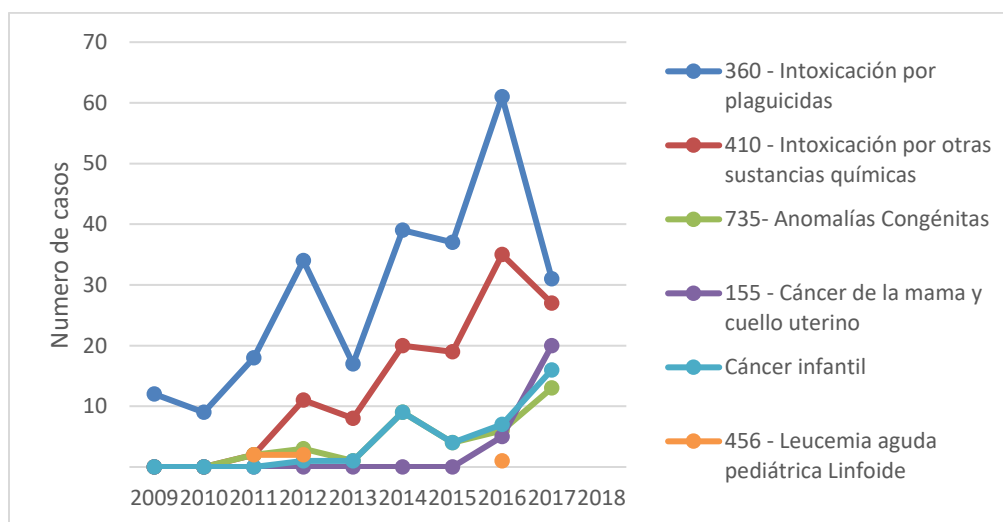


Fuente: Construcción a partir de los datos observados en SISPRO-ASIS- Contrato 1097/2019

En los eventos de alto costo registrados se evidencia un aumento progresivo de la prevalencia de la enfermedad renal crónica estadio cinco, la cual pasó de 0.03 a 3.5 por/10⁰⁵ hab., en los años 2016 a 2018. De igual manera el número de pacientes con hipertensión en edades de 18 a 69 años pasó de 1812 en 2016 a 2290 casos en 2018. Con respecto al número de enfermos renales en 2017 se registran un gran número de casos cuando se comparan con 2016 y 2018 (únicos años con los que se cuenta con reporte), en 2017 se registraron 510 casos.

Con respecto a las enfermedades de notificación obligatoria relacionadas a factores ambientales se puede observar un aumento en la notificación de casos de intoxicación por sustancias químicas durante el 2016 y 2017 al compararlo con años anteriores, este mismo comportamiento lo ha presentado la notificación de intoxicaciones por plaguicidas evento en el que durante los años 2009, 2010 y 2011 se registraron 12, 9 y 18 casos respectivamente y pasó a 37, 61 y 31 en los años 2015, 2016 y 2017. De igual manera los eventos como anomalías congénitas, cáncer de mama y cuello uterino y cáncer infantil registran un aumento en el año 2017 con respecto a años anteriores. Figura 82.

Figura 82. Eventos de notificación obligatoria- Departamento del Guaviare 2009-2018



Fuente: Construcción a partir de los datos observados en SISPRO-ASIS- Contrato 1097/2019

El índice de riesgo de la calidad del agua en los años 2009 y 2010 en zona urbana y rural era alto, para el 2010 en zona rural se obtuvo un IRCA de 90.1 lo que lo clasifica como inviable sanitariamente

A continuación se describen las condiciones para los municipios estudiados del departamento del Guaviare.

Calamar

Características geográficas y territoriales del municipio de Calamar

El municipio de Calamar está ubicado en la región natural de la Amazonía Colombiana, en el sur y el sur occidente del municipio San José del Guaviare en la margen derecha del río Unilla (fuente del río Vaupés y por tanto del río Negro). Tiene una superficie total de 16.200 km², que representa el 0.01% del territorio Nacional(330).

El municipio limita hacia el norte con los municipios del Retorno y San José, al oriente con el municipio de Miraflores, al occidente con los Departamentos del Meta y Caquetá, y al sur Caquetá y Vaupés. Se ubica en las coordenadas: Latitud N 01°57'57, Longitud W 72°33'14. Altitud 200 msnm. (330).

Características físicas del territorio

El piso térmico es cálido con temperaturas que oscilan entre los 27 y los 30° C a lo largo de todo el año. Bañan sus suelos las aguas del río Unilla e Itilla que luego forman el Vaupés, además de numerosos caños y corrientes de caudal variable, de acuerdo con la época del año.

El sistema ambiental del municipio de Calamar está integrado por las áreas de Protección, las zonas de recuperación, las zonas de producción, las microcuencas Caño Unilla, Caño Arenoso, Caño Bálsamo, Caño Agua Bonita, Caño Rico y Caño Tigre.

De igual forma, hacen parte del Sistema Ambiental las reservas de suelo para las plantas de tratamiento de agua para el consumo, para las lagunas de oxidación o de tratamiento de aguas residuales, para el tratamiento, manejo y disposición final de residuos sólidos y para escombreras, de la Cabecera. Asimismo, se integran a este Sistema los siguientes sitios de patrimonio eco turístico y arqueológico del municipio: Parque Nacional Natural Serranía del Chiribiquete, Caserío Las Gaviotas, Parque el Tachi, Jardines naturales, Centro Candamo, Cerro Campana, Cachiveras del Itilla. (330,331)

Contexto y estructura demográfica

Para el año 2018, se registró un total de 8.456 habitantes con 4.632 hombres y 3.824 mujeres, la densidad poblacional para el año 2018 es de 0.52 habitantes por km² (hab/km²). En el año 2018 el municipio de Calamar presenta una división porcentual representada así: área urbana 63% y el área rural 37%, esto muestra que las concentraciones de población en el área urbana supera en un 26% al área rural.

Según Censo DANE 2005 el municipio de Calamar cuenta con 1.431 viviendas distribuidas en el área urbana y rural, en la zona urbana 1.210 y en la zona rural 221, la constitución del número de personas por hogar en el casco urbano en promedio es de 3.4 personas y en el área rural 4.6 personas por hogar (330)

De acuerdo al índice de Sundbärg, la pirámide poblacional del municipio de Calamar es de tipo progresiva, teniendo en cuenta que, el porcentaje de menores de 15 años (47 %), supera el porcentaje de los mayores de 50 años (17 %) observándose una fecundidad y natalidad alta con un ensanchamiento leve en su base para el año 2020 comparado con el año 2018; asimismo, para el año 2018 y 2020 se observa una reducción marcada de la población de 35 a 49 años y un aumento para el año 2020 de la población de 55 a 64 años a diferencia de lo evidenciado en el año 2005 y 2018.

Para el año 2018, el municipio de Calamar está conformado por 8 456 habitantes, el 55,0 % son hombres (4 632 habitantes) y el 45,0% son mujeres (3 824 habitantes). De igual forma, en el año 2018 se observa una reducción del 24,4 % de la población con respecto al año 2005 en el cual el municipio contaba con 11 183 habitantes. (330)

Otros indicadores demográficos

Relación hombres/mujer: Según la distribución de la población por sexo, no se observan diferencias significativas entre la población masculina y femenina con porcentajes de 55% y 45%, respectivamente, y una razón hombre/mujer de 121 hombres por cada 100 mujeres.

El índice de vejez: En el año 2018, de 100 personas en el municipio de Calamar 8 correspondían a población mayor de 65 años, este indicador ha aumentado en un 100,0% con respecto al año 2005 en el cual de 100 personas 4 correspondían a mayores de 65 años. Índice de vejez.

El índice demográfico de dependencia: En el municipio de Calamar, para el año 2018 de 100 personas entre los 15 a 64 años existen 75 personas dependientes (población menor de 15 años y mayores de 65 años), este indicador ha disminuido en un 4,2% con respecto al año 2005 en el cual de 100 personas entre los 15 a 64 años existían 78 personas dependientes (población menor de 15 años y mayores de 65 años).

Índice de dependencia de mayores: En el municipio de Calamar, para el año 2018 de 100 personas entre los 15 a 64 años dependen 10 personas mayores de 65 años, este indicador ha aumentado en un 250% con respecto al año 2005 en el cual de 100 personas entre los 15 a 64 años dependían 4 personas mayores de 65 años. (330)

Condiciones de salud

Durante el periodo de 2009 a 2018 las causas externas ocasionaron la tasa de mortalidad más alta con excepción de los años 2012 al 2015, periodo en el que las enfermedades del sistema circulatorio generaron las tasas más altas en los años 2012 y 2013 y las demás causas ocasionaron el mayor número de muertes en 2014 y 2015. Durante el 2018 en el municipio de Calamar las tasas de mortalidad más alta fueron asociadas a causas externas con 122,08 por/10⁰⁵ hab., seguida de las enfermedades transmisibles con 109,13 por/10⁰⁵ hab. y las Neoplasias con 77,76 por/10⁰⁵ hab. Con relación a la morbilidad atendida por curso de vida, las enfermedades no transmisibles son los principales diagnósticos relacionados en las consultas en todos los cursos de vida, exceptuando Infancia en el que durante el 2018 el principal diagnostico fueron las patologías asociadas a las condiciones transmisibles y nutricionales. En años anteriores se evidencia un comportamiento similar al 2018 con excepción de la primera infancia en el que en la mayoría de los años del periodo registrado el principal diagnostico estuvo asociado a condiciones transmisibles y nutricionales.

En el 2018 aproximadamente 11 de cada /10⁰⁵ hab., presentaron riesgo de tener enfermedad renal crónica, este riesgo registrado es mayor cuando se compara con los dos años inmediatamente anteriores. El comportamiento de eventos de salud pública asociado a condiciones medioambientales como las intoxicaciones ha sido variable; sin embargo, las intoxicaciones por plaguicidas son las de mayor frecuencia. En cuanto a neoplasias de notificación obligatoria como leucemia linfocítica y mielocítica aguda, cáncer infantil y cáncer de mama y cuello uterino no se han registrado casos en los últimos años de observación, exceptuando el 2017 en el que se registró 1 caso de cáncer de mama y cuello uterino.

El Retorno

Características geográficas y territoriales del municipio

El Municipio de El Retorno un territorio amazónico que hace parte del Departamento del Guaviare. Se encuentra localizado a los 02° 19" de latitud norte y 72° 37" de longitud oeste, Limita al Norte con San José del Guaviare, por el Sur con Miraflores y el departamento del Vaupés, por el Oeste con Calamar y el Este con el departamento de Guainía, con una extensión total de 10.434 Km².(327)

Características físicas del territorio

El municipio del Retorno cuenta con una extensión total de 10.434 Km². El clima del municipio es de tipo tropical estacional y el comportamiento de la temperatura durante todo el año es bastante homogéneo (con oscilaciones anuales inferiores a los 10 °C), aunque se registra un ligero aumento durante la época de menores lluvias, cuando la temperatura alcanza en promedio los 25,3°C (varían entre 23°C y 35°C).

El Municipio se encuentra en la microcuenca de Caño Grande. Los ríos y numerosos caños del municipio son tributarios de la cuenca hidrográfica de los ríos Amazonas y Orinoco (subcuencas de los ríos Inírida, Papunagua y Vaupés). Hay dos grandes ríos que recorren el municipio de occidente a oriente y sur oriente: Caño Grande y El Río Inírida (327).

Contexto y estructura demográfica

La población del municipio El Retorno para el año 2018 es de 24.155 habitantes, evidenciándose un aumento del 2.7%, con respecto al año inmediatamente anterior, la densidad poblacional es de 2.31 habitantes por kilómetro cuadrado, que ha permanecido estable desde el año 2005 a la fecha.

La población por área de residencia urbano/rural para el año 2016 contaba con una población de 23.364 habitantes, para el año 2017 una población de 23.756 habitantes y para el año 2018, 24.155 habitantes, mostrando un aumento del 2.7% en el total de la población.

El municipio de El Retorno presenta una población que el 51.7% es rural y el 49,3% urbana, es decir una población predominantemente rural. El número total de viviendas es de 4.143 aproximadamente, de las cuales 2265 corresponden a viviendas rurales y a 1878 viviendas del perímetro urbano, de las cuales un 65% se encuentran construidas en madera, de estas un 40% tienen el piso en tierra, en cuanto al área rural el mayor número de viviendas son construidas con madera burda (94%), con techo en teja de zinc y piso en tierra (60%).

El número de hogares para el año 2018 fue de 4.429, el número de hogares, de los cuales 2288 pertenecen área urbana y 2141 al área rural.(326, 327,330)

La pirámide poblacional del municipio de El Retorno es tipo expansiva, la cual representa una población con altos rangos de fertilidad, la misma muestra un mayor número o porcentaje de población joven, el cual va disminuyendo sucesivamente al avanzar hacia los grupos etarios mayores.

Muestra para el 2018 se evidencia un aumento de la población de 0 a 4 años que alcanza la proyección poblacional a 2020, en la edad de 5 a 9 años se identifica que se ha sobrepasado la proyección a 2020 en el género femenino, para la población de 10 a 14 años se evidencia que se sobrepasó la población proyectada para el 2020 en hombres y mujeres, de 15 a 19 años la población femenina como masculina iguala a la proyección estimada para el 2020, la población de 20 a 24 años en los hombres y mujeres alcanza la proyección a 2020, con tendencia al aumento, para las edad de 25 a 29 años nos muestra una elevación de la población para el 2018 la cual sobrepasa la proyección estimada para el 2020, por lo que se confirma que la mayor parte de la población se encuentra dentro de una edad joven y adulta joven. Desde los 44 años a los 59 años se evidencia aumento en la población en los dos géneros sin sobrepasar la proyección 2020, y de los 60 a los 80 años y más se evidencia un aumento progresivo en el género femenino que sobrepasa la proyección 2020, en comparación al género masculino que se mantiene dentro de la proyección(327)

Otros Indicadores demográficos

Relación hombres/mujer: En el año 2005 por cada 109 hombres, había 100 mujeres, mientras que para el año 2018 por cada 99 hombres, había 100 mujeres.

Índice de vejez: En el año 2005 de 100 personas, 4 correspondían a población de 65 años y más, mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 7 personas

Índice demográfico de dependencia: En el año 2005 de 100 personas entre los 15 a 64 años, había 82 personas menores de 15 años ó mayores de 65 años y más (dependientes), mientras que para el año 2018 de cada 100 personas entre los 15 a 64 años, había 66 personas menores de 15 años o mayores de 65 años.

Índice de dependencia mayores: En el año 2005, 6 personas de 65 años y más dependían de 100 personas entre los 15 a 64 años, mientras que para el año 2018 fue de 6 personas(327).

Condiciones de salud

En El Retorno en el periodo del 2016 al 2018, la tasa de mortalidad más alta fue ocasionada por causas externas. En el 2018 aproximadamente 78 de cada/10⁰⁵ hab. del municipio tuvieron el riesgo de fallecer por cualquier tipo de Neoplasias, con respecto a este tipo de causas de mortalidad se observa que la tasa más alta registrada fue en el año 2009 con 113,17 muertes/10⁰⁵ hab. y fue disminuyendo a través del tiempo, la tasa más baja fue en el 2015 con 12,49 muertes/10⁰⁵ hab., desde ese año se ha evidenciado un aumento progresivo de las muertes por esta causa. Los años en los que se registran mayor número de diagnósticos relacionado a morbilidad atendida por todas las causas y en todos ciclos vitales son los años 2009, 2013 y 2014, durante estos años el mayor número de diagnósticos en primera infancia e infancia estuvieron asociadas a enfermedades transmisibles y nutricionales y en el resto de cursos de vida estuvieron asociadas a enfermedades no transmisibles. En el 2018, aproximadamente 5 de cada /10⁰⁵ personas en el municipio podían tener enfermedad renal crónica y se diagnosticaron 186 personas hipertensas en edades de 18 a 69 años. Este mismo año se observa un aumento importante en la notificación de intoxicaciones, principalmente las intoxicaciones por plaguicidas, evento que paso de 5 casos notificados en 2017 a 182 en 2018; las intoxicaciones por sustancias químicas pasaron de un caso notificado en 2017 a 67 casos en 2018 e intoxicación por solventes se registraron 19 casos en 2018, en los 8 años anteriores no se habían registrado casos de este tipo de intoxicación. En 2017 se notificaron dos casos de anomalías congénitas, cuatro casos de cáncer de la mama y el cuello uterino y un caso de cáncer infantil.

Miraflores

Características geográficas y territoriales del municipio

El Municipio de Miraflores se ubica al sur oriente del Departamento del Guaviare, a 110 kilómetros al sur del Municipio de San José; zona conocida anteriormente como el Alto Vaupés y al margen nororiental del río Vaupés, cuenta con una extensión de 12.779.3 km², siendo el tercer Municipio más extenso del Departamento del Guaviare(332).

El Municipio limita al norte con el municipio de El Retorno, al sur con el Departamento del Caquetá, al oriente con el Departamento del Vaupés y al occidente con el Municipio de Calamar.

Características físicas del territorio

El municipio de Miraflores cuenta con una extensión de 12.779.3 km², siendo el tercer Municipio más extenso del Departamento del Guaviare, en su extensión equivale al 23.3% del Departamento del Guaviare y tiene un área intervenida de 72.323 hectáreas. El clima del municipio es de tipo tropical estacional y el comportamiento de la temperatura durante todo el año es bastante homogéneo (con oscilaciones anuales inferiores a los 10°C), aunque se registra un ligero aumento durante la época de menores lluvias, cuando la temperatura media alcanza en promedio los 26,3°C (332).

Está bañado por corrientes que fluyen hacia el río Vaupés, el cual sirve de eje para la conformación de la cuenca que lleva su nombre, con numerosos ríos y caños tributarios de la cuenca hidrográfica del Amazonas. El terreno del municipio corresponde a la Amazonía Colombiana, con una altitud que oscila entre los 150 y 500 metros sobre el nivel del mar (media de 228 msnm). Los suelos se caracterizan por un bajo nivel de fertilidad y por un alto grado de acidez; son relativamente homogéneos en todo el municipio, de frágil degradación, lo que no permite las prácticas agrícolas duraderas ni rentables; ya que sus suelos son de origen sedimentario de llanuras residuales, aluviales de los ríos amazónicos.

Su conservación es de gran importancia y beneficio para la humanidad, pues son climas de exuberante vegetación, ecosistemas ubicados en áreas homogéneas donde el agua, el bosque y el suelo con múltiples biomas o delgadas cortezas de vida, que están en estrecha relación. Si alguna de ellas se usa, los otros dos podrían extinguirse (332,333)

La vegetación se encuentra muy desarrollada y puede ser dividida en muchos estratos o “pisos”, dependiendo de su altura (suelo, sotobosque, dosel, árboles emergentes.) El dosel normalmente está formado por árboles altos, de 25 a 35 m de altura; los árboles emergentes gigantes superan los 50 m de altura.(331)

Contexto y estructura demográfica

Según el censo poblacional del año 2005 el municipio de Miraflores tenía un total de 11.311 habitantes; teniendo en cuenta las proyecciones realizadas para el año 2018 la población se calcula en 15.451 habitantes, lo cual indica un crecimiento poblacional del 36,6% (4.140 habitantes); se espera que para el año 2020 la población del municipio sea de 16.166.

Al analizar la distribución de la población por sexo se evidencia que los hombres representan el 58,6% de la población, la diferencia, el 41,4% se proyecta en mujeres.

En el año 2018 la densidad poblacional fue de 1,2, es decir por cada km² hay 1,2 personas (12.779 KM² Vs 15.451 habitantes calculados para el año 2018). Para este mismo año, el 75,2% de la población del municipio de Miraflores reside en el área rural del mismo, en contraposición el 24,35% se ubica en la cabecera municipal (332).

Según el censo DANE del año 2005 en el municipio de Miraflores el 96,3% de las viviendas son tipo casa; y el 0,8% de estas viviendas tienen alguna actividad económica. El casco urbano del municipio de Miraflores tiene un aproximado de 850 viviendas habitadas, la mayoría de las familias que habitan las viviendas en el municipio son población indígena, en muchas viviendas se evidencian varios hogares, siendo familias extensas modificadas, en promedio las casa están habitadas por 8 personas. Se pueden encontrar viviendas de tres o cuatro cuartos habitadas con tres o cuatro hogares, las familias en general son de más de 4 personas, son pocas las familias de tipo nuclear existentes en el municipio (332,334).

La pirámide de población del municipio de Miraflores es tipo expansiva, para el año 2018 muestra disminución en la natalidad y fecundidad comparado con el año 2005; su proyección es estacionaria moderna. Desde el año 2005 se evidencia una disminución en la población infantil y se proyecta el mismo comportamiento hasta el año 2020 en la segunda infancia, situación que se percibe similar en la población de 25 a 44 años. La población a partir de los 45 años aumentó en el año 2017 con respecto al año 2005, para el año 2020 la tendencia seguirá la misma tendencia, comportamiento secundario al proceso natural de envejecimiento y a la transición demográfica en la que se encuentra el municipio (332).

Otros Indicadores demográficos

Relación hombre – mujer: En el año 2005 por cada 142 hombres, había 100 mujeres, mientras que para el año 2018 por cada 142 hombres, había 100 mujeres.

Índice de vejez: En el año 2005 de 100 personas, 4 correspondían a población de 65 años y más, mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 11 personas.

Índice demográfico de dependencia: En el año 2005 de 100 personas entre los 15 a 64 años, había 59 personas menores de 15 años o mayores de 65 años y más (dependientes), mientras

que para el año 2018 de cada 100 personas entre los 15 a 64 años, había 53 personas menores de 15 años o mayores de 65 años.

Índice de dependencia mayores: En el año 2005, 4 personas de 65 años y más dependían de 100 personas entre los 15 a 64 años, mientras que para el año 2018 fue de 10 persona (332)

Condiciones de salud

En el municipio de Miraflores, durante el 2018, las tasas de mortalidad más altas están asociadas a las enfermedades del sistema circulatorio con 49,16 por cada/10⁰⁵ hab., seguida de las neoplasias con 46,70 muertes por cada/10⁰⁵ hab., y en tercer lugar las causas externas con una tasa de 24,28 por cada /10⁰⁵ hab. En cuanto a las muertes ocasionadas por neoplasias se evidencia un aumento progresivo de las tasas de mortalidad en los últimos cuatro años del periodo de observación.

Las enfermedades no transmisibles son los diagnósticos más frecuentes durante todos años de observación (2009 a 2019) en los cursos vitales de adolescencia, juventud, adultez y vejez. En primera infancia e infancia, las enfermedades transmisibles y nutricionales son el grupo de patologías que más causan morbilidad. Los años en los que más se registraron consultas con diagnósticos de enfermedades relacionadas a todas las causas fueron 2009, 2013 y 2014.

La prevalencia de Enfermedad renal crónica en este municipio durante el 2018 fue de 33,33 por cada/10⁰⁵ hab., la más alta de los municipios estudiados del departamento del Guaviare. En los últimos tres años de observación se registraron 19 casos de Enfermos renales crónicos y se diagnosticaron 236 casos de hipertensión en personas de 18 a 69 años. Con respecto a los eventos de interés en salud publica asociados a factores ambientales, durante el 2018 no se obtuvieron registros de casos de intoxicaciones, sin embargo, en 2017 se observaron cuatro casos notificados de intoxicaciones por plaguicidas.

San José del Guaviare

Características geográficas y territoriales del municipio

El municipio de San José del Guaviare se encuentra localizado al norte del departamento del Guaviare, en la cabecera del trapezio amazónico colombiano en una franja de transición entre la Orinoquía y la Amazonia, cuenta con una extensión territorial de 13.912 Km² para una densidad poblacional de 5 habitantes por Km². Limita al norte y occidente con el departamento del Meta, al sur con los municipios de El Retorno y Calamar, y al oriente con el departamento del Vichada(335)

Características físicas del territorio

El municipio de San José del Guaviare tiene una extensión territorial de 13.912 Km², un área de 166.0000 hectáreas que corresponde al 30% del territorio municipal, siendo este el primer

municipio del departamento de Guaviare, su clima se caracteriza por ser cálido con temperaturas promedio de 25°. Los territorios son principalmente planos, correspondientes a la transición entre la Orinoquia y la amazonia, regados por numerosas corrientes de agua entre las que se destacan los ríos Guaviare y Guayabero, que adicionalmente sirven de comunicación entre sus poblaciones dentro y fuera del departamento.

El nivel de humedad percibido en San José del Guaviare, debido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es *bochornoso*, *opresivo* o *insoportable*, no varía considerablemente durante el año, y permanece entre el 3 % del 97 %. (336)

Entre los animales de la región encontramos peces como la cachama, yamú, la piraiva, el guaracú, el valentón, el bagre sapo, el dorado, bagre amarillo, páyala, el payalín. Los mamíferos el perro de agua, la nutria, el tigrillo, el león de selva, el venado negro, la lapa, el chaqueto y el cachicamo. Los reptiles, la tortuga, el morrocoy, el guió negro, la boa, la culebra cuatro narices, la culebra cascabel, y la cazadora. Las aves, el garzón soldado, la garza blanca y morena, el loro real, el loro palmero, la guacamaya, la gallineta, el tucán, el gaván, el perico cara sucia, entre otros.

Las principales especies forestales conocidas por sus nombres autóctonos dentro de la región son: El Laurel, el comino, el cedro amargo, la Ceiba, el balso, el cacao silvestre, el yarumo, el caucho, la palma de moriche, el cumare, y el cejen entre otros (335)

Contexto y estructura demográfica

La población total para el Municipio de San José de Guaviare para el año 2005 fue de 53.994 habitantes, para el año 2018, fue de 67.767 y para el año 2020 se esperan 70.019 habitantes, observándose un incremento del 20% de la población para el año 2018 con respecto al año 2005 y se espera que para el año 2020 se incremente 3,2% de la población con respecto al año 2018. Con respecto a la densidad poblacional, habitan 5 personas por kilómetro cuadrado, esta proporción mayor en el área urbana que en la rural, siendo 18 (personas/Km) y 2.0 (personas/Km) respectivamente.

La cantidad de personas que habitan el Municipio de San José de Guaviare se ubica en un 71% en el área urbana y en un 29% en el área rural Población total. El número de hogares en el municipio de San José del Guaviare es de 9.805 para el año 2005.

En San José del Guaviare las viviendas se caracterizan por que en un 13% tienen pisos inadecuados, un 9.7% por paredes inadecuadas, con un porcentaje de hacinamiento de 30.7%(333-335)

De acuerdo al índice de Sundbärg, la pirámide poblacional del municipio de San José del Guaviare es de tipo progresiva, teniendo en cuenta que el porcentaje de menores de 15 años (37,8%), supera el porcentaje de los mayores de 50 años (15%), asimismo, se evidencia una fecundidad y natalidad alta, con un ensanchamiento leve en su base para el año 2020

comparado con el año 2018, y se observa una reducción de la población asociada a una mortalidad progresiva en los tres años analizados.

Para el año 2020, se observa menor proporción de población de 0 a 19 años con respecto a los años 2005 y 2020 y aumento progresivo de los habitantes en los grupos a partir de los 55 años, representando el envejecimiento de la población para el año 2020 (Figura 1). Para el año 2018, el municipio de San José del Guaviare está conformado por 67.767 habitantes, el 51% son hombres (34.447 habitantes) y el 49% son mujeres (33.320 habitantes). De igual forma, en el año 2018 se observa un aumento del 20% de la población con respecto al año 2005 en el cual el municipio contaba con 53.994 habitantes (335)

Otros indicadores demográficos

Relación hombre – mujer: En el año 2005 por cada 108 hombres, había 100 mujeres, mientras que para el año 2018 por cada 103 hombres, había 100 mujeres

Índice de vejez: En el año 2005 de 100 personas, 5 correspondían a población de 65 años y más, mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 7 personas

Índice demográfico de dependencia: En el año 2005 de 100 personas entre los 15 a 64 años, había 84 personas menores de 15 años o de 65 años y más (dependientes), mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 74 personas.

Índice de dependencia mayores: En el año 2005, 6 personas de 65 años y más dependían de 100 personas entre los 15 a 64 años, mientras que para el año 2018, fue de 8 personas.(335)

Condiciones de salud

En San José del Guaviare durante el periodo del 2015 al 2018, las enfermedades del sistema circulatorio fueron la principal causa de muerte. En 2018 aproximadamente 162 de cada/10⁰⁵ hab., tuvieron riesgo de fallecer por enfermedades del sistema circulatorio, 136 y 102 personas de cada/10⁰⁵ hab., tuvieron riesgo de fallecer por las demás causas y neoplasias respectivamente.

En cuanto a la morbilidad atendida por cursos de vida 2009, 2013 y 2014 son los años que registran mayor número de patologías diagnosticadas. Las enfermedades no transmisibles son los principales diagnósticos en todos cursos de vida durante el 2018. En 2018 se diagnosticaron 1805 casos de hipertensión arterial en población de 18 a 69 años y en ese mismo año la prevalencia de enfermedad renal crónica es de 2.16 por cada/10⁰⁵ hab.

En 2018 no se tienen datos de eventos de notificación obligatoria; sin embargo, de los municipios del departamento del Guaviare, este municipio es el que registra mayor número de anomalías congénitas, cáncer de mama y cuello uterino, cáncer infantil y Leucemia aguda pediátrica Linfóide durante todo el periodo de observación (2009 a 2017). Durante los años

observados se registran 106 casos de intoxicación por plaguicidas, 54 casos de Intoxicación por otras sustancias químicas, 18 casos de cáncer de mama y cuello uterino, ocho casos de cáncer infantil y cuatro casos de Leucemia aguda pediátrica Linfoide.

6.1.3 Departamento del Vichada

6.1.3.1 Características geográficas y territoriales

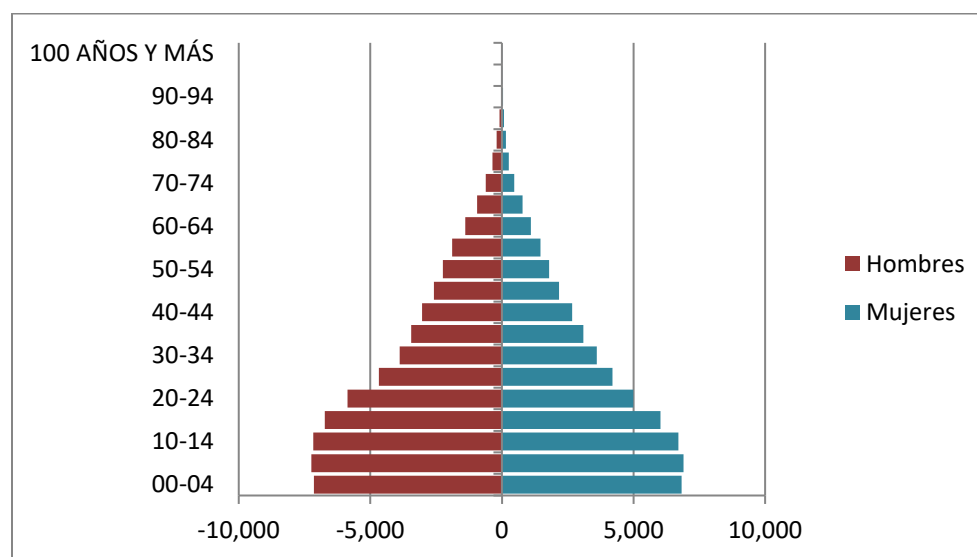
Está ubicado al este del país, en las regiones Orinoquía y Amazonia, limitando al norte con Casanare y Arauca, al norte y este con Venezuela, al sur con Guainía, al suroeste con Guaviare y al oeste con Meta, se localiza entre los 06°19'34" y 02°53'58" de latitud norte y 67°25'1" y 71°7'10" de longitud oeste. Con una extensión de 105.947 km², es el segundo departamento más extenso, cuenta con unos 112.958 habitantes y una densidad poblacional de 1,13 hab/km², según proyección DANE para el año 2020.

La red hidrográfica del Vichada está conformada por grandes ríos, quebradas, caños y algunas lagunas, que desaguan en el Orinoco a través de los ríos Meta, Vichada, Guaviare y Tomo; además de los ya mencionados, se destacan también los ríos Bitá, Tuparro, Uvá, Elbita, Muco, Iteviare y Siare, y los caños Tuparrito, Bravo y Mono. Las lagunas de mayor importancia son las de Sesama y Caimán (337).

6.1.3.2 Características demográficas

El departamento del Vichada tiene una distribución de la población por sexo según el censo nacional de población y vivienda es de 53.1% masculino y 46.9% femenino(328,337,338) (Figura 83).

Figura 83. Estructura poblacional Departamento de Vichada- 2020



Fuente: Proyecciones poblacionales- DANE 2020

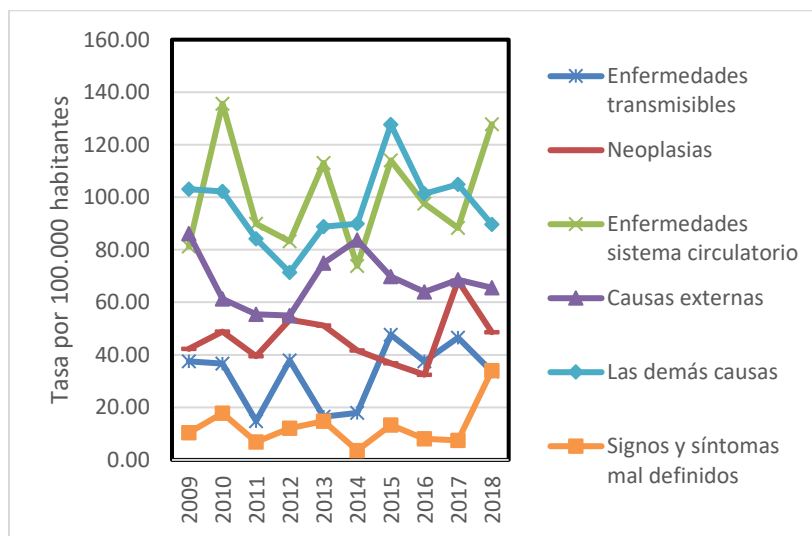
6.1.3.3 Condiciones sanitarias

Durante el periodo de observación comprendido entre los años 2009 a 2018, las grandes causas de muerte que han generado tasas de mortalidad más altas están relacionadas a enfermedades del sistema circulatorio, seguido de las patologías clasificadas como las demás causas y los eventos de causas externas.

Respecto a las tasas de mortalidad asociadas a enfermedades del sistema circulatorio estas se han mantenido por encima de cada 73 casos por cada/10⁰⁵hab., en todo el periodo de observación; en el 2018 se registra la tasa más alta de mortalidad por esta causa, en ese año aproximadamente 128 personas tuvieron riesgo de morir por enfermedades del sistema circulatorio en el municipio.

Las muertes ocasionadas por enfermedades clasificadas como las demás causas han generado una tasa de mortalidad en 2018 de 89.62 por cada/10⁰⁵ hab., la segunda más alta de ese año. Sin embargo, esta tasa es la más baja registrada en los últimos 4 años. Con respecto a las neoplasias, en 2018 aproximadamente 49 personas tuvieron riesgo de morir a causa de este tipo de patologías, el comportamiento de las tasas de mortalidad por este tipo de causa no ha mostrado una tendencia clara, más bien se muestra irregular, la tasa de mortalidad más baja por esta causa registrada en el periodo se obtuvo en el año 2016 con 32,45 muertes /10⁰⁵ hab., y la más alta se obtuvo en el año siguiente (2017) donde el riesgo de morir por neoplasias aumentó a 68,19 por cada/10⁰⁵ hab. Figura 84.

Figura 84. Mortalidad por grandes causas Departamento del Vichada 2009-2018

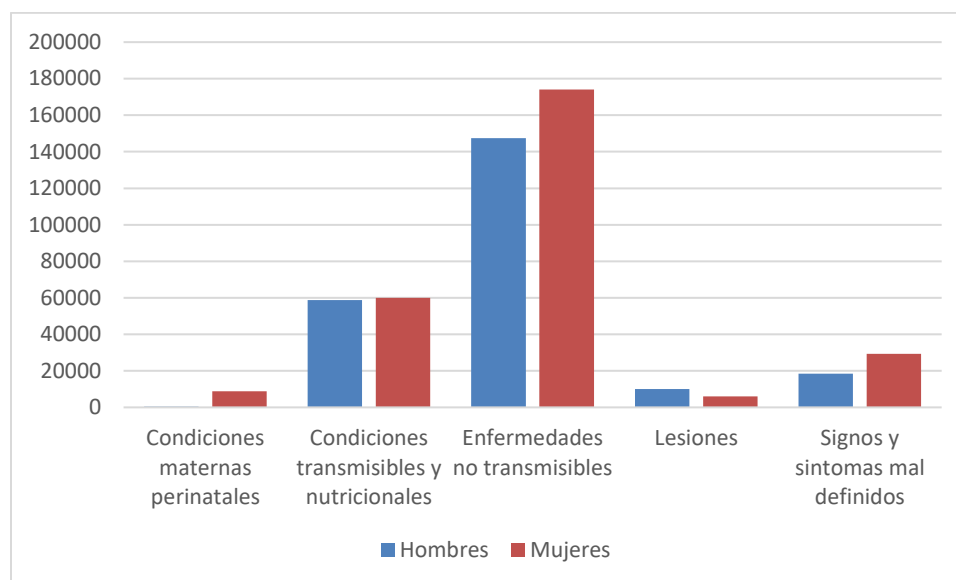


Fuente: Construcción a partir de los datos observados en SISPRO-ASIS- Contrato 1097/2019

Con relación a la morbilidad atendida, el número de diagnósticos registrados en mujeres es mayor al registrado en hombres en todo el periodo informado. En ambos sexos son más frecuentes los registros con diagnósticos asociados a enfermedades crónicas no transmisibles, durante el periodo de 2009 a 2018, en hombres se registraron 147.433 y en mujeres 174.140

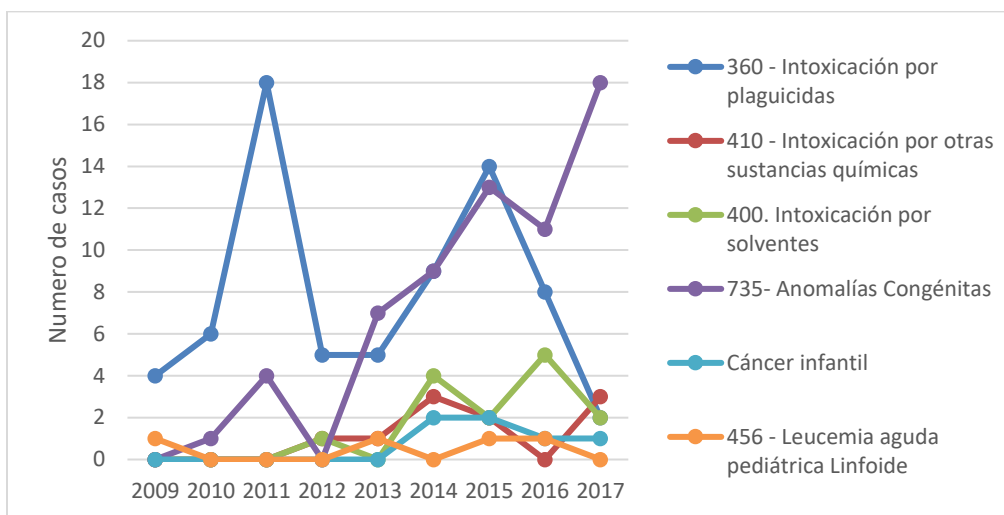
diagnósticos asociados a este tipo de enfermedades. Durante el 2018 se registraron 8866 diagnósticos en mujeres y 347 en hombres asociados a enfermedades materno perinatales. Figura 85.

Figura 85. Morbilidad atendida por sexo, Departamento del Vichada 2009-2018 (número de casos)



Fuente: Construcción a partir de los datos observados en SISPRO-ASIS- Contrato 1097/2019

Respecto a la notificación de eventos de interés en salud pública se seleccionaron aquellos que estuvieran relacionados a factores medioambientales o por exposición a algún tipo de sustancias, en el período de 2009 a 2018 se han notificado a SIVIGILA, 71 casos de intoxicaciones por plaguicidas, sin embargo en el año 2018 no se evidencian registros de casos, el año en que más se notificaron casos de intoxicaciones fue en el 2011, de igual forma en este mismo periodo se notificaron 19 casos de intoxicaciones por otras sustancias químicas y 14 casos de intoxicaciones por solventes. En cuanto a anomalías congénitas, el 2017 ha sido el año con mayor ocurrencia y notificación de casos con 18 casos, en el 2016 se notificaron 11. Con relación a las neoplasias de notificación obligatoria se han registrado seis casos de cáncer infantil y cuatro casos de leucemia aguda pediátrica linfóide. Figura 86.

Figura 86. Eventos de notificación obligatoria- Departamento del Guaviare 2009-2018

Fuente: Construcción a partir de los datos observados en SISPRO-ASIS- Contrato 1097/2019

En cuanto a eventos de alto costo, en el departamento aproximadamente cuatro de cada 10^5 hab., podrían tener enfermedad renal crónica estadio cinco en 2018, durante ese mismo año se diagnosticaron 515 personas en edades de 18 a 69 años con hipertensión.

La calidad del agua muestra riesgo medio en el departamento y en zona urbana, y para la zona rural se han obtenido mediciones superiores a 48 lo que han clasificado como riesgo alto, esto se ha presentado en los años 2009, 2013, 2014 y 2015. En el año 2017 la zona rural mostró un IRCA sin riesgo.

Cumaribo

Características geográficas y territoriales del municipio

Cumaribo es un municipio Colombiano ubicado en el oriente del país, en jurisdicción del departamento del Vichada, tiene una extensión de 65.204 km², lo que lo convierte en el municipio más extenso de Colombia, tan extenso como Sri Lanka. Sus límites son: Norte: con los municipios Santa Rosalía, La Primavera y Puerto Carreño departamento de Vichada, determinado por el río Tomo. Sur: San José del Guaviare-Departamento del Guaviare-Barranco minas y Puerto Inírida-Departamento del Guainía, demarcado por el río Guaviare. Oriente: Con la República de Venezuela- Estado Amazonas, limite definido por el río Orinoco. Occidente: Con los municipios de Puerto Gaitán y Mapiripán- Departamento del Meta (338)

Características físicas del territorio

El municipio de Cumaribo cuenta con una extensión total de 65.204 km². La temperatura media mensual más baja es 24,4°C -julio- y la temperatura media más alta es 28,4°C febrero-; con una escasa variación de 4,0°C. Presenta un promedio anual de 79.4% de humedad relativa, con un promedio mínimo de 63% durante febrero y uno máximo de 88% en junio.(339)

La Orinoquía es una de las regiones más ricas en recursos hídricos de Colombia, especialmente en el tramo, que el río Orinoco demarca la frontera con Venezuela; en esta pequeña área desembocan importantes afluentes, los cuales reciben a su vez aportes de ríos menores y caños asociados a todo el sistema. El territorio y su red hidrográfica hacen parte de la Gran Cuenca de Río Orinoco; el municipio cuenta con los ríos Tomo, Vichada, Guaviare, Tuparro y Caño Matavén como principales tributarios del río Orinoco, los que dependen de la pluviosidad en la cordillera y en la llanura, el régimen de los ríos, la erosión y el arrastre de material de la cordillera.

En Cumaribo se aprecia cinco tipos de vegetación asociada a las coberturas de sabana, bosque de galería, selva de transición, bosques plantados, y a los humedales y cuerpos de agua. Cuenta con una vegetación de Sabanas conformada por Pastos: Rabo de Vaca, Paja Peluda, Paja Guaratara, Paja Rabo de Zorro; Arbustos resistentes: Chaparro, Alcornoque, Guayabo Sabanero, Bototo, Corozo, Laurel; y Asociaciones de Palmas: El Moriche, Son: Cedro Macho, Caraño, Anime, Laurel, Gualanday, Yarumo, Caimo, Guadua, Guamo, Cumare, Dormidera Pavito, Clavo de Laguna, Cañaguatate y Caucho.

Vegetación de selva de transición, este tipo de vegetación presente únicamente en Cumaribo, entre los ríos Guaviare y Vichada, además bosques de Galería o bosque natural fragmentado. Las especies más comunes son: Cedro Macho, Caraño, Anime, Laurel, Gualanday, Yarumo, Caimo, Guadua, Guamo, Cumare, Dormidera Pavito, Clavo de Laguna, Cañaguatate y Caucho.

Bosques Plantados. Son pocas las experiencias; sin embargo, en el Centro Experimental Gaviotas existe una zona sembrada de 8.000 hectáreas de Pino caribea, con propósitos de extracción de resinas y aceites; y resultados económicos y ambientales positivos.

Dentro de la Fauna se encuentran peces orinoquenses de agua dulce que son escasamente conocidos. Se han contado 258 especies para la región hasta el momento. Adicionalmente en la Orinoquia existen unas 650 especies de aves, la mayoría de las cuales tienen presencia en Cumaribo y variedad de insectos que ocupan un lugar importante dentro de la fauna de la región.(338,339)

Contexto y estructura demográfica

El municipio de Cumaribo cuenta con 39.549 habitantes con un grado de urbanización del 19,37% En la cabecera municipal urbana se cuenta con una población de 7.660 habitantes con un 19,37%. El resto de la población corresponde al 80,63% en zonas rurales. Tiene una densidad poblacional de 0,57 hab/Km2 (338)

Según proyecciones poblacionales DANE 1985-2020 en el municipio de Cumaribo el total de hogares es de 4.967, 3.648 ubicados en la zona rural y 1.319 en la cabecera municipal (328,334).

Según estimaciones 1993-2005 y proyecciones 2005-2020, el número de viviendas del grupo Amazonía para el año 2017 es de 77.261, 35.191 ubicadas en el casco urbano y 42.070 en la zona rural. No se encuentran discriminados para el departamento y el municipio (338)

La pirámide poblacional de Cumaribo es progresiva y refleja un aumento en la fecundidad y la natalidad, con un estrechamiento marcado en los grupos de edades entre 75 y 79 años en el año 2018. Para este periodo, el grupo de edad que presenta mayor porcentaje de crecimiento son las mujeres y hombres entre 0 y 4 años y 5 y 9 años con un 7% respectivamente, seguido por los grupos entre 10 y 14 años y 15 y 19 años con un 6% de crecimiento respectivamente. La proyección para el año 2020, presenta el mismo comportamiento antes mencionado (338)

Otros indicadores demográficos

Relación hombre – mujer: En el año 2005 por cada 107 hombres, había 100 mujeres, mientras que para el año 2018 por cada 99 hombres, hay 100 mujeres.

Índice de vejez: En el año 2005 de 100 personas, 7 correspondían a población de 65 años y más, mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 8 personas.

Índice demográfico de dependencia: En el año 2005 de 100 personas entre los 15 a 64 años, había 95,57 personas menores de 15 años o de 65 años y más (dependientes), mientras que para el año 2018 este grupo poblacional fue de 85,03 personas.

Índice de dependencia mayores: En el año 2005, 9 personas de 65 años y más dependían de 100 personas entre los 15 a 64 años, mientras que para el año 2018 fue de 10 personas (338)

Condiciones de salud

En los últimos siete años del periodo observado, los eventos relacionados a las demás causas fueron la principal causa de muerte. Durante el año 2018 las tasas más altas de mortalidad fueron ocasionadas por las enfermedades clasificadas en el grupo de las demás causas con una

tasas de 67,40 por cada/10⁰⁵ hab., seguido de las enfermedades del sistema circulatorio con 47,23 por cada/10⁰⁵ hab., en tercer lugar se encuentran la mortalidad debido a causas externas con 40,92 por cada/10⁰⁵ hab., durante ese mismo año, aproximadamente 37 personas de cada/10⁰⁵ hab., del municipio tuvieron riesgo de fallecer por neoplasias, desde el 2010 se ha observado un aumento progresivo del riesgo de morir por estas causas, superando las 30 personas por /10⁰⁵ hab., a partir del año 2016. En el periodo del 2012 a 2018 las enfermedades clasificadas como las demás causas han ocasionado el mayor número de muertes en el municipio de Cumaribo. Durante todo el periodo de observación las tasas de mortalidad son mayores en hombres.

En cuanto a la morbilidad atendida, las enfermedades no transmisibles son las causantes del mayor número de diagnósticos en hombres y mujeres, seguido de las condiciones transmisibles y nutricionales. Este comportamiento de las consultas según grandes grupos de enfermedades es el mismo en todos los años observados.

En los tres últimos años observados 2016, 2017 y 2018 se evidencia un aumento progresivo del número de personas con enfermedad renal crónica, triplicándose este número en 2018 (301) comparado con 2016 (100). El comportamiento de la notificación y registro de casos de hipertensión arterial tienen un comportamiento similar, pasando de 237 casos diagnosticados en 2016 ha 476 casos en 2018.

La ocurrencia de la notificación de intoxicaciones por plaguicida no presenta cambios inusuales durante el periodo de observación, en el cual se notifican de 0 a 4 casos por año. Con respecto a las anomalías congénitas, incluido el hipotiroidismo congénito se observa un aumento en la ocurrencia de los casos, registrándose 14 casos en el 2017. Desde el 2014 al 2017 se han registrado cinco casos de cáncer infantil y dos casos de leucemia aguda pediátrica linfoide.

6.2 Otros análisis a las condiciones de salud de los municipios estudiados

Se realizó un análisis exploratorio a los datos obtenidos de los registros individuales de prestación de servicios (RIPS), SIVIGILA, RUAF, DANE y registros de defunciones y nacimientos entre los años 2005 y 2018.

El análisis se realizó empleando estadística descriptiva, a través de medidas como la media, desviación estándar, cuartiles, máximo, mínimos, porcentajes de datos faltantes entre otras. Además, mediante el uso de gráficos se exploran los valores atípicos, correlaciones y tendencias a través de los años.

Posteriormente se realizó la consolidación de la información y se realizó el análisis de los indicadores de la situación de salud obtenidos de las diferentes bases de datos consultadas, con el fin de identificar la disponibilidad y calidad de la información relacionada con aspectos como mortalidad fetal e infantil, peso al nacer, control prenatal, atención del parto, morbilidad y

mortalidad infantil y morbilidad y mortalidad del adulto. La información obtenida a partir de las fuentes consultadas fue tabulada y sometida a un proceso de verificación de la disponibilidad de datos para los municipios de interés.

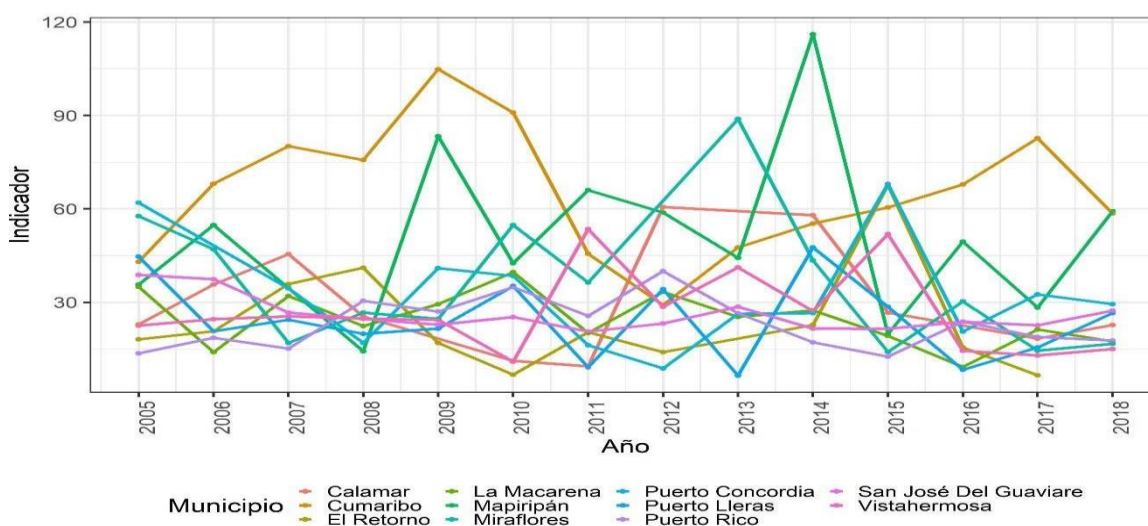
Los datos de la Figura 88, coherentes con la Tabla 71, reflejan unos picos altos en la distribución de algunos años, por ejemplo, en 2014, cuyas muertes feto-infantiles están alrededor de 120 en Mapiripán y en 2009 de cerca de 105 en Cumaribo. Estos datos tan altos deben ser estudiados a profundidad y buscar la explicación de la causa. Otros picos altos se pueden encontrar en los años 2010 y 2013 que también ameritan ser estudiados.

Tabla 71. Indicador de muerte feto infantil

Año	Mapiripán	La Macarena	Puerto Concordia	Puerto Lleras	Puerto Rico	Vista hermosa	San José Del Guaviare	Calamar	El Retorno	Miraflores	Cumaribo
2005	35,71	34,97	62,02	44,64	13,61	22,52	38,83	22,90	18,10	57,69	43,01
2006	54,79	13,99	SD	20,73	18,59	24,57	37,44	35,71	20,73	47,06	68,06
2007	SD	32,00	34,48	24,39	15,15	25,51	26,68	45,45	35,90	16,95	80,15
2008	14,29	22,39	16,95	19,87	30,49	24,77	24,67	25,42	41,10	26,67	75,70
2009	83,33	29,41	40,98	21,58	27,03	24,39	22,81	SD	16,95	24,69	104,87
2010	42,55	39,68	38,46	35,21	34,88	10,95	25,27	11,24	6,76	54,79	90,91
2011	66,04	20,13	16,26	9,17	25,64	53,50	20,60	9,43	20,41	36,36	45,59
2012	58,82	33,33	8,77	34,19	40,00	28,57	23,21	60,61	13,99	SD	29,17
2013	44,25	25,32	26,32	6,49	26,49	41,20	28,57	SD	SD	88,89	47,62
2014	116,07	27,40	26,55	47,62	17,14	27,15	21,57	57,97	22,73	43,48	55,30
2015	19,80	19,23	67,96	28,57	12,58	51,89	21,52	26,67	67,67	14,08	60,45
2016	49,50	9,26	20,62	8,33	23,81	14,42	23,78	SD	15,50	30,30	67,84
2017	28,30	21,28	32,52	15,50	18,87	12,93	22,63	18,35	6,58	14,49	82,67
2018	59,26	17,44	29,41	26,55	17,75	14,98	27,29	22,73	SD	16,67	58,54

Fuente: Registro de defunciones y nacimientos DANE 2005-2008 - RUAF Departamental 2009-2018

Figura 87. Indicador de muerte feto infantil



Fuente: Registro de defunciones y nacimientos DANE 2005-2008 - RUAF Departamental 2009-2018

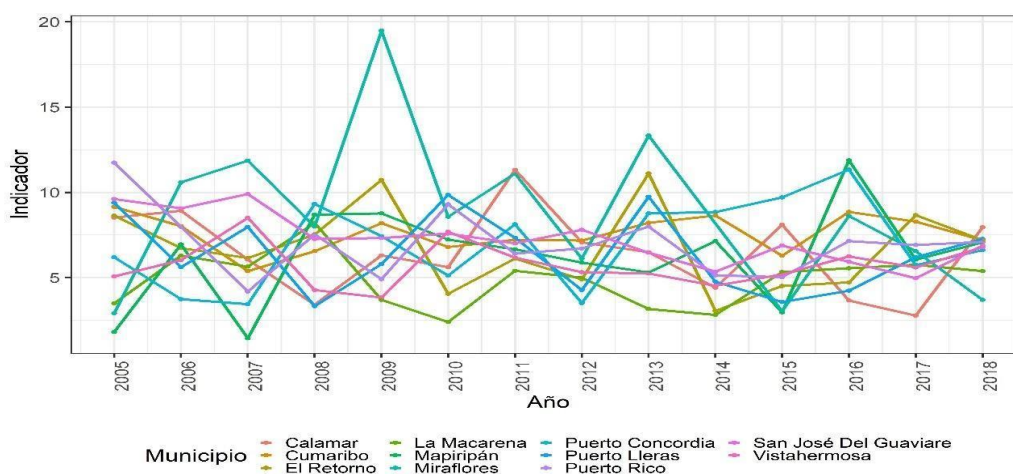
Como se puede observar en la Figura 89 y coherente con la Tabla 72, este indicador tiene un comportamiento estable a lo largo de los años mostrando su pico más alto en el año 2009, y otros picos altos en los años 2013 y 2016. Por otro lado, es de resaltar que, en los años 2005, 2007, 2010, 2014 y 2015 se muestran los picos más bajos de este indicador, en los municipios de Miraflores, Mapiripán y La Macarena respectivamente (Ver Tabla 72).

Tabla 72. Indicador de porcentaje de nacidos vivos con bajo peso al nacer

Año	Mapiripán	La Macarena	Puerto Concordia	Puerto Lleras	Puerto Rico	Vista hermosa	San José Del Guaviare	Calamar	El Retorno	Miraflores	Cumaribo
2005	1,82	3,50	6,20	9,39	11,74	5,07	9,61	8,53	8,64	2,91	9,16
2006	6,94	6,29	3,74	5,62	7,98	6,03	9,07	8,93	6,74	10,59	8,02
2007	1,45	5,65	3,45	7,98	4,19	8,51	9,91	6,06	6,15	11,86	5,38
2008	8,70	8,21	9,32	3,33	7,55	4,28	7,27	3,42	7,53	8,00	6,56
2009	8,77	3,70	7,44	5,80	4,92	3,83	7,33	6,31	10,73	19,48	8,20
2010	7,23	2,40	5,13	9,86	9,30	7,69	7,59	5,62	4,05	8,57	6,80
2011	6,67	5,41	8,13	7,34	6,41	6,17	7,01	11,32	6,12	11,11	7,22
2012	5,88	5,00	3,51	4,27	6,71	5,33	7,81	7,07	4,90	6,12	7,18
2013	5,31	3,16	8,77	9,74	8,00	5,24	6,47	6,49	11,11	13,33	8,21
2014	7,14	2,82	8,85	4,76	5,14	4,52	5,35	4,41	3,05	SD	8,65
2015	2,97	5,33	9,71	3,57	5,03	5,19	6,89	8,11	4,51	3,03	6,28
2016	11,88	5,56	11,34	4,24	7,14	6,25	5,93	3,66	4,72	8,62	8,85
2017	6,06	5,76	5,74	6,20	6,92	5,60	4,97	2,78	8,67	6,56	8,29
2018	7,07	5,39	6,62	7,27	7,10	6,79	6,88	7,95	7,20	3,70	7,19

Fuente: Registro de defunciones y nacimientos DANE 2005-2008 - RUAF Departamental 2009-2018

Figura 88. Indicador de porcentaje de nacidos vivos con bajo peso al nacer



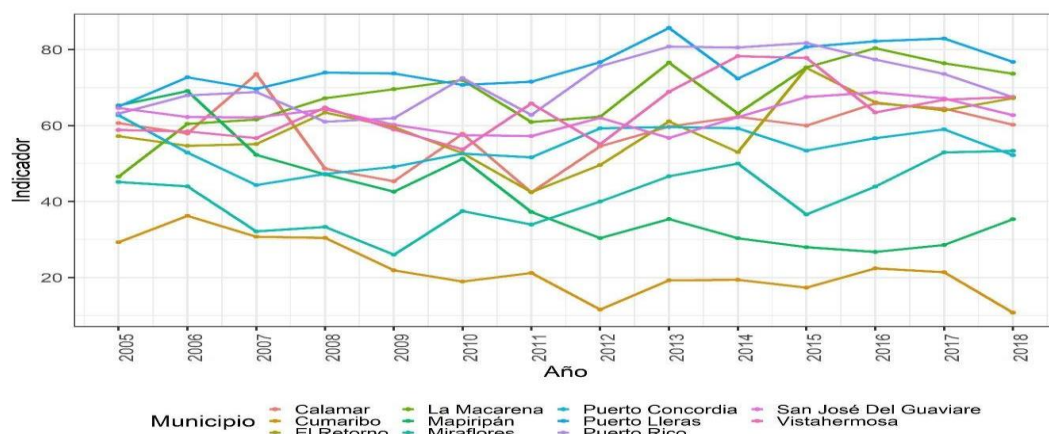
Fuente: Registro de defunciones y nacimientos DANE 2005-2008 - RUAF Departamental 2009-2018

Al igual que los indicadores analizados anteriormente, el indicador de porcentaje de nacidos vivos con cuatro o más consultas de control prenatal, no muestra una tendencia marcada a lo largo del tiempo, por el contrario, muestra mucha heterogeneidad en todos los años. Claramente en los años donde muestra mayor fluctuación entre los municipios este indicador es de 2012 en adelante donde se puede observar porcentajes de menos de 20% en el municipio de Cumaribo y cerca del 80% en el municipio de Puerto Lleras. Este comportamiento se repite para los demás años, siendo el más crítico en términos de heterogeneidad en el año 2018 cuyos porcentajes varían entre el 10 y el 80%. Se debe entrar a analizar el por qué el comportamiento tan heterogéneo (Ver Tabla 73 y Figura 90).

Tabla 73. Indicador de porcentaje de nacidos vivos con cuatro o más consultas de control prenatal

Año	Mapiripán	La Macarena	Puerto Concordia	Puerto Lleras	Puerto Rico	Vista hermosa	San José Del Guaviare	Calamar	El Retorno	Miraflores	Cumaribo
2005	65,31	46,56	62,71	65,03	63,18	58,84	64,67	60,66	57,21	45,16	29,30
2006	69,12	60,45	52,88	72,73	67,97	58,45	62,26	57,94	54,70	44,00	36,25
2007	52,31	61,61	44,34	69,68	68,85	56,71	62,16	73,55	55,14	32,14	30,74
2008	47,14	67,20	47,27	73,97	61,01	64,75	64,29	48,65	63,45	33,33	30,43
2009	42,59	69,60	49,17	73,72	61,96	58,99	60,23	45,37	59,65	26,03	21,89
2010	51,25	72,00	52,63	70,71	72,51	53,73	57,52	57,83	52,74	37,50	18,96
2011	37,25	60,96	51,64	71,56	62,82	65,84	57,25	42,45	42,47	33,96	21,20
2012	30,39	62,36	59,29	76,72	75,68	55,10	62,08	54,55	49,65	40,00	11,57
2013	35,40	76,58	59,65	85,71	80,79	68,91	56,75	59,74	61,11	46,67	19,27
2014	30,36	63,19	59,29	72,38	80,57	78,28	62,23	62,32	53,03	50,00	19,39
2015	28,00	75,33	53,40	80,71	81,76	77,83	67,55	60,00	75,19	36,62	17,33
2016	26,73	80,37	56,70	82,20	77,38	63,46	68,74	65,85	66,14	43,94	22,42
2017	28,57	76,43	59,02	82,95	73,58	66,81	67,14	64,49	64,00	52,94	21,39
2018	35,35	73,65	52,21	76,79	67,46	67,55	62,76	60,23	67,20	53,33	10,77

Fuente: DANE 2005-2008 - RUAF Departamental 2009-2018

Figura 89. Indicador de porcentaje de nacidos vivos con cuatro o más consultas de control prenatal

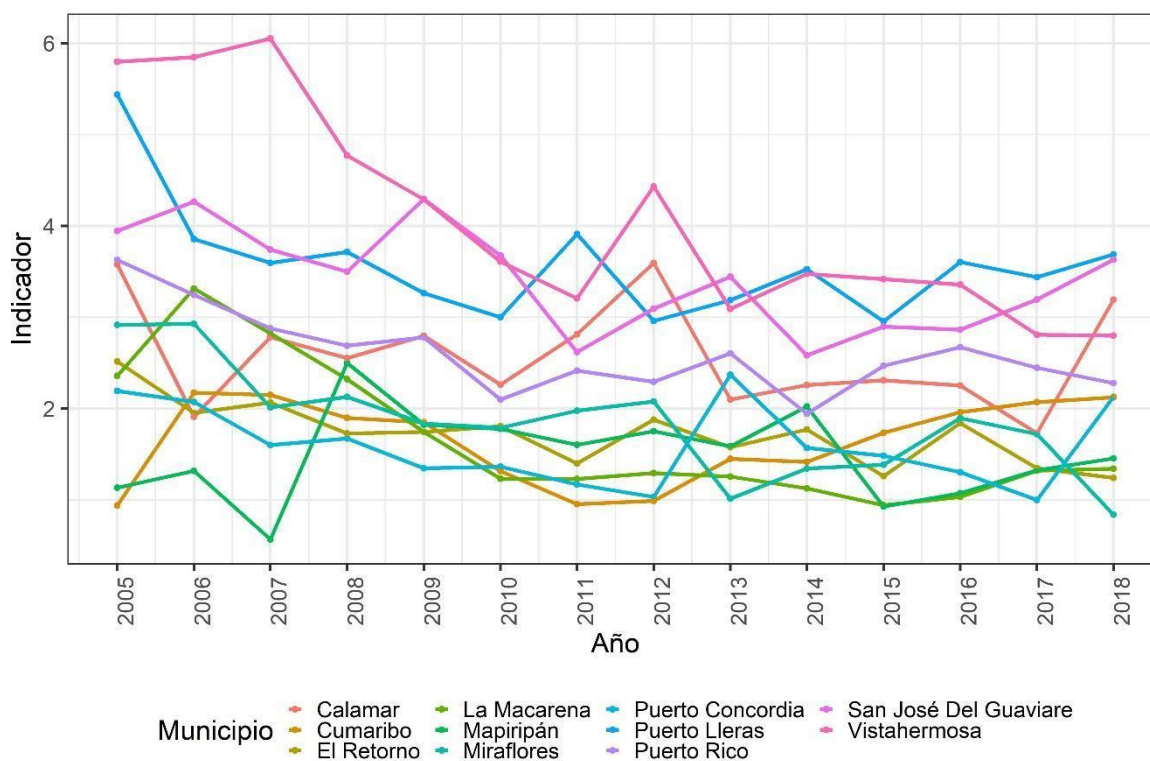
Fuente: DANE 2005-2008 - RUAF Departamental 2009-2018

Tabla 74. Indicador de la tasa de mortalidad general

Año	Mapiripán	La Macarena	Puerto Concordia	Puerto Lleras	Puerto Rico	Vista hermosa	San José Del Guaviare	Calamar	El Retorno	Miraflores	Cumaribo
2005	1,13	2,36	2,19	5,44	3,63	5,80	3,94	3,58	2,52	2,92	0,94
2006	1,32	3,31	2,07	3,86	3,24	5,85	4,27	1,91	1,95	2,93	2,17
2007	0,57	2,82	1,60	3,59	2,88	6,05	3,74	2,78	2,07	2,01	2,15
2008	2,50	2,32	1,67	3,72	2,69	4,77	3,50	2,55	1,73	2,13	1,90
2009	1,83	1,74	1,35	3,26	2,78	4,29	4,29	2,80	1,74	1,84	1,85
2010	1,78	1,23	1,37	3,00	2,10	3,61	3,68	2,26	1,81	1,79	1,32
2011	1,60	1,23	1,17	3,91	2,42	3,21	2,62	2,81	1,40	1,98	0,96
2012	1,75	1,29	1,04	2,96	2,29	4,43	3,10	3,60	1,88	2,08	0,99
2013	1,59	1,26	2,37	3,19	2,61	3,09	3,44	2,10	1,58	1,02	1,45
2014	2,02	1,13	1,57	3,53	1,94	3,48	2,58	2,26	1,77	1,35	1,42
2015	0,93	0,94	1,48	2,95	2,47	3,42	2,90	2,31	1,26	1,39	1,74
2016	1,08	1,04	1,31	3,61	2,67	3,36	2,87	2,25	1,84	1,90	1,96
2017	1,33	1,32	1,00	3,44	2,45	2,81	3,19	1,73	1,35	1,72	2,07
2018	1,46	1,34	2,13	3,69	2,28	2,80	3,63	3,19	1,24	0,84	2,12

Fuente: Registro de defunciones y nacimientos DANE 2005-2008 - RUAF Departamental 2009-2018

Figura 90. Indicador de la tasa de mortalidad general



Fuente: Registro de defunciones y nacimientos DANE 2005-2008 - RUAF Departamental 2009-2018

Este indicador muestra una tendencia a la baja presentando tasas de menos de uno por cada 10^5 hab., en los municipios de Cumaribo y Mapiripán en los años 2005, 2007 y 2011. Por otro lado, a pesar que se observa que en los años 2005, 2006 y 2007 están los picos más altos, se puede decir, que en términos generales, las muertes generales son, a lo sumo 6 por cada 10^5 hab., (Tabla 75 y Figura 91).

Tabla 75. Indicador del porcentaje de nacidos vivos a término con bajo peso al nacer

Año	Mapiripán	La Macarena	Puerto Concordia	Puerto Lleras	Puerto Rico	Vista hermosa	San José Del Guaviare	Calamar	El Retorno	Miraflores	Cumaribo
2005	SD	1,5	3,25	3,11	7,48	2,45	5,32	5,41	4,9	2,44	1,64
2006	5,88	3,17	SD	3,07	4,42	3,42	4,33	4,04	3,37	5,63	2,78
2007	SD	0,92	SD	2,07	1,69	4,39	6,1	0,87	5,11	6,52	3,85
2008	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
2009	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
2010	6,17	SD	SD	6,02	3,8	3,14	4,52	4,88	2,76	6,56	3,68
2011	4,17	2,26	4,42	5,71	1,37	4,29	4,02	6,52	2,88	4,08	5,16
2012	3,09	0,59	1,85	1,75	4,93	1,74	2,74	5,32	2,17	2,27	2,99
2013	1,94	0,67	3,85	2,92	4,29	1,63	3,13	2,78	7,14	10,26	3,93
2014	2,94	0,75	5,66	1,01	2,41	1,91	1,98	1,67	1,65	SD	3,65
2015	SD	3,52	5,1	2,22	4	2,93	3,03	SD	3,1	SD	2,11
2016	5,81	2,08	1,18	2,63	3,23	3,06	2,36	2,53	3,23	1,89	4
2017	2,15	2,44	0,87	3,25	2,76	3,14	1,85	1,9	3,68	1,89	3,51
2018	5,26	0,69	3,23	5,1	2,58	2,09	2,26	1,27	3,42	2	3,88

Fuente: Registro de defunciones y nacimientos DANE 2005-2008 - RUAF Departamental 2009-2018

Al observar la Tabla 75 se puede ver que solo en el año 2013, en el municipio de Miraflores, el porcentaje de nacidos vivos a término con bajo peso al nacer es el más alto de todos con un 10%, algo similar ocurre en el año 2005 donde también se observa otro pico alto en el municipio de Puerto Rico. En términos generales, se observa una leve tendencia a la baja en este indicador lo cual refleja algo positivo puesto que cada vez menos niños nacidos a término nacen con bajo peso.

Según SIVIGILA, se encuentran algunas personas con tumores malignos, específicamente en los municipios como San José del Guaviare quien reporta 413 casos, Puerto Lleras 274 casos, Macarena 188 casos, Puerto Rico 176 casos, Mapiripán 157 casos, Miraflores 6 casos y el retorno 5 casos.

6.3 Análisis del efecto del peso y el estado de la piel en los cocientes de peligro e índices de riesgo

A continuación se muestran los cocientes de peligros e índices de riesgo calculados en los escenarios considerados para personas con peso normal y peso de delgadez, descritos en la Sección 2.11 de este documento.

Vía Dérmica

Los cocientes de peligros de personas que tengan un peso normal, factores de exposición de 9 días (HQ_9), 38 días (HQ_{38}) y un año (HQ_{365}), con pieles sanas y deterioradas se muestran en las Tablas 76 y 77, respectivamente.

Tabla 76. Cocientes de peligro (HQ) para vía dérmica de una persona con peso normal y una piel sana

Género	Edad	Área superficial (AS) dérmica promedio (cm ²)	Peso medio	HQ_9	HQ_{38}	HQ_{365}
Masculino	5	7.600	18,30	7,79 E-09	3,29 E-08	3,16 E-07
	10	10.800	31,40	6,45 E-09	2,72 E-08	2,62 E-07
	15	15.900	52,20	5,71 E-09	2,41 E-08	2,32 E-07
	25	20.500	67,10	5,73 E-09	2,42 E-08	2,32 E-07
	35	21.000	70,40	5,59 E-09	2,36 E-08	2,27 E-07
	45	21.500	70,70	5,70 E-09	2,41 E-08	2,31 E-07
	60	21.100	68,70	5,76 E-09	2,43 E-08	2,34 E-07
Femenino	5	7.600	18,20	7,83 E-09	3,31 E-08	3,18 E-07
	10	10.800	31,10	6,51 E-09	2,75 E-08	2,64 E-07
	15	15.900	51,50	5,79 E-09	2,44 E-08	2,35 E-07
	25	18.100	58,20	5,83 E-09	2,46 E-08	2,37 E-07
	35	18.500	62,10	5,59 E-09	2,36 E-08	2,27 E-07
	45	18.800	64,30	5,48 E-09	2,31 E-08	2,22 E-07
	60	18.900	63,10	5,62 E-09	2,37 E-08	2,28 E-07

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Tabla 77. Cocientes de peligro para vía dérmica de una persona con peso normal y una piel deteriorada

Género	Edad	Área superficial (AS) dérmica promedio (cm ²)	Peso medio	HQ ₉	HQ ₃₈	HQ ₃₆₅
Masculino	5	7.600	18,30	1,27 E-07	5,36 E-07	5,15 E-06
	10	10.800	31,40	1,05 E-07	4,4 E-07	4,26 E-06
	15	15.900	52,20	9,31 E-08	3,93 E-07	3,78 E-06
	25	20.500	67,10	9,34 E-08	3,94 E-07	3,78 E-06
	35	21.000	70,40	9,12 E-08	3,85 E-07	3,69 E-06
	45	21.500	70,70	9,29 E-08	3,93 E-07	3,77 E-06
	60	21.100	68,70	9,39 E-08	3,96 E-07	3,81 E-06
Femenino	5	7.600	18,20	1,28 E-07	5,39 E-07	5,18 E-06
	10	10.800	31,10	1,06 E-07	4,48 E-07	4,31 E-06
	15	15.900	51,50	9,44 E-08	3,98 E-07	3,83 E-06
	25	18.100	58,20	9,51 E-08	4,02 E-07	3,86 E-06
	35	18.500	62,10	9,11 E-08	3,85 E-07	3,69 E-06
	45	18.800	64,30	8,94 E-08	3,77 E-07	3,62 E-06
	60	18.900	63,10	9,16 E-08	3,87 E-07	3,72 E-06

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Al comparar los resultados obtenidos para personas con piel sana y piel deteriorada (ver Tablas 76 y 77) se encuentra que tanto para las mujeres como los hombres, el cociente de peligro de exposición dérmica es mayor en las personas con piel deteriorada que en quienes tienen piel sana. Este evento está en concordancia con el comportamiento toxicocinético esperado y lo reportado en la literatura mundial dado que la piel es un barrera para la absorción de tóxicos y la pérdida o deterioro de esta capa especialmente la epidermis favorece la absorción por esta vía; adicionalmente es importante aclarar que uno de los sistemas corporales que más se ve afectado por el glifosato es el dérmico, lo que generaría un daño del tejido tegumentario que finalmente se traduciría en una mayor acumulación del glifosato a nivel corporal(15,263).

Para los dos tipos de piel y ambos sexos se observa que el cociente de peligro presenta una tendencia decreciente conforme aumenta la edad debido a que la razón del área superficial con relación al peso es mayor en los niños que en los adultos. Por lo cual, los niños son más vulnerables a presentar efectos derivados de la exposición a glifosato dado que en este grupo poblacional se da la mayor acumulación del tóxico.

Por otra parte, la Tabla 78 contiene los índices de riesgo por edades para la vía dérmica, según el estado de la piel, considerando una exposición de 9, 38 y 365 días. La última fila (de totales) corresponde a los índices de riesgo para cada una de los días de exposición.

Tabla 78. Cocientes de peligro para vía dérmica de una persona con peso normal y una piel deteriorada

Edad	Piel sana			Piel deteriorada		
	IR(9 días)	IR(38 días)	IR(365 días)	IR(9 días)	IR(38 días)	IR(365 días)
5	1,56 E-08	6,59 E-08	6,33 E-07	2,55 E-07	1,07E-06	1,03E-05
10	1,29 E-08	5,47 E-08	5,25 E-07	2,11 E-07	8,92E-07	8,57E-06
15	1,15 E-08	4,86 E-08	4,66 E-07	1,87 E-07	7,91E-07	7,60E-06
25	1,16 E-08	4,88 E-08	4,69 E-07	1,88 E-07	7,95E-07	7,64E-06
35	1,12 E-08	4,72 E-08	4,54 E-07	1,82 E-07	7,69E-07	7,39E-06
45	1,12 E-08	4,72 E-08	4,54 E-07	1,82 E-07	7,70E-07	7,39E-06
60	1,14 E-08	4,80 E-08	4,61 E-07	1,85 E-07	7,83E-07	7,52E-06
Total	7,39 E-08	3,12 E-07	2,99 E-06	1,20 E-06	5,09E-06	4,88E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

A partir de los resultados se obtiene que para una exposición dérmica de 365 días, existe una relación de 16 a 1 entre el índice de riesgo de una persona con peso normal y piel deteriora, y el de una persona de peso normal pero con piel sana:

$$\frac{IR(365)_{deteriorada}}{IR(365)_{sana}} = \frac{4,8852E^{-5}}{2,997E^{-6}} = 16.3025$$

Vía Oral

En esta vía de exposición se consideraron dos tipos de ingesta: agua y alimentos (específicamente arroz, tomate y limón). La Tabla 79 muestra los cocientes de peligros calculados para la ingesta de agua, y en la Tabla 80 los índices correspondientes para la ingesta de alimentos. En relación, con estos cocientes se aprecia que los factores más influyentes en la acumulación por esta vía es la cantidad de ingesta diaria de agua y la calidad del agua en términos de la concentración del contaminante, como es posible observar a mayor ingesta mayor acumulación y para definir los impactos municipales se requiere de la medición de las concentraciones de glifosato en la fuentes de agua para consumo humano.

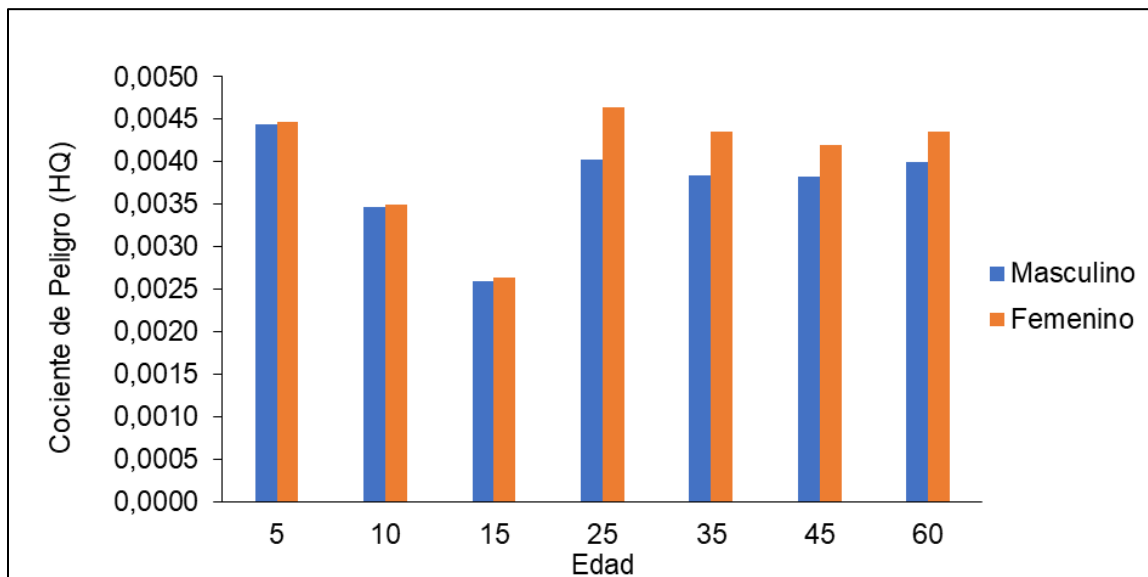
Tabla 79. Cocientes de peligro para vía oral-ingesta de agua- de una persona con peso normal y piel sana

Género	Edad	Peso medio (kg)	Ingesta media de agua(L/Día)	Razón Ingesta/Peso	HQ

Masculino	5	18,30	0,382	0,0208743	0,00444195
	10	31,40	0,511	0,0162739	0,00346300
	15	52,20	0,637	0,0122031	0,00259675
	25	67,10	1,270	0,0189270	0,00402756
	35	70,40	1,270	0,0180398	0,00383877
	45	70,70	1,270	0,0179632	0,00382248
	60	68,70	1,290	0,0187773	0,00399571
Femenino	5	18,20	0,382	0,0209890	0,00446635
	10	31,10	0,511	0,0164309	0,00349640
	15	51,50	0,637	0,0123689	0,00263204
	25	58,20	1,270	0,0218213	0,00464346
	35	62,10	1,270	0,0204509	0,00435184
	45	64,30	1,270	0,0197512	0,00420294
	60	63,10	1,290	0,0204437	0,00435032

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Figura 91. Comparación de los cocientes de peligros para vía oral-ingesta de agua- de hombres y mujeres con peso normal y piel sana, según la edad



Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

A partir de la Tabla 79 y Figura 92, se deduce los cocientes de peligros calculados para los hombres de peso normal y piel sana con edades de 5,10 y 15 años son similares a los obtenidos para mujeres de peso normal y piel sana de esas respectivas edades. Sin embargo, para las edades de 25,35, 45 y 60 años los cocientes de peligro de las mujeres tienden a ser mayores a

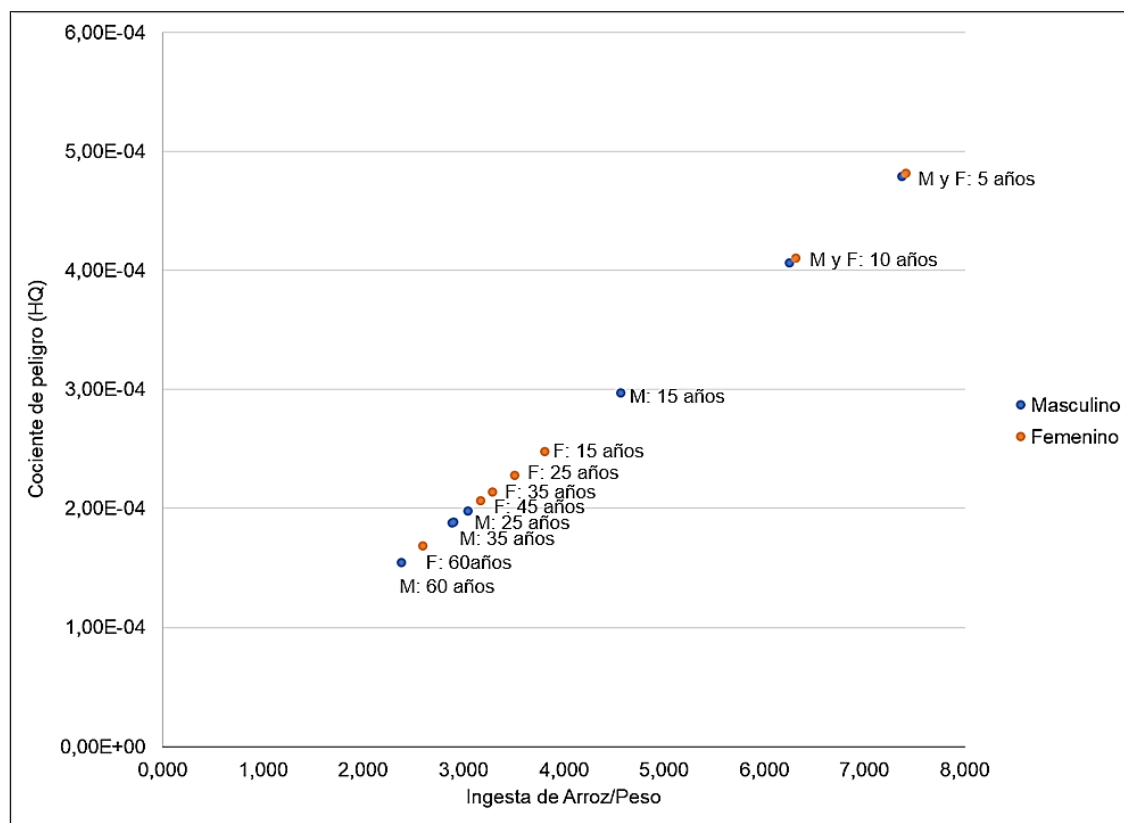
los de los hombres. Siendo el mayor valor el calculado para las mujeres de 25 años. Nótese que para los dos géneros, los cocientes de peligros de los 5 años son cercanos a éste valor máximo debido a que los datos asumidos para la tasa de ingesta de agua y el peso medio, conllevan a que el consumo de agua por unidad de peso corporal de un niño de 5 años sea similar al de las mujeres de 25 años (ver la columna Razón Ingesta/Peso de la Tabla 79).

Tabla 80. Cocientes de peligro para vía oral-ingesta de alimentos- de una persona con peso normal y piel sana

Género	Edad	Peso medio (kg)	Consumo medio			HQ(arroz)	HQ(Tomate)	HQ(Limón)
			Arroz (g/día)	Tomate (g/día)	Limón (g/día)			
Masculino	5	18,30	134,90	34,80	0,00	4,79E-04	1,34E-05	0
	10	31,40	196,40	40,60	29,10	4,06E-04	9,11E-06	3,72E-06
	15	52,20	238,70	46,10	42,30	2,97E-04	6,22E-06	3,25E-06
	25	67,10	204,20	49,90	34,30	1,98E-04	5,24E-06	2,05E-06
	35	70,40	204,20	49,90	56,30	1,88E-04	4,99E-06	3,21E-06
	45	70,70	204,20	49,90	56,30	1,88E-04	4,97E-06	3,20E-06
	60	68,70	163,80	48,60	0,00	1,55E-04	4,98E-06	0,00
Femenino	5	18,20	134,90	34,80	0,00	4,82E-04	1,35E-05	0,00
	10	31,10	196,40	40,60	29,10	4,10E-04	9,20E-06	3,76E-06
	15	51,50	196,40	40,60	29,10	2,48E-04	5,55E-06	2,27E-06
	25	58,20	204,20	49,90	34,30	2,28E-04	6,04E-06	2,37E-06
	35	62,10	204,20	49,90	56,30	2,14E-04	5,66E-06	3,64E-06
	45	64,30	204,20	49,90	56,30	2,06E-04	5,47E-06	3,52E-06
	60	63,10	163,80	48,60	0,00	1,69E-04	5,43E-06	0,00

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Figura 92. Ingesta de Arroz/Peso versus los cocientes de peligros para vía oral-ingesta de arroz- de hombres y mujeres con peso normal y piel sana, según la edad



Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Para la ingesta de alimentos se observa en la Tabla 80 que es mayor el cociente de peligro asociado al consumo de arroz que haya estado expuesto al plaguicida, con respecto a los otros dos alimentos considerados. Para este alimento se presenta una mayor susceptibilidad en los niños debido al mayor consumo de este alimento por unidad de peso corporal, en relación a los adultos (ver Figura 93).

Esto es importante dado que en estas zonas uno de los alimentos más accesible y consumido por la población es el arroz, lo que favorecería en caso de contaminación la acumulación de glifosato y con ello el aumento en la concentración del mismo, especialmente los niños menores de 5 años. También, es importante mencionar que existe una buena acumulación de este compuesto en verduras como el tomate pero en una concentración mucho más baja comparada con el arroz, de la misma forma se identificó que el menor índice de riesgo se da con el limón; posiblemente debido al menor consumo de este alimento.

Los índices de riesgo para cada consumo de alimento e ingesta de agua se muestran a continuación:

Tabla 81. Índices de riesgo para vía oral-ingesta de agua y alimentos- de una persona con peso normal, según la edad

Edad	IR(Agua)	IR(Arroz)	IR(Tomate)	IR(Limón)	IR(total por edad)
5	0,0089083	0,0009605	2,69E-05	0,00	0,0098957
10	0,0069594	0,0008166	1,83E-05	7,48E-06	0,0078018
15	0,0052288	0,0005448	1,18E-05	5,52E-06	0,0057909
25	0,0086710	0,0004256	1,13E-05	4,42E-06	0,0091124
35	0,0081906	0,0004021	1,07E-05	6,85E-06	0,0086102
45	0,0080254	0,0003939	1,04E-05	6,71E-06	0,0084365
60	0,0083460	0,0003236	1,04E-05	0,00	0,0086800
Total	0,0543296	0,0038673	9,97E-05	3,10E-05	0,0583276

Fuente: construcción a partir de los resultados- contrato 1097/201

De la **Tabla 81**, se obtiene el índice de riesgo vía oral, para una persona con peso normal, es 0,05833:

$$\begin{aligned}
 \text{IR (oral)} &= \text{IR(agua)} + \text{IR (arroz)} + \text{IR (tomate)} + \text{IR(limón)} \\
 &= 0,05433 + 0,003867 + 9,9726\text{E}^{-5} + 3,0982\text{E}^{-5} \\
 &= 0,05833
 \end{aligned}$$

Peso de delgadez o peso anormalmente bajo

Vía Dérmica

Tabla 82. Cociente de peligro para la vía dérmica en edades de 5, 10, 15 años por sexo en personas con piel sana y bajo peso

Grupo	Edad (Años)	Área superficial dérmica promedio (cm ²)	Peso medio (Kg)	HQ ₉	HQ ₃₈	HQ ₃₆₅
Masculino	5	7.600	16,75	8,50E-09	3,60E-08	3,50E-07
	10	10.800	28,21	7,20E-09	3,00E-08	2,90E-07
	15	15.900	52,20	5,70E-09	2,40E-08	2,30E-07
Femenino	5	7.600	16,61	8,60E-09	3,60E-08	3,50E-07
	10	10.800	28,48	7,10E-09	3,00E-08	2,90E-07
	15	15.900	51,50	5,80E-09	2,40E-08	2,30E-07

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Los resultados obtenidos de la comparación entre las personas con peso normal (Tabla 76) y aquellas con delgadez extrema y piel sana (Tabla 82), indican una mayor acumulación de glifosato en las personas con delgadez; indicando con esto que la desnutrición se comportaría como un factor que puede aumentar el grado de exposición al herbicida y a su vez promueve una mayor acumulación del glifosato, este riesgo puede ser acumulable en el tiempo y son los niños menores de 5 años los más vulnerables a la desnutrición en los municipios evaluados; lo que los hace muchos más propensos a tener efectos adversos sobre la salud generados por la exposición a glifosato.

Tabla 83. Índice de peligro por sexo para la vía dérmica en edades de 5, 10, 15 años en personas con piel sana y bajo peso

Género	IR(9 días)	IR(38 días)	IR(365 días)
Masculino	2,14E-08	0,0005693	8,68E-07
Femenino	2,15E-08	0,0005714	8,71E-07

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En la Tabla 83, no se observa diferencias significativas por sexo en la acumulación de glifosato derivada de la absorción por vía dérmica en personas con delgadez lo que indica que el sexo no afectaría la capacidad de absorber glifosato en personas con desnutrición o peso bajo.

Tabla 84. Cociente de peligro para la vía dérmica en edades de 5, 10, 15 años por sexo en personas con piel deteriorada y bajo peso

Grupo	Edad (Años)	Área superficial dérmica promedio (cm ²)	Peso medio (Kg)	HQ ₉	HQ ₃₈	HQ ₃₆₅
Masculino	5	7.600	16,75	1,40E-07	5,90E-07	5,60E-06
	10	10.800	28,21	1,20E-07	4,90E-07	4,70E-06
	15	15.900	52,20	9,30E-08	3,90E-07	3,80E-06
Femenino	5	7.600	16,61	1,40E-07	5,90E-07	5,70E-06
	10	10.800	28,48	1,20E-07	4,90E-07	4,70E-06
	15	15.900	51,50	9,40E-08	4,00E-07	3,80E-06

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Al comparar los resultados obtenidos para personas con bajo peso, piel sana y piel deteriorada (ver Tabla 80 y 84), el cociente de peligro de exposición dérmica es mayor en las personas con una piel deteriorada que en aquellas personas que tienen una piel sana, este evento tiene consistencia con lo reportado en la literatura mundial dado que la piel es un barrera para la

absorción de tóxicos y la pérdida o deterioro de esta capa especialmente la epidermis, la cual favorece la absorción por esta vía; adicionalmente es importante mencionar lo destacado en comentarios anteriores, en relación a la vulnerabilidad que tienen los menores de 10 años de estos municipios respecto a la seguridad alimentaria y con ello factores de riesgo para desnutrición.

Tabla 85. Índice de riesgo para la vía dérmica en edades de 5, 10, 15 años por género en personas con piel deteriorada y bajo peso

Género	IR(9 días)	IR(38 días)	IR(365 días)
Masculino	3,49E-07	1,47E-06	1,42E-05
Femenino	3,50E-07	1,48E-06	1,42E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Según lo observado en la Tabla 85, sobre el índice de peligro por vía dérmica en menores de 5, 10 y 15 años comparados con las personas con piel deteriorada de la Tabla 84, se observa mayor índice de riesgo relacionado con la presencia de delgadez, mientras que no se identificaron variaciones relacionadas con el sexo del afectado. Esto puede indicar que el mal estado de la piel y la presencia de bajo peso pueden incrementar el riesgo de absorción de glifosato.

Tabla 86. Cociente de peligro para la vía dérmica en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio y sexo en personas con piel sana y bajo peso

Municipio	Grupo	Edad (Años)	Área superficial dérmica promedio (cm2)	Peso medio (kg)	HQ ₉	HQ ₃₈	HQ ₃₆₅
San José del Guaviare	Masculino	25	20.500	48,08	8,00E-09	3,38E-08	3,24E-07
		35	21.000	46,05	8,55E-09	3,61E-08	3,47E-07
		45	21.500	47,67	8,46E-09	3,57E-08	3,43E-07
		60	21.100	46,68	8,48E-09	3,58E-08	3,44E-07
	Femenino	25	18.100	48,08	7,06E-09	2,98E-08	2,86E-07
		35	18.500	46,05	7,53E-09	3,18E-08	3,06E-07
		45	18.800	47,67	7,40E-09	3,12E-08	3,00E-07
		60	18.900	46,68	7,59E-09	3,21E-08	3,08E-07
Cumaribo	Masculino	25	20.500	46,49	8,27E-09	3,49E-08	3,35E-07
		35	21.000	45,19	8,71E-09	3,68E-08	3,53E-07
		45	21.500	45,95	8,77E-09	3,70E-08	3,56E-07
		60	21.100	45,40	8,72E-09	3,68E-08	3,53E-07
	Femenino	25	18.100	46,49	7,30E-09	3,08E-08	2,96E-07
		35	18.500	45,19	7,68E-09	3,24E-08	3,11E-07

Municipio	Grupo	Edad (Años)	Área superficial dérmica promedio (cm2)	Peso medio (kg)	HQ ₉	HQ ₃₈	HQ ₃₆₅
		45	18.800	45,95	7,67E-09	3,24E-08	3,11E-07
		60	18.900	45,40	7,81E-09	3,30E-08	3,17E-07
El Retorno	Masculino	25	20.500	46,67	8,24E-09	3,48E-08	3,34E-07
		35	21.000	47,55	8,28E-09	3,50E-08	3,36E-07
		45	21.500	47,57	8,48E-09	3,58E-08	3,44E-07
		60	21.100	47,23	8,38E-09	3,54E-08	3,40E-07
	Femenino	25	18.100	46,67	7,27E-09	3,07E-08	2,95E-07
		35	18.500	47,55	7,30E-09	3,08E-08	2,96E-07
		45	18.800	47,57	7,41E-09	3,13E-08	3,01E-07
		60	18.900	47,23	7,51E-09	3,17E-08	3,04E-07
Mapiripán	Masculino	25	20.500	45,98	8,36E-09	3,53E-08	3,39E-07
		35	21.000	45,09	8,73E-09	3,69E-08	3,54E-07
		45	21.500	44,12	9,14E-09	3,86E-08	3,71E-07
		60	21.100	45,67	8,66E-09	3,66E-08	3,51E-07
	Femenino	25	18.100	45,98	7,38E-09	3,12E-08	2,99E-07
		35	18.500	45,09	7,69E-09	3,25E-08	3,12E-07
		45	18.800	44,12	7,99E-09	3,37E-08	3,24E-07
		60	18.900	45,67	7,76E-09	3,28E-08	3,15E-07

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Los resultados obtenidos de la comparación de las personas mayores de 25 años con peso normal (Tabla 76), con las personas con delgadez (Tabla 86) indican una mayor acumulación de glifosato en las personas con delgadez, mostrando que la desnutrición se comportaría como un factor que puede aumentar la absorción del toxico y a su vez promover una mayor acumulación del glifosato; es importante adicionar que este riesgo es acumulable en el tiempo y que los hombres presentan una tendencia a acumular más glifosato que las mujeres y que este comportamiento es similar en todos los municipios evaluados por lo que los hombres de bajo peso tienen más probabilidad de tener efectos adversos sobre la salud generados por la exposición a glifosato.

Tabla 87. Índice de riesgo para la vía dérmica en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio y sexo en personas con piel sana

Municipio	Género	IR(9 días)	IR(38 días)	IR(365 días)
San José del Guaviare	Masculino	3,35E-08	1,41E-07	1,36E-06
	Femenino	2,96E-08	1,25E-07	1,20E-06
Cumaribo	Masculino	3,45E-08	1,45E-07	1,40E-06
	Femenino	3,05E-08	1,28E-07	1,24E-06
El Retorno	Masculino	3,34E-08	1,41E-07	1,35E-06
	Femenino	2,95E-08	1,25E-07	1,19E-06
Mapiripán	Masculino	3,49E-08	1,47E-07	1,41E-06
	Femenino	3,08E-08	1,30E-07	1,25E-06

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En la Tabla 87, se aprecia que los hombres presentan una mayor tendencia a acumular más glifosato que las mujeres y que este comportamiento es similar en todos los municipios evaluados fenómeno posiblemente explicado por una absorción diferencial de nutrientes y compuestos tóxicos. Es importante aclarar, que los datos presentados corresponden a la información que logró obtenerse de los municipios estudiados y en relación a la variable peso como parámetro insumo para el cálculo de los cocientes de peligro e índices de riesgo.

Tabla 88. Cociente de peligro para la vía dérmica en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio y sexo en personas con piel deteriorada.

Municipio	Grupo	Edad (Años)	Área superficial dérmica promedio (cm2)	Peso medio (kg)	HQ ₉	HQ ₃₈	HQ ₃₆₅
San José del Guaviare	Masculino	25	20.500	48,08	1,30E-07	5,50E-07	5,29E-06
		35	21.000	46,05	1,39E-07	5,89E-07	5,65E-06
		45	21.500	47,67	1,38E-07	5,82E-07	5,59E-06
		60	21.100	46,68	1,38E-07	5,83E-07	5,60E-06
	Femenino	25	18.100	48,08	1,15E-07	4,86E-07	4,67E-06
		35	18.500	46,05	1,23E-07	5,19E-07	4,98E-06
		45	18.800	47,67	1,21E-07	5,09E-07	4,89E-06
		60	18.900	46,68	1,24E-07	5,23E-07	5,02E-06
Cumaribo	Masculino	25	20.500	46,49	1,35E-07	5,69E-07	5,47E-06
		35	21.000	45,19	1,42E-07	6,00E-07	5,76E-06
		45	21.500	45,95	1,43E-07	6,04E-07	5,80E-06
		60	21.100	45,40	1,42E-07	6,00E-07	5,76E-06
	Femenino	25	18.100	46,49	1,19E-07	5,03E-07	4,83E-06
		35	18.500	45,19	1,25E-07	5,28E-07	5,08E-06

Municipio	Grupo	Edad (Años)	Área superficial dérmica promedio (cm2)	Peso medio (kg)	HQ ₉	HQ ₃₈	HQ ₃₆₅
		45	18.800	45,95	1,25E-07	5,28E-07	5,07E-06
		60	18.900	45,40	1,27E-07	5,37E-07	5,16E-06
El Retorno	Masculino	25	20.500	46,67	1,34E-07	5,67E-07	5,45E-06
		35	21.000	47,55	1,35E-07	5,70E-07	5,48E-06
		45	21.500	47,57	1,38E-07	5,83E-07	5,60E-06
		60	21.100	47,23	1,37E-07	5,77E-07	5,54E-06
	Femenino	25	18.100	46,67	1,19E-07	5,01E-07	4,81E-06
		35	18.500	47,55	1,19E-07	5,02E-07	4,82E-06
		45	18.800	47,57	1,21E-07	5,10E-07	4,90E-06
		60	18.900	47,23	1,22E-07	5,17E-07	4,96E-06
Mapiripán	Masculino	25	20.500	45,98	1,36E-07	5,76E-07	5,53E-06
		35	21.000	45,09	1,42E-07	6,01E-07	5,77E-06
		45	21.500	44,12	1,49E-07	6,29E-07	6,04E-06
		60	21.100	45,67	1,41E-07	5,96E-07	5,73E-06
	Femenino	25	18.100	45,98	1,20E-07	5,08E-07	4,88E-06
		35	18.500	45,09	1,25E-07	5,30E-07	5,09E-06
		45	18.800	44,12	1,30E-07	5,50E-07	5,28E-06
		60	18.900	45,67	1,27E-07	5,34E-07	5,13E-06

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Al comparar los resultados obtenidos para personas mayores de 25 años con piel sana y piel deteriorada (Tabla 88 y 86) y presencia de delgadez, el cociente de peligro de exposición dérmica es mayor en las personas con una piel deteriorada comparados con los que tienen una piel sana, este evento está en concordancia con lo reportado en la literatura mundial dado que la piel es una barrera para la absorción de tóxicos y la pérdida o deterioro de esta capa especialmente la epidermis favorece la absorción por esta vía, adicionalmente es importante aclarar que este comportamiento se observa más en los hombres y es similar en todos los municipios. Al ser las personas de sexo masculino las que tienen mayor riesgo de estar en contacto con glifosato durante sus labores diarias y de presentar un mayor deterioro de la piel, puede decirse que el sexo masculino son quienes podrían tener mayor riesgo de presentar efectos adversos sobre la salud.

Tabla 89. Índice de riesgo para la vía dérmica en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio y sexo en personas con piel deteriorada.

Municipio	Género	IR(9 días)	IR(38 días)	IR(365 días)
San José del Guaviare	Masculino	5,46E-07	2,30E-06	2,21E-05
	Femenino	4,82E-07	2,04E-06	1,96E-05
Cumaribo	Masculino	5,62E-07	2,37E-06	2,28E-05
	Femenino	4,97E-07	2,10E-06	2,01E-05
El Retorno	Masculino	5,44E-07	2,30E-06	2,21E-05
	Femenino	4,81E-07	2,03E-06	1,95E-05
Mapiripán	Masculino	5,69E-07	2,40E-06	2,23E-05
	Femenino	5,03E-07	2,12E-06	2,04E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En la Tabla 89 se aprecia que los hombres presentan una tendencia a acumular más glifosato que las mujeres y que este comportamiento es similar en todos los municipios evaluados fenómeno posiblemente explicado por una absorción diferencial de nutrientes y compuestos tóxicos.

Vía Oral-ingesta de agua

En esta vía de exposición se consideraron dos fuentes de exposición a partir de la ingesta: agua y alimentos (específicamente arroz, tomate y limón). Inicialmente se presentan los resultados por la ingestión de agua

Tabla 90. Cociente de peligro para la vía oral en edades de 5, 10, 15 años por sexo.

Género	Edad (Años)	Peso medio (kg)	Ingesta de Agua (L/Día)	HQ
Masculino	5	16,75	0,382	4,85E-03
	10	28,21	0,511	3,86E-03
	15	52,20	0,637	2,60E-03
Femenino	5	16,61	0,382	4,89E-03
	10	28,48	0,511	3,82E-03
	15	51,50	0,637	2,63E-03

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

La (Tabla 90) muestra los cocientes de peligros calculados para la ingesta de agua en menores de 15 años con peso bajo comparado con los de peso normal (Tabla 70) se observa un leve aumento en los cocientes de peligro indicando que los factores más influyentes para la

acumulación por vía oral siguen siendo la cantidad diaria de agua ingerida y la calidad del agua en términos de la concentración del contaminante, pero la delgadez o desnutrición pueden favorecer en menor medida la absorción del glifosato.

Tabla 91. Índice de riesgo para la vía oral en edades de 25, 35, 45, 60 años por Género

Género	IR
Masculino	0,011304
Femenino	0,011344

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En la (Tabla 91) no se observan diferencias significativas por sexo en la acumulación de glifosato derivada de la absorción por vía oral y la ingesta de agua en personas con delgadez menores de 15 años, lo que indica que el sexo no afectaría la capacidad de absorber glifosato en personas con desnutrición o peso bajo.

Tabla 92. Cociente de peligro para la vía oral en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio

Género	Edad	Peso medio (kg)	Ingesta de Agua (L/Día)	HQ
San José del Guaviare	25	48,08	1,27	5,6E-03
	35	46,05	1,27	5,9E-03
	45	47,67	1,27	5,7E-03
	60	46,68	1,29	5,9E-03
Cumaribo	25	46,49	1,27	5,8E-03
	35	45,19	1,27	6,0E-03
	45	45,95	1,27	5,9E-03
	60	45,40	1,29	6,0E-03
El Retorno	25	46,67	1,27	5,8E-03
	35	47,55	1,27	5,7E-03
	45	47,57	1,27	5,7E-03
	60	47,23	1,29	5,8E-03
Mapiripán	25	45,98	1,27	5,9E-03
	35	45,09	1,27	6,0E-03
	45	44,12	1,27	6,1E-03
	60	45,67	1,29	6,0E-03

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Los resultados obtenidos de la comparación de las personas mayores de 25 años con peso normal (Tabla 76) y las personas con delgadez (Tabla 92) por la vía de ingesta de agua indica una mayor acumulación de glifosato en las personas con bajo peso; queriendo decir con esto que la desnutrición se comportaría como un factor que puede aumentar la absorción del toxico y a su vez promover una mayor acumulación del glifosato; es importante adicionar que este riesgo es acumulable en el tiempo evidenciado por mayores cocientes de riesgo en los grupos de mayor edad y este comportamiento es similar en todos los municipios evaluados por lo cual las personas de bajo peso tienen más probabilidad de tener efectos adversos sobre la salud generados por la exposición a glifosato, pero se debe aclarar que este evento se podría agravar si se reporta una alta contaminación del suelo por la aspersión de glifosato.

Tabla 93. Índice de riesgo para la vía oral (ingesta de agua) en edades de 25, 35, 45, 60 años por municipio

Municipio	Índice
San José del Guaviare	0,0230393997
Cumaribo	0,0237198614
El Retorno	0,0229672324
Mapiripán	0,0240058309

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Vía Oral-ingesta de alimentos

Tabla 94. Cociente de peligro para la vía por ingesta de alimentos en edades de 5, 10, 15 años por sexo y bajo peso

Género	Edad	Peso medio (kg)	Arroz (g/día)	Tomate (g/día)	Limón (g/día)	HQ (arroz)	HQ (Tomate)	HQ (Limón)
Masculino	5	16,75	134,90	34,80	0,00	5,20E-04	1,50E-05	0,00E+00
	10	28,21	196,40	40,60	29,10	4,50E-04	1,00E-05	4,10E-06
	15	52,20	238,70	46,10	42,30	3,00E-04	6,20E-06	3,30E-06
Femenino	5	16,61	134,90	34,80	0,00	5,30E-04	1,50E-05	0,00E+00
	10	28,48	196,40	40,60	29,10	4,50E-04	1,00E-05	4,10E-06
	15	51,50	238,70	46,10	42,30	3,00E-04	6,30E-06	3,30E-06

Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

La Tabla 94 muestra los cocientes de peligros calculados para la ingesta de alimentos en menores de 15 años con peso bajo comparado con los de peso normal (Tabla 76), se observa un leve aumento en los cocientes de peligro en todos los alimentos, adicionalmente se aprecia

que el mayor aporte es dado por la ingesta de arroz, seguido del tomate y finalmente el limón; indicando que la delgadez o desnutrición puede favorecer la absorción del glifosato por la ingesta de alimentos contaminados con este tóxico. Es importante recalcar a este punto las garantías de la seguridad y soberanía alimentaria que permita el consumo de alimentos libres de contaminantes para reducir el riesgo de sufrir efectos adversos sobre la salud derivados del uso de glifosato.

Tabla 95. Índice de riesgo para la vía por ingesta de alimentos en edades de 5, 10, 15 años por sexo y bajo peso

Género	Índice Arroz	Índice Tomate	Índice Limón
Masculino	1,27E-03	3,10E-05	7,40E-06
Femenino	1,28E-03	3,11E-05	7,40E-06

Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En la Tabla 96 no se observan diferencias significativas por sexo en la acumulación de glifosato derivada de la absorción por vía oral y la ingesta de alimentos en personas con delgadez menores de 15 años lo que indica que el sexo no afectaría la capacidad de absorber glifosato en personas con desnutrición o peso bajo.

Tabla 96. Cociente de peligro para la vía por ingesta de alimentos en edades de 25, 35, 45, 60 años por sexo y bajo peso

Municipio	Edad	Peso medio (kg)	Arroz (g/día)	Tomate (g/día)	Limón (g/día)	HQ (arroz)	HQ (Tomate)	HQ (Limón)
San José del Guaviare	25	48,08	204,20	49,90	34,30	2,80E-04	7,30E-06	2,90E-06
	35	46,05	204,20	49,90	56,30	2,90E-04	7,60E-06	4,90E-06
	45	47,67	204,20	49,90	56,30	2,80E-04	7,40E-06	4,70E-06
	60	46,68	163,80	48,60	0,00	2,30E-04	7,30E-06	0,00E+00
Cumaribo	25	46,49	204,20	49,90	34,30	2,90E-04	7,60E-06	3,00E-06
	35	45,19	204,20	49,90	56,30	2,90E-04	7,80E-06	5,00E-06
	45	45,95	204,20	49,90	56,30	2,90E-04	7,60E-06	4,90E-06
	60	45,40	163,80	48,60	0,00	2,30E-04	7,50E-06	0,00E+00
El Retorno	25	46,67	204,20	49,90	34,30	2,80E-04	7,50E-06	3,00E-06
	35	47,55	204,20	49,90	56,30	2,80E-04	7,40E-06	4,80E-06
	45	47,57	204,20	49,90	56,30	2,80E-04	7,40E-06	4,80E-06
	60	47,23	163,80	48,60	0,00	2,30E-04	7,20E-06	0,00E+00
Mapiripán	25	45,98	204,20	49,90	34,30	2,90E-04	7,60E-06	3,00E-06
	35	45,09	204,20	49,90	56,30	2,90E-04	7,80E-06	5,00E-06
	45	44,12	204,20	49,90	56,30	3,00E-04	8,00E-06	5,10E-06
	60	45,67	163,80	48,60	0,00	2,30E-04	7,50E-06	0,00E+00

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Los resultados obtenidos de la comparación de las personas mayores de 25 años con peso normal (Tabla 76) y las personas con delgadez (Tabla 96) por vía de ingesta de alimentos, presentan una mayor acumulación de glifosato en estas últimas, indicando que la desnutrición se comportaría como un factor que puede aumentar la absorción del tóxico y a su vez promover una mayor acumulación del glifosato, es importante adicionar que este comportamiento es similar en todos los municipios evaluados y que el mayor aporte es dado por la ingesta de arroz seguido del tomate y finalmente el limón.

Tabla 97. Índice de riesgo para la vía por ingesta de alimentos en edades de 25, 35, 45, 60 años por sexo

Municipio	Índice Arroz	Índice Tomate	Índice Limón
San José del Guaviare	1,07E-03	2,96E-05	1,25E-05
Cumaribo	1,10E-03	3,05E-05	1,29E-05
El Retorno	1,07E-03	2,96E-05	1,25E-05
Mapiripán	1,12E-03	3,09E-05	1,31E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

6.3.1 Variables críticas de cociente de peligro

Los aspectos que se listan a continuación podrían considerarse como variables críticas para la transferencia de glifosato, dado que tienen los mayores cocientes de peligro según los modelos estimados:

- Afectaciones dermatológicas: piel deteriorada
- Edad: edad menor a cinco años
- Concentraciones de glifosato en agua
- Ingesta de agua contaminada: cantidad de ingesta de agua contaminada
- Consumo de alimentos contaminados especialmente el arroz
- Estado nutricional: delgadez o desnutrición
- Actividad laboral: vigorosa

Al observar estas variables críticas se considera que la mayoría de ellas pueden ser mitigables, implementando acciones como el adecuado uso y manejo de la aspersión con glifosato, y de esta manera limitar al máximo la cantidad de esta sustancia que puede alcanzar las fuentes hídricas, lo que reduciría de manera importante la concentración de glifosato en el agua, lo cual permitiría a su vez reducir la exposición tanto por vía dérmica como por la vía oral derivadas de la ingesta de agua y alimentos contaminados. Adicionalmente, se requiere la implementación de acciones de vigilancia en salud para detectar y controlar las afectaciones dermatológicas de manera que se limite o reduzca la absorción por vía dérmica, en especial en los niños menores de cinco años que son quienes tienen mayor riesgo.

Finalmente la implementación de estrategias y acciones que permitan garantizar la soberanía alimentaria y el acceso físico y económico a alimentos inocuos, podría contribuir de manera significativa con la reducción en la prevalencia de desnutrición, la cual se ha evidenciado se comporta como una variable crítica para la absorción y acumulación de glifosato, aumentando así el riesgo de efectos nocivos sobre la salud.

6.4 Análisis de sensibilidad

En este apartado se presentan los resultados del proceso de análisis de sensibilidad descrito en la sección 2.11.3 (Análisis de incertidumbre) con el fin de comparar el comportamiento del cociente de peligro a través de los distintos niveles de concentración y valores del factor de exposición en cada vía de exposición estudiada.

6.4.1 Vía Dérmica

La Tabla 98 compara los niveles de concentración por grupo etario de niños y jóvenes con su respectivo valor de referencia para el área superficial de contacto, para cada combinación se muestra el valor promedio encontrado para el cociente de peligro.

Tabla 98. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para el grupo etario de niños y jóvenes

Grupo Etario	AS	Factor de exposición						
		0,002	0,066	0,500	0,970	0,980	0,990	1,000
0-1 mes	2.900	2,00E-07	4,00E-06	3,00E-05	5,00E-05	6,00E-05	6,00E-05	6,00E-05
1-3 meses	3.300	2,00E-07	4,00E-06	3,00E-05	6,00E-05	6,00E-05	6,00E-05	6,00E-05
3-6 meses	3.800	2,00E-07	5,00E-06	4,00E-05	7,00E-05	7,00E-05	7,00E-05	7,00E-05
6-12 meses	4.500	2,00E-07	6,00E-06	4,00E-05	8,00E-05	9,00E-05	9,00E-05	9,00E-05
1-2 años	5.300	2,00E-07	5,00E-06	4,00E-05	7,00E-05	7,00E-05	7,00E-05	7,00E-05
2-3 años	6.100	2,00E-07	4,00E-06	3,00E-05	7,00E-05	7,00E-05	7,00E-05	7,00E-05
3-6 años	7.600	2,00E-07	5,00E-06	3,00E-05	7,00E-05	7,00E-05	7,00E-05	7,00E-05
6-11 años	10.800	1,00E-07	3,00E-06	2,00E-05	4,00E-05	4,00E-05	4,00E-05	4,00E-05
11-16 años	15.900	1,00E-07	3,00E-06	2,00E-05	4,00E-05	4,00E-05	4,00E-05	4,00E-05
16-21 años	18.400	1,00E-07	3,00E-06	2,00E-05	4,00E-05	4,00E-05	4,00E-05	4,00E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En esta se observa como los valores del cociente de peligro crecen a medida que aumentan las concentraciones y es mayor para los más jóvenes y se aprecia que a medida que aumenta la edad este crecimiento se tiende a estabilizar en el periodo entre los seis a los veintiún años. Este evento es posiblemente explicado por el hecho de la superficie corporal expuesta es mayor para los niños pequeños y esta se reduce cuando aumenta la edad colocando en los menores de 5 años como el grupo etario más vulnerable a los efectos de la exposición a glifosato.

Tabla 99. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para hombres adultos de 21 a más de 81 años

Grupo Etario (Años)	AS	Factor de exposición						
		0,002	0,066	0,500	0,970	0,980	0,990	1,000
21-31	20.500	1,0E-07	3,2E-06	2,5E-05	4,8E-05	4,8E-05	4,9E-05	4,9E-05
31-41	21.000	1,0E-07	3,3E-06	2,5E-05	4,9E-05	4,9E-05	5,0E-05	5,0E-05
41-51	21.500	1,0E-07	3,4E-06	2,6E-05	5,0E-05	5,1E-05	5,1E-05	5,2E-05
51-61	21.100	1,0E-07	3,3E-06	2,5E-05	4,9E-05	5,0E-05	5,0E-05	5,1E-05
61-71	20.800	1,0E-07	3,3E-06	2,5E-05	4,8E-05	4,9E-05	4,9E-05	5,0E-05
71-81	20.500	1,0E-07	3,2E-06	2,5E-05	4,8E-05	4,8E-05	4,9E-05	4,9E-05
Más de 81	19.200	1,0E-07	3,0E-06	2,3E-05	4,5E-05	4,5E-05	4,6E-05	4,6E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En la Tabla 99 se observa como los valores de los cocientes de peligro crecen a medida que aumentan las concentraciones. En el caso de los adultos hombres aunque es un poco más marcado en los grupos de edad de los 41 a los 61 años, los cambios son discretos en la edad adulta lo que indica que el riesgo en la salud derivado del uso de glifosato en los adultos depende en gran medida de las concentraciones ambientales del glifosato y es menor que en la infancia.

La Tabla 100 compara los niveles de concentración por grupo etario de mujeres adultas con su respectivo valor de referencia para el área superficial de contacto, para cada combinación se muestra el valor promedio encontrado para el cociente de peligro.

Tabla 100. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para mujeres adultas de 21 a más de 81 años

Grupo Etario (Años)	AS	Factor de exposición						
		0,002	0,066	0,500	0,970	0,980	0,990	1,000
21-31	18.100	1,0E-07	2,8E-06	2,2E-05	4,2E-05	4,3E-05	4,3E-05	4,3E-05
31-41	18.500	1,0E-07	2,9E-06	2,2E-05	4,3E-05	4,3E-05	4,4E-05	4,4E-05
41-51	18.800	1,0E-07	3,0E-06	2,3E-05	4,4E-05	4,4E-05	4,5E-05	4,5E-05
51-61	18.900	1,0E-07	3,0E-06	2,3E-05	4,4E-05	4,4E-05	4,5E-05	4,5E-05
61-71	18.800	1,0E-07	3,0E-06	2,3E-05	4,4E-05	4,4E-05	4,5E-05	4,5E-05
71-81	17.700	1,0E-07	2,8E-06	2,1E-05	4,1E-05	4,2E-05	4,2E-05	4,2E-05
Más de 81	16.900	1,0E-07	2,7E-06	2,0E-05	3,9E-05	4,0E-05	4,0E-05	4,1E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En la Tabla 100 se observa que las mujeres tienen un comportamiento similar a los hombres, solo que las dosis acumuladas son un poco más bajas, pero en términos del incremento de los cocientes de peligro a medida que aumentan las concentraciones y que los cambios son menores en la edad adulta lo que indica que el riesgo en la salud derivado del uso de glifosato en las mujeres adultas depende en gran medida de las concentraciones ambientales del glifosato.

La Tabla 101 compara el factor de exposición por grupo etario de niños y jóvenes con su respectivo valor de referencia para el área superficial de contacto, para cada combinación se muestra el valor promedio encontrado para el cociente de peligro.

Tabla 101. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para el grupo etario de niños y jóvenes

Grupo Etario	AS	Factor de exposición							
		0,002	0,066	0,500	0,970	0,980	0,990	1,000	1,500
0-1 mes	2.900	2,E-07	4,E-06	3,E-05	5,E-05	6,E-05	6,E-05	6,E-05	8,E-05
1-3 meses	3.300	2,E-07	4,E-06	3,E-05	6,E-05	6,E-05	6,E-05	6,E-05	1,E-04
3-6 meses	3.800	2,E-07	5,E-06	4,E-05	7,E-05	7,E-05	7,E-05	7,E-05	1,E-04
6-12 meses	4.500	2,E-07	6,E-06	4,E-05	8,E-05	9,E-05	9,E-05	9,E-05	1,E-04
1-2 años	5.300	2,E-07	5,E-06	4,E-05	7,E-05	7,E-05	7,E-05	7,E-05	1,E-04

		Factor de exposición							
Grupo Etario	AS	0,002	0,066	0,500	0,970	0,980	0,990	1,000	1,500
2-3 años	6.100	2,E-07	4,E-06	3,E-05	7,E-05	7,E-05	7,E-05	7,E-05	1,E-04
3-6 años	7.600	2,E-07	5,E-06	3,E-05	7,E-05	7,E-05	7,E-05	7,E-05	1,E-04
6-11 años	10.800	1,E-07	3,E-06	2,E-05	4,E-05	4,E-05	4,E-05	4,E-05	7,E-05
11-16 años	15.900	1,E-07	3,E-06	2,E-05	4,E-05	4,E-05	4,E-05	4,E-05	6,E-05
16-21 años	18.400	1,E-07	3,E-06	2,E-05	4,E-05	4,E-05	4,E-05	4,E-05	7,E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

		Factor de exposición							
Grupo Etario (Años)	AS	0,002	0,066	0,500	0,970	0,980	0,990	1,000	1,500
21-31	20.500	1,0E-07	3,2E-06	2,5E-05	4,8E-05	4,8E-05	4,9E-05	4,9E-05	7,4E-05
31-41	21.000	1,0E-07	3,3E-06	2,5E-05	4,9E-05	4,9E-05	5,0E-05	5,0E-05	7,6E-05
41-51	21.500	1,0E-07	3,4E-06	2,6E-05	5,0E-05	5,1E-05	5,1E-05	5,2E-05	7,7E-05
51-61	21.100	1,0E-07	3,3E-06	2,5E-05	4,9E-05	5,0E-05	5,0E-05	5,1E-05	7,6E-05
61-71	20.800	1,0E-07	3,3E-06	2,5E-05	4,8E-05	4,9E-05	4,9E-05	5,0E-05	7,5E-05
71-81	20.500	1,0E-07	3,2E-06	2,5E-05	4,8E-05	4,8E-05	4,9E-05	4,9E-05	7,4E-05
Más de 81	19.200	1,0E-07	3,0E-06	2,3E-05	4,5E-05	4,5E-05	4,6E-05	4,6E-05	6,9E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

La Tabla 102 compara el factor de exposición por grupo etario de hombres adultos con su respectivo valor de referencia para el área superficial de contacto, para cada combinación se muestra el valor promedio encontrado para el cociente de peligro.

Tabla 102. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para hombres adultos de 21 a más de 81 años

		Factor de exposición							
Grupo Etario (Años)	AS	0,002	0,066	0,500	0,970	0,980	0,990	1,000	1,500
21-31	20.500	1,0E-07	3,2E-06	2,5E-05	4,8E-05	4,8E-05	4,9E-05	4,9E-05	7,4E-05
31-41	21.000	1,0E-07	3,3E-06	2,5E-05	4,9E-05	4,9E-05	5,0E-05	5,0E-05	7,6E-05
41-51	21.500	1,0E-07	3,4E-06	2,6E-05	5,0E-05	5,1E-05	5,1E-05	5,2E-05	7,7E-05
51-61	21.100	1,0E-07	3,3E-06	2,5E-05	4,9E-05	5,0E-05	5,0E-05	5,1E-05	7,6E-05
61-71	20.800	1,0E-07	3,3E-06	2,5E-05	4,8E-05	4,9E-05	4,9E-05	5,0E-05	7,5E-05
71-81	20.500	1,0E-07	3,2E-06	2,5E-05	4,8E-05	4,8E-05	4,9E-05	4,9E-05	7,4E-05
Más de 81	19.200	1,0E-07	3,0E-06	2,3E-05	4,5E-05	4,5E-05	4,6E-05	4,6E-05	6,9E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En la Tabla 102 se observa como los valores de los cocientes de peligro crecen a medida que aumenta el factor de exposición entendido como la concentración en función del tiempo siguiendo un comportamiento similar a lo observado a diferentes concentraciones, este efecto nuevamente es un más marcado en los grupos de edad de los 41 a los 61 años, pero en general los cambios son leves en la edad adulta lo que indica que el riesgo en la salud derivado del uso de glifosato en lo adultos depende en gran medida de las concentraciones ambientales del glifosato.

La Tabla 102 compara el factor de exposición por grupo etario de hombres adultos con su respectivo valor de referencia para el área superficial de contacto, para cada combinación se muestra el valor promedio encontrado para el cociente de peligro.

Tabla 103. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los valores del factor de exposición para mujeres adultas de 21 a más de 81 años

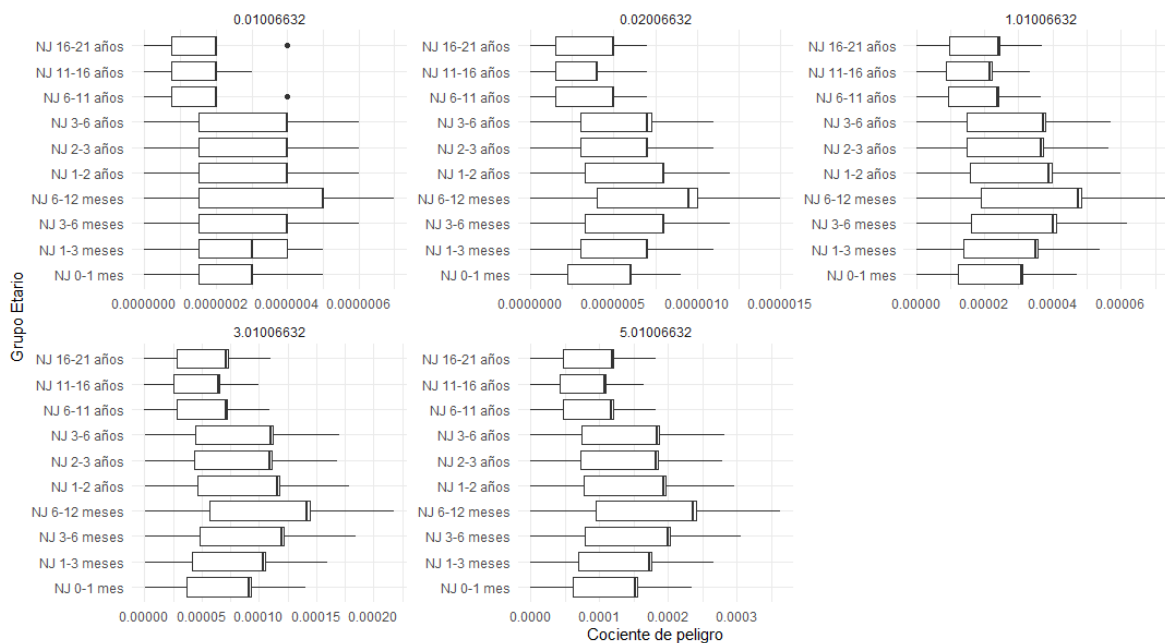
Grupo Etario (Años)	Factor de exposición								
	AS	0,002	0,066	0,500	0,970	0,980	0,990	1,000	1,500
21-31	18.100	1,0E-07	2,8E-06	2,2E-05	4,2E-05	4,3E-05	4,3E-05	4,3E-05	6,5E-05
31-41	18.500	1,0E-07	2,9E-06	2,2E-05	4,3E-05	4,3E-05	4,4E-05	4,4E-05	6,7E-05
41-51	18.800	1,0E-07	3,0E-06	2,3E-05	4,4E-05	4,4E-05	4,5E-05	4,5E-05	6,8E-05
51-61	18.900	1,0E-07	3,0E-06	2,3E-05	4,4E-05	4,4E-05	4,5E-05	4,5E-05	6,8E-05
61-71	18.800	1,0E-07	3,0E-06	2,3E-05	4,4E-05	4,4E-05	4,5E-05	4,5E-05	6,8E-05
71-81	17.700	1,0E-07	2,8E-06	2,1E-05	4,1E-05	4,2E-05	4,2E-05	4,2E-05	6,4E-05
Más de 81	16.900	1,0E-07	2,7E-06	2,0E-05	3,9E-05	4,0E-05	4,0E-05	4,1E-05	6,1E-05

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En la Tabla 103 se muestra un escenario muy similar a los anteriores, en donde a medida que crecen los valores del factor de exposición aumentan los valores del cociente de peligro, es de notar que estos valores se acercan más a los de los jóvenes y niños que a los de los hombres adultos y que la diferencia por periodo no es muy concluyente en la adultez de la mujer.

En la Figura 94 se muestra el comportamiento del cociente de peligro y sus características de tendencia central a través de los niveles de concentración por el grupo etario correspondiente a los niños y jóvenes.

Figura 93. Cociente de peligro en distintas concentraciones para grupo etario de niños y jóvenes de 0 meses a 21 años

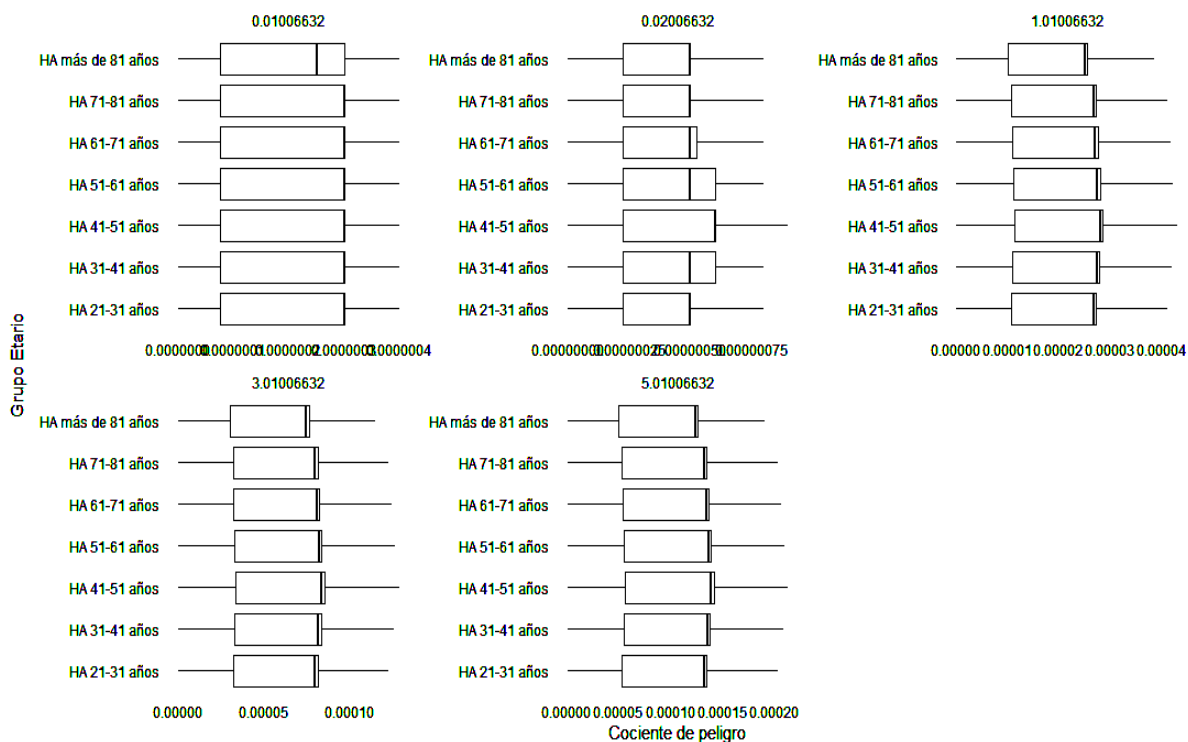


Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En esta (Figura 94) se presenta un resumen del detalle analizado anteriormente, se observa como el grupo etario de los niños ostentan los valores más altos de cocientes de peligro en comparación con los jóvenes, de igual forma se determina la tendencia de crecimiento de los valores del cociente a medida que aumentan los valores de concentración presente en el ambiente para esta vía de exposición.

En la Figura 95 se observa el comportamiento del cociente de peligro y sus características de tendencia central a través de los niveles de concentración por el grupo etario correspondiente a los hombres adultos.

Figura 94. Cociente de peligro en distintas concentraciones para grupo etario de hombres adultos de 21 a más de 81 años

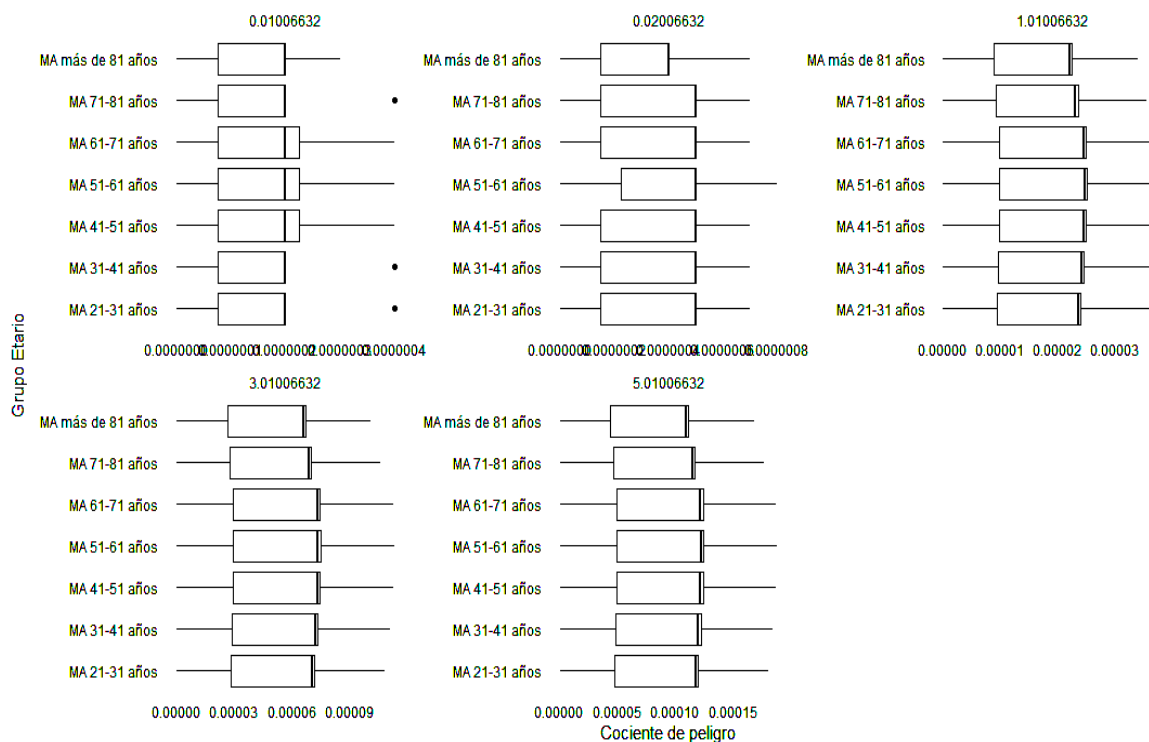


Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En este caso puede observarse cómo se mantiene la tendencia proporcional de aumento entre los valores del cociente de exposición y los valores de la concentración, además se puede notar que estos son muy similares entre si durante casi todo el periodo de la adultez.

En la Figura 96 se muestra el comportamiento del cociente de peligro y sus características de tendencia central a través de los niveles de concentración por el grupo etario correspondiente a las mujeres adultas.

Figura 95. Cociente de peligro en distintas concentraciones para grupo etario de mujeres adultas de 21 a más de 81 años

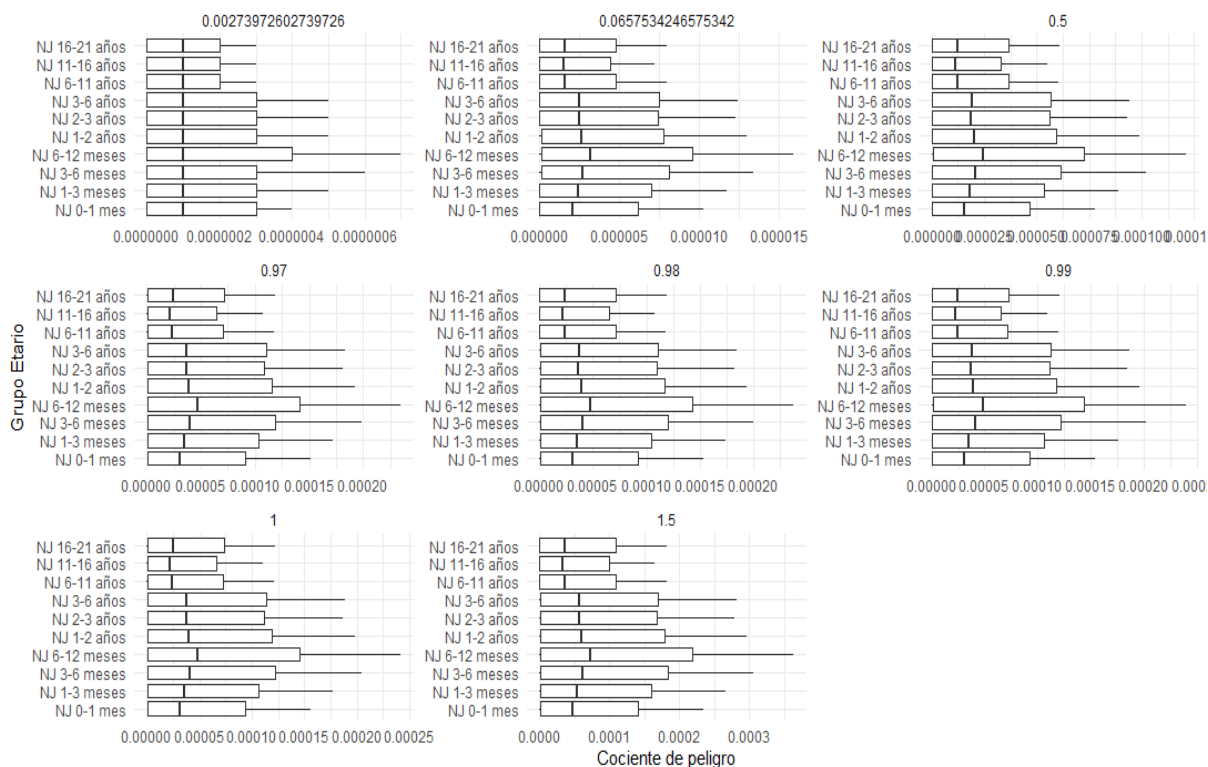


Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Esta Figura permite observar la tendencia creciente de los valores del cociente de peligro a medida que aumentan los valores de la concentración como tendencia general del grupo etario, de igual forma se observa la presencia de algunos valores extremos indicando cierto grado de sensibilidad en este grupo etario.

En la Figura 97, se observa el comportamiento del cociente de peligro y sus características de tendencia central a través de los distintos valores del factor de exposición por el grupo etario correspondiente a los niños y jóvenes.

Figura 96. Coeficiente de peligro en distintos valores del factor de exposición para grupo etario de niños y jóvenes de 0 meses a 21 años

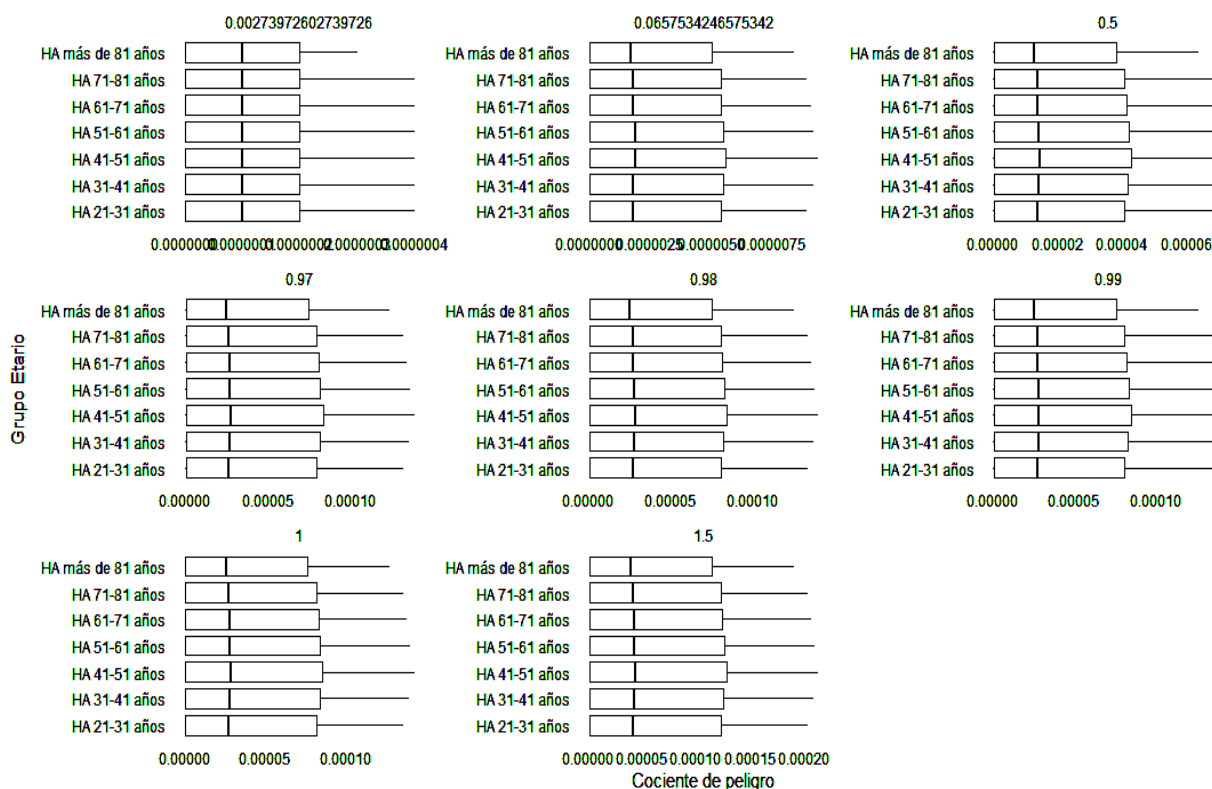


Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Se observa una clara tendencia al crecimiento de los valores del cociente de peligro a medida que aumenta la exposición y de manera similar a los resultados anteriores se puede observar que el grupo de mayor sensibilidad a estos cambios de escenarios es el de los niños entre los cero meses y seis años.

En la Figura 98 se muestra el comportamiento del cociente de peligro y sus características de tendencia central a través de los distintos valores del factor de exposición por el grupo etario correspondiente a los hombres adultos.

Figura 97. Coeficiente de peligro en distintos valores del factor de exposición para grupo etario de hombres adultos de 21 a más de 81 años

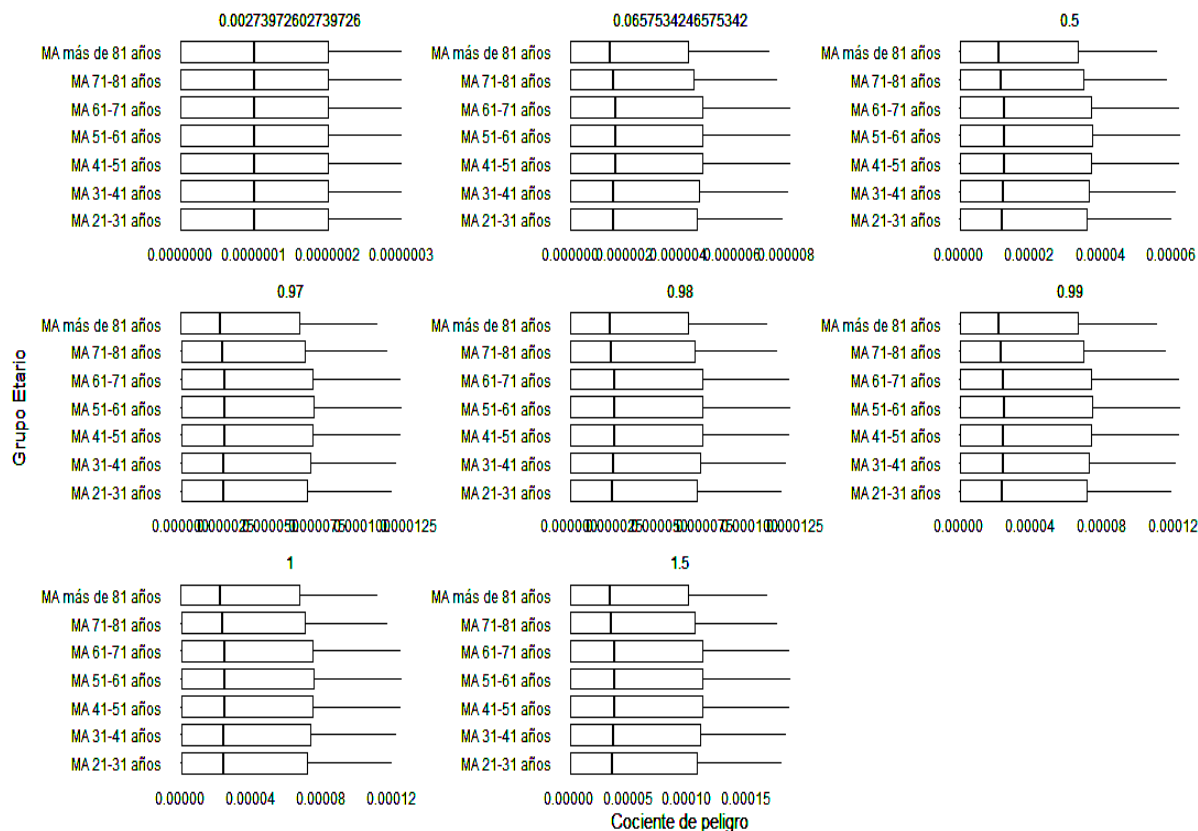


Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Esta Figura permite identificar como la tendencia de proporcionalidad entre el coeficiente de peligro y los valores del factor de exposición se mantiene para los hombres adultos sin determinar una clara diferencia dentro del grupo etario.

En la Figura 99 se muestra el comportamiento del cociente de peligro y sus características de tendencia central a través de los distintos valores del factor de exposición por el grupo etario correspondiente a las mujeres adultas.

Figura 98. Coeficiente de peligro en distintos valores del factor de exposición para grupo etario de mujeres adultas de 21 a más de 81 años



Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Esta ilustración presenta como a diferencia de la tendencia de aumento de los valores del cociente de peligro en función del cambio en el escenario del factor de exposición en otras edades, no se observa este mismo comportamiento dentro del grupo etario de mujeres adultas.

6.4.2 Vía Oral

La Tabla 98 compara los niveles de concentración por grupo etario con su respectivo valor de referencia para la ingesta de agua, en cada combinación se muestra el valor promedio encontrado para el cociente de peligro.

Tabla 104. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los niveles de concentración por grupo etario

Grupo Etario	Concentración					
	Tasa de Ingesta	0.0583	0.6330	0.6830	0.7330	0.7830
0-1 mes	0.171550	0.0232491	0.2524320	0.2723757	0.2922890	0.3122424
1-3 meses	0.201480	0.0273052	0.2964727	0.3198883	0.3433128	0.3667029
3-6 meses	0.202940	0.0275019	0.2986170	0.3222264	0.3457852	0.3693824
6-12 meses	0.170455	0.0231011	0.2508273	0.2706371	0.2904431	0.3102350
1-2 años	0.112420	0.0105870	0.1149535	0.1240290	0.1331024	0.1421790
2-3 años	0.129940	0.0100004	0.1085865	0.1171707	0.1257467	0.1343182
3-6 años	0.139430	0.0087182	0.0946623	0.1021318	0.1096123	0.1170840
6-11 años	0.186515	0.0052669	0.0571820	0.0617011	0.0662226	0.0707361
11-16 años	0.232505	0.0040604	0.0440865	0.0475691	0.0510507	0.0545327
16-18 años	0.256230	0.0042780	0.0464458	0.0501163	0.0537855	0.0574554
18-21 años	0.297840	0.0049724	0.0539944	0.0582572	0.0625227	0.0667884
21-65 años	0.447855	0.0074775	0.0811868	0.0875968	0.0940137	0.1004243
Más de 65 años	0.448220	0.0074837	0.0812520	0.0876730	0.0940835	0.1005071

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En esta Tabla 98 se observa como los valores del cociente de peligro crecen a medida que aumentan las concentraciones determinando una tendencia proporcional, pero este efecto es más marcado para los niños menores de 6 años y se aprecia que a medida que aumenta la edad este crecimiento se mantiene estable a lo largo del periodo de los seis a los veintiún años para de nuevo aumentar luego a los 21 años hasta los 65 años. Este evento es posiblemente explicado por el hecho de la cantidad de agua ingerida por volumen de peso es mayor para los niños pequeños y esta se reduce cuando aumenta la edad colocando a los menores de 5 años como el grupo etario más vulnerable a los efectos de la exposición a glifosato; a su vez se observa que los adultos en edad económicamente activa ingerirían más agua por lo cual su exposición por acumulación podría ser mayor.

La Tabla 105 compara los valores del factor de exposición por grupo etario con su respectivo valor de referencia para ingesta de agua, para cada combinación se muestra el valor promedio encontrado para el cociente de peligro.

Tabla 105. Comportamiento de los cocientes de peligro a través de los niveles de concentración por grupo etario

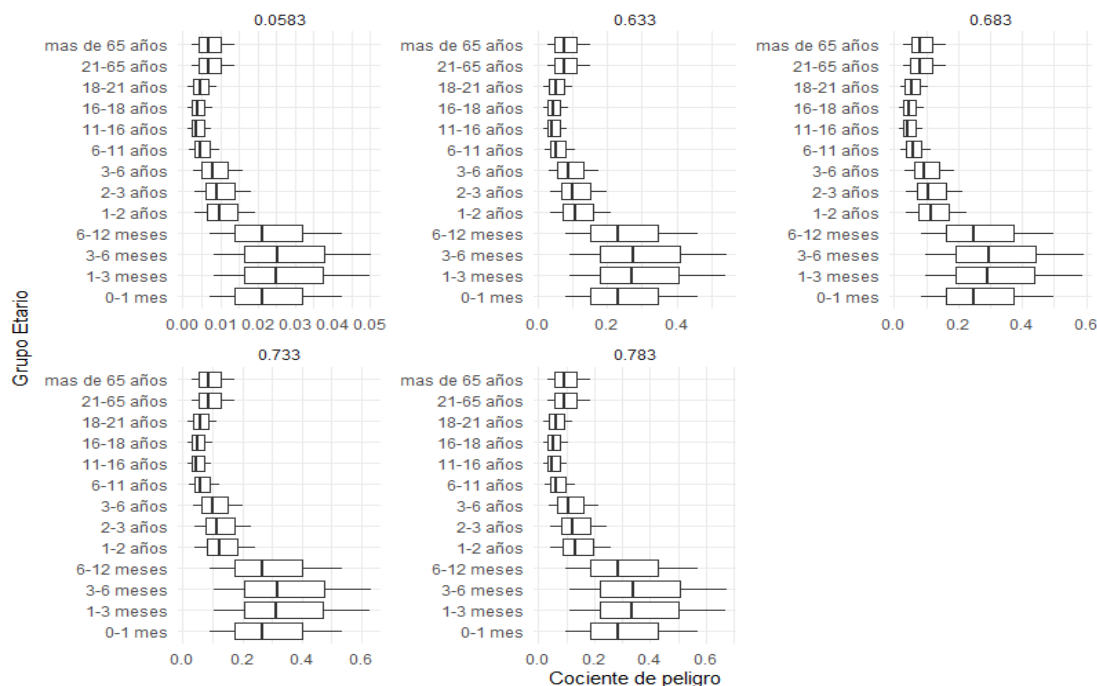
Grupo Etario	Factor de exposición							
	Tasa de Ingesta	0,500	0,950	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000
0-1 mes	0,1716	0,0704656	0,1338793	0,140941	0,2113938	0,2818261	0,3523240	0,4227934
1-3 meses	0,2015	0,0827646	0,1572473	0,1655139	0,2482697	0,3310577	0,4137889	0,4965128
3-6 meses	0,2029	0,0833595	0,1583910	0,1667171	0,2500745	0,3334132	0,4167910	0,5001718
6-12 meses	0,1705	0,0700164	0,1330321	0,1400282	0,2100423	0,2800411	0,3500821	0,4200989
1-2 años	0,1124	0,0320868	0,0609620	0,0641777	0,0962573	0,1283535	0,1604210	0,1925332
2-3 años	0,1299	0,0303109	0,0575925	0,0606246	0,0909353	0,1212576	0,1515653	0,1818655
3-6 años	0,1394	0,0264230	0,0502039	0,0528483	0,0792726	0,1056914	0,1321130	0,1585399
6-11 años	0,1865	0,0159632	0,0303300	0,0319263	0,0478869	0,0638495	0,0798134	0,0957828
11-16 años	0,2325	0,0123057	0,0233820	0,0246141	0,0369201	0,0492263	0,0615334	0,0738378
16-18 años	0,2562	0,0129655	0,0246362	0,0259324	0,0388962	0,0518622	0,0648273	0,0777936
18-21 años	0,2978	0,0150712	0,0286349	0,0301441	0,0452141	0,0602898	0,0753634	0,0904319
21-65 años	0,4479	0,0226630	0,0430613	0,0453244	0,0679862	0,0906513	0,1133149	0,1359776
Más de 65 años	0,4482	0,0226818	0,0430964	0,0453638	0,0680418	0,0907247	0,1134051	0,1360854

Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

Esta muestra que de manera similar al caso anterior se presenta una tendencia de aumento proporcional entre los valores del cociente de peligro y los valores para el factor de exposición por grupo etario, así se determina también la similitud por grupo etario en donde los niños son los que ostentan los valores más altos para el cociente de peligro y los adultos se mantienen estables en todas las edades.

En la Figura 100 se muestra el comportamiento del cociente de peligro y sus características de tendencia central a través de los distintos valores de concentración por grupos etarios.

Figura 99. Coeficiente de peligro en distintos valores de concentración para la vía oral por grupo etario

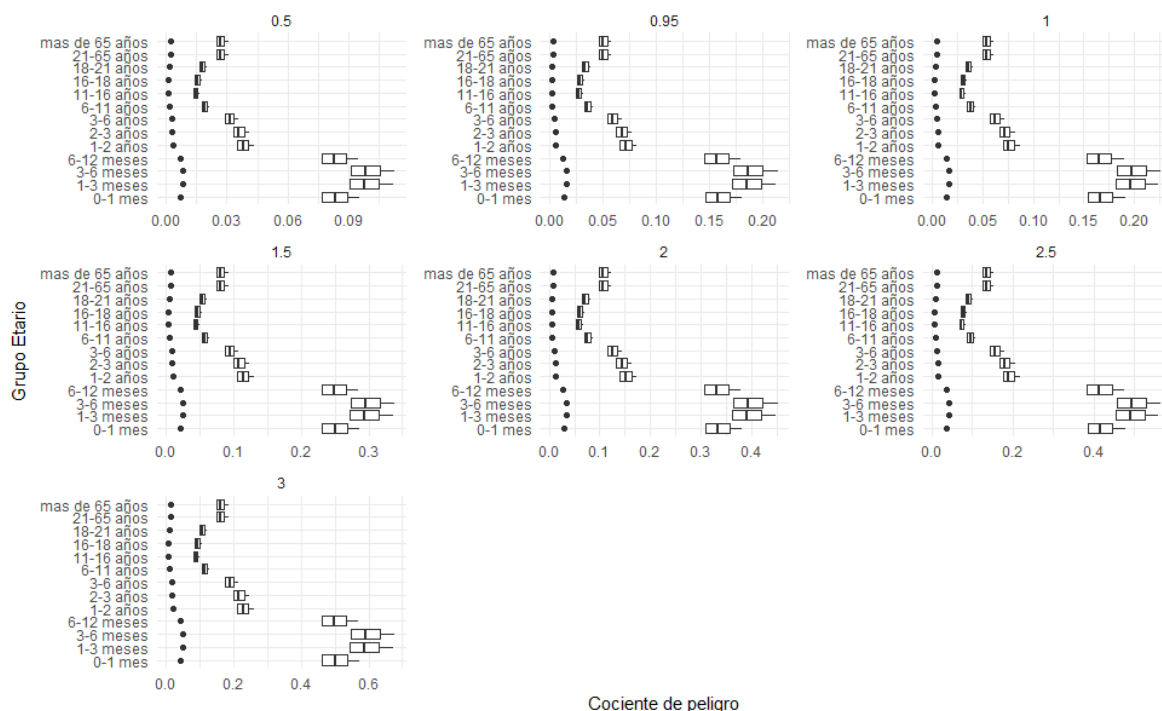


Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En esta ilustración se puede observar de manera gráfica el efecto del crecimiento de los valores del cociente de peligro a medida que aumentan los valores de la concentración y la diferencia entre los valores mostrados para niños con respecto al resto del grupo etario mencionada anteriormente.

En la Figura 101, se presenta el comportamiento del cociente de peligro y sus características de tendencia central a través de los distintos valores del factor de exposición por grupos etarios.

Figura 100. Cociente de peligro en distintos valores del factor de exposición para la vía oral por grupo etario



Fuente: Construcción a partir de los resultados – contrato 1097/2019

En este caso la Figura permite observar con más detalle la tendencia de aumento proporcional entre los valores del cociente de peligro y los del factor de exposición, además de mostrar con más detalle que el caso anterior la diferencia entre los valores del cociente de peligro para el grupo de los niños con el resto del grupo etario.

6.5 Consideraciones sobre el análisis de riesgo asociado al cáncer

Respecto a la caracterización del riesgo asociado al cáncer, es importante anotar que dadas las fuentes de información secundaria consultadas, no fue posible identificar el comportamiento de la incidencia de cáncer en los municipios de referencia, razón por la cual, no se realiza un análisis cuantitativo o se incluyen variables relacionadas en el análisis. En este sentido, la información obtenida, de los diferentes estudios que se consultaron, y de la información obtenida de los territorios priorizado, y la aplicación de diferentes herramientas entre las que se resaltan las propuestas por la IARC, las cuales fueron base para el presente documento, y al compararlo con la metodología de la EPA para la medición de riesgo de cáncer en un segundo momento, se podría establecer posibles efectos ocasionados por la exposición a glifosato.

Sin embargo, cabe anotar y a manera de conclusión de ambas agencias internacionales, para la EPA este herbicida no representa riesgo alguno para la salud humana, pero para la IARC el

glifosato se considera como sustancia probablemente carcinógena clasificada en riesgo 2B, apoyándose en evidencia científica con resultados de asociación con Linfoma Hodking y Linfoma No Hodking(238,311)

Adicionalmente, se realizó la revisión cuantitativa del comportamiento del cáncer mediante la consulta del Análisis de Situación del Cáncer en Colombia 2015, el Atlas de Mortalidad por Cáncer 2013 y el reporte sobre Colombia del Sistema Global sobre Cáncer de la OMS (GLOBOCAN), disponibles en la página web del Instituto Nacional de Cancerología (340,341)

Como parte de este análisis se identificó que el linfoma No Hodgkin (LNH) se ubicó en 2015 dentro de los cinco tipos principales de cáncer en hombres y en el noveno lugar en mujeres, mientras que en los niños el LNH ocupa el segundo lugar después de las leucemias. El Departamento del Meta se encuentra dentro de los cinco departamentos con mayor tasa de incidencia ajustada de cáncer en mujeres y niñas. Finalmente, según las estimaciones del sistema GLOBOCAN se espera que el número de casos de cáncer para el país en 2035 sea de cerca de 152.000 frente a 79.660 diagnosticados en 2015 (340,341).

Por la naturaleza de esta evaluación de riesgo y las limitaciones en el acceso a la información, no se logró establecer el comportamiento del cáncer en general en el contexto local ni identificar relaciones de asociación o causalidad entre esta patología y factores de riesgo específicos.

7. RECOMENDACIONES METODOLÓGICAS Y SOBRE EL ACCESO A LA INFORMACIÓN

En el ejercicio realizado para la evaluación de riesgos en salud por exposición a glifosato, se agotaron diferentes actividades mencionadas en los capítulos anteriores; a continuación se describen algunas recomendaciones, con el fin, de ser posible desde el diseño controlar en futuras evaluaciones este tipo de limitaciones.

Evaluación de la exposición

La evaluación de la exposición, estuvo determinada por la información disponible requerida en términos de las variables ambientales y climatológicas necesarias para la calibración y el ajuste del modelo, siendo necesario adoptar variables genéricas y variables ya establecidas por defecto en los softwares, manteniendo el rigor metodológico lo cual garantiza resultados consistentes que se podrán monitorear posteriormente en campo, verificando la certeza de los resultados obtenidos, insumos fundamentales en los procesos de apoyo en la toma de decisiones.

Adicionalmente, las simulaciones fueron realizadas con base a las sustancias Glifosato 480 SL y Cosmo Oil como coadyuvante, en este sentido, una modificación en las características físicas y/o químicas de alguna de las sustancias puede generar un resultado diferente en las simulaciones al obtenido en este estudio.

Es importante entender que el componente ambiental representa apenas una de las cinco variables utilizadas para el cálculo de la Dosis de Exposición Estimada DEE y que las demás variables de la formula están asociadas a características de exposición y de vulnerabilidad en temas de salud, nutrición e incluso características ocupacionales relacionadas con el perfil socio económico de estos municipios. Para el análisis de exposición, fundamentado en la información disponible del área de estudio, se emplearon criterios para la definición de escenarios similares que permitieron generar asociaciones válidas para el análisis de la exposición.

Finalmente, es importante aclarar que el margen de error de las simulaciones no invalida su importancia ni su resultado, pero impide que con base a ella se puedan tomar decisiones puntuales referentes a la evaluación de la exposición, para ello es necesario poder acceder a la información detallada de las sustancias a utilizar. A continuación, se mencionan algunos puntos importantes sobre la información simulada.

- Cuando las aplicaciones aéreas se realizan a velocidades superiores a 225 km/h (en el caso de esta simulación es de 242 Km/H), las características aerodinámicas de los implementos de aplicación se vuelven relevantes debido a la generación de turbulencia.

- El arrastre de gotas por esta turbulencia puede resultar en una no uniformidad en la deposición debajo del avión y también puede resultar en un mayor movimiento fuera del objetivo de la pulverización(342) .
- El proceso de atomización secundaria tiene lugar en mayor medida cuando las aplicaciones se realizan a alta velocidad debido al aumento de la tensión de cizallamiento en las gotas que es una consecuencia de la inyección del producto pulverizado con una velocidad alta del campo de flujo (287,343). Trayendo esto una posible consecuencia: la segunda atomización de la gota; esto quiere decir que la gota se rompe y se divide en gotas más pequeñas, y con esto una mayor deposición del plaguicida fuera de la zona blanco, una mayor deriva y pérdida de producto.
- La sensibilidad del modelo (AGDRIFT) a varios de los parámetros de entrada (Valores entregados por la policía nacional) se determinó variando un parámetro mientras se mantenían constantes los demás. Los parámetros variaron de acuerdo a valores usados en investigaciones de aspersiones áreas realizadas con plaguicidas (344).
- El modelo fue sensible a la distribución del tamaño de la gota (DVM_{50}), Para gotas más grandes (460 μm) que las utilizadas para esta simulación (350 μm); el modelo predijo que se depositan en el suelo con mayor facilidad, en un menor tiempo y por ende generando una menor deriva del plaguicida (33,4%), resultado confirmado por investigaciones realizados por Fritz et al (345). Los resultados también mostraron que variar la velocidad de evaporación no tuvo un gran impacto en las concentraciones predichas. Entre los parámetros meteorológicos probados, se encontró que el modelo era más sensible a los cambios en la velocidad del viento que los otros parámetros, con una velocidad del viento más baja que la usada en esta simulación se disminuyó la deriva en un 36,6%. Ahora al variar simultáneamente el tamaño de la gota (463 μm) y la velocidad del viento 6,5 Km/h se obtuvo una disminución de la cantidad de la plaguicida depositada fuera del blanco del 57,94%.
- Aunque cabe aclarar que estas conclusiones son basadas en un modelo teórico, están acordes con resultados obtenidos de aspersiones áreas analizadas en campo (346–348). Por lo tanto, sería bueno analizar las condiciones de aspersión que se propusieron en este modelo; por ejemplo, solo realizar los procedimientos de aspersión con velocidades de viento menores de 8 Km/h y un tamaño de gota DVM_{50} superior a 440 μm .

Se deja planteado un interrogante como posible medio de recomendación:

¿La aspersión podría limitarse a velocidades del viento menores a las utilizadas en la simulación?

Caracterización del riesgo

La cuantificación de los cocientes de peligro se hizo mediante un modelo determinístico, cuyas entradas son parámetros tomados de estudios relacionados con la temática, publicados en bases de datos especializadas.

Con el fin de hacer un monitoreo al cociente de peligro en las distintas vías, se sugiere emplear en futuras evaluaciones de riesgo un método directo para el cálculo de la dosis de exposición en cada municipio o una muestra significativa de ellos. Para ello se requiere información complementaria, además de las bases de datos suministradas por el ministerio de salud y a las siguientes variables:

- Concentración del contaminante en el medio contaminado (agua, aire, suelo): Se realizaron simulaciones con variables genéricas e información ambiental y climatológica.
- Tasa promedio de contacto (ingesta promedio diaria de agua; inhalación promedio de aire): Se tomaron valores de referencia de los Manuales de Factores de Exposición de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- Peso corporal (kg) por grupo por habitante o el peso medio por grupo etario: Se plantearon dos escenarios, pesos de personas sanas y pesos de personas con delgadez crítica (calculado), tomados de la ENSIN 2005, 2010 y las tablas para medir crecimiento propuestas por la OMS.
- El factor de exposición: Para las vías inhalatoria y oral fue considerado 1, de acuerdo con las recomendaciones de la misma metodología y de las Guías de la OMS y Guía de Evaluación de Riesgos en la Salud de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental. Para el caso de la vía dérmica, se consideró el rango de permanencia del glifosato en el suelo reportado por autores como Okada et al. 2019.
- El tiempo medio de contacto o exposición (horas/evento): Se asocia al factor de exposición y se consideró que la aspersión se realiza una vez por año.
- Hábitos de los habitantes: se contó con la información rescatada en los diferentes municipios acerca de los perfiles socioeconómicos descritos en algunos planes de desarrollo y otros documentos de orden municipal y/o departamental. Sin embargo, se sugiere realizar un estudio completo de la situación sanitaria de la población de interés que incluya todos los factores que pueden impactar positiva o negativamente sobre su salud y permita identificar las condiciones que influyen en su nivel de riesgo.
- Tener acceso a esta información mensual o anual, durante un período de 10 años o en un tiempo donde pueda observarse el comportamiento de la exposición durante el

programa de aspersión y sin la exposición a este (ej.: años entre 2010-2015; 2016-2020)(de manera retrospectiva o con estudios observacionales prospectivos), permitiría obtener no sólo una estimación más precisa de la dosis de exposición de las distintas vías, y por ende de los cocientes de peligros e índices de riesgo, sino también: (i) poder determinar la distribución de probabilidad asociada a cada uno de los parámetros que intervienen en el cálculo de la dosis de exposición, (ii) realizar el análisis de variabilidad de los parámetros, (iii) disminuir el nivel de incertidumbre, y (iv) sentar las bases para poder plantear un modelo estadístico que permita predecir el índice de riesgo al glifosato dadas las características demográficas y de salud públicas propias de cada municipio.

Es importante que se realicen monitoreos de seguimiento para estructurar un escenario optimizado para futuras evaluaciones de riesgo, con el fin de robustecer los modelos conceptuales y matemáticos que permitan consolidar la toma de decisiones y por ende intervenciones más efectivas. Este escenario, entre otros elementos, deberá contar con un sistema de monitoreo que permita identificar aspectos como la frecuencia, el tiempo, la dosis y la vía de exposición; así como variables demográficas importantes como la ocupación, el tiempo de residencia, el área, la distancia entre el sitio de residencia y los cultivos ilícitos que son objetivo de aspersión con glifosato, entre otras.

El contar con las variables y la información de manera continua, permite robustecer los diferentes modelos aportando elementos de predicción no solo para la exposición, sino además otorgar mayor precisión en las estimaciones como la dosis- respuesta, el peligro y por ende el índice de riesgo.

De igual forma, muestreos a los alimentos de consumo habitual en la region y toma de muestras ambientales, con el fin de identificar cambios, monitorear el comportamiento del químico en diferentes matrices e intervenir de manera oportuna.

Recomendaciones sobre los resultados hallados para la mitigación y control

Basados en la información de la mezcla obtenida por parte de la DIRAN y considerando las condiciones de potencial exposición de la población a la mezcla de aspersión desde el punto de vista científico se considera que el nivel de riesgo, relacionado estrictamente (y basado en los resultados obtenidos con la mezcla trabajada para esta evaluación) con el efecto tóxico que puede generarse sobre la salud de la población, tras una exposición accidental, a una dosis baja, con una mínima probabilidad de cronicidad de la exposición, puede decirse que este (el riesgo) no se modifica de manera significativa a partir de los documentos referenciados. Es importante la información relacionada con la mezcla, cambios en ésta, comportamiento del modelo en campo (monitoreo y calibración), aspectos sociodemográficos, ocupacionales, climáticos, etc., para un mayor acercamiento de los modelos desarrollados a la realidad de los procesos y por ende el índice de riesgo y demás estimaciones calculadas que proporcionan más elementos de apoyo en cuanto a las actividades del programa de aspersión como las de mitigación y control.

Un aspecto que ayudará significativamente a mejorar las simulaciones desarrolladas, acercándolas más a un escenario real será el desarrollo de monitoreos en campo para comparar las concentraciones obtenidas en la modelación con las encontradas en las diferentes matrices ambientales, a partir de esto será posible ajustar el modelo y minimizar porcentajes de error. El diseño de ese trabajo de campo incluirá el monitoreo antes, durante y después de la aspersión para establecer puntos controles e identificar la variación.

Como se mencionó anteriormente, para caracterizar los riesgos ambientales es necesario evaluar la exposición de la población y evaluar la toxicidad de las sustancias identificadas como posibles productoras de daños para la salud, que se encuentran en el escenario de exposición. Sin embargo en el caso de la mitigación del riesgo para glifosato hay poca información en los datos de campo además de la información de las sustancias utilizadas como surfactantes, coadyuvantes y sustancias inertes que también hacen parte del glifosato utilizado en la formulación.

Es importante tener en cuenta que dentro de los productos de los modelos para la predicción o mitigación del riesgo es forzoso que se tenga establecido los siguientes parámetros de búsqueda con respecto a la formulación y poder obtener estimaciones cuantitativas o cualitativas, y facilitar la estructuración y desarrollo de modelos conceptuales y matemáticos más precisos y con una bondad de ajuste importante.

Dentro de las propiedades de la mezcla que se tuvieron en cuenta para este análisis, en la medida en que se contó con la información pertinente, se encuentran:

- Propiedades físico/químicas
- Punto de fusión
- Punto de ebullición
- Presión de vapor

- Solubilidad en agua
- Destino Ambiental
- Potencial de oxidarse en la atmosfera
- Biodegradación
- Hidrolisis
- Bioconcentración
- Potencial de ser removido en aguas
- Toxicidad
- Potencial de carcinogénesis
- Exposición y riesgo
- Exposición por inhalación
- Exposición dérmica
- Concentración en corrientes de agua y posibles dosis suministradas
- Exposición ocupacional
- Posibilidades de infringir reglamentaciones ambientales.

Por su parte, los efectos en salud asociados con la exposición a glifosato son potenciados por la adición de los coayuvantes y surfactantes agregados a mezcla; por lo cual, las enfermedades trazadoras o centinelas son iguales a las producidas por el glifosato puro solo en una frecuencia mayor a la esperada.

Las propiedades anteriormente especificadas, son fundamentales para la valoración del riesgo, pues están directamente relacionadas con la exposición y el comportamiento ambiental. El conocimiento de estas variables permitirá generar resultados de mayor confiabilidad y caracterizar el riesgo, a partir de las sustancias asperjadas.

8. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de la aplicación del **modelo** determinado para la evaluación del riesgo de la dispersión del glifosato aplicado por aspersión aérea, derivadas de la simulación realizada en AgDrift, son:

- Si bien, de acuerdo con la información obtenida en la revisión sistemática de literatura, no se encuentran estudios concluyentes acerca de la relación entre la exposición a glifosato en escenarios agrícolas u ocupacionales y el desarrollo de enfermedades generales o cáncer, existen estudios preliminares que muestran la existencia de estos efectos en modelos celulares, animales e incluso en humanos dependiendo las condiciones de exposición de los individuos y el tipo de estudio desarrollado, razón por la que no es posible descartar la existencia de riesgos para la salud humana. Ahora bien, es importante mencionar que los resultados de la evaluación de calidad de la evidencia científica recuperada para los estudios de salud humana osciló entre **2B y 4**, considerado este rango entre las definiciones: *"Análisis basado en costos o alternativas clínicamente razonables; revisión (es) limitada (s) de la evidencia o estudios únicos; incluyendo análisis de sensibilidad multidireccional"* hasta datos de *"baja calidad"*, este último por la naturaleza del estudio (estudios individuales). En síntesis, dado el porcentaje de estudios en salud humana clasificados como evidencia 2B el cual representa casi el 50% de los documentos recuperados, se considera como nivel intermedio la calidad de la literatura consultada.
- La herramienta adaptada por la Universidad de Córdoba *"CAEnviTool"*, se utilizó para la evaluación de calidad de los estudios ambientales incluidos en la revisión de literatura. Se determinó que 87,69% (57/65) de los estudios pueden ser aprobados, mientras que un 12,30% (8/65) son considerados no aprobados. Así las cosas, la calidad de los estudios de salud ambiental arrojó conclusiones que pueden interpretarse como que las investigaciones incluidas en la revisión proporcionan evidencia confiable, de gran interés y de alta calidad.
- Se encontraron diferencias en el comportamiento de la deriva, al comparar la información entregada por la DIRAN y la simulación realizada en el presente estudio. Estas diferencias pueden ser atribuidas a la metodología y software utilizado por ambas instituciones. La disparidad en el valor de la deriva entre lo proporcionado por la DIRAN y esta evaluación de riesgos para salud, puede estar explicada además por diferencias en los escenarios experimentales y/o de simulación; puesto que en este estudio la medición de la deriva no se realizó en ambientes controlados y tuvo en cuenta variables ambientales de una zona geográfica determinada. En este sentido el modelo implementado fue desarrollado con el propósito de crear una herramienta útil para la medición del riesgo para la salud humana.
- El tamaño de la gota y la velocidad del viento influyen directamente en el porcentaje de la deriva. En este sentido, si ambas variables se optimizan, es decir el tamaño de la gota se

aumenta y se restringe la aspersión a velocidad de viento menor, la deriva se reduce significativamente, siendo esta última condición (velocidad del viento) cambiante de acuerdo con las características ambientales de las regiones colombianas.

- Una estrategia para disminuir la deriva es aumentar el tamaño de las gotas de aspersión, lo cual se puede hacer de dos formas, sea empleando boquillas de aspersión que tengan un diámetro mayor o utilizar coadyuvantes que aumenten la viscosidad de la gota.
- Uno de los parámetros tenidos en cuenta para la evaluación de la exposición por vía inhalatoria es la concentración del glifosato a tres metros de altura (0.00085 mg/L.); A partir de esta y del software utilizado, se pudo identificar que la concentración de la mezcla en la atmosfera a esta altura puede mantenerse por lo menos por una hora,
- La humedad relativa y la temperatura no influyen de manera determinante en la velocidad con la que la mezcla se deposita en el suelo (deposición); estas dos condiciones, hacen parte del conjunto de variables ambientales que de manera indirecta afectan el comportamiento de la mezcla y pueden variar de acuerdo a la zona geográfica.
- Consistente con los resultados de la literatura consultada, la deposición de la deriva arrojada por el modelo SWAT fue de 5cm de profundidad (Primera capa del suelo).
- De acuerdo con el análisis de distancia vs fracción, en los primeros 11,4 metros de la deriva la deposición tiene una pendiente positiva y por lo tanto esta solo se produce a partir de los 11.5 metros de deriva. Posteriormente esta deposición se acumula paulatinamente hasta los 150 metros aproximadamente.
- Teniendo en cuenta que factores como la viscosidad del coadyuvante pueden influir sobre la deriva, es fundamental contar siempre con la información acerca de la composición de la mezcla, para obtener resultados más precisos. En este caso la modelación se realizó considerando las propiedades físicas y químicas del glifosato 480 SL y Cosmo Oil como coadyuvante.

Por otro lado, a partir de la modelación desarrollada para la matriz Suelo-Agua, se puede concluir que:

- SWAT es una herramienta eficiente para la modelación hidrológica e hidrogeológica de procesos ambientales que suceden en las cuencas hidrográficas. Además, posee un gran número de variables y posibilidades de interacción entre ellas y un banco de datos propio que establece los valores por defecto y que puede modificarse fácilmente según sea el caso.
- SWAT posee algoritmos propios para el cálculo del balance hidrológico, que pudo ser realizado satisfactoriamente a partir de los datos suministrados por IDEAM; los algoritmos emplean para ello promedios diarios multianuales que en la medida de lo

posible deben ser obtenidos de series de tiempo mayores a 10 años de datos y adicionalmente provenir de más de una (1) estación de monitoreo. En este sentido, se definió que se debe trabajar con el mayor número de estaciones meteorológicas posibles.

- De acuerdo con los resultados, la carga de pesticida que permanece en el suelo es del 95,27% con relación al aplicado sobre suelo y plantas. El pesticida, actúa sobre las plantas y sus residuos decaen sobre el suelo, por ello el software estima que no queda ningún residuo en la planta.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en SWAT, la carga de pesticida que se absorbe o disuelve por efectos de la escorrentía superficial es mínima; mostrando una tendencia hacia el transporte de flujo lateral (movimiento de agua subsuperficial) que tiene la probabilidad de generar procesos de mezcla con fuentes de aguas superficiales próximas.
- Las concentraciones son determinadas considerando el caudal, la carga (matriz agua) y profundidad del pesticida (matriz suelo). Las concentraciones en la matriz agua son mínimas en comparación con el suelo. Por lo tanto, la exposición por vía dérmica es una ruta potencialmente peligrosa.
- Finalmente, SWAT presenta una interfaz amigable y didáctica integrándose a SIGs e ilustrando por medio de salidas gráficas y mapas los resultados de cada proceso.

En relación a los riesgos para la salud, se puede concluir que:

Según la revisión de literatura desarrollada, se pudo evidenciar que no existe una conclusión determinante acerca de los efectos que la exposición a glifosato puede generar a la salud humana. Sin embargo, algunos estudios han asociado este pesticida con niveles leves de toxicidad, los cuales dependiendo de las condiciones de exposición, la cantidad, la formula, el surfactante, el contacto, entre otras variables, pueden tornarse más graves y generar afectaciones de mayor complejidad para los seres humanos, asociadas a daños en diferentes sistemas orgánicos tales como el endocrino, respiratorio, renal y neurológico; así como con alteraciones en la duración de la gestación y la generación de malformaciones congénitas. Adicionalmente, existe soporte bibliográfico que asocia la exposición de este herbicida con el daño citotóxico y es importante resaltar que la IARC clasificó esta sustancia como probablemente carcinógena para los humanos.

Según la literatura consultada, los eventos en salud que pueden ser considerados como eventos trazadores de la exposición a glifosato, podría ser: alteración en el tiempo de gestación y parto prematuro, malformaciones congénitas, anormalidades en el crecimiento y desarrollo de los niños menores de cinco años, enfermedad renal crónica, enfermedades neurológicas como polineuropatía; dermatológicas como eczema, dermatitis de contacto y dermatitis alérgicas; endocrinas como hipotiroidismo; pulmonares como rinitis y asma y, algunos tipos de cáncer como leucemias, mieloma múltiple, linfoma Hodking y no Hodking. Sin embargo, para este

estudio se desarrolló un rastreo exhaustivo en los ASIS departamentales y municipales con el fin de entender la dinámica de los eventos en salud y su posible explicación relacionada con la exposición a las actividades de aspersión. Pudiendo adelantar una línea de base sobre las condiciones de salud de los habitantes en los municipios que han sido objeto de las actividades de aspersión, hacer un seguimiento continuo sobre el comportamiento de los eventos trazadores o identificados en literatura como posibles efectos relacionados con la exposición a glifosato y definir actividades de mitigación y control tanto para la exposición como para los efectos en salud. De igual forma, es necesaria la búsqueda permanente de estudios que posibiliten la expansión en la lista de estos eventos y que cumplan con los criterios de rigurosidad científica que permitan la confiabilidad en el uso de dichos parámetros para evaluaciones futuras.

La mayoría de los estudios epidemiológicos y los modelos simulados que han determinado las posibles asociaciones del glifosato con efectos en la salud, han evaluado la exposición a glifosato mediante el diligenciamiento de cuestionarios acerca de la frecuencia de uso y cantidad usada, pero no se ha realizado una medición precisa de las concentraciones de esta sustancia en diferentes matrices ambientales y biológicas, siendo necesario reforzar en este tipo de actividades con el fin de abarcar todas las fuentes que permitan identificar la presencia y el efecto del herbicida no solo por condiciones ambientales, demográficas, ocupacionales; sino además su interacción en diferentes sistemas del cuerpo humano y ecosistemas nacionales. En el caso de los modelos simulados, por ejemplo, se han utilizado valores de referencia establecidos por agencias internacionales e información de orden ambiental, climatológica, de salud y de características asociadas a la exposición de las poblaciones; esta información genérica y obtenida a partir de fuentes secundarias y planteamientos de estudios de caso, aunque ha permitido desarrollar evaluaciones basadas en simulaciones, no permite asociar los valores cuantitativo de la relación dosis-respuesta con escenarios de exposición a glifosato verídicos y con los efectos en la salud. Para dar soporte y hacer los ajustes propios de la modelación, se requiere contar con un sistema de monitoreo que permita entre otros aspectos contar con información municipal, ambiental y climatológico; de manera que los modelos sean ajustados para las variables del cálculo de la exposición, estimadas de acuerdo con las características específicas observadas en cada municipio.

Se caracterizaron las rutas potenciales y vías de exposición según lo establecido en la guía metodológica para la evaluación de Riesgos Químicos de la OMS y la guía metodológica para la evaluación de riesgos en salud por exposición a productos químicos de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental. De esta manera, se determinó que las vías y rutas potenciales de exposición para el glifosato en las matrices agua, suelo y aire son la ingestión directa, contacto y reacción dérmica y ocular, contacto dérmico con plantas, animales o productos contaminados e inhalación directa o secundaria. Se determinó que la vía dérmica, por contacto directo con el suelo contaminado, representa la mayor exposición en niños y jóvenes.

La aspersión aérea con glifosato se considera una exposición aguda en la población, dado que se realiza en cortos periodos de tiempo a altas concentraciones, lo cual puede generar efectos

agudos en salud de las personas expuestas directamente a este compuesto, a su vez y según los diferentes estudios consultados, esto puede llevar a contaminación de diferentes matrices como son el suelo, agua y alimentos, variando según las condiciones medioambientales, lo que puede ocasionar que el glifosato pueda persistir durante cierto tiempo en algunas matrices, exponiendo a las personas a que puedan desarrollar efectos crónicos. Éstos pueden manifestarse según la matriz afectada. Por ejemplo, por la persistencia en el agua, la exposición puede manifestarse vía dérmica u oral y por la persistencia en el suelo o terreno, podría manifestarse a través de la vía oral, por el consumo de alimentos contaminados, esto dependiendo del número o frecuencia de aspersión en la zona.

Con relación a la evaluación de la exposición se planteó un modelo determinístico que permitió cuantificar las dosis de exposición estimadas para distintas vías, tomando como parámetros de entrada los valores fijos e intervalos especificados en la literatura en estudios relacionados con el glifosato, los resultados obtenidos con la simulación de los modelos y estadísticas nacionales. A partir de esta información se concluye que:

- Independientemente de la vía de exposición, los niños menores de 3 años son los que presentan mayores tasas de exposición estimadas, debido a la variable peso corporal en la fórmula empleada.
- Las dosis de exposición en las vías dérmica e inhalatoria tienden a disminuir a medida que aumenta la edad de los individuos, estabilizándose a partir de los 21 años; sin embargo, cuando la exposición al glifosato se da por la vía oral (consumo de agua), la dosis de exposición puede incrementarse en los individuos con edades entre los 21 y 65 años.
- Existe una correlación positiva entre el nivel de actividad en el momento de la exposición y la dosis de exposición estimada vía inhalatoria independiente de la edad.
- Es posible que las personas con delgadez crítica tengan mayores dosis de exposición que aquellas que tienen un peso normal.
- Respecto a la exposición por vía oral, la dosis de exposición relacionada con la concentración que fluye lateralmente hacia la corriente de agua es significativamente mayor que las estimadas para la lixiviación y la escorrentía, debido a la mayor concentración obtenida en la modelación para glifosato en este flujo.
- Los cocientes de peligro e índice de riesgo obtenido para las diferentes vías de exposición y estos departamentos, sugieren escenarios de bajo riesgo para la salud en personas sanas y sin condiciones de vulnerabilidad que pueden influir sobre estas estimaciones.
- No fue posible identificar asociaciones ni relaciones de causalidad entre el cáncer y la exposición a glifosato o ningún otro factor de riesgo, ni el comportamiento de las

enfermedades neoplásicas en el nivel local de los municipios incluidos en la presente evaluación de riesgos.

- Los resultados presentados para esta evaluación de riesgo para la salud, representan el comportamiento del glifosato en el contexto de un escenario de aspersión para los tres departamentos estudiados, los cuales se encuentran dentro de una zona ambientalmente homogénea. Sin embargo, es importante tener en cuenta, que las condiciones ambientales, climatológicas, sociodemográficas y geográficas son diferentes entre las regiones del país, entendiendo la diversidad ambiental que caracteriza las regiones colombianas.

Así, los modelos utilizados para la determinación del destino y comportamiento ambiental de la mezcla en las diferentes matrices ambientales, dependen directamente de las condiciones ambientales del medio. Por ejemplo, se determinó que la deriva potencial está sujeta a las variaciones en la velocidad del viento de cada zona, las cuales pueden cambiar de acuerdo con el relieve, clima y coberturas de la tierra presentes. Adicionalmente las concentraciones de glifosato calculadas en suelo y agua, también podrán variar de conformidad con las características litológicas, las propiedades físicas y químicas del suelo, la hidrológica, climatología, coberturas y relieve de una zona geográfica.

Los modelos implementados en el presente estudio, son una base metodológica para la replicación del mismo en otras zonas del país con características ambientales, climatológicas, orográficas y geográficas diferentes a los departamentos de Vichada, Guaviare y Meta, siendo necesario reforzar el método mediante el monitoreo en campo para el ajuste de posibles márgenes de error definidos sobre la precisión en los modelos usados por la DIRAN y de este estudio. En este sentido, las concentraciones estimadas para cada una de las matrices ambientales y con ello las diferentes vías de exposición, se deben verificar entre las regiones; debido a que variaciones entre ellas pueden tener repercusiones en estimaciones como los cocientes de peligro e índices de riesgo.

- Por último, el proceso de salud-enfermedad es multifactorial, este se presenta por la interacción de diferentes condiciones en las que el ser humano y los colectivos nacen, crecen y trabajan. Este estudio consideró todas estas condiciones pero con foco especial en los posibles efectos para la salud que puede representar la exposición al glifosato y aunque la información extraída de los Análisis de Situación de Salud (ASIS) de las regiones estudiadas, aportaron insumos para la descripción y entendimiento del comportamiento de algunos eventos en salud (mortalidad, morbilidad atendida, enfermedades de alto costo y eventos de notificación obligatoria, entre otros), y que por lo observado en la literatura consultada, pudieran estar asociados con la exposición a glifosato; es necesario abordar otras variables (demográficas, sanitarias, ambientales, geográficas, orográficas, etc.) desde diferentes fuentes con el fin de robustecer los modelos tanto conceptuales para evaluar el comportamiento de la mezcla en diferentes matrices ambientales, como elevar el poder estadístico, matemático y epidemiológico de los modelos que proporcionarán una evaluación de riesgo más precisa, con mayor poder de generalización y capacidad de

predicción para estimar el riesgo diferencial en las regiones de manera anticipada; con el fin de desarrollar acciones de gestión del riesgo específicamente las relacionadas con la prevención de los efectos en salud tanto por la exposición a glifosato como la implementación y apropiación de buenas prácticas poblacionales en relación al uso y exposición al plaguicida.

9. COMUNICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y CONTROL DEL RIESGO

Aun cuando los resultados de una evaluación de riesgos puedan reflejar circunstancias aparentemente seguras, las preocupaciones que se generan pueden llegar a ser altas, por esta razón como resultado de las evaluaciones de riesgos es importante desarrollar información y promover estrategias a partir de las cuales se construya un plan de control y comunicación de los mismos.

A partir de la evaluación de riesgos relacionados con la exposición al glifosato en el contexto de las aspersiones aéreas de cultivos ilícitos, se proponen las siguientes medidas para la mitigación, control y comunicación de riesgos:

- Presentación de las acciones orientadas a reducir el nivel de riesgo a la salud derivado de la exposición a la mezcla de aspersión considerando los aspectos sociales, culturales, éticos, políticos y legales propios de las comunidades.
- Construcción de una estrategia para la comunicación del riesgo para la comunidad en torno a los resultados derivados de la evaluación de riesgos.

9.1 Acciones orientadas a reducir el riesgo para la salud derivada de la exposición

Con el fin de promover las acciones para la reducción del riesgo para la salud en el escenario de exposición al glifosato se propone desarrollar las siguientes acciones:

- Realizar un inventario de personas y organizaciones académicas y sociales nacionales e internacionales independientes con experiencia en investigación acerca de los efectos del glifosato sobre la salud (ej. EPA, OMS, FAO, ONGs. Universidades, etc).
- Promover la creación de una red de conocimiento coordinada por el Ministerio de Salud, acerca de los efectos del glifosato sobre la salud a partir del inventario realizado, con el fin de recopilar información científica actualizada acerca de los peligros y efectos para la salud identificados en estudios científicos alrededor del mundo.
- Promover el desarrollo de documentos de consenso de expertos en toxicología para la detección temprana, atención primaria y el seguimiento de los efectos tóxicos por la exposición al glifosato.

9.2 Construcción de una estrategia para la comunicación del riesgo para la comunidad en torno a los resultados derivados de la evaluación de riesgos.

Una estrategia para la comunicación de riesgos permite informar a las comunidades acerca de los riesgos que puede implicar una actividad o proceso, las alternativas e intervenciones que pueden implementarse para prevenirlos o las acciones necesarias para reducir el impacto que puede generarse cuando se materializan(106,349).

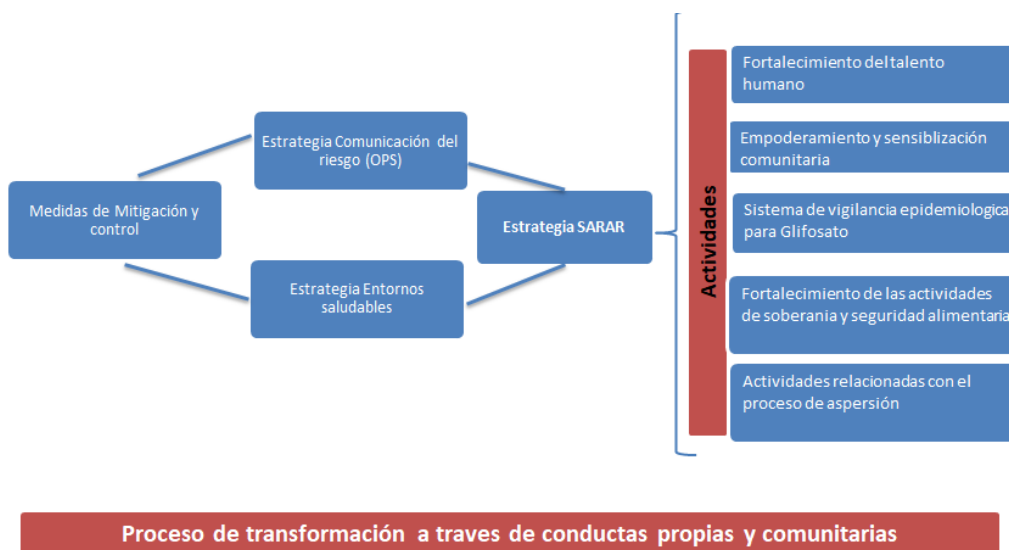
Una estrategia de comunicación de riesgos deben basarse en siete principios básicos:

- Incluir al público como agente colaborador
- Escuchar al público
- Ser honesto y flexible
- Promover el trabajo colaborativo entre agencias y organizaciones
- Satisfacer las necesidades de los medios de comunicación
- Planear cuidadosamente y evaluar las acciones
- Comunicar con claridad y empatía

Para la estrategia de comunicación de riesgo es recomendable:

- Crear un equipo interinstitucional para la comunicación de riesgo
- Establecer procesos de coordinación interna del equipo e interinstitucional que puede incluir la actualización y optimización de protocolos previos
- Promover alianzas con instituciones independientes o expertos que puedan asesorar al equipo para la toma de decisiones sobre que comunicar y cómo hacerlo.
- Desarrollar un plan integrado para la comunicación del riesgo
- Promover la capacitación de los miembros del equipo de comunicación y las instituciones relacionadas con la gestión del proceso en el nivel local y regional.
- Coordinar un plan de medios
- Definir canales y formatos para la difusión de información a la comunidad (ej. redes sociales, radio comunitaria, etc)
- Evaluar continuamente la eficacia de la estrategia mediante la elaboración de criterios e instrumentos que permitan medir el impacto de la misma sobre la comunidad (encuestas, entrevistas, etc)

La figura 100 muestra las herramientas básicas propuestas para el diseño e implementación de una estrategia para la comunicación de riesgos relacionados con los efectos en salud y la exposición al glifosato en el escenario de aspersión aérea de los cultivos ilícitos.

Figura 101. Estrategia para la comunicación de medidas de mitigación y control

Fuente: Construcción a partir de lo revisado en la literatura- Contrato 1097/2019

9.3 Implementación de estrategias participativas de educación comunitaria para la salud a las acciones de mitigación y control del riesgo para la salud humana por exposición a glifosato

Las intervenciones de educación participativa han sido reconocidas como herramientas útiles para la capacitación de las comunidades y la comunicación de riesgos.

Como un ejemplo de su utilidad, en el año 2006 se realizó el estudio transversal “Factores de exposición a plaguicidas organofosforados y Carbamatos en el departamento del Putumayo, 2006”, un grupo de trabajadores fueron capacitados con la metodología SARAR sobre el uso y el manejo de plaguicidas. Este trabajo permitió tener una dimensión real del problema de este tipo de químicos en el Putumayo y utilizarla para hacer una intervención educativa sobre los trabajadores y sus familias; con la metodología SARAR, estrategia educativa que utiliza materiales visuales como carteles, tarjetas con ilustraciones, mensajes adecuados y fáciles de entender por las personas del medio rural, se logró colocar en práctica todas las actividades y fueron desarrolladas de forma predominante por la misma comunidad; buscando además del empoderamiento y apropiación de la estrategia, la reducción en el uso de plaguicidas, el impacto sobre la salud y el control sobre la contaminación ambiental(350).

Esta estrategia garantiza, a la población el fortalecimiento de sus capacidades de reconocimiento ante situaciones de riesgo para su familia y comunidad, detección de molestias que evidencian deterioro en la salud, participación en programas de mejoramiento de las condiciones ambientales y de trabajo en las localidades donde habitan, proyección de metas a

corto y mediano plazo para proteger la salud individual y familiar, y participación de un proceso de reflexión sobre la importancia y el beneficio individual y colectivo.

La metodología SARAR es una herramienta sencilla y fácil de implementar, que busca promover cambios durables en las prácticas para alcanzar efectividad en el manejo adecuado de plaguicidas y que permite que los trabajadores, a su vez, sirvan de multiplicadores de la información y aprendan buenas prácticas agrícolas(350)

Esta metodología exige un alto nivel de compromiso de las personas implicadas en el proceso enseñanza – aprendizaje, participando de la toma de decisiones para lograr los objetivos propuestos a corto o largo plazo, también contribuye a que el aprendizaje se realice de forma grupal para generar mayor interés en los participantes, además requiere que sus facilitadores a través de diferentes metodologías adaptativas orienten a promotores y técnicos que trabajan directamente con las comunidades, constituyéndose esto en una fortaleza para facilitar el objetivo trazado teniendo en cuenta que frecuentemente al ser implementada detona energía creativa que puede tener efectos amplios en la persona, grupo y comunidad.

Una forma de integrar la mitigación y control dentro de la metodología SARAR estaría enfocada a implementar medidas de autocuidado fundamentadas en la socialización del proceso de aspersión con glifosato relacionado con las posibles afectaciones a la salud generadas en la población, con el objetivo de sensibilizar a la comunidad en los signos y síntomas de alarma que se presentan al realizar las aspersiones; además, creando una red de apoyo inter institucional que participe en la implementación de la metodología SARAR para que el desarrollo de la misma sea vinculante tanto con los responsables estatales de promoción de la salud y prevención de la enfermedad, organizaciones no gubernamentales, el ámbito comunitario, escolar y familiar, integrando también así la estrategia de entornos saludables en los espacios que esta a su vez contempla: la estrategia de escuela saludable y la estrategia de vivienda saludable .

Para la implementación de la metodología SARAR, reconociendo su punto de encuentro con la estrategia de comunicación del riesgo de la OPS y con la estrategia de entornos saludables, el cual se fundamenta en la necesidad de participación activa de las comunidades como responsables directos de las actividades, se proponen cuatro conjuntos de actividades, así como las herramientas a utilizar para este fin, fundamentadas a su vez en un modelo de educación para la comunidad, alusivo al riesgo para la salud por exposición a glifosato, así como todo el compendio de conocimientos, actitudes y prácticas que convierte a los habitantes en protagonistas de su cuidado y el cuidado de su región.

A continuación se presentan los cuatro conjuntos de actividades en las que tanto las personas, las instituciones (facilitadores) y demás actores de las acciones de mitigación y control del riesgo para la salud por exposición a glifosato, tienen participación:

9.3.1 Fortalecimiento del talento humano

Es necesario fortalecer en conocimientos y prácticas al personal de salud de los tres departamentos evaluados, buscando el mejoramiento en la capacidad diagnóstica de la intoxicación por glifosato y otros plaguicidas, sus efectos y medidas de intervención.

Para esto se debe realizar una capacitación obligatoria y continua a los médicos y personal de salud de los municipios objeto de aspersiones aéreas con glifosato; estas jornadas tendrán como mínimo una duración de ocho horas y se debe realizar con una periodicidad semestral o según la rotación del personal de salud de las diferentes IPS de las zonas de influencia; el contenido mínimo de estas jornadas contemplará los siguientes aspectos:

- Tóxica cinética del glifosato (absorción, distribución, metabolismo y excreción)
- Toxicodinamia del glifosato (mecanismo de acción)
- Manifestaciones clínicas
- Enfermedades y patologías relacionadas
- Manejo de casos de intoxicación
- Aspectos ambientales y de movilidad del glifosato en ambiente
- Lineamientos básicos del Sistema de Vigilancia Epidemiológica

Para el logro de este objetivo, además de las jornadas de actualización en saberes y prácticas asistenciales, se plantea el uso de *“Carteles de planeación”* Como elemento perteneciente a la gama de posibilidades proporcionadas por SARAR. Esta herramienta permite la trazabilidad de los procesos desde la planeación hasta la ejecución y evaluación. Contando e incluyendo para su desarrollo con las particularidades poblacionales, geográficas y necesidades de los grupos donde se lleve a cabo la estrategia.

9.3.2 Empoderamiento y sensibilización comunitaria

El empoderamiento de las comunidades se llevará a cabo desde dos perspectivas, la primera a través de la información que se entregue a las poblaciones por parte del Estado, entidades territoriales o facilitadores.

De manera periódica, se entregará información a la comunidad en general, escuelas, juntas de acción comunal o agremiaciones sociales de los municipios objeto de aspersiones aéreas con glifosato, estas jornadas se deben llevar a cabo con una periodicidad semestral y tendrá como contenido mínimo los siguientes aspectos:

- Rutas de absorción y eliminación del glifosato (vía oral, dérmica, inhalatoria, excreción urinaria)
- Manifestaciones clínicas
- Enfermedades y patologías relacionados
- Aspectos ambientales y de movilidad del glifosato en ambiente

- Medidas de prevención de la intoxicación como evitar estar en zonas asperjadas por lo mínimo 12 horas luego de la última aspersión, con el disminuir el riesgo de exposición vía inhalatoria.

El personal a cargo de comunicar y capacitar debe contar con perfiles pedagógicos o licenciados en educación con apoyo de médicos con formación en toxicología para realizar una adecuada transmisión de la información.

La segunda, desde la perspectiva social y haciendo uso de dos herramientas: **(I)** “Escala de resistencia al cambio” de la estrategia SARAR, donde cada uno de los participantes (comunidad) califica en una escala de uno a diez, siendo uno la menor y diez la mayor, cuales son los aspectos relevantes para la participación y la construcción de acciones de empoderamiento y sensibilización comunitaria, con materiales didácticos como: Video-foro, lluvia de ideas, carteles, juego de roles, socio dramas y demás herramientas que faciliten la participación y libre expresión de los participantes.

La segunda, “Historia sin medio”, permite a cada uno de los participantes, redactar, contar o realizar una sinopsis de su historia de vida (aquí y ahora), centrándose en cada una de las situaciones que generan satisfacción e insatisfacción sin involucrar a terceras personas; llevando a la reflexión frente a que soy el responsable de mis acciones y como ellas impactan a otros.

9.3.3 Sistema de vigilancia epidemiológica para el glifosato

Un componente fundamental en la mitigación del riesgo a la exposición a glifosato en zonas asperjadas es la creación de un SVE (Sistema de vigilancia epidemiológico) para la detección efectiva de los riesgos y efectos producidos a la población objeto o influencia de la aspersión aérea con glifosato siendo las encargadas las secretarías de salud municipal y el Instituto Nacional de Salud.

En especial para identificar co exposiciones a otros plaguicidas fuente de posible confusión con los efectos observados, este fortalecimiento surgiría a través de adiestramientos programados por las secretarías de salud de los municipios influjo de estas aspersiones y apoyadas por Instituto Nacional de Salud.

De igual forma, un componente fundamental en la mitigación del riesgo a la exposición a glifosato en zonas asperjadas es el fortalecimiento del SVE (Sistema de vigilancia epidemiológico) para la detección efectiva de los riesgos y efectos producidos a la población objeto o influencia de la aspersión aérea con glifosato.

Este sistema debe contar con unos mínimos que ayuden a cumplir con el objeto de funcionamiento:

- Contar con pruebas y laboratorios habilitados para la determinación de la Concentración del glifosato en el medio contaminado (agua, aire, suelo, alimentos).
- Mejorar los sistemas de registro de las instituciones de salud y contratar personal que cumpla esta función.
- Dotar de computadores y medios tecnológicos a las instituciones de salud para registrar continuamente los eventos en salud centinelas ocasionados por la exposición a glifosato.
- Contratar personal para realizar visitas de campo a los sitios donde se presente la aspersión aérea con glifosato
- Asignar personal en el Ministerio de Salud y en INS para analizar continuamente la información generada en las zonas asperjadas con glifosato y guiar la toma de decisiones frente al programa de aspersión aérea.
- Información actualizada de la fórmula utilizada, cantidad de glifosato utilizada en total y por hectárea durante la aspersión aérea, días y zonas de aspersión.

Como complemento de lo anterior, El SVE buscará información de manera continua y su obtención será siguiendo un modelo mixto en donde se hará captación pasiva y activa de la información relevante.

La captación pasiva se hará por medio de diferentes registros, de donde se pretende obtener la siguiente información:

- Total de nacidos vivos por mes y año con el fin de fortalecer el sistema de información en los indicadores de natalidad y fecundidad
- Actividades de captación, cobertura y adherencia de los menores de cinco años a los programas de crecimiento y desarrollo
- Actividades de promoción de la salud y prevención de la enfermedad
- Registro de enfermedades crónicas, especialmente cáncer y enfermedad renal crónica
- Registro y seguimiento de los casos de intoxicación por plaguicidas en todos los municipios de los tres departamentos, especialmente donde se tiene información de presencia de cultivos ilícitos y actividades de aspersión aérea
- Informe de monitoreo y seguimiento para cada subcuenca hidrográfica del comportamiento ambiental de la mezcla en cada una de las matrices (agua, suelo, atmósfera y alimentos) con el fin de evaluar los cambios e identificar de manera anticipada posibles impactos.
- Monitoreo de las variables ambientales y climáticas de cada subcuenca.

Otro componente de la captación pasiva es que la DIRAN remitirá trimestralmente por municipio información actualizada de la fórmula utilizada, cantidad de glifosato utilizada en total y por hectárea durante la aspersión aérea, días y zonas de aspersión

Se recomienda para la captación activa, la toma de muestras para la determinación de la concentración de glifosato en el medio contaminado (agua, aire, suelo) y en alimentos, esta

toma, se sugiere llevarla a cabo anualmente en las zonas pobladas y rurales dispersas por medio de un muestreo aleatorio simple.

La información captada de forma pasiva (registros médicos y reportes de la DIRAN) y de forma activa (medición de concentraciones de glifosato en diferentes matrices ambientales) será remitida al Ministerio de Salud y al INS con una periodicidad de cada tres meses.

Para evaluar el riesgo se debe realizar un seguimiento estricto de las siguientes entidades clínicas:

- Enfermedades neurológicas (polineuropatía), dermatológicas (eczema, dermatitis de contacto y dermatitis alérgicas), endocrinas (hipotiroidismo) y sensibilizante pulmonar (rinitis y asma).
- Realizar un registro detallado de los tiempos de gestación y parto prematuros por parte de las instituciones de salud y las DTS así como la frecuencia de malformaciones congénitas y otras enfermedades del desarrollo posnatal.
- Promover el seguimiento a los casos de Insuficiencia renal crónica con el fin de identificar los factores asociados
- Realizar un registro detallado de leucemias, linfoma No Hodking, mieloma múltiple; así como un seguimiento constante de la situación general del cáncer en los tres departamentos.

Con la información captada de manera pasiva o activa el instituto nacional de salud y el ministerio de salud deberá tomar decisiones frente a la continuidad, modificación de los parámetros de la aspersión o suspensión del programa de aspersión, esta decisiones estarán basadas en la presencia de casos centinelas de la patologías consideradas trazadoras o el aumento de estas patologías, en segundo lugar presencia de contaminación de fuentes hídricas o suelos sobre los estándares internacionales, y tener alimentos contaminados con glifosato que afecten la soberanía alimentaria serán razones obligatorias para suspender las aspersiones.

9.3.4 Fortalecimiento de las actividades de seguridad y soberanía alimentaria

Se recomienda entre estas actividades el favorecer el consumo de alimentos procedentes de zonas libres de aspersión y realizar buena manipulación de los alimentos. Para cumplir con este lineamiento se sugiere realizar varias acciones, entre las que se nombran:

- Identificación clara de las zonas objeto de aspersión para generar áreas libres de aspersión donde se fomente el desarrollo agrícola.
- Precisar con las UMATAS (Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuarias) los cultivos de pan coger y las fortalezas agropecuarias de las regiones objetos de aspersión para fomentar la siembra de alimentos que garanticen la soberanía alimentaria y que estos alimentos provengan de zonas libres de aspersión.

- Si los alimentos provienen de zonas asperjadas se recomienda promover prácticas de lavado, limpieza y desinfección antes del almacenamiento, preparación y consumo.
- Establecer con las comunidades los tiempos de retiro y de carencia adecuados luego de presentarse aspersiones en las zonas agrícolas.
- Promover el mejoramiento de las vías para facilitar la distribución de los alimentos.
- Construir o mejorar las condiciones locativas de las plazas de mercado para favorecer la venta de productos alimentarios de las zonas.
- Favorecer la comercialización de los alimentos producidos en las zonas, mediante convenios con empresas que faciliten las condiciones para la venta o distribución de alimentos.
- Promover el desarrollo de redes para la vigilancia de la calidad y seguridad de los alimentos y el monitoreo de las enfermedades transmitidas por alimentos, con participación conjunta de las comunidades y las autoridades ambientales y de salud locales y regionales.
- Hacer mediciones aleatorias de las concentraciones de glifosato en los alimentos vendidos en las plazas de mercado o de distribución de estas u otras regiones (estudios longitudinales).
- Promover convenios con empresas de venta o distribución de alimentos con el fin de favorecer las compras de los productos de estas zonas y garantizar la comercialización de alimentos, esto podría realizarse por medio de la intermediación del ministerio de agricultura.
- Favorecer créditos flexibles a los agricultores para la compra de insumos necesarios para la agricultura.
- Fortalecer e incentivar las actividades de erradicación manual como apoyo o reemplazo de las aspersiones aéreas.

La herramienta de SARAR seleccionada para la ejecución de estas actividades es “*Escala de saneamiento*”, cada uno de los participantes describe en orden de afectación según su percepción, los procesos en los cuales se ven afectados aspectos de su vida cotidiana como sus cultivos, salud propia y familiar, interacción social, producción y comercialización de alimentos, prácticas de consumo, etc. Esta lista puede transcribirse combinando dos herramientas pedagógicas como el árbol de problemas con mapa de sueños; luego de exponer a través de ayudas didáctica como memo-fichas, cartografía social, grupos focales, entre otros. Se socializan las posiciones de cada uno clasificando en dos grupos: lo negativo y lo propositivo para las comunidades, llegando a un debate y consensos comunitarios.

De otro lado, algunas recomendaciones sobre aspectos en salud para identificación y prevención de los efectos derivados de la exposición o intoxicación por glifosato son:

- Fomentar y favorecer la lactancia materna exclusiva hasta los seis meses y la complementaria hasta los dos años.

- Fomentar estrategias que promuevan el cultivo, recolección, aprovechamiento preparación y consumo seguro de alimentos en las zonas de influencia de las aspersiones aéreas.
- Fortalecer los programas de crecimiento y desarrollo y de atención en salud con especial cuidado en menores de tres años, dados los niveles de exposición diferencial con los demás grupos etarios.
- Fortalecer el sistema de atención en salud, sobre todo en lo relacionado con la vigilancia por intoxicación con plaguicidas por vía oral (posiblemente consumo de agua), especialmente en las personas entre 21 y 65 años, pues la dosis de exposición se incrementa significativamente por esta vía y en este grupo de edad.

En relación con las actividades de aspersión

- La DIRAN en su programa de aspersión para la eliminación de cultivos ilícitos debe garantizar el realizar aspersión solo en zonas despobladas o sin población que resida en esa área.
- Evitar llevar a cabo actividades de aspersión cuando existan personas en los cultivos.
- Realizar aspersión cuando exista vientos inferiores a 8 Km por hora.
- Teniendo en cuenta y por evidencia científica que el glifosato permanece al menos por una hora en el ambiente, se debe velar porque las comunidades o poblaciones que se encuentren cerca de las áreas de aspersión, permanezcan en sus hogares durante y por lo menos 12 horas luego de la aspersión, con el fin de disminuir la exposición vía inhalatoria por la permanencia de la mezcla en la atmosfera (una hora)
- Las demás recomendaciones consignadas y avaladas en el plan de manejo ambiental aprobado por la ANLA.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. EPA (Agencia de Protección Ambiental). Glosario ambiental bilingüe -Términos [Internet]. EPA en español. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/terminos-i>
2. CUN (Clínica Universidad de Navarra. Diccionario médico [Internet]. Clínica Universidad de Navarra - Diccionario médico. Disponible en: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/intraperitoneal>
3. Idrovo A. De la erradicación de cultivos ilícitos a la erradicación del Glifosato en Colombia. Rev Univ Ind Santander. 2015;47(2):113-4.
4. Colombia, Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. Resolución 1054 de 2003, Por la cual se modifica un Plan de Manejo Ambiental y se toman otras determinaciones, Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente [Internet]. 2003. Disponible en: <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/30031785>
5. Indepaz. Normas y competencias Política Antidrogas y PECIG. Competencias uso, disposición y manejo plaguicidas [Internet]. 2015. Disponible en: <http://www.indepaz.org.co/wp-content/uploads/2015/05/10.05.15-NORMAS-Y-COMPETENCIAS.pdf>
6. Presidente de la República de Colombia. Decreto 1843 de 1991 [Internet]. 1843 julio 22. Disponible en: http://proyectos.andi.com.co/es/PC/SobProANDI/Documentos%20Sobre%20Procultivos%20ANDI/Decreto1843_1991_plaguicidas.pdf
7. Congreso de Colombia. Ley 99 de 1993 [Internet]. 99 1993. Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>
8. Corte Constitucional. Sentencia Tutela T-236 [Internet]. 2017 [citado 16 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2017/T-236-17.htm>
9. Ministerio del Medio Ambiente. Resolución 1065 de 2001 [Internet]. nov 26, 2001 p. 8. Disponible en: <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/30031786>
10. Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución 0013 de 2003 [Internet]. jun 27, 2003 p. 5. Disponible en: <http://suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/30031842>
11. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, ANLA. AUTO N° 12009. 2019.
12. Instituto Nacional de Salud. Apreciación reporte IARC clasificación herbicida glifosato [Internet]. 2015. Disponible en:

<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/reporte-iarc-herbicida-glifosato.pdf>

13. Guyton KZ, Loomis D, Grosse Y, El Ghissassi F, Benbrahim-Tallaa L, Guha N, et al. Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *Lancet Oncol* [Internet]. mayo de 2015 [citado 27 de febrero de 2020];16(5):490-1. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1470204515701348>
14. Dick RE, Quinn JP. Glyphosate-degrading isolates from environmental samples: occurrence and pathways of degradation. *Appl Microbiol Biotechnol*. julio de 1995;43(3):545-50.
15. Rico D, Scoppetta O, Alzate J, Gonzalez A. Verdades científicas sobre el glifosato [Internet]. Bogotá- Colombia: Fundación ideas para la paz; 2016 p. 76. Report No.: 25. Disponible en: <http://cdn.ideaspaz.org/media/website/document/580a336fc9e1c.pdf>
16. Indepaz. Normas y competencia Política antidrogas y PECIG. Competencias uso, disposición y manejo plaguicidas [Internet]. 2015. Disponible en: <http://www.indepaz.org.co/wp-content/uploads/2015/05/10.05.15-NORMAS-Y-COMPETENCIAS.pdf>
17. Corte Constitucional. Sentencia 236 de 2017 [Internet]. 236 de 2017 abr 21, 2017. Disponible en: http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=jurcol&document=jurcol_683d91a64b734ea7a29babace1ae0db5
18. Caicedo Cuervo C. Expectativas racionales y persistencia de los cultivos ilícitos de coca en Colombia 1986-2003 [Internet]. [Bogotá- Colombia]: Universidad de los Andes; 2005. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/8960/u270685.pdf?sequence=1>
19. Ministerio de Justicia, Ministerio de salud, Observatorio de drogas en Colombia. Problemática en oferta de drogas [Internet]. Observatorio de drogas de Colombia. 2019. Disponible en: <http://www.odc.gov.co/sidco/perfiles/estadisticas-nacionales>
20. Salazar Lopez J, Aldana Madrid M. Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *BIOTecnia* [Internet]. 2011;13(2):23-8. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/83-164-1-SM.pdf>
21. Fao.org. Glyphosate [Internet]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w8141e/w8141e0u.htm>
22. Soto Almada C. Glifosato y sus posibles efectos en la salud [Internet]. [Mexico]: Universidad de Sonora; 2017. Disponible en: <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/handle/unison/2025/sotoalmadacarlaveronical.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

23. Jaramillo F, Melendez M.E y Aldana M.L. Toxicología de los plaguicidas. En Toxicología ambiental. En: Textos universitarios Universidad Autónoma de Aguascalientes, México. Aguas Calientes, Mexico; 2009. p. 270.
24. Del Puerto Rodriguez, Suarez Tamayo, Palacio Estrada. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología [Internet]. 2014;52(3):2-19. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v52n3/hig10314.pdf>
25. Solomon K, Anadón A, et al. KR. Estudio de los efectos del Programa de Erradicación de Cultivos Ilícitos mediante la aspersión aérea con el herbicida Glifosato (PECIG) y de los cultivos ilícitos en la salud humana y en el medio ambiente. Washington (DC): Comisión Interamericana para el control de abuso de drogas (CICAD); 2005 p. 143.
26. Varona M, Henao L, Díaz S, Lanchero A, et al. Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. Biomedica. 2009;29(3):456-75.
27. Dirección nacional de estupefacientes. Informe cuatrenio. Bogota- Colombia; 2000 p. 85.
28. Organización Panamericana de la Salud, Organización Panamericana de la Salud. Preguntas y respuestas sobre el uso de diazinón, malatión y glifosato [Internet]. OPS. 2015. Disponible en: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=11393:questions-and-answers-on-the-use-diazinon-malathion-and-glyphosate&Itemid=40264&lang=es
29. Organización Mundial de la salud. Herramienta de evaluación de riesgos para la salud humana de la OMS: peligros químicos [Internet]. 2017. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/OMS%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20Riesgo.pdf>
30. PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN RACIONAL DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS, OMS, la Organización Internacional del Trabajo y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y producido dentro del marco del Programa Interinstitucional para la Gestión Racional de los Productos Químicos. Herramienta De Evaluación De Riesgos Para La Salud Humana De La Oms: Peligros Químicos. 2017.
31. Organización Mundial de la salud. Informe sobre la salud en el mundo. Definición y evaluación de los riesgos para la salud [Internet]. Washington (DC); 2002. Disponible en: <https://www.who.int/whr/2002/en/Chapter2S.pdf>
32. Uribe S. Proyecto sobre rendimiento de las plantaciones de coca en Colombia, informe de progreso N°5 Bogotá. Bogota- Colombia; 1999 oct.
33. Colombia, Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. Resolución 1054 de 2003, Por la cual se modifica un Plan de Manejo Ambiental y se toman otras

- determinaciones, Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente [Internet]. 2003. Disponible en: <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/30031785>
34. Indepaz. Normas y competencia Política antidrogas y PECIG. Competencias uso, disposición y manejo plaguicidas [Internet]. 2015. Disponible en: <http://www.indepaz.org.co/wp-content/uploads/2015/05/10.05.15-NORMAS-Y-COMPETENCIAS.pdf>
 35. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Definiciones para los fines del CODEX alimentarius [Internet]. 1986. Disponible en: <http://www.fao.org/3/W5975S/w5975s08.htm>
 36. Ramirez J.A, Lacasaña M. Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. Arch Prev Riesgos Labor [Internet]. 2001;4(2):67-75. Disponible en: https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-05-01_11-59-0899004.pdf
 37. Organización Mundial de la salud (OMS), Organización Panamericana de la salud (OPS), división salud y ambiente. Plaguicidas y salud en las Américas. 1993.
 38. International programme on chemical safety (IPCS), organización mundial de la salud (OMS). The who recommended classification of pesticides by Hazard and guidelines to classification.
 39. Organización Mundial de la salud. 28a Asamblea Mundial de la salud, Ginebra, 13-30 mayo de 1975: parte I: resoluciones y decisiones: anexos [Internet]. Informativa. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/95333>
 40. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agriculturaNU, OMS. Manual sobre la elaboración y uso de las especificaciones de plaguicidas de la FAO y la OMS [Internet]. 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-I5713s.pdf>
 41. Solomon KR, Anadón A, Carrasquilla G, Cerdeira AL, Marshall J, Sanin L-H. Coca and poppy eradication in Colombia: environmental and human health assessment of aerially applied glyphosate. Rev Environ Contam Toxicol. 2007;190:43-125.
 42. A division of the American Chemical Society. Glyphosate [Internet]. CAS. Disponible en: <https://www.cas.org/support/documentation/chemical-substances/propertydata>
 43. Liu C-M, McLean PA, Sookdeo CC, Cannon FC. Degradation of the Herbicide Glyphosate by Members of the Family Rhizobiaceae. Appl Environ Microbiol [Internet]. junio de 1991;57(6):1799-804. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16348512/>
 44. Fao.org. Glifosato [Internet]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/w8141e/w8141e0u.htm>

45. Boocock M, Coggings J. Kinetics of Senolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase inhibition by glyphosate. 1983;154(1):127-33. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11140612/>
46. Yamada T, De Camargo P. Efeitos do Glifosato Nas Plantas: Implicacoes fisiológicas e Agronómicas. Encarte de informacoes Agronómicas [Internet]. 2007;119:1-32. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/glifosato%20en%20las%20plantas%20articulo%2006.pdf>
47. Zhang L, Rana I, Shaffer RM, Taioli E, Sheppard L. Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: A meta-analysis and supporting evidence. *Mutat Res*. septiembre de 2019;781:186-206.
48. Observatorio Iberoamericano de Cultivos y Drogas Ilícitas (OICDI). Glifosato ¿en qué consiste el debate? [Internet]. 2019 [citado 16 de mayo de 2029]. Disponible en: <http://www.oei.org.co/uploads/files/microsites/31/129/glifosato-en-que-consiste-el-debate.pdf>
49. Hewitt AJ, Solomon KR, Marshall EJP. Spray Droplet Size, Drift Potential, and Risks to Nontarget Organisms from Aerially Applied Glyphosate for Coca Control in Colombia. *J Toxicol Environ Health A* [Internet]. 12 de agosto de 2009 [citado 25 de febrero de 2020];72(15-16):921-9. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15287390902929667>
50. Aparicio VC, De Gerónimo E, Marino D, Primost J, Carriquiriborde P, Costa JL. Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. *Chemosphere*. noviembre de 2013;93(9):1866-73.
51. Liu Z. Effects of surfactants on foliar uptake of herbicides – a complex scenario. *Colloids Surf B Biointerfaces* [Internet]. junio de 2004 [citado 15 de marzo de 2020];35(3-4):149-53. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0927776504000815>
52. Machado AFL, Ferreira LR, Santos LDT, Ferreira FA, Viana RG, Machado MS, et al. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. *Planta Daninha*. junio de 2010;28(2):319-27.
53. Solomon KR, Thompson DG. Ecological risk assessment for aquatic organisms from over-water uses of glyphosate. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* [Internet]. junio de 2003;6(3):289-324. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12746143/>
54. Kier LD, Kirkland DJ. Review of genotoxicity studies of glyphosate and glyphosate-based formulations. *Crit Rev Toxicol*. abril de 2013;43(4):283-315.
55. Henao Muñoz LM, Montes Rojas CM, Bernal Bautista MH. Acute toxicity and sublethal effects of the mixture glyphosate (Roundup Active) and Cosmo-Flux 411F

- to anuran embryos and tadpoles of four Colombian species. *Rev Biol Trop.* marzo de 2015;63(1):223-33.
56. Bento CPM, Yang X, Gort G, Xue S, van Dam R, Zomer P, et al. Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. *Sci Total Environ* [Internet]. diciembre de 2016 [citado 15 de marzo de 2020];572:301-11. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969716316692>
57. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Universidad Nacional de Cuyo, Carolina Barbosa M, Aiassa D, Departamento de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, Mañas F, Farmacología, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. EVALUACIÓN DE DAÑO AL ADN EN LEUCOCITOS DE SANGRE PERIFÉRICA HUMANA EXPUESTOS AL HERBICIDA GLIFOSATO. *Rev Int Contam Ambient.* 1 de agosto de 2017;33(3):403-10.
58. Bolognesi C, Carrasquilla G, Volpi S, Solomon KR, Marshall EJP. Biomonitoring of genotoxic risk in agricultural workers from five colombian regions: association to occupational exposure to glyphosate. *J Toxicol Environ Health A.* 2009;72(15-16):986-97.
59. Boocock MR, Coggins JR. Kinetics of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase inhibition by glyphosate. *FEBS Lett.* 5 de abril de 1983;154(1):127-33.
60. Battaglin WA, Meyer MT, Kuivila KM, Dietze JE. Glyphosate and Its Degradation Product AMPA Occur Frequently and Widely in U.S. Soils, Surface Water, Groundwater, and Precipitation. *JAWRA J Am Water Resour Assoc.* abril de 2014;50(2):275-90.
61. Battaglin W, Meyer K, Kuivila Dietze J. Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in U.S. Soils, surface water, groundwater, and precipitation. 50. 2014;2:275-90.
62. Rueppel ML, Brightwell BB, Shaefer J, Marvel JT. Metabolism and Degradation of Glyphosate in Soil and Water. *J Agric Food Chem.* 1977;25(3):517-28.
63. Mann RM, Bidwell JR. The toxicity of glyphosate and several glyphosate formulations to four species of southwestern Australian frogs. *Arch Environ Contam Toxicol.* febrero de 1999;36(2):193-9.
64. Defarge N, Takács E, Lozano VL, Mesnage R, Spiroux de Vendômois J, Séralini G-E, et al. Co-Formulants in Glyphosate-Based Herbicides Disrupt Aromatase Activity in Human Cells below Toxic Levels. *Int J Environ Res Public Health.* 26 de febrero de 2016;13(3).
65. Mesnage R, Moesch C, Grand RLG, Lauthier G, Vendômois JS de, Gress S, et al. Glyphosate Exposure in a Farmer's Family. *J Environ Prot.* 2012;03(09):1001-3.

66. Gasnier C, Dumont C, Benachour N, Clair E, Chagnon M-C, Séralini G-E. Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology*. agosto de 2009;262(3):184-91.
67. Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišík M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. *Arch Toxicol*. mayo de 2012;86(5):805-13.
68. Hao Y, Zhang Y, Cheng J, Xu W, Xu Z, Gao J, et al. Adjuvant contributes Roundup's unexpected effects on A549 cells. *Environ Res*. 25 de febrero de 2020;184:109306.
69. Langrand J, Blanc-Brisset I, Boucaud-Maitre D, Puskarczyk E, Nisse P, Garnier R, et al. Increased severity associated with tallowamine in acute glyphosate poisoning. *Clin Toxicol Phila Pa*. marzo de 2020;58(3):201-3.
70. Lindberg T, de Ávila RI, Zeller KS, Levander F, Eriksson D, Chawade A, et al. An integrated transcriptomic- and proteomic-based approach to evaluate the human skin sensitization potential of glyphosate and its commercial agrochemical formulations. *J Proteomics*. 30 de enero de 2020;217:103647.
71. Mesnage R, Bernay B, Séralini G-E. Ethoxylated adjuvants of glyphosate-based herbicides are active principles of human cell toxicity. *Toxicology*. 16 de noviembre de 2013;313(2-3):122-8.
72. Benachour N, Séralini G-E. Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells. *Chem Res Toxicol*. enero de 2009;22(1):97-105.
73. Mesnage R, Benbrook C, Antoniou MN. Insight into the confusion over surfactant co-formulants in glyphosate-based herbicides. *Food Chem Toxicol Int J Publ Br Ind Biol Res Assoc*. junio de 2019;128:137-45.
74. Nagy K, Duca RC, Lovas S, Creta M, Scheepers PTJ, Godderis L, et al. Systematic review of comparative studies assessing the toxicity of pesticide active ingredients and their product formulations. *Environ Res*. 1 de febrero de 2020;181:108926.
75. Defarge N, Spiroux de Vendômois J, Séralini GE. Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicol Rep*. 1 de enero de 2018;5:156-63.
76. Martens MA, Bleeke MS, Leopold VA, Farmer DR. Toxicology and human health risk assessment of polyethoxylated tallow amine surfactant used in glyphosate formulations. *Regul Toxicol Pharmacol RTP*. octubre de 2019;107:104347.
77. Bernal MH, Solomon KR, Carrasquilla G. Toxicity of Formulated Glyphosate (Glyphos) and Cosmo-Flux to Larval Colombian Frogs 1. *Laboratory Acute Toxicity. J Toxicol Environ Health A [Internet]*. 12 de agosto de 2009 [citado 15 de marzo de

- 2020];72(15-16):961-5. Disponible en:
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15287390902929709>
78. Collins RT, Helling CS. Surfactant-Enhanced Control of Two Erythroxylum Species by Glyphosate. *Weed Technol* [Internet]. 2017/01/20. 2002;16(4):851-9. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/article/surfactantenhanced-control-of-two-erythroxylum-species-by-glyphosate/2D669274C2D45B4C4213953A39256AD7>
79. Seok S-J, Park J-S, Hong J-R, Gil H-W, Yang J-O, Lee E-Y, et al. Surfactant volume is an essential element in human toxicity in acute glyphosate herbicide intoxication. *Clin Toxicol* [Internet]. diciembre de 2011 [citado 22 de abril de 2020];49(10):892-9. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/15563650.2011.626422>
80. Solomon K, Marshall E, Carrasquilla G KR. Riesgos para el ambiente y la salud humana con el uso de formulaciones de glifosato para el control de la producción de coca en Colombia: Síntesis y conclusiones [Internet]. 2009. Disponible en: <http://www.odc.gov.co/Portals/1/Docs/pesig/PS06012013-riesgos-ambiente-salud-humana-uso-glifosato.pdf>
81. Cox C. Glyphosate, Part 1: Toxicology. *Journal of pesticide Reform* [Internet]. 1995;15(3). Disponible en:
file:///C:/Users/usuario/Downloads/Glyphosate_Fact_Sheets%20articulo%201.pdf
82. <https://www.arlsura.com/index.php/glosario-arl>.
83. Organización Panamericana de la salud. Clasificación de los peligros [Internet]. Informativa. Disponible en:
https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10837:2015-clasificacion-peligros&Itemid=41432&lang=es
84. ISO. norma internacional ISO 45001, primera edición 2018 - 03, “Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo”. 2018.
85. Fait A, Iversen B, Tiramani, M, Visentin S, Maroni M, He F, et al. Prevención de los riesgos para la salud derivados del uso de plaguicidas en la agricultura. Serie protección de la salud de los trabajadores, 1. [Internet]. 2004. Disponible en:
https://www.researchgate.net/profile/Antonella_Fait/publication/267838892_Prevenccion_de_los_riesgos_para_la_salud_derivados_del_uso_de_plaguicidas_en_la_agricultura/links/556866d008aecd77737fd4e.pdf
86. Organización Mundial de la salud. Riesgos químicos [Internet]. Informativa. Disponible en: https://www.who.int/foodsafety/areas_work/chemical-risks/es/
87. Peña C, Carter D, Ayala-Fierro F. Toxicología ambiental_ Evaluación de riesgos y Restauración Ambiental. Southwest Hazardous Waste Program. The University of Arizona; 2001. 204 p.

88. Martín-Olmedo P, Carroquino Saltó MJ, Ordóñez Iriarte JM, Moya J. La evaluación de riesgos en salud. Guía metodológica. Madrid.: Sociedad Española de Sanidad Ambiental y escuela Andaluza de Salud Pública. Serie «De aeribus, aquis et locis»; 2016.
89. Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals, International Program on Chemical Safety, editores. IPCS risk assessment terminology. Geneve: OMS; 2004. 117 p. (Harmonization Project Document).
90. García, Maria Laura. Aplicación de la evaluación de riesgo en la industria pesquera. Revista La Técnica, ISSN 1390-6895, ISSN-e 2477-8982, N°. 2, 2010 (Ejemplar dedicado a: Septiembre), págs. 48-54.
91. Organización Mundial de la Salud, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Caracterización de peligros de patógenos en los alimentos y el agua: directrices. Roma: FAO : OMS; 2004.
92. Varona M, Henao GL, Díaz S, Lancheros A, Murcia Á, Rodríguez N, et al. Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. Biomédica. 1 de septiembre de 2009;29(3):456.
93. Rortais A, Arnold G, Dorne J-L, More SJ, Sperandio G, Streissl F, et al. Risk assessment of pesticides and other stressors in bees: Principles, data gaps and perspectives from the European Food Safety Authority. Sci Total Environ. junio de 2017;587-588:524-37.
94. Yusà V, Coscollà C, Millet M. New screening approach for risk assessment of pesticides in ambient air. Atmos Environ. octubre de 2014;96:322-30.
95. Martín-Olmedo P, Carroquino MJ, Ordóñez-Iriarte JM, Moya J. La Evaluación de Riesgos en Salud. Guía metodológica. 2016.
96. Massolo LA. Exposición a contaminantes atmosféricos y factores de riesgo asociados a la calidad de aire en La Plata y alrededores [Internet] [Doctor en Ciencias Exactas, área Química]. Universidad Nacional de La Plata; 2004 [citado 26 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/2267>
97. Lopez CL. Exposición a plaguicidas organofosforados. Perspectivas de salud pública. 1993;18.
98. Bókony V, Mikó Z, Móricz ÁM, Krüzselyi D, Hettyey A. Chronic exposure to a glyphosate-based herbicide makes toad larvae more toxic. Proc R Soc B Biol Sci. 12 de julio de 2017;284(1858):20170493.
99. Greca IM. MODELOS MENTALES, MODELOS CONCEPTUALES Y MODELIZACIÓN. M A. 15(2):14.

100. US. EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment. [Internet]. 2009. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/partf_200901_final.pdf
101. Ministerio de Salud y Protección social. Decreto 1843 de 1991, por el cual se reglamentan parcialmente los títulos III, V, VI, VII y XI de la ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas [Internet]. 1843 1991 p. 72. Disponible en: http://proyectos.andi.com.co/es/PC/SobProANDI/Documentos%20Sobre%20Procultivos%20ANDI/Decreto1843_1991_plaguicidas.pdf
102. Martín-Olmedo P, Carroquino MJ, Ordóñez-Iriarte JM. La Evaluación de Riesgos en Salud. Guía metodológica. Aplicaciones prácticas de la metodología de Evaluación de riesgos en salud por exposición a químicos [Internet]. Madrid: Sociedad Española de Sanidad Ambiental y Escuela Andaluza de Salud Pública.; 2016. (“De aeribus, aquis et locis”). Disponible en: <http://www.sanidadambiental.com/wp-content/uploads/2016/11/LA-EVALUACION-DE-RIESGOS-EN-SALUD.pdf>
103. FAO/OMS. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Application of Risk Communication to Food Standards and Safety Matters. Ginebra; 1998.
104. Fao.org. Explicación de los juicios de valor y otros factores que influyen en el proceso de análisis de riesgos a nivel nacional e internacional [Internet]. FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/3/j0776s/j0776s08.htm>
105. Organización Mundial de la Salud. Herramienta de evaluación de riesgos para la salud humana de la OMS: peligros químicos [Internet]. 2017. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/OMS%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20Riesgo.pdf>
106. Organización Panamericana de la Salud, CDC, Agencia Canadienne de développement International. Guía para la elaboración de la estrategia de comunicación de riesgo de la teoría a la acción [Internet]. 2011. 52 p. Disponible en: http://www.msal.gob.ar/images/stories/ryc/graficos/0000000750cnt-2014-04_estrategia-comunicacion-riesgo.pdf
107. FAO/OMS. Informe de la Consulta Mixta FAO/OMS de Expertos sobre la aplicación del análisis de riesgos a cuestiones de normas alimentarias. 1995.
108. Organización Panamericana de la Salud, Organización Panamericana de la Salud. Acerca de las escuelas promotoras de salud [Internet]. OPS. Disponible en: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=4563:about-health-promoting-schools&Itemid=820&lang=es
109. Ministerio de Salud y Protección Social, Organización Panamericana de la Salud (OPS). Lineamientos Nacionales para la Aplicación y el Desarrollo de las Estrategias de Entornos Saludables Escuela Saludable y Vivienda Saludable [Internet]. 2006. Disponible en:

- https://www.paho.org/col/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=publicaciones-ops-oms-colombia&alias=28-lineamientos-nacionales-para-la-aplicacion-y-el-desarrollo-de-las-estrategias-de-entornos-saludables&Itemid=688
110. Ministerio de Salud y Protección Social. Entornos Saludables [Internet]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/proteccionsocial/Paginas/EntornosSaludables.aspx>
111. Ministerio de Salud y Protección Social, Organización Panamericana de la Salud (OPS). Fortalecimiento de la Estrategia de Entornos Saludables y su implementación, en el marco del Plan Nacional de Desarrollo y compromisos nacionales e internacional [Internet]. 2012. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/Fortalecimiento-estrategia-Entornos-Saludables.pdf>
112. Sarar Transformación S. Metodología SARAR [Internet]. 2011. Disponible en: <http://www.solutionsforwater.org/wp-content/uploads/2011/12/FICHA-SARAR-METODOLOGIA-SARAR+.pdf>
113. OPS. Secretaría de Salud y OPS trabajan en prevención de intoxicación por plaguicidas [Internet]. OPS México. 2020. Disponible en: https://www.paho.org/mex/index.php?option=com_content&view=article&id=1295:secretaria-de-salud-y-ops-trabajan-en-prevencion-de-intoxicacion-por-plaguicidas&Itemid=499
114. Keipi K, Mora S, Bastidas P. Gestión del riesgo de amenazas naturales. Lista de preguntas de verificación. Banco interamericano de desarrollo. Washington, D. C.; 2005.
115. Ministerio de salud y protección social. Política de atención integral en salud [Internet]. ene, 2016 p. 97. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/modelo-pais-2016.pdf>
116. ISO. norma internacional ISO 45001, primera edición 2018 - 03, “Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo”. 2018.
117. Ministerio de Salud y Protección social. Gestión integral del riesgo en salud [Internet]. 2018. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VP/DOA/girs-prespectiva-desde-aseguramiento.pdf>
118. Dostál J, editor. Infotech 2007- moderní informační a komunikační technologie ve vzdělávání: sborník příspěvků. D. 1 D. 1. Olomouc: Votobia; 2007.
119. Rainer RK, Cegielski CG. Introduction to information systems. 3rd ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons; 2011. 538 p.

120. Ferreira González I, Urrútia G, Alonso-Coello P. Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. Rev Esp Cardiol [Internet]. agosto de 2011 [citado 13 de marzo de 2020];64(8):688-96. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300893211004507>
121. Liberati A, G. Altman D, Tetzlaff J, Murrow C, C. Gotzsche P, P. Aloannidis J. et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. BMJ [Internet]. 2009 [citado 22 de abril de 2017]; Disponible en: <http://www.bmj.com/content/bmj/339/bmj.b2700.full.pdf>
122. The Cochrane collaboration. Manual Cochrane de revisiones sistemáticas de intervenciones [Internet]. Higgins JPT, Green S; 2011. Disponible en: http://www.cochrane.es/files/handbookcast/Manual_Cochrane_510.pdf
123. Cascaes SF, Valdivia ABA, da Rosa IR, et al. Escalas y listas de evaluación de la calidad de estudios científicos. Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud (ACIMED). 2013;24(3):295-312.
124. Schneider et al. ToxRTool", una nueva herramienta para evaluar la fiabilidad de los datos toxicológicos, Toxicology Letters,. 189 [Internet]. 2009;2:138-44. Disponible en: <https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/toxrtool-toxicological-data-reliability-assessment-tool>
125. European commission Joint Research Centre. Toxicological data Reliability Assessment Tool [Internet]. 2018. Disponible en: https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/toxrtool_-_user_manual.pdf
126. Collaboration for environmental evidence. Pautas y estándares para la síntesis de evidencia en gestión ambiental version 5.0 [Internet]. Collaboration for environmental evidence. 2018. Disponible en: <https://www.environmentalevidence.org/information-for-authors>
127. Centre for evidence -based conservation CEBC. Directrices para revisiones sistemáticas y síntesis de las evidencias en gestión medioambiental [Internet]. Bangor, Gwynedd; Disponible en: <http://www.cesiep.cl/wp-content/uploads/2017/12/Manual-CEE-Directrices-Revisiones-Sistem%C3%A1ticas-en-Gesti%C3%B3n-Ambiental.pdf>
128. Sterne JAC, Savović J, Page MJ, Elbers RG, Blencowe NS, Boutron I, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. BMJ. 28 de 2019;366:l4898.
129. Colimon K-M. Fundamentos de epidemiología. Madrid: Ediciones Díaz de Santos; 1990.
130. Cárdenas SV, Salazar JF, Villegas JC. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO SWAT PARA REPRESENTAR CAUDALES MEDIOS Y EXTREMOS EN UNA CUENCA ANDINA TROPICAL: CASO DE ESTUDIO RÍO CHICO, ANTIOQUIA. 2018;10.

131. Soheilirad S, Govindan K, Mardani A, Zavadskas EK, Nilashi M, Zakuan N. Application of data envelopment analysis models in supply chain management: a systematic review and meta-analysis. *Ann Oper Res.* diciembre de 2018;271(2):915-69.
132. Alcaldia de Cumaribo. Plan de Desarrollo del municipio de Cumaribo - Mi compromiso es Cumaribo. 2016.
133. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, ANLA. AUTO N° 12009. 2019.
134. Bussard D. *Exposure Factors Handbook*. 2011;1436.
135. Borda Villegas C, Alvarez MC, Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, editores. Encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia, 2005. Primera edición. Bogotá, D.C. Colombia: Instituto Colombiano de Bienestar Familiar; 2006. 445 p.
136. Bussard D. *Exposure Factors Handbook*. 2011;1436.
137. United States Environmental Protection Agency. Dermal Exposure Assessment: Principles and Applications. . (EPA/600/8-91/011b). [Internet]. 1992. Disponible en: https://rais.ornl.gov/documents/DERM_EXP.PDF
138. Nielsen JB, Sørensen JA, Nielsen F. Defense against dermal exposures is only skin deep: significantly increased penetration through slightly damaged skin. *Arch Dermatol Res.* 2007;299(9):423-31.
139. Okada E, Costa JL, Bedmar F. Glyphosate Dissipation in Different Soils Under No-Till and Conventional Tillage. *Pedosphere.* diciembre de 2019;29(6):773-83.
140. Ministerior de la Protección Social. ENCUESTA NACIONAL DE LA SITUACIÓN NUTRICIONAL EN COLOMBIA 2010. 2010.
141. Ministerior de Salud. PATRONES DE CRECIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE NIÑOS, NIÑAS Y ADOLESCENTES DESDE EL NACIMIENTO HASTA LOS 19 AÑOS DE EDAD. 2018.
142. Instituto Colombiano de bienestar Familiar. ENSIN: Encuesta Nacional de Situación Nutricional [Internet]. Portal ICBF - Instituto Colombiano de Bienestar Familiar ICBF. [citado 4 de junio de 2019]. Disponible en: <https://www.icbf.gov.co/bienestar/nutricion/encuesta-nacional-situacion-nutricional>
143. Connolly A, Basinas L, Jones K, Galea KS, Kenny L, McGowan P, et al. Characterising glyphosate exposures among amenity horticulturists using multiple spot urine samples. *Int J Hyg Env Health.* 2018;221(7):1012-22.
144. Okada E, Costa J, Bedmar F. Glyphosate Dissipation in Different Soils Under No-Till and Conventional Tillage. *Pedosphere.* 2019;29(6):773-83.

145. Ministerio de Salud y Protección social. Resolución 2465 de 2016, Por la cual se adoptan los indicadores antropométricos, patrones de referencia y puntos de corte para la clasificación antropométrica del estado nutricional de niñas, niños y adolescentes menores de 18 años de edad, adultos de 18 a 64 años de edad y gestantes adultas y se dictan otras disposiciones. 2016.
146. Nielsen JB, Sørensen JA, Nielsen F. The Usual Suspects—Influence of Physicochemical Properties on Lag Time, Skin Deposition, and Percutaneous Penetration of Nine Model Compounds. *J Toxicol Environ Health. Part A* 72.
147. Kaplan R. Norton D. El cuadro de mando integral de Kaplan y Norton. 1996.
148. Kaplan R. Norton D. Como utilizar el cuadro de mando integral: para implantar y gestionar su estrategia. 2001. 637 p.
149. Philipp Schledorn MK. Detection of Glyphosate Residues in Animals and Humans. *J Environ Anal Toxicol* [Internet]. 2014 [citado 24 de marzo de 2020];04(02). Disponible en: <https://www.omicsonline.org/open-access/detection-of-glyphosate-residues-in-animals-and-humans-2161-0525.1000210.php?aid=23853>
150. Agencia nacional de promoción científica y tecnológica. Aspectos ambientales del uso del glifosato [Internet]. uno. Buenos Aires Argentina: INTA; 2010. 114 p. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-aspectos_ambientales_del_uso_de_glifosato__version_pa.pdf
151. Escobar IE, Aristizábal JJ, Zuluaga AF. Intoxicación por glifosato. Protocolos de manejo de paciente intoxicado [Internet]. 2010. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Andres_Zuluaga4/publication/325994784_Protocolos_de_Manejo_del_Paciente_Intoxicado/links/5b322f48aca2720785e92d67/Protocolos-de-Manejo-del-Paciente-Intoxicado.pdf#page=71
152. Chang F, Simcik MF, Capel PD. Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere. *Environ Toxicol Chem.* marzo de 2011;30(3):548-55.
153. Dalpiaz MJ, Andriulo, A. Comparación de índices de riesgo de lixiviación de plaguicidas. *Cienc Suelo.* 2017;35(2):365-76.
154. Sasal C, Andriulo A, Wilson M, Portela S. Pérdidas de glifosato por drenaje y escurrimiento y riesgo de contaminación de aguas. *Myriam Camino Va Aparicio.* 2010;103-14.
155. Yang X, Wang F, Bento CPM, Xue S, Gai L, van Dam R, et al. Short-term transport of glyphosate with erosion in Chinese loess soil — A flume experiment. *Sci Total Environ.* abril de 2015;512-513:406-14.

156. Alonso LL, Demetrio PM, Agustina Etchegoyen M, Marino DJ. Glyphosate and atrazine in rainfall and soils in agroproductive areas of the pampas region in Argentina. *Sci Total Environ.* diciembre de 2018;645:89-96.
157. Aparicio VC, Aimar S, De Gerónimo E, Mendez MJ, Costa JL. Glyphosate and AMPA concentrations in wind-blown material under field conditions. *Land Degrad Dev.* mayo de 2018;29(5):1317-26.
158. Ravier S, Désert M, Gille G, Armengaud A, Wortham H, Quivet E. Monitoring of Glyphosate, Glufosinate-ammonium, and (Aminomethyl)phosphonic acid in ambient air of Provence-Alpes-Côte-d'Azur Region, France. *Atmos Environ.* mayo de 2019;204:102-9.
159. de F. Sousa MG, da Silva AC, dos Santos Araújo R, Rigotto RM. Evaluation of the atmospheric contamination level for the use of herbicide glyphosate in the northeast region of Brazil. *Environ Monit Assess.* octubre de 2019;191(10):604.
160. Lupi L, Miglioranza KSB, Aparicio VC, Marino D, Bedmar F, Wunderlin DA. Occurrence of glyphosate and AMPA in an agricultural watershed from the southeastern region of Argentina. *Sci Total Environ.* diciembre de 2015;536:687-94.
161. Santos MJG, Ferreira MFL, Cachada A, Duarte AC, Sousa JP. Pesticide application to agricultural fields: effects on the reproduction and avoidance behaviour of *Folsomia candida* and *Eisenia andrei*. *Ecotoxicology.* noviembre de 2012;21(8):2113-22.
162. Tironi SP, Belo AF, Fialho CMT, Galon L, Ferreira EA, Silva AA, et al. Efeito de herbicidas na atividade microbiana do solo. *Planta Daninha.* diciembre de 2009;27(spe):995-1004.
163. Bento CPM, Commelin MC, Baartman JEM, Yang X, Peters P, Mol HGJ, et al. Spatial glyphosate and AMPA redistribution on the soil surface driven by sediment transport processes – A flume experiment. *Environ Pollut.* marzo de 2018;234:1011-20.
164. Okada E, Pérez D, De Gerónimo E, Aparicio V, Massone H, Costa JL. Non-point source pollution of glyphosate and AMPA in a rural basin from the southeast Pampas, Argentina. *Environ Sci Pollut Res.* mayo de 2018;25(15):15120-32.
165. Maqueda C, Undabeytia T, Villaverde J, Morillo E. Behaviour of glyphosate in a reservoir and the surrounding agricultural soils. *Sci Total Environ.* septiembre de 2017;593-594:787-95.
166. Yang X, Wang F, Bento CPM, Meng L, van Dam R, Mol H, et al. Decay characteristics and erosion-related transport of glyphosate in Chinese loess soil under field conditions. *Sci Total Environ.* octubre de 2015;530-531:87-95.
167. Gomes MP, da Silva Cruz FV, Bicalho EM, Borges FV, Fonseca MB, Juneau P, et al. Effects of glyphosate acid and the glyphosate-commercial formulation (Roundup) on

- Dimorphandra wilsonii seed germination: Interference of seed respiratory metabolism. Environ Pollut. enero de 2017;220:452-9.
168. Machado AFL, Ferreira LR, Santos LDT, Ferreira FA, Viana RG, Machado MS, et al. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. Planta Daninha. junio de 2010;28(2):319-27.
169. Luo Y, Zhang M. Management-oriented sensitivity analysis for pesticide transport in watershed-scale water quality modeling using SWAT. Environ Pollut. diciembre de 2009;157(12):3370-8.
170. Okada E, Costa JL, Bedmar F. Glyphosate Dissipation in Different Soils Under No-Till and Conventional Tillage. Pedosphere. diciembre de 2019;29(6):773-83.
171. Zhang X, Luo Y, Goh KS. Modeling spray drift and runoff-related inputs of pesticides to receiving water. Environ Pollut. marzo de 2018;234:48-58.
172. D'Andrea MF. Evaluación del riesgo asociado al uso de plaguicidas usados en cultivos extensivos sobre la biota de los cuerpos de agua de la región pampeana. :139.
173. Schafer MG, Ross AA, Londo JP, Burdick CA, Lee EH, Travers SE, et al. The Establishment of Genetically Engineered Canola Populations in the U.S. Herrera-Estrella A, editor. PLoS ONE. 5 de octubre de 2011;6(10):e25736.
174. Universidad Nacional de Colombia. Efectos tóxicos del glifosato en ictiofauna nativa de Colombia. Jaime Fernando González. Bogotá; 2012.
175. Comportamento ambiental do glifosato. Scientia Agraria Paranaensis [Internet]. 2010;9(3):22-35. Disponible en: file:///C:/Users/usuario/Downloads/5258-19227-1-PB.pdf
176. Bento CPM, van der Hoeven S, Yang X, Riksen MMJPM, Mol HGJ, Ritsema CJ, et al. Dynamics of glyphosate and AMPA in the soil surface layer of glyphosate-resistant crop cultivations in the loess Pampas of Argentina. Environ Pollut [Internet]. enero de 2019 [citado 15 de marzo de 2020];244:323-31. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749118315938>
177. Instituto Nacional de investigación agropecuaria. Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA. Montevideo -Uruguay; 2013. 176 p.
178. Grandcoin A, Piel S, Baurès E. AminoMethylPhosphonic acid (AMPA) in natural waters: Its sources, behavior and environmental fate. Water Res [Internet]. junio de 2017 [citado 15 de marzo de 2020];117:187-97. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135417302452>
179. Bento CPM, Yang X, Gort G, Xue S, van Dam R, Zomer P, et al. Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different

- combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. *Sci Total Environ.* 1 de diciembre de 2016;572:301-11.
180. Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos. Glifosato [Internet]. EPA. Disponible en: <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/glyphosate>
181. Portier CJ, Armstrong BK, Baguley BC, Baur X, Belyaev I, Bellé R, et al. Differences in the carcinogenic evaluation of glyphosate between the International Agency for Research on Cancer (IARC) and the European Food Safety Authority (EFSA). *J Epidemiol Community Health* [Internet]. agosto de 2016 [citado 22 de abril de 2020];70(8):741-5. Disponible en: <http://jech.bmj.com/lookup/doi/10.1136/jech-2015-207005>
182. Williams GM, Kroes R, Munro IC. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. *Regul Toxicol Pharmacol RTP.* abril de 2000;31(2 Pt 1):117-65.
183. National Center for Biotechnology Information. PubChem Database. Glyphosate, CID=3496. Glifosato [Internet]. PubChem. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3496#section=GHS-Classification>
184. INCHEM. Glyphosate [Internet]. Disponible en: <http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/v86pr08.htm>
185. Cosmoagro. Hoja técnica COSMO-OIL Emulsión EO [Internet]. 2006. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/FTCosmoOil2014630101050.pdf>
186. Henao Muñoz L, Triana T, Bernal M. Evaluación de la toxicidad de dos agroquímicos Roundup activo y cosmo-Flux 411F, en renacuajos de Anuros Colombianos. *Act Biol Colomb* [Internet]. 2015;20(2):153-61. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/v20n2a15.pdf>
187. Pesticide Action Network International. Lista de plaguicidas altamente peligrosos de PAN internacional [Internet]. 2016. Disponible en: https://rap-al.org/wp-content/uploads/2017/09/HHP-Lista-PAN-2016-actual-traducida-espa%C3%B1ol_29agosto17.pdf
188. Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišák M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. *Arch Toxicol.* mayo de 2012;86(5):805-13.
189. Chaufan G, Coalova I, Ríos de Molina MDC. Glyphosate commercial formulation causes cytotoxicity, oxidative effects, and apoptosis on human cells: differences with its active ingredient. *Int J Toxicol.* febrero de 2014;33(1):29-38.
190. Baer KN, Marcel BJ. Glyphosate. En: *Encyclopedia of Toxicology* [Internet]. Elsevier; 2014 [citado 10 de febrero de 2020]. p. 767-9. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123864543001482>

191. Nogar A, Ayelen B. Análisis de riesgos en la salud de la población rural de la pampa argentina por uso de agroquímicos en cultivo de soja. *Rev Investig Agrar Ambient*. 2014;5(2):71-84.
192. Zoller O, Rhyn P, Rupp H, Zarn JA, Geiser C. Glyphosate residues in Swiss market foods: monitoring and risk evaluation. *Food Addit Contam Part B Surveill*. junio de 2018;11(2):83-91.
193. Anifandis G, Katsanaki K, Lagodonti G, Messini C, Simopoulou M, Dafopoulos K, et al. The Effect of Glyphosate on Human Sperm Motility and Sperm DNA Fragmentation. *Int J Environ Res Public Health*. 30 de 2018;15(6).
194. Santovito A, Ruberto S, Gendusa C, Cervella P. In vitro evaluation of genomic damage induced by glyphosate on human lymphocytes. *Environ Sci Pollut Res Int*. diciembre de 2018;25(34):34693-700.
195. Koller VJ, Fürhacker M, Nersesyan A, Mišík M, Eisenbauer M, Knasmueller S. Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells. *Arch Toxicol* [Internet]. 1 de mayo de 2012 [citado 1 de febrero de 2020];86(5):805-13. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00204-012-0804-8>
196. Robin M, Christian M, Rozenn Le Grand G, Guillaume L, Jo. Glyphosate Exposure in a Farmer's Family. *J Environ Prot* [Internet]. 24 de septiembre de 2012 [citado 1 de febrero de 2020];2012(3):1001-3. Disponible en: <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=22645>
197. Heu C, Berquand A, Elie-Caille C, Nicod L. Glyphosate-induced stiffening of HaCaT keratinocytes, a Peak Force Tapping study on living cells. *J Struct Biol* [Internet]. abril de 2012 [citado 10 de febrero de 2020];178(1):1-7. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1047847712000597>
198. Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. Evauación toxicológica y de vías de exposición [Internet]. ATSDR. 2019. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/pha_professional2/index.html
199. Hidrovo AJ. Plaguicidas usados en la fumigaci3n de cultivos il-citos y salud humana: una cuesti3n de ciencia o pol-tica? *Rev Salud P3blica* [Internet]. 2004;6:199-211. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642004000200006&nrm=iso
200. Citotoxicidad y genotoxicidad en celulas humanas expuestas invitro a glifosato.
201. Paz-y-Mi3pmo C, S3!nchez ME, Ar3copyrightvalo M, Mu3pmoz MJ, Witte T, De-la-Carrera GO, et al. Evaluation of DNA damage in an Ecuadorian population exposed to glyphosate. *Genet Mol Biol* [Internet]. 2007;30:456-60. Disponible en:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-47572007000300026&nrm=iso

202. Solomon KR, Marshall EJP, Carrasquilla G. Human health and environmental risks from the use of glyphosate formulations to control the production of coca in Colombia: overview and conclusions. *J Toxicol Environ Health A*. 2009;72(15-16):914-20.
203. Sanin L-H, Carrasquilla G, Solomon KR, Cole DC, Marshall EJP. Regional differences in time to pregnancy among fertile women from five Colombian regions with different use of glyphosate. *J Toxicol Environ Health A*. 2009;72(15-16):949-60.
204. Bolognesi C, Carrasquilla G, Volpi S, Solomon KR, Marshall EJP. Biomonitoring of genotoxic risk in agricultural workers from five colombian regions: association to occupational exposure to glyphosate. *J Toxicol Environ Health A*. 2009;72(15-16):986-97.
205. Varona M, Henao L, Díaz S, Lanchero A, et al. Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. *Biomedica [Internet]*. 2009;29(3):456-75. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0120-41572009000300014&script=sci_arttext
206. Paz-y-Miño C, Muñoz MJ, Maldonado A, Valladares C, Cumbal N, Herrera C, et al. Baseline determination in social, health, and genetic areas in communities affected by glyphosate aerial spraying on the northeastern Ecuadorian border. *Rev Environ Health [Internet]*. 1 de enero de 2011 [citado 23 de abril de 2020];26(1). Disponible en: <https://www.degruyter.com/view/j/reveh.2011.26.issue-1/reveh.2011.007/reveh.2011.007.xml>
207. Ramirez-Botero AF, Pachajoa H. Syndromic microphthalmia-3 caused by a mutation on gene SOX2 in a Colombian male patient: Syndromic microphthalmia-3. *Congenit Anom [Internet]*. noviembre de 2016 [citado 23 de abril de 2020];56(6):250-2. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1111/cga.12170>
208. Camacho A, Mejía D. The health consequences of aerial spraying illicit crops: The case of Colombia. *J Health Econ [Internet]*. julio de 2017 [citado 23 de abril de 2020];54:147-60. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167629617303922>
209. Peña C, Carter DE, Ayala-Fierro F. Evaluación de riesgos y restauración ambiental. Southwest Hazardous Waste Program, A Superfund Basic Research and Training Program, At the College of Pharmacy, EEUU. [Internet]. 2001. Disponible en: [file:///C:/Users/unicordoba/Desktop/MARCIA%20GLIFOSATO/listos/TOXICOLOGIA_AMBIENTAL_Evaluacion_de_Ries%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/unicordoba/Desktop/MARCIA%20GLIFOSATO/listos/TOXICOLOGIA_AMBIENTAL_Evaluacion_de_Ries%20(1).pdf)
210. Organización de naciones indígenas de Colombia- ONIC. Evaluación de las fumigaciones en Colombia. Colombia; 2002 p. 61.

211. TEÓFILA MARÍA TRIANA VELÁSQUEZ¹, Bióloga; CLAUDIA MARSELA MONTES ROJAS¹, Bióloga; MANUEL HERNANDO BERNAL BAUTISTA^{1,2}, Ph. D. EFECTOS LETALES Y SUBLETALES DEL GLIFOSATO (ROUNDUP® ACTIVO) EN EMBRIONES DE ANUROS COLOMBIANOS. Present El 21 Enero 2013 Aceptado El 6 Mayo 2013 Correcciones El 10 Mayo 2013. 2 de agosto de 2013;18:271-8.
212. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Registros Nacionales del Glifosato [Internet]. 2020. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/ICA%202020%20GLIFOSATO.pdf>
213. Gasnier C, Dumont C, Benachour N, Clair E, Chagnon M-C, Séralini G-E. Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology*. 21 de agosto de 2009;262(3):184-91.
214. Elie-Caille C, Heu C, Guyon C, Nicod L. Morphological damages of a glyphosate-treated human keratinocyte cell line revealed by a micro- to nanoscale microscopic investigation. *Cell Biol Toxicol*. agosto de 2010;26(4):331-9.
215. Heu C, Elie-Caille C, Mougey V, Launay S, Nicod L. A step further toward glyphosate-induced epidermal cell death: Involvement of mitochondrial and oxidative mechanisms. *Environ Toxicol Pharmacol*. 1 de septiembre de 2012;34(2):144-53.
216. Heu C, Berquand A, Elie-Caille C, Nicod L. Glyphosate-induced stiffening of HaCaT keratinocytes, a Peak Force Tapping study on living cells. *J Struct Biol*. 1 de abril de 2012;178(1):1-7.
217. Chaufan G, Coalova I, Ríos de Molina MDC. Glyphosate commercial formulation causes cytotoxicity, oxidative effects, and apoptosis on human cells: differences with its active ingredient. *Int J Toxicol*. febrero de 2014;33(1):29-38.
218. Santovito A, Ruberto S, Gendusa C, Cervella P. In vitro evaluation of genomic damage induced by glyphosate on human lymphocytes. *Environ Sci Pollut Res Int*. diciembre de 2018;25(34):34693-700.
219. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Some Organophosphate Insecticides and Herbicides [Internet]. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer; 2017 [citado 18 de enero de 2020]. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans). Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK436774/>
220. Faria NMX, Rosa JAR da, Facchini LA. Poisoning by pesticides among family fruit farmers, Bento Gonçalves, Southern Brazil. *Rev Saúde Pública*. abril de 2009;43(2):335-44.
221. Caballero M, Amiri S, Denney JT, Monsivais P, Hystad P, Amram O. Estimated Residential Exposure to Agricultural Chemicals and Premature Mortality by

- Parkinson's Disease in Washington State. *Int J Environ Res Public Health*. 16 de 2018;15(12).
222. Sathyanarayana S, Basso O, Karr CJ, Lozano P, Alavanja M, Sandler DP, et al. Maternal Pesticide Use and Birth Weight in the Agricultural Health Study. *J Agromedicine*. abril de 2010;15(2):127-36.
223. Shaw GM, Yang W, Roberts E, Kegley SE, Padula A, English PB, et al. Early pregnancy agricultural pesticide exposures and risk of gastroschisis among offspring in the San Joaquin Valley of California. *Birt Defects Res A Clin Mol Teratol*. septiembre de 2014;100(9):686-94.
224. Anifandis G, Katsanaki K, Lagodonti G, Messini C, Simopoulou M, Dafopoulos K, et al. The Effect of Glyphosate on Human Sperm Motility and Sperm DNA Fragmentation. *Int J Environ Res Public Health*. 30 de 2018;15(6).
225. Parvez S, Gerona RR, Proctor C, Friesen M, Ashby JL, Reiter JL, et al. Glyphosate exposure in pregnancy and shortened gestational length: a prospective Indiana birth cohort study. *Environ Health*. 9 de marzo de 2018;17(1):23.
226. von Ehrenstein OS, Ling C, Cui X, Cockburn M, Park AS, Yu F, et al. Prenatal and infant exposure to ambient pesticides and autism spectrum disorder in children: population based case-control study. *BMJ*. 20 de 2019;364:l962.
227. Shrestha S, Parks CG, Goldner WS, Kamel F, Umbach DM, Ward MH, et al. Pesticide Use and Incident Hypothyroidism in Pesticide Applicators in the Agricultural Health Study. *Environ Health Perspect*. 2018;126(9):97008.
228. Kongtip P, Nankongnab N, Kallayanatham N, Pundee R, Choochouy N, Yimsabai J, et al. Thyroid Hormones in Conventional and Organic Farmers in Thailand. *Int J Environ Res Public Health*. 29 de 2019;16(15).
229. Goldner WS, Sandler DP, Yu F, Hoppin JA, Kamel F, Levan TD. Pesticide use and thyroid disease among women in the Agricultural Health Study. *Am J Epidemiol*. 15 de febrero de 2010;171(4):455-64.
230. Slager RE, Simpson SL, LeVan TD, Poole JA, Sandler DP, Hoppin JA. Rhinitis Associated with Pesticide Use Among Private Pesticide Applicators in the Agricultural Health Study. *J Toxicol Environ Health A*. enero de 2010;73(20):1382-93.
231. Hoppin JA, Umbach DM, Long S, London SJ, Henneberger PK, Blair A, et al. Pesticides are Associated with Allergic and Non-Allergic Wheeze among Male Farmers. *Environ Health Perspect*. 2017;125(4):535-43.
232. Jayasumana C, Gunatilake S, Siribaddana S. Simultaneous exposure to multiple heavy metals and glyphosate may contribute to Sri Lankan agricultural nephropathy. *BMC Nephrol*. 11 de julio de 2015;16(1):103.

233. Jayasumana C, Paranagama P, Agampodi S, Wijewardane C, Gunatilake S, Siribaddana S. Drinking well water and occupational exposure to Herbicides is associated with chronic kidney disease, in Padavi-Sripura, Sri Lanka. *Environ Health Glob Access Sci Source*. 18 de enero de 2015;14:6.
234. Parks CG, Hoppin JA, De Roos AJ, Costenbader KH, Alavanja MC, Sandler DP. Rheumatoid Arthritis in Agricultural Health Study Spouses: Associations with Pesticides and Other Farm Exposures. *Environ Health Perspect*. noviembre de 2016;124(11):1728-34.
235. Meyer A, Sandler DP, Beane Freeman LE, Hofmann JN, Parks CG. Pesticide Exposure and Risk of Rheumatoid Arthritis among Licensed Male Pesticide Applicators in the Agricultural Health Study. *Environ Health Perspect*. 14 de 2017;125(7):077010.
236. Dayton SB, Sandler DP, Blair A, Alavanja M, Beane Freeman LE, Hoppin JA. Pesticide Use and Myocardial Infarction Incidence Among Farm Women in the Agricultural Health Study. *J Occup Environ Med Am Coll Occup Environ Med*. julio de 2010;52(7):693-7.
237. Zhang C, Sun Y, Hu R, Huang J, Huang X, Li Y, et al. A comparison of the effects of agricultural pesticide uses on peripheral nerve conduction in China. *Sci Rep*. 25 de junio de 2018;8(1):1-8.
238. Schinasi L, Leon ME. Non-Hodgkin lymphoma and occupational exposure to agricultural pesticide chemical groups and active ingredients: a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 23 de abril de 2014;11(4):4449-527.
239. Avgerinou C, Giannezi I, Theodoropoulou S, Lazaris V, Kolliopoulou G, Zikos P, et al. Occupational, dietary, and other risk factors for myelodysplastic syndromes in Western Greece. *Hematol Amst Neth*. agosto de 2017;22(7):419-29.
240. Malagoli C, Costanzini S, Heck JE, Malavolti M, De Girolamo G, Oleari P, et al. Passive exposure to agricultural pesticides and risk of childhood leukemia in an Italian community. *Int J Hyg Environ Health*. 2016;219(8):742-8.
241. Andreotti G, Koutros S, Hofmann JN, Sandler DP, Lubin JH, Lynch CF, et al. Glyphosate Use and Cancer Incidence in the Agricultural Health Study. *J Natl Cancer Inst*. 01 de 2018;110(5):509-16.
242. Román MD. Patrones alimentarios y contaminantes ambientales asociados al cáncer de próstata en Córdoba. 2014;[20], 131-[20], 131.
243. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Some Organophosphate Insecticides and Herbicides [Internet]. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer; 2017 [citado 18 de enero de 2020]. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans). Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK436774/>

-
244. Environmental Protection Authority, by Dr Wayne Temple BSc (Hons), PhD, FNZIC, CChem, FRSC, MAACT, Dr Wayne Temple BSc (Hons), PhD, FNZIC, CChem,, FRSC, MAACT. Review of the Evidence Relating to Glyphosate and Carcinogenicity. 2016.
245. agencia de Proteccion Ambiental de los Estados Unidos. Glyphosate [Internet]. agencia de Proteccion Ambiental de los Estados Unidos. [citado 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/glyphosate#food>
246. US. EPA. Glyphosate Interim Registration Review Decision Case Number 0178. Report Docket Number EPS-HQ-OPP-2009-0361 [Internet]. United States. Environmental Protection Agency, Washington D.C; 2020. 36 p. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-01/documents/glyphosate-interim-reg-review-decision-case-num-0178.pdf>
247. US. EPA. Glyphosate Draft Human Health Risk Assessment for Registration. Report Docket Number EPA-HQ-OPP-2009-0361-0068 prepared by: [Internet]. EPA. 2017. Disponible en: <https://www.epa.gov/pesticides/epa-releases-draft-risk-assessments-glyphosate>
248. Pesticides Residues in Food 2016 Joint Fao/Who Meeting on Pesticides Residues. Food & Agriculture Org; 2017.
249. European Food Safety Authority (EFSA). Conclusion On Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance glyphosate. EFSA Journal. 2015;13:4302.
250. Sribanditmongkol P, Jutavijittum P, Pongraveevongsa P, Wunnapuk K, Durongkadech P. Pathological and Toxicological Findings in Glyphosate-Surfactant Herbicide Fatality: A Case Report. Am J Forensic Med Pathol. septiembre de 2012;33(3):234-7.
251. Aranda G, Valenuela A, García D, Almeida J. Efectos del GLifosato sobre la salud humana. Revista el Centauro. 2016;11(8):71-86.
252. Vereecken H. Mobility and leaching of glyphosate: a review. Pest Manag Sci. diciembre de 2005;61(12):1139-51.
253. Dirección de asuntos jurídicos. Informe acerca del grado de toxicidad del Glifosato|| [Internet]. Argentina: Universidad Nacional del Litoral; 2010 p. 272. Disponible en: http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Fumigas/Informe%20Glifosato%20UNL_sept_10_2010_ar.pdf
254. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Paravani EV, Sasal MC, Grupo Recursos Naturales y Factores Abióticos, Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Sione SMJ, 3 Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, et al.
DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GLIFOSATO EN AGUA MEDIANTE LA TÉCNICA DE INMUNOABSORCIÓN LIGADA A ENZIMAS
-

- (ELISA). Rev Int Contam Ambient [Internet]. 1 de noviembre de 2016 [citado 17 de mayo de 2020];32(4):399-406. Disponible en:
<http://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2016.32.04.03/46596>
255. Dirección de asuntos jurídicos. Informe acerca del grado de toxicidad del Glifosato [Internet]. Argentina: Universidad Nacional del Litoral; 2010 p. 272. Disponible en:
http://www.mamacoca.org/docs_de_base/Fumigas/Informe%20Glifosato%20UNL_sept_10_2010_ar.pdf
256. National pesticide information Center. Glifosato [Internet]. Disponible en:
<http://npic.orst.edu/factsheets/archive/glyphotech.html>
257. RESOLUCION ANDINA 630 DE 2002 (1).pdf.
258. Agency for toxic Substances and Disease Registry. Perfil toxicológico del glifosato [Internet]. Disponible en:
<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=1488&tid=293#bookmark01>
259. Organización panamericana de la salud, (OPS). 73. Monografías del CIIC 4302_glyphosate_complementary [Internet]. Disponible en: [http://www.en.prtr-es.es/Data/images//Resumen%20ejecutivo%20PREF.%20Ind.%20Qu%C3%ADmica%20Inorg.%20de%20gran%20volumen%20de%20producci%C3%B3n%20\(s%C3%B3lidos%20y%20otros\)-C9A401F4F12A6C8B.pdf](http://www.en.prtr-es.es/Data/images//Resumen%20ejecutivo%20PREF.%20Ind.%20Qu%C3%ADmica%20Inorg.%20de%20gran%20volumen%20de%20producci%C3%B3n%20(s%C3%B3lidos%20y%20otros)-C9A401F4F12A6C8B.pdf)
260. European Chemicals Agency. 76. Sistema Europeo de Información de Sustancias Químicas Dialnet-LaLegislacionEuropeaREACH-3026480 [Internet]. Informativa. Disponible en: <https://echa.europa.eu/es/information-on-chemicals>
261. ANDI. Consolidado de bases de datos internacionales sobre sustancias químicas [Internet]. Disponible en:
http://www.andi.com.co/Uploads/Bases%20de%20Datos%20SQ_636773628719666899.pdf
262. Calera A, Uberti V, et al.,. Diagnóstico de la utilización de sustancias químicas en la industria Española [Internet]. Instituto Sindical de trabajo, ambiente y salud; 2005. Disponible en: <https://istas.ccoo.es/descargas/CFSE/CFSE05-01.pdf>
263. Asociación toxicológica Argentina. Evaluación de la carcinogenicidad del glifosato. evidencias y controversias [Internet]. 2015. Disponible en: <https://srala.org/wp-content/uploads/2016/06/Carcinogenicidad-del-glifosato-SG-1.pdf>
264. WHO/IPCS. Glifosato (residuos de plaguicidas en los alimentos: evaluaciones de 1986 Parte II Toxicología) [Internet]. Internationally Peer Reviewed Chemical Safety Information (INCHEM). 1986. Disponible en:
<http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/v86pr08.htm>

265. Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. Perfil nacional de sustancias Químicas en Colombia [Internet]. 2012. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/sustancias_químicas_y_residuos_peligrosos/Perfil_Nacional_de_Sustancias_Quimicas_en_Colombia_2012.pdf
266. FAO. Pesticide residues in food-1997 [Internet]. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Disponible en: <http://www.fao.org/3/w8141e/w8141e0u.htm#TopOfPage>
267. Government of Canada. Pesticides and Pest Management [Internet]. Canada.ca. Disponible en: http://www.pmr-arla.gc.ca/english/pdf/rdd/rdd_e9202-e.pdf
268. Organización Mundial de la salud. Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas [Internet]. Informativa. Disponible en: https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/pesticides/es/
269. Comisión Europea dirección general centro común de investigación, Instituto de Prospectiva Tecnológica. Química inorgánica de gran volumen de producción: sólidos y otros productos [Internet]. 2006. Disponible en: [http://www.en.prtr-es.es/Data/images/Resumen%20ejecutivo%20PREF.%20Ind.%20Química%20Inorg.%20de%20gran%20volumen%20de%20producción%20\(sólidos%20y%20otros\)-C9A401F4F12A6C8B.pdf](http://www.en.prtr-es.es/Data/images/Resumen%20ejecutivo%20PREF.%20Ind.%20Química%20Inorg.%20de%20gran%20volumen%20de%20producción%20(sólidos%20y%20otros)-C9A401F4F12A6C8B.pdf)
270. Nacion. TRtransporte de mercancías peligrosas [Internet]. New York; 2011. 481 p. Disponible en: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/Spanish/Rev17_Volume1.pdf
271. PAN. Water quality standards, criteria and guidelines [Internet]. PAN Pesticide Database. Disponible en: http://www.pesticideinfo.org/Docs/ref_waterair2.html#MCL
272. Bolognesi C, Carrasquilla G, Volpi S, Solomon KR, Marshall EJP. Biomonitoring of genotoxic risk in agricultural workers from five colombian regions: association to occupational exposure to glyphosate. J Toxicol Environ Health A [Internet]. 2009;72(15-16):986-97. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19672767/>
273. Agency for toxic substances and disease registry. Guidance Manual [Internet]. 2005. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/MANUAL%20DE%20CALCULO%20DE%20RIESGO%20ASTRD.pdf>
274. Mc Kone T, Daniels J. Estimating Human Exposure Through multiple Pathways from air, water, and soil. Regulatory Toxicology and Pharmacology [Internet]. 1991;13(1):36-61. Disponible en: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/DOSIS%20EFECTIVA%20ARTICULO.pdf>

275. Bento CPM, Commelin MC, Baartman JEM, Yang X, Peters P, Mol HGJ, et al. Spatial glyphosate and AMPA redistribution on the soil surface driven by sediment transport processes – A flume experiment. *Environ Pollut.* marzo de 2018;234:1011-20.
276. Rashid B, Husnain T, Riazuddin S. Herbicides and Pesticides as Potential Pollutants: A Global Problem. En: Ashraf M, Ozturk M, Ahmad MSA, editores. *Plant Adaptation and Phytoremediation* [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2010 [citado 25 de febrero de 2020]. p. 427-47. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-90-481-9370-7_19
277. Helling CS. Eradication of coca in Colombia -2002. Results of the Colombia coca verification mission #9. 2003.
278. Bento CPM, Goossens D, Rezaei M, Riksen M, Mol HGJ, Ritsema CJ, et al. Glyphosate and AMPA distribution in wind-eroded sediment derived from loess soil. *Environ Pollut Barking Essex* 1987. enero de 2017;220(Pt B):1079-89.
279. de F Sousa MG, da Silva AC, Dos Santos Araújo R, Rigotto RM. Evaluation of the atmospheric contamination level for the use of herbicide glyphosate in the northeast region of Brazil. *Environ Monit Assess.* 4 de septiembre de 2019;191(10):604.
280. Environmental Protection Agency. User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD). 2019.
281. WRF-Chem Version 3.9.1.1 User's Guide. 2020.
282. Hewitt AJ, Solomon KR, Marshall EJP. Spray Droplet Size, Drift Potential, and Risks to Nontarget Organisms from Aerially Applied Glyphosate for Coca Control in Colombia. *J Toxicol Environ Health A.* 12 de agosto de 2009;72(15-16):921-9.
283. Department of Pesticide Regulation, editor. Estimation of Chlorpyrifos Horizontal Deposition and Air Concentrations for California Use Scenarios. 2016;39.
284. Nsibandé SA, Dabrowski JM, van der Walt E, Venter A, Forbes PBC. Validation of the AGDISP model for predicting airborne atrazine spray drift: A South African ground application case study. *Chemosphere.* noviembre de 2015;138:454-61.
285. B. K. Fritz, W. C. Hoffmann, W. E. Bagley. Effects of Spray Mixtures on Droplet Size under Aerial Application Conditions and Implications on Drift. *Appl Eng Agric.* 2009;26(1):21-9.
286. Hewitt AJ, Johnson DR, Fish JD, Hermansky CG, Valcore DL. Development of the Spray Drift Task force database for aerial applications. *Environ Toxicol Chem.* marzo de 2002;21(3):648-58.
287. 11. Teske ME, Bird SL, Esterly DM, Ray SL, Perry SG. A user's guide for AgDRIFT 2.0: A tiered approach for the assessment of spray drift of pesticides. 2002.

288. Bird SL, Perry SG, Ray SL, Teske ME. Evaluation of the AgDISP aerial spray algorithms in the AgDRIFT model. *Environ Toxicol Chem.* marzo de 2002;21(3):672-81.
289. Luo Y, Zhang M. Management-oriented sensitivity analysis for pesticide transport in watershed-scale water quality modeling using SWAT. *Environ Pollut.* diciembre de 2009;157(12):3370-8.
290. swatuserman.pdf [Internet]. [citado 16 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://swat.tamu.edu/media/1294/swatuserman.pdf>
291. Holvoet K, van Griensven A, Gevaert V, Seuntjens P, Vanrolleghem PA. Modifications to the SWAT code for modelling direct pesticide losses. *Environ Model Softw.* enero de 2008;23(1):72-81.
292. Abbasi Y, Mannaerts CM, Makau W. Modeling Pesticide and Sediment Transport in the Malewa River Basin (Kenya) Using SWAT. *Water.* 7 de enero de 2019;11(1):87.
293. Janney P, Jenkins J. A Systems Approach to Modeling Watershed Ecohydrology and Pesticide Transport. *J Environ Qual.* 2019;48(4):1047-56.
294. Bautista-Ávalos D, Cruz-Cárdenas G, Moncayo-Estrada R, García JTS. APLICACIÓN DEL MODELO SWAT PARA EVALUAR LA CONTAMINACIÓN POR FUENTES DIFUSAS EN LA SUBCUENCA DEL LAGO DE CHAPALA, MÉXICO. :12.
295. P. W. Gassman, J. R. Williams, X. Wang, A. Saleh, E. Osei, L. M. Hauck, et al. Invited Review Article: The Agricultural Policy/Environmental eXtender (APEX) Model: An Emerging Tool for Landscape and Watershed Environmental Analyses. *Trans ASABE.* 2010;53(3):711-40.
296. Teske ME, Bird SL, Esterly DM, Curbishley TB, Ray SL, Perry SG. AgDrift®: A model for estimating near-field spray drift from aerial applications. *Environ Toxicol Chem.* marzo de 2002;21(3):659-71.
297. Katrina White, Charles Peck, Mark Corbin. Guidance on Modeling Offsite Deposition of Pesticides Via Spray Drift for Ecological and Drinking Water Assessments. 2013.
298. Office of Pesticide Programs Office of Prevention, Pesticides, and Toxic Substances U.S. Environmental Protection Agency. Residential Exposure Assessment Standard Operating Procedures Addenda 1: Consideration of Spray Drift. 2013.
299. Alves GS, Cunha JPAR da. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. *Pesqui Agropecuária Bras* [Internet]. agosto de 2014 [citado 14 de marzo de 2020];49(8):622-9. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2014000800622&lng=en&tlng=en

300. Daniel Morgan Caldwell. Quantification of Spray Drift from Aerial Applications of Pesticide. [Saskatoon, SK]: University of Saskatchewan; 2006.
301. Alves GS, Cunha JPAR da. Field data and prediction models of pesticide spray drift on coffee crop. *Pesqui Agropecuária Bras.* agosto de 2014;49(8):622-9.
302. Hewitt A, Valcore D, Barry T. Analyses of Equipment, Meteorology and Other Factors Affecting Drift from Applications of Sprays by Ground Rig Sprayers. En: Viets A, Tann R, Mueninghoff J, editores. *Pesticide Formulations and Application Systems: Twentieth Volume* [Internet]. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959: ASTM International; 2001 [citado 15 de marzo de 2020]. p. 44-44-13. Disponible en: <http://www.astm.org/doiLink.cgi?STP10433S>
303. Pedro Daniel Leiva. Inversión Térmica, meso meteorología aplicada a la reducción de deriva en pulverizaciones aéreas.
304. Sedano CG, Aguirre CA, Brizuela AB. Numerical simulation of spray ejection from a nozzle for herbicide application: Comparison of drag coefficient expressions. *Comput Electron Agric* [Internet]. febrero de 2019 [citado 14 de marzo de 2020];157:136-45. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169918301595>
305. Sedano CG, Aguirre CA, Brizuela AB. Numerical simulation of spray ejection from a nozzle for herbicide application: Comparison of drag coefficient expressions. *Comput Electron Agric.* febrero de 2019;157:136-45.
306. Baetens K, Nuyttens D, Verboven P, De Schamphelre M, Nicolai B, Ramon H. Predicting drift from field spraying by means of a 3D computational fluid dynamics model. *Comput Electron Agric* [Internet]. abril de 2007 [citado 17 de marzo de 2020];56(2):161-73. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169907000300>
307. R. A. Leonard, W. G. Knisel, D. A. Still. GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems. *Trans ASAE.* 1987;30(5):1403-18.
308. Li, Travlos, Qi, Kanatas, Wang. Optimization of Herbicide Use: Study on Spreading and Evaporation Characteristics of Glyphosate-Organic Silicone Mixture Droplets on Weed Leaves. *Agronomy.* 12 de septiembre de 2019;9(9):547.
309. Castro EB, Carbonari CA, Velini ED, Gomes GLGC, Belapart D. Influence of Adjuvants on the Surface Tension, Deposition and Effectiveness of Herbicides on Fleabane Plants. *Planta Daninha* [Internet]. 3 de septiembre de 2018 [citado 13 de marzo de 2020];36(0). Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582018000100267&lng=en&tlng=en
310. Hao Y, Zhang N, Xu W, Gao J, Zhang Y, Tao L. A natural adjuvant shows the ability to improve the effectiveness of glyphosate application. *J Pestic Sci.* 20 de mayo de 2019;44(2):106-11.

311. Wang R, Yuan Y, Yen H, Grieneisen M, Arnold J, Wang D, et al. A review of pesticide fate and transport simulation at watershed level using SWAT: Current status and research concerns. *Sci Total Environ.* junio de 2019;669:512-26.
312. Abbasi Y, Mannaerts CM, Makau W. Modeling Pesticide and Sediment Transport in the Malewa River Basin (Kenya) Using SWAT. *Water.* 7 de enero de 2019;11(1):87.
313. FEDEARROZ. La genética arroceras [Internet]. ARROZ; 2011. Disponible en: <http://www.fedearroz.com.co/revistanew/arroz495.pdf>
314. Mazouz Z, Rahali S, Fourati N, Zerrouki C, Aloui N, Seydou M, et al. Highly Selective Polypyrrole MIP-Based Gravimetric and Electrochemical Sensors for Picomolar Detection of Glyphosate. *Sensors* [Internet]. 9 de noviembre de 2017 [citado 19 de mayo de 2020];17(11):2586. Disponible en: <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/11/2586>
315. Zouaoui F, Bourouina-Bacha S, Bourouina M, Abroa-Nemeir I, Ben Halima H, Gallardo-Gonzalez J, et al. Electrochemical impedance spectroscopy determination of glyphosate using a molecularly imprinted chitosan. *Sens Actuators B Chem* [Internet]. abril de 2020 [citado 19 de mayo de 2020];309:127753. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925400520301003>
316. Ministerio de Salud y Protección social, OPS, Convenio de cooperación técnica N° 310/13. Modelo de fuerzas motrices en el marco de la dimensión de salud ambiental del plan decenal de salud pública 2012-2021 [Internet]. 2014. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/modelo-de-fuerzas-motrices-en-el-marco-de-la-dimension-de-salud-ambiental-del-plan-decenal-de-salud-publica-2012-2021.pdf>
317. Gobernación del Meta, Secretaría social y Régimen Subsidiado. Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud -Meta 2018 [Internet]. 2018. Disponible en: file:///C:/Users/usuario/Downloads/ASIS_Mapiripan_2018.pdf
318. Gobernación del Meta. Departamento del Meta [Internet]. Al servicio de la gente. 2020. Disponible en: <https://meta.gov.co/>
319. Ministerio de salud y protección social. Análisis de Situación de Salud (ASIS) [Internet]. [citado 22 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/epidemiologia/Paginas/analisis-de-situacion-de-salud-.aspx>
320. Alcaldía de Mapiripan Meta. Análisis de situación de salud del municipio con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud del Municipio de Mapiripán Meta 2018 [Internet]. 2018. Disponible en: file:///C:/Users/usuario/Downloads/ASIS_Mapiripan_2018.pdf
321. DANE. Proyecciones poblacionales DANE.

322. Alcaldía municipal La Macarena. Analisis de situación de salud del municipio con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud del Municipio de La Macarena-Meta 2018 [Internet]. 2018. Disponible en:
file:///C:/Users/usuario/Downloads/ASIS_La%20Macarena_2018.pdf
323. Alcaldia de Puerto Rico-Meta. Analisis de situación de salud del municipio con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud del Municipio Puerto Rico- Meta 2018 [Internet]. 2018. Disponible en:
file:///C:/Users/usuario/Downloads/ASIS_Puerto%20Rico_2018.pdf
324. Alcaldia de Vista Hermosa. Analisis de situación de salud del municipio con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud del Municipio Vista Hermosa- Meta 2018 [Internet]. 2018. Disponible en:
file:///C:/Users/usuario/Downloads/ASIS_Vistahermosa_2018.pdf
325. Alcaldia de Puerto Concordia. Analisis de situación de salud del municipio con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud «Honestidad y compromiso por Concordia» del Municipio Puerto Concordia-Meta 2018 [Internet]. 2018. Disponible en: file:///C:/Users/usuario/Downloads/ASIS_Puerto%20Concordia%202018.pdf
326. Alcaldía de Puerto Lleras-Meta. Analisis de situación de salud del municipio con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud del Municipio de Puerto Lleras- Meta 2018 [Internet]. 2018. Disponible en:
file:///C:/Users/usuario/Downloads/ASIS_Mapiripan_2018.pdf
327. Unidad Local de Salud de El Retorno, Secretaría Departamental de Salud del Guaviare, Grupo de vigilancia y análisis del riesgo en Salud pública. Análisis de Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud Municipio del El Retorno - Guaviare. 2018.
328. Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. Resultados Censo Nacional de Población y vivienda 2018 [Internet]. Disponible en:
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>
329. TodaColombia, la cara amable de Colombia. [Internet]. Disponible en:
<https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/guaviare/index.html>
330. Alcaldía municipal, Secretaria de Gobierno y Administrativa. Análisis de Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud Municipio de Calamar, Guaviare. 2018.
331. Contraloría General del Departamento del Guaviare. Informe sobre el estado del Medio Ambiente y los recursos naturales del departamento del Guaviare y sus municipios vigencia 2015. 2016.
332. Coordinación de salud municipal. Análisis de Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de la Salud, Miraflores, Guaviare. 2018.

333. Departamento Administrativo de Planeación Guaviare. DATOS Y CIFRAS 2017 [Internet]. 2017. Disponible en: https://guaviare.micolombiadigital.gov.co/sites/guaviare/content/files/000513/25611_datos-y-cifras-2017.pdf
334. Departamento Administrativo de Planeación Guaviare. Censo general 2005 [Internet]. 2005. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>
335. Secretaría Municipal de Salud de San José de Guaviar. Análisis de Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de Salud Municipio de San José del Guaviare, Guaviare. 2018.
336. Weather Spark mapa interactivo. El clima promedio en San José del Guaviare Colombia [Internet]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/25242/Clima-promedio-en-San-José-del-Guaviare-Colombia-durante-todo-el-año>
337. Gobernación de Vichada. Nuestro departamento [Internet]. Disponible en: <http://www.vichada.gov.co/departamento/nuestro-departamento>
338. Secretaria de Desarrollo Social. Análisis de Situación de Salud con el Modelo de los Determinantes Sociales de la Salud, Cumaribo, Vichada. 2018.
339. Alcaldía Municipal. Plan de Desarrollo Municipal, Municipio de Cumaribo, Vichada. 2016 - 2019 [Internet]. 2016. Disponible en: https://ceo.uniandes.edu.co/images/Documentos/Cumaribo_Plan_de Desarrallo_Municipal_2016-2019.pdf
340. International Agency for Research on Cancer-OMS. Global cancer observatory [Internet]. Disponible en: <https://gco.iarc.fr/>
341. Instituto Nacional de cancerología ESE. Análisis de situación de cancer en Colombia [Internet]. Bogotá, D.C. Colombia: Instituto Nacional de Cancerología ESE; 2017; 2015. Disponible en: https://www.cancer.gov.co/Situacion_del_Cancer_en_Colombia_2015.pdf
342. Raghavan J, Rajan S. Influence of physical and chemical cleaning on pulverized coal combustion and emission characteristics. Process Util High-Sulfur Coals II YP Chugh RD CaudleEds Elsevier Sci Publ BV. 1987;513-22.
343. Pilch M, Erdman C. Use of breakup time data and velocity history data to predict the maximum size of stable fragments for acceleration-induced breakup of a liquid drop. Int J Multiph Flow. 1987;13(6):741-57.
344. Hewitt A, Valcore D, Barry T. Analyses of Equipment, Meteorology and Other Factors Affecting Drift from Applications of Sprays by Ground Rig Sprayers. En: Viets A, Tann R, Mueninghoff J, editores. Pesticide Formulations and Application Systems: Twentieth Volume [Internet]. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West

- Conshohocken, PA 19428-2959: ASTM International; 2001 [citado 15 de marzo de 2020]. p. 44-44-13. Disponible en: <http://www.astm.org/doiLink.cgi?STP10433S>
345. Fritz B, Hoffmann W, Lan Y, Thomson S, Huang Y. Low-level atmospheric temperature inversion: Characteristics and impacts on agricultural applications. *Agric Eng Int CIGR EJournal X* PM-08-001. 2008;
346. Miller FL, Cawley AJ, Choquette LP, Broughton E. Radiographic examination of mandibular lesions in barren-ground caribou. *J Wildl Dis.* octubre de 1975;11(4):465-70.
347. Huang Y, Zhan W, Fritz B, Thomson S, Fang A, Lindsay AD, et al. Analysis of Impact of Various Factors on Downwind Deposition Using a Simulation Method. *J ASTM Int* [Internet]. 2010 [citado 14 de marzo de 2020];7(6):102771. Disponible en: <http://www.astm.org/doiLink.cgi?JAI102771>
348. Phillips J, Miller P. Field and wind tunnel measurements of the airborne spray volume downwind of single flat-fan nozzles. *J Agric Eng Res.* 1999;72(2):161-70.
349. Organizacion Panamericana de la Salud, area de desarrollo sostenible y salud ambiental. Comunicación de riesgos: introducción [Internet]. Disponible en: https://www.toxicologia.org.ar/actividadesold/stop/pdf/6_jcastro.pdf
350. Varona M, Henao G, Lancheros A, Murcia Á, Díaz S, Morato R, et al. Factores de exposición a plaguicidas organofosforados y carbamatos en el departamento del Putumayo, 2006. *Biomédica.* 2007;27(3):400-9.
351. Corte Constitucional. Sentencia 236 de 2017 [Internet]. 236 de 2017 abr 21, 2017. Disponible en: http://legal.legis.com.co/document/Index?obra=jurcol&document=jurcol_683d91a64b734ea7a29babace1ae0db5
352. Klimisch HJ, Andreae M, Tillmann U. A systematic approach for evaluating the quality of experimental toxicological and ecotoxicological data. *Regul Toxicol Pharmacol RTP.* febrero de 1997;25(1):1-5.
353. Chapman PM. Environmental quality benchmarks-the good, the bad, and the ugly. *Environ Sci Pollut Res Int.* febrero de 2018;25(4):3043-6.
354. Hobbs DA, Warne MSJ, Markich SJ. Evaluation of criteria used to assess the quality of aquatic toxicity data. *Integr Environ Assess Manag.* julio de 2005;1(3):174-80.
355. Pullin AS, Stewart GB. Guidelines for Systematic Review in Conservation and Environmental Management. *Conserv Biol* [Internet]. diciembre de 2006 [citado 23 de abril de 2020];20(6):1647-56. Disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1523-1739.2006.00485.x>

356. Higgins JP, Savović J, Page MJ, Elbers RG, Sterne JA. Assessing risk of bias in a randomized trial. En: Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, et al., editores. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions [Internet]. 1.^a ed. Wiley; 2019 [citado 23 de abril de 2020]. p. 205-28. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119536604.ch8>
357. Bilotta GS, Milner AM, Boyd IL. Quality assessment tools for evidence from environmental science. Environ Evid [Internet]. 2014 [citado 23 de abril de 2020];3(1):14. Disponible en: <http://environmentalevidencejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/2047-2382-3-14>

Anexo 1. Protocolo de Búsqueda de Literatura-Identificación y caracterización del peligro

1. Título

**Revisión sistemática de información para la “Evaluación de riesgos para la salud humana, con énfasis en la evaluación de riesgo, derivado de la ejecución del programa de erradicación de cultivos de uso ilícito por aspersión área en Colombia”.
Requerimiento específico de Sentencia T 236 de 2017**

2. Resumen estructurado

Antecedentes: estudios que presenten una descripción detallada sobre el plaguicida estudiado, así como su impacto en la salud humana y ambiental.

Fuente de datos, donde se especifique de donde se obtuvo la información y aspectos como proceso de obtención, tipo de base de datos consultados, herramienta para la estimación y análisis de información recuperada. Se utilizarán fuentes secundarias para la recopilación de la información; revisiones a estudios originales, específicamente ensayos clínicos aleatorizados controlados y estudios de cohorte. De igual manera, se tiene en cuenta la validación de parámetros a través de búsqueda en las bases de datos nacionales u otros estudios que puedan aportar a la búsqueda.

El tópico principal es Glifosato y otros plaguicidas utilizados en la aspersión de cultivos ilícitos, pero se incluirán aspectos como salud humana, salud ambiental, exposición natural y ocupacional.

Los resultados de este tipo de estudio, aportarán a la evaluación de riesgos, identificación de factores de exposición, prevalencia de enfermedades que pudieran estar relacionadas con la exposición al plaguicida y construcción de estrategias de control y mitigación en caso de comprobarse una afectación a la salud humana por la exposición a Glifosato y otras fórmulas por diferentes fuentes.

3. Justificación

Dada la evidencia científica y la preservación de la incertidumbre manifiesta por la corte constitucional en la sentencia 236 de 2017, en cuanto a la afectación a la salud humana en el territorio nacional como producto de la exposición a glifosato y otras fórmulas utilizadas en la aspersión para cultivos ilícitos; así como las constantes protestas de las comunidades ubicadas en el área de influencia de las actividades de aspersión, acerca del efecto que puede tener a largo plazo esta práctica de control de malezas y cultivos sobre la salud propia; este estudio se reviste de importancia, toda vez que la misma resolución (T236/2017) plantea la necesidad de comprobar en espacios del territorio nacional si existe afectación o no y cuál es el nivel del riesgo para las personas habitantes de diferentes regiones, de continuarse con esta práctica(351).

Si bien es cierto, que diferentes estudios presentan algunas controversias al respecto, también es cierto que pocas son las investigaciones realizadas donde se busca evaluar el nivel de riesgo

en población humana y sobre todo la vía de exposición (inhalatoria, oral o dérmica); sin contar en Colombia con este tipo de evidencia real.

El proceso de identificación y análisis de riesgo, utilizando un modelo de evaluación que permita ponderar y priorizar aquellos factores de exposición que pueden ser los más nocivos para la salud humana y de alguna manera afectar ambientalmente las poblaciones y el medio donde viven, otorga una oportunidad, sobre la evidencia científica, para proponer, diseñar y desarrollar medidas de mitigación, comunicación del riesgo y a mediano o largo plazo.

Esta propuesta, se anida principalmente en el requerimiento específico de la sentencia T236 de 2017, con un aspecto prioritario para la presidencia de la república; de igual forma, se articula directamente con lineamientos nacionales como la ley 1751 de 2015 (ley estatutaria en salud), el plan nacional de desarrollo, plan decenal de salud pública, el nuevo modelo de atención integral de atención en salud territorial y todas las demás directrices nacionales que orienten sus contenidos al mejoramiento de las condiciones de vida y salud de la población Colombiana.

4. Objetivos

Con la recuperación de los documentos, se busca dar respuesta a:

Descripción de los componentes del PICO

P	Habitantes de la región de la Orinoquia y demás departamentos colombianos donde se realizan las actividades de aspersión aérea con Glifosato y otros plaguicidas
I	Aspersión con glifosato sobre cultivos
Co	Otros plaguicidas (formulas) utilizados para aspersión
R	Información sobre afectación del glifosato y demás fórmulas a la salud humana, salud ambiental, factores de riesgo, evaluación del riesgo por exposición a Glifosato

Fuente: (235)Da costa Santos C, Pimienta de Mattos C, Cuce Nobre M. Estrategia PICO para la construcción de la pregunta de investigación y la búsqueda de evidencias. Rev Latino-amEnfermagem [Internet]. 2007 [citado 15 de abril de 2017]; 15(3). Disponible en: http://www.scielo.br/pdf/rlae/v15n3/es_v15n3a23.pdf

Los estudios incluidos son revisiones sistemáticas, meta-análisis y revisiones a estudios originales como ensayos clínicos aleatorizados y controlados, estudios de cohorte.

5. Método

Protocolo y registro

No se cuenta con la información sobre existencia y/o disponibilidad de algún protocolo de revisión en Colombia en el tema de Glifosato y otras fórmulas utilizadas para la aspersión y su afectación a la salud humana.

6. Criterios de elegibilidad o de búsqueda de información

Los estudios incluidos son:

- Revisiones sistemáticas y/o meta-análisis que den respuesta a la pregunta PICO

- Ensayos clínicos aleatorizados y controlados y estudios de cohorte, que abarquen componentes como población, intervención, medidas de asociación, resultados y conclusiones; y que sean útiles para validar la información recuperada en las revisiones sistemáticas.
- Publicaciones entre el año 2009 y 2019, partiendo de los estudios recuperados en la revisión del estado del arte.
- Estudios realizados únicamente en población humana.
- Idioma inglés, español, portugués, francés y chino mandarín; buscando controlar el sesgo de selección por idioma en los documentos y alcanzar el principio de exhaustividad.
- Artículos con acceso a texto completo y/o libre, abstracts que proporcionen la información necesaria para la evaluación de riesgos.

7. Fuentes de información

Se emplea fuente de información secundaria, recurriendo a bases de datos documentales y factuales, arbitradas y validadas por la comunidad científica que permitan acceso a la información relevante, se cuenta con:

- Revisión de las bases de datos: MEDLINE, ORGANIZACIÓN COCHRANE, SCIELO Y SCIENCE DIRECT, SCOPUS.
- Revisión de bases de datos nacionales (factual) como SISPRO, BDUA, SIVIGILA, UMATA, FORENSIS, y demás repositorios que aporten datos para la estimación y evaluación de riesgos.
- Otras fuentes se revisarán, como búsquedas manuales en Google académico con los términos "*glyphosate health effects*" y "*glyphosate toxicity*" humans; se buscará también en Dial net, Open gray, Worldcat, usando los mismos términos.
- Revisión con expertos temáticos y prácticos sobre el tema de aspersión en Colombia.

8. Búsqueda

Se presenta como ejemplo, la estrategia de búsqueda en MEDLINE, utilizada para la recuperación de información relacionada con el tema:

- Descriptores controlados (MESH) relacionados con la pregunta PICO: (glyphosate) AND health AND Humans
 - (DECS) relacionados con la pregunta PICO:
 - Glifosato, toxicidad, genotoxicidad, toxico-dinámica, toxicocinético, efectos en salud, exposición ambiental.
 - Como palabras y/o términos claves: glyphosate, Cosmo-flux spray, linear and aryl polyethoxylates, ethoxylated tallow amines, glyphosate-adjuvant ingredients, glyphosate-buffer zone, Roundup Ultra AMPA (Aminomethylphosphonic acid), monitoring, endocrine disruption, ecotoxicology, carcinogenicity, genotoxicity, genetic mutations, malformations, chromosomal damage, respiratory system, linfatic system, reproductive system, dermatology system, neurotoxicity system, round up, workers exposed, poisoned workers.
- Además: glyphosate and aermod or modflow or euses model

8.1 Operadores booleanos

Para las combinaciones entre los descriptores, los operadores booleanos utilizados entre los descriptores son: AND, OR, y NOT.

Los límites establecidos para la búsqueda son:

-Ensayos clínicos aleatorizados, revisiones sistemáticas, acceso a texto completo, publicados entre 2009 y 2019.

Ejemplos descriptores de disminución o restricción: (glyphosate) AND health AND Humans

Ejemplo para descriptores de unión o adición: (glyphosate) OR health Humans

The screenshot shows the PubMed search results page. The search query is '((glyphosate) AND health) AND humans'. The results are sorted by 'Most recent' and show 1 to 20 of 221 items. The first three results are listed:

- Female Preference and Adverse Developmental Effects of Glyphosate-Based Herbicides on Ecologically Relevant Traits in Japanese Quails.**
Ruuskanen S, Rainio MJ, Kuosmanen V, Laiho M, Salkkonen K, Saloniemi I, Helander M. Environ Sci Technol. 2020 Jan 6. doi: 10.1021/acs.est.9b07331. [Epub ahead of print]
PMID: 31860275
[Similar articles](#)
- Some Organophosphate Insecticides and Herbicides.**
IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer; 2017.
PMID: 31829533 [Free Books & Documents](#)
[Similar articles](#)
- Systematic review of comparative studies assessing the toxicity of pesticide active ingredients and their product formulations.**
Nagy K, Duca RC, Lovas S, Creta M, Scheepers PTJ, Godderis L, Ádám B. Environ Res. 2019 Nov 20;108926. doi: 10.1016/j.envres.2019.108926. [Epub ahead of print]
PMID: 31791711
[Similar articles](#)

The search details section shows the query: '((("glyphosate"[Supplementary Concept] OR "glyphosate"[All Fields]) OR "glyphosate"[All Fields]) AND ("health"[MeSH Terms] OR "health"[All Fields])) AND ("humans"[MeSH

Palabras claves para e x | Advanced search - P x | "glyphosate health eff x | "glyphosate toxicity" h x | Advanced Search | Co x | LILACS x | LILACS - Resultado p x | +

← → ↻ | cochranelibrary.com/advanced-search?q=*t=6 | En pausa

Cochrane Reviews ▾ Trials ▾ Clinical Answers ▾ About ▾ Help ▾ About Cochrane ▸

Advanced Search

Search Search manager Medical terms (MeSH) PICO search^{BETA}

Save search View saved searches Search help

Did you know you can now select fields from Search manager using the **S** button (next to the search box)?
Search manager lets you add unlimited search lines, view results per line and access the MeSH browser using the new **MeSH** button.

All Text glyphosate

(Word variations have been searched)

+ Search limits Send to search manager Run search

Clear all

Filter your results

Date **1**

Publication date

The last 3 months..... 0

The last 6 months..... 0

The last 9 months..... 0

Cochrane Reviews 1

Cochrane Protocols 0

Trials 10

Editorials 0

Special collections 0

Clinical Answers 0

Other Reviews

1 Cochrane Review matching **glyphosate** in All Text - (Word variations have been searched)

Cochrane Database of Systematic Reviews

Issue 1 of 12, January 2020

Select all (1) Export selected citation(s) Show all previews

Order by Relevancy

Results per page 25

1 Topical and systemic antifungal therapy for chronic rhinosinuitis

Palabras claves para e x | Advanced search - P x | "glyphosate health eff x | "glyphosate toxicity" h x | Advanced Search | Co x | LILACS x | LILACS - Resultado p x | +

← → ↻ | No seguro | bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/ | En pausa

bvs
biblioteca
virtual em saúde

Pesquisa em bases de dados

Base de dados : LILACS

Pesquisa : glifosato [Palavras] and salud [Palavras]

Referências encontradas : 16 [refinar]

Mostrando: 1 .. 10 no formato [Detalhado]

página 1 de 2 ir para página 2

1 / 16 LILACS

seleciona para imprimir Fotocópia Texto completo

Id: biblio-1022960

Autor: Bernal Villegas, Jaime(ed).

Título: Glifosato: Complejo asunto / Glyphosate: Complex issue

Fonte: Medicina (Bogotá);41(3(126)):211-212, 2019.

Idioma: es.

Resumo: En el año 2015, la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC), de la Organización Mundial de la Salud, identificó al glifosato, el herbicida más usado en el mundo, como "probablemente carcinogénico en humanos", generando amplias discusiones a nivel global entre las varias agencias evaluadoras de la salud humana.

In 2015, the International Agency for Research on Cancer (IARC), of the Organization World Health, identified glyphosate, the most used herbicide in the world, as "probably carcinogenic in humans", generating very wide Global discussions among the various human health assessment agencies.

Descritores: Estudos Populacionais em Saúde Pública

Limites: Seres Humanos

Tipo de Publ: Editorial

Responsável: CO102.1 - Biblioteca Jorge E. Caveller

2 / 16 LILACS

seleciona para imprimir Fotocópia Texto completo

Id: biblio-962586

Autor: Oliveira, Luã Kramer de; Pignatti, Wanderlei; Pignatti, Marta Gislene; Beserra, Lucimara; Leão, Luis Henrique da Costa.

Título: Processo sócio-sanitário-ambiental da poluição por agrotóxicos na bacia dos rios Juruena, Tapajós e Amazonas em Mato Grosso, Brasil / Socio-sanitary-environmental process of pesticides in the basin of the rivers Juruena, Tapajós and Amazonas in Mato Grosso, Brazil

Fonte: Saúde Soc;37(3):673-687, jul 2018. Ind. Conf.

Open Grey System for Information on Grey Literature in Europe

Refine your search

- person
 - GUEDRI, Houssemeddine (2)
 - Muir, G.M. (1)
 - Dick, R.E. (1)
 - Oliver, R.G. (1)
 - Mason, D. (1)
 - Griffiths, T. (1)
 - Ivanova, Elena Petrovna (1)
 - Skark, C. (Institut fuer ... (1)
 - Zullei-Seibert, N. (1)
 - Mitchell, B. (1)
- organization
 - Universite de Caen (4)
 - Glasgow Univ. (United Kin... (2)
 - Queen's Univ. Belfast (U... (2)
 - Institut national des sci... (2)
 - Advisory Committee on Nov... (1)
 - Home Grown Cereals Author... (1)
 - Teagasc, Dublin (Ireland)... (1)
 - DVGW-Technologiezentrum W... (1)
 - Arbeitsgemeinschaft Rhein... (1)
 - Umweltbundesamt, Berlin (... (1)
- discipline
 - 06F - Ecology (8)
 - 06V - Genetics, cytology... (7)
 - 02D - Agronomy, crop prod... (7)
 - 060 - Biological and medi... (5)
 - 02A - Agricultural chemis... (5)
 - 08E - Medicine (4)
 - 070 - Chemistry, general (4)
 - 06O - Pharmacology, pharm... (2)
 - 03D - Land pollution, sol... (2)
 - 03C - Water pollution, ol... (2)
- keyword

glyphosate

Results: 1 - 10 of 46

Associated Terms

- Agricultural chemistry (4)
- Crop diseases (3)

Selection of chicory (*Cichorium intybus* L. var. Madgebourg) ...
Sellin, Claudine ;
1991 ; U - Thesis

Studies on uptake mechanisms of two phloem-mobile herbicides ...
Elibaoui, Hamid ;
1987 ; U - Thesis

Application of fluorescence detection in the environmental ...
Gernikettes, T.H. ;
1995 ; U - Thesis

Occurrence of pesticide contamination in a drinking water ...
Skark, C. (Institut fuer Wasserforschung GmbH, Schwerte (Germany)); Zullei-Seibert, N. ;
1999 ; R - Report

57th report of the Arbeitsgemeinschaft Rhein-Wasserwerke e.V. ...
2001 ; N - Numeric data

THE PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF THE GLYPHOSATE EFFECT ON THE COMMON ...
Bubnova, Elena Anatolevna ;
1995 ; U - Thesis

USING THE IMMUNOFERMENT METHOD OF ANALYSIS OF PHYTOHORMONES FOR ...
Ivanova, Elena Petrovna ;
1992 ; U - Thesis

Dialnet

Buscar | Revistas | Tesis | Congresos

Buscar documentos

glifosato AND salud

18 documentos encontrados

Filtros

- Tipo de documento
 - Artículo de revista (15)
 - Tesis (3)

Relevancia | 20

El glifosato: Su uso e implicaciones en la salud humana
Giovanny Patricio Velástegui Espín, Nelly Del Pilar Pazmiño Miranda, Carlos Vásquez
Journal of the Selva Andina Biosphere, ISSN-e 2308-3859, ISSN 2308-3867, Vol. 6, N° 2, 2018 (Ejemplar dedicado a: Publicado Noviembre 2018), págs. 86-88
Resumen | Texto completo

Europa descarta que el glifosato sea cancerígeno
Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal, ISSN 1131-8988, N° 289, 2017, págs. 14-14
Resumen

Determinación voltamétrica de paraquat y glifosato en aguas superficiales
William Roberto Alza Camacho, José Mauricio García Colmenares, Sandra Patricia Chaparro Acuña
Ciencia y Tecnología Agropecuaria, ISSN-e 0122-8706, Vol. 17, N° 3, 2016, págs. 331-345
Resumen | Texto completo

Medios y política en la Argentina: las disputas interpretativas sobre la soja transgénica y el glifosato
Renata Motta, Nadia Alasino
Question, ISSN-e 1669-6581, Vol. 1, N° 38, 2013
Resumen | Texto completo

Un estudio sobre la eficacia del glifosato en el control de *Amaranthus palmeri*, XII Premio SEMH-PHYTOMA
Gustavo Bueso
Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal, ISSN 1131-8988, N° 313, 2019 (Ejemplar dedicado a: 40ª Jornadas de productos fitosanitarios), págs. 14-15
Resumen

Fundación Dialnet

Identificarse
¿Es nuevo? Regístrate

Ventajas de registrarse

Dialnet plus

Palabras claves para el Proyecto: x | Search OpenGrey x | Buscar: glifosato AND salud - l x | Resultados para "kw:"glyphosate x | +

← → ↻ worldcat.org/search?q=kw%3A"glyphosate+toxicity"&&dblist=638&fq=

Inicio ▾ | Buscar en el catálogo de ▾

Este sitio usa cookies. Al seguir usando este sitio, acepta la colocación por OCLC de cookies en su aparato. [Encontrar más sobre.](#)

WorldCat

[Búsqueda avanzada](#) [Encontrar una biblioteca](#)

Buscar resultados de "kw:"glyphosate toxicity"

Contenido abierto

☐ Acceso Abierto

Formato

☒ Todos los formatos (318)

☐ Artículo (298)

☐ Artículo descargable (20)

☐ Capítulo (7)

☐ Material de archivo descargable (10)

☐ Libro (9)

☐ Tesis/dissertación (6)

☐ Libro-e (1)

☐ Libro impreso (1)

☐ Archivo de computadora (1)

Refinar su búsqueda

Autor

[김태완](#) (6)

[Nalewaja John D](#) (5)

[Tarazona Jose Y](#) (5)

[Pardue Cristobal...](#) (4)

[Tarazona J V](#) (4)

[Mostrar más...](#)

Año

[2019](#) (42)

[2018](#) (29)

[2017](#) (36)

Resultados 1-10 de alrededor de 318 (28 segundos)

[Seleccionar todo](#) [Borrar todo](#) Guardar en:

Ordenar por:

1. [Glyphosate](#)
Autor: Ron Quinn
Libro-e : Documento [Ver todos los formatos e idiomas >](#)
Idioma: Inglés (eng)
Editorial: New York : Nova Science Publishers, Incorporated, 2018.
[Ediciones y formatos >](#)

2. [Glyphosate Toxicity : III. Detection of QB Protein in Thylakoid Membrane of Tomato Apical Meristem Using and Antibody Raised from Hybrid Protein of psb A and lac Z Gene](#)
Autor: Tae Wan Kim; Nikolaus Amrhein
Artículo
Idioma: English
Fuente: 한국잡초학회지 (韓國雜草學會誌) v15 n3 (19950801): 206-213

3. [Glyphosate Toxicity : II. EPSP-synthase Activity in Cell Suspension Culture of Corydalis Sempervirens and Lycopersicon Esculentum](#)
Autor: Tae Wan Kim; Nikolaus Amrhein
Artículo
Idioma: English
Fuente: 한국잡초학회지 (韓國雜草學會誌) v15 n2 (19950501): 148-153

4. [Glyphosate Toxicity : I. Long Term Analysis of Shikimo Acid Accumulation and Chlorophyll Degradation in Tomato Plant](#)

Las páginas web de OCLC almacenan cookies en su dispositivo para mejorar su experiencia de usuario. Vea nuestro [Aviso de cookies](#) para obtener más información. [Aviso sobre](#)

<https://policies.oclc.org/privacy/cookie-statement.html>

Palabras claves para el Proyecto: x | Advanced search - PubMed x | "glyphosate health effects" x | "glyphosate toxicity" x | Advanced Search | Co x | LILACS x | LILACS - Resultado de búsqueda x | +

← → ↻ scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q="glyphosate+health+effects"+&btnG=

Google Scholar

Articles 12 results (0.13 sec) My profile My library

Any time

Since 2020

Since 2019

Since 2016

Custom range...

Sort by relevance

Sort by date

☒ include patents

☒ include citations

☐ Create alert

[HTML] [Glyphosate: too much of a good thing?](#)
[M Cuhra](#), [T Behn](#), P Cuhra - *Frontiers in Environmental Science*, 2016 - frontiersin.org
... For regulatory assessment of **glyphosate health effects** by US Food and Drug Administration (US-FDA) and parallel regulatory assessment of glyphosate ecotoxicity by US Environmental Protection Agency (US-EPA), the manufacturer carried out a wide range of laboratory ...
☆ [Cited by 40](#) [Related articles](#) [All 8 versions](#) [Open](#)

[PDF] [Pesticide application among farmers in the catchment of Ashaiman irrigation scheme of Ghana: health implications](#)
[MM Mattah](#), [PBO Mattah](#), G Futaghi - *Journal of environmental and ...*, 2015 - hindawi.com
... 113, no. 1, pp. 49-54, 2005. View at Publisher · View at Google Scholar · View at Scopus;
Gut-Wrenching New Studies Reveal the Insidious Effects of Glyphosate, June 2015,
<http://articles.mercola.com/sites/articles/archive/2014/04/15/glyphosate-health-effects.aspx> ...
☆ [Cited by 20](#) [Related articles](#) [All 13 versions](#) [Open](#)

[PDF] [Monsanto's roundup triggers over 40 plant diseases and endangers human and animal health](#)
JM Smith - URL <http://www.foodconsumer.org/news/Nonfood...>, 2011 - ask-force.org
... Glyphosate has been linked to sterility, hormone disruption, abnormal and lower sperm counts, miscarriages, placental cell death, birth defects, and cancer, to name a few. (See resource list on **glyphosate health effects**.) Nutrient loss in humans and animals ...
☆ [Cited by 4](#) [Related articles](#) [All 2 versions](#) [Open](#)

[HTML] [A Question of Chemistry, Part 1: Some Ideas About The Effects Of Chemicals And How To Rehabilitate Chemical Companies](#)
C Ashwanden - *Permaculture News*, 2017 - permaculturenews.org
A Question of Chemistry, Part 1: Some Ideas About The Effects Of Chemicals And How To Rehabilitate Chemical Companies.
☆ [Cited by 1](#) [Related articles](#) [Open](#)

[HTML] [Insight into the confusion over surfactant co-formulants in glyphosate-based herbicides](#)
[R Mesnage](#), C Benbrook, MN Antoniou - *Food and Chemical Toxicology*, 2019 - Elsevier
Skip to main content ...
☆ [Cited by 16](#) [Related articles](#) [All 3 versions](#)

[HTML] [frontiersin.org](#)

[PDF] [hindawi.com](#)

[PDF] [ask-force.org](#)

[HTML] [permaculturenews.org](#)

[PDF] [researchgate.net](#)

[PDF] [biorxiv.org](#)

https://scholar.google.com/scholar?cluster=13248717273959627313&hl=en&as_sdt=0%2C5

Google Scholar "glyphosate toxicity" humans

Articles About 895 results (0.06 sec)

Any time
Since 2020
Since 2019
Since 2016
Custom range...

Sort by relevance
Sort by date

☐ include patents
☐ include citations

☒ Create alert

Ethoxylated adjuvants of glyphosate-based herbicides are active principles of human cell toxicity [PDF] [keephopealive.org](#)
R Mesnage, B Bernay, GE Seralini - Toxicology, 2013 - Elsevier
... N. Benachour, GE Seralini Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic ... effect of Ginkgo biloba L. leaf extract against **glyphosate toxicity** in Swiss ... AM Soto Developmental effects of endocrine-disrupting chemicals in wildlife and humans ...
☆ 99 Cited by 296 Related articles All 18 versions

Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination [PDF] [cityofgenevany.com](#)
SH Bai, SM Ogbourne - Environmental Science and Pollution Research, 2016 - Springer
... In terms of the risks posed to humans, the majority of the reported residue concentrations are below MCLs, and therefore, the acute toxicity risks posed to humans are minimal. The MCL for glyphosate before posing a risk to human health is considered to be 700 µg L⁻¹ in the ...
☆ 99 Cited by 89 Related articles All 10 versions

Glyphosate induces human breast cancer cells growth via estrogen receptors [PDF] [stopsprayingnb.ca](#)
S Thongpraksang, A Thiantanawat... - Food and Chemical ..., 2013 - Elsevier
... several recent studies showed its potential adverse health effects to humans as it ... 6 M (Setchell and Cassidy, 1999), while glyphosate concentration in human body could ... present study provides a better understanding of possible mechanisms underlying **glyphosate toxicity** in a ...
☆ 99 Cited by 245 Related articles All 13 versions

[HTML] **Glyphosate toxicity and carcinogenicity: a review of the scientific basis of the European Union assessment and its differences with IARC** [HTML] [springer.com](#)
JV Tarazona, M Tiramini, H Reich, R Pfeil, F Istace... - Archives of ..., 2017 - Springer
... Keywords: **Glyphosate Toxicity** Carcinogenicity IARC EFSA Public health Consumer risk ... UN-GHS and CLP. Substances known to have carcinogenic potential for humans. Largely based on human evidence. Substances presumed to have carcinogenic potential for humans ...
☆ 99 Cited by 95 Related articles All 8 versions

9. Selección de los estudios

La selección de los estudios que son parte de la revisión; en primer lugar deberán cumplir con los criterios de elegibilidad (numeral 6). Contengan además de los capítulos antes descritos, aspectos claros en la metodología (fuente de información, número de estudios revisados, número de estudios incluidos, nivel de evidencia de los estudios, descripción detallada del aporte de cada estudio a la revisión, etc.).

Para los estudios de tipo ensayo clínico y cohorte, además de los criterios de elegibilidad, aspectos metodológicos como (fuente de información, población de estudio, población comparación, intervención evaluada, resultados (medidas epidemiológicas)), las conclusiones del estudio, así como las limitaciones y recomendaciones, registro de la publicación (ISSN, DOI, etc.).

10. Proceso de extracción de datos

La información será extraída de bases de datos documentales (on line) y bases de datos factuales (repositorios nacionales), teniendo en cuenta los criterios de búsqueda mencionados anteriormente. Se rastrearán datos de artículos de referencia, ensayos clínicos aleatorizados, revisiones sistemáticas, textos completos referentes al uso de plaguicidas especialmente glifosato, abstracts que aborden el mismo tópico y que permita la identificación de los parámetros de estudio y demás documentos científicos que representen evidencia y un insumo para la consecución de los objetivos específicos del estudio.

Lista de datos

Las variables necesarias e incluidas en la revisión para los parámetros: que permitirán un acercamiento a la pregunta PICO del estudio, serán:

- Sexo
- Edad
- Ocupación
- Nivel educativo
- Tiempo de residencia o estadía en el lugar de estudio
- Tabaquismo
- Mortalidad
- Morbilidad
- Comorbilidad
- Presencia de contaminantes ambientales (basureros, torres de energía, plantas industriales, acopios de granos, depósitos de pesticidas y de máquinas de aplicar pesticidas).
- Presencia y manejo de algunos servicios (agua potable, manejo de aguas, basura domiciliaria, contaminación de las industrias, rutinas de trabajo y dosis de uso de pesticidas).
- Concentraciones de glifosato(ingrediente activo)
- Ruta de aspersión (suelo, aire, agua y otras rutas)
- Vías de exposición (inhalatoria, oral, dérmica)
- Toxicidad específica por exposición aguda y por exposición reiterada (crónica)
- Signos y síntomas en humanos expuestos a plaguicidas (Glifosato y demás plaguicidas)
- Dosis de referencia
- Ingesta diaria y semanal de plaguicidas admisible
- Ingesta diaria y semanal plaguicidas tolerable
- Valores de referencia de calidad del agua
- Valores con sus límites de residuos (LMR) de pesticidas en los alimentos
- Límites máximos (LM) de contaminantes en los alimentos

11. Medidas de resumen

Las medidas consideradas para realizar la evaluación del riesgo, corresponde a la naturaleza de las variables observadas en la recuperación de los documentos:

Como es sabido, el resultado primario en esta revisión sistemática fue definir los efectos producidos en salud ocasionados por la exposición a glifosato y otras fórmulas utilizadas para la aspersión. Los datos extraídos de la revisión fueron presentados en tablas de doble entrada o según el volumen de información recuperados de la literatura consultada.

Es de anotar, que los resultados de la revisión de literatura, son netamente descriptivos y no se realizó en ningún momento metanálisis ni cuantitativo, ni cualitativo; y las medidas de resumen presentadas y mencionadas en el párrafo anterior, corresponden a los resultados observados en los diferentes estudios recuperados.

12. Evaluación de riesgo de sesgo en los estudios incluidos

Para la evaluación de la calidad se utilizaron de forma independiente las Escala de New Castle-Ottawa, Toxicological data Reliability Assessment Tool (ToxRTool,) y una herramienta adaptada por la universidad de Córdoba con el fin de evaluar la calidad de los estudios publicados en el tema de salud ambiental. La escalas new castle usa un sistema de valoración estelar (con un máximo de nueve estrellas) para evaluar la calidad de los estudios, categorizada dentro de tres dominios: selección de los grupos de estudio, comparabilidad de los grupos de estudio y resultados, en este último ítem la determinación de la exposición para estudios de cohortes o el resultado de interés para estudios de casos y controles. Los estudios que obtengan entre ocho a nueve estrellas se consideraron de alta calidad, los estudios con seis a siete estrellas se considerarán de calidad, los estudios con menor puntuación se consideran de baja.

Por su parte ToxRTool, es una nueva herramienta para evaluar la fiabilidad de los datos toxicológicos, con 156 veces citado y ventajas resaltadas en diferentes estudios que la han utilizado(125).

13. Síntesis de resultados

El manejo y combinación de datos cuantitativos en los documentos recuperados, se desarrollará a partir del estudio de los meta-análisis, haciendo uso de la estimación y análisis de la heterogeneidad (consistencia), sin descuidar el poder estadístico que representa el número de estudios incluidos en las revisiones o meta-análisis recuperados.

De igual forma, se observará, la combinación de resultados que los autores de revisiones sistemáticas o meta-análisis, realizan teniendo en cuenta los criterios de precisión en las estimaciones presentadas.

14. Análisis adicionales

Se equilibra si los autores de la revisión sistemática para la identificación y caracterización de peligro, así como la información para el desarrollo de los puntos subsiguientes a la evaluación del riesgo, tuvieron en cuenta aspectos formulados dentro de la herramienta de la OMS, así como la inclusión de otros parámetros sensibles para la evaluación objeto de este estudio.

De no contar con esta información, quedará sujeto a decisión por parte de los investigadores principales, si se tiene en cuenta o no el documento.

15. Selección de estudios

Los resultados son presentados a través de un diagrama de flujo, con el número total de registros identificados en fuentes de datos, así como con el número de documentos recuperados haciendo uso de búsquedas manuales, lista de referencias e índices de citación, especificando el número de documentos recuperados por cada fuente.

Los resultados, se presentan tanto en diagrama de flujo como en texto, describiendo detalladamente las características y el proceso de recuperación por cada fuente.

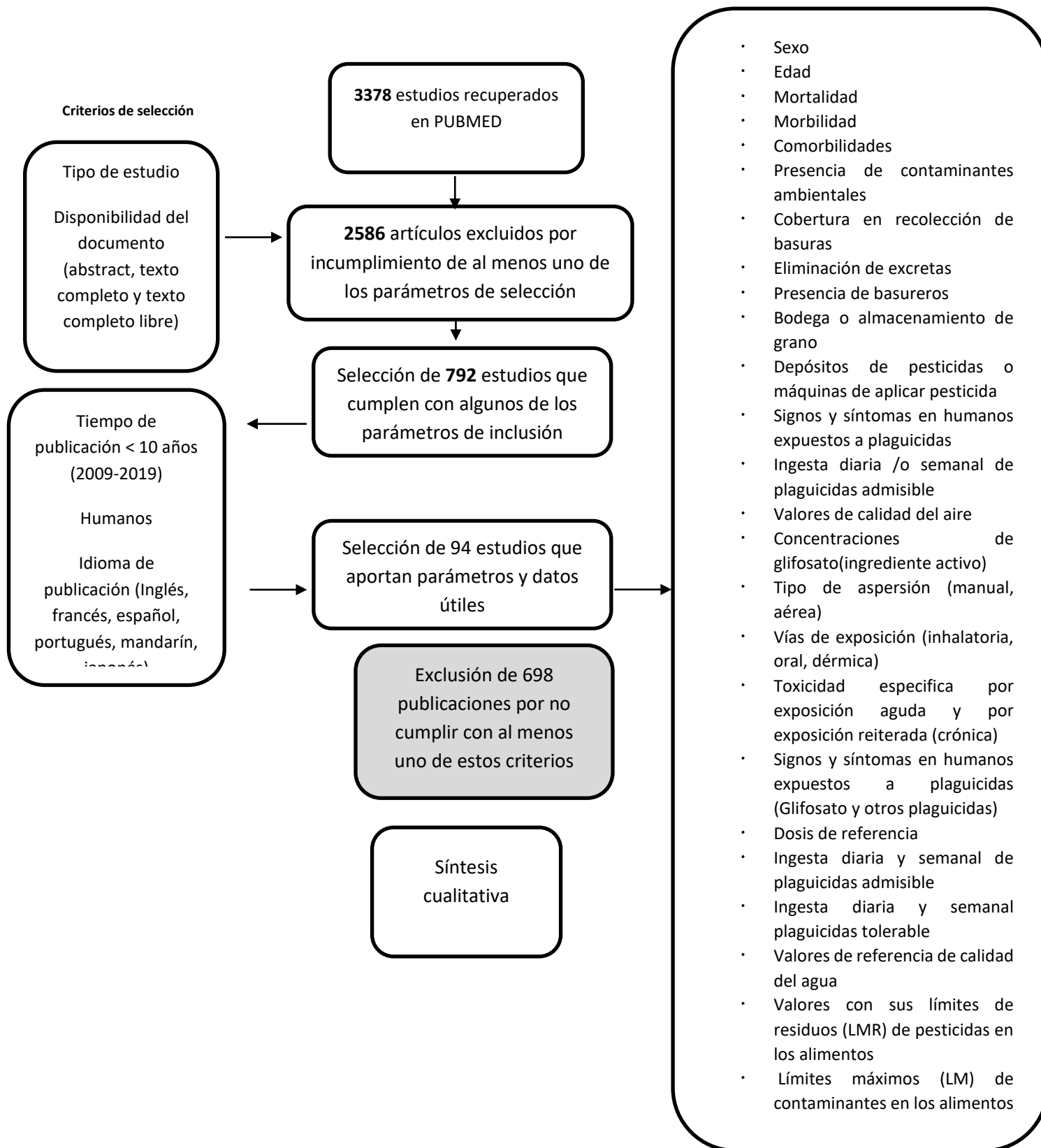
Así mismo, se reportan registros únicos identificados en las búsquedas, así como los registros y su justificación que se excluyen después de una revisión preliminar del estudio.

Se indica y explica, los estudios con acceso a texto completo que pueden ser elegibles, así como los artículos a texto completo que son excluidos con su justificación. Como parte de esta selección, se presenta el número total de estudios incluidos en la síntesis cualitativa y cuantitativa de la revisión sistemática (figura 1).

Por último, y como parte de la síntesis cualitativa, se presenta una reseña con los estudios resultantes tenidos en cuenta para la evaluación del riesgo, incluyendo campos y su descripción como título, autor, año y revista de publicación, tipo de estudio, objetivo, metodología, principales resultados y conclusiones.

Diagrama de flujo

Término de búsqueda: *los que aparecen definidos como términos claves*



16. Análisis cualitativo del rastreo bibliográfico

Descripción flujograma de búsqueda para evaluación de riesgos por exposición a plaguicidas (Glifosato y otras fórmulas)

Se identificó un total de 29 artículos en la búsqueda de base de datos MEDLINE (Pubmed) y demás bases de datos documentales consultadas. De manera general la búsqueda arrojó un total de 3378 artículos, de los cuales al aplicar filtros de inclusión como tipo de estudio, disponibilidad del documento, tiempo de publicación (<10 años), realizados en humanos y el idioma de publicación (6) quedando excluidos en total 3284 artículos.

Por su parte, en el rastreo realizado en Science Direct con el término Glyphosate, se obtuvo un volumen inicial de 11099 documentos, al aplicar los criterios de años de publicación y disponibilidad del documento, 5179 archivos de los cuales filtrando hacia los temas ciencia del medio ambiente y Ecotoxicología y seguridad ambiental, arrojó un total de 179 archivos que se encuentran en revisión para verificar parámetros y pertinencia con el objeto de estudio.

Dando un alcance distinto a la búsqueda y ajustando por término de rastreo; al integrar a la búsqueda avanzada el término: "*Glyphosate and human Health*" y operador booleano "AND" se obtuvo un total de 3417 archivos, con criterios de años de publicación (2009-2019) y disponibilidad del archivo arrojó un total de 1640 documentos (1777 excluidos); y ajustando por criterios temáticos como ciencia del medio ambiente, Ecotoxicología, seguridad y contaminación ambiental, se obtuvo un volumen sensible a la revisión y verificación en el cumplimiento de los parámetros incluidos en la búsqueda de 179 estudios.

Cabe resaltar, que se han descargado 74 documentos de las diferentes bases de datos con un costo promedio de USD\$74 (40-55).

Anexo 2. Protocolo de búsqueda de literatura - Evaluación de la exposición

1. Título

**Búsqueda Sistemática de Información para el “análisis de riesgos para la salud humana, con énfasis en la evaluación de riesgo, derivado de la ejecución del programa de erradicación de cultivos de uso ilícito por aspersión área en Colombia”
Requerimiento específico de sentencia T 236 De 2017**

2. Resumen estructurado

Antecedentes: estudios que presenten una descripción detallada sobre el plaguicida estudiado, así como su impacto en la salud humana y ambiental.

Fuente de datos, donde se especifique de donde se obtuvo la información y aspectos como proceso de obtención, tipo de base de datos consultados, herramienta para la estimación y análisis de información recuperada. Se utilizarán fuentes secundarias para la recopilación de la información; revisiones a estudios originales, específicamente ensayos clínicos aleatorizados controlados y estudios de cohorte. De igual manera, se tiene en cuenta la validación de parámetros a través de búsqueda en las bases de datos nacionales u otros estudios que puedan aportar a la búsqueda.

El tópico principal es la búsqueda de modelos de dispersión, contaminación y correlación relacionadas a pesticidas, específicamente para glifosato y coadyuvantes.

Los resultados de este tipo de estudio, aportarán a la evaluación de riesgos, identificación de factores de exposición, prevalencia de enfermedades que pudieran estar relacionadas con la exposición al plaguicida y construcción de estrategias de control y mitigación en caso de comprobarse una afectación a la salud humana por la exposición a Glifosato por diferentes fuentes.

3. Justificación

Dada la evidencia científica y la preservación de la incertidumbre manifiesta por la corte constitucional en la sentencia 236 de 2017, en cuanto a la afectación a la salud humana en el territorio nacional como producto de la exposición a glifosato por la aspersión para cultivos ilícitos, y las constantes protestas de las comunidades ubicadas en el área de influencia de las actividades de aspersión, acerca del efecto que puede tener a largo plazo esta práctica de control de malezas y cultivos sobre la salud propia; este estudio se reviste de importancia, toda vez que la misma resolución (T236/2017) plantea la necesidad de comprobar en espacios del

territorio nacional si existe afectación o no y cuál es el nivel del riesgo para las personas habitantes de diferentes regiones, de continuarse con esta práctica.

Si bien es cierto, que diferentes estudios presentan algunas controversias al respecto, también es cierto que pocas son las investigaciones realizadas donde se busca evaluar el nivel de riesgo en población humana y sobre todo la vía de exposición (inhalatoria, oral o dérmica); sin contar en Colombia con este tipo de evidencia real.

El proceso de identificación y análisis de riesgo, utilizando un modelo de evaluación que permita ponderar y priorizar aquellos factores de exposición que pueden ser los más nocivos para la salud humana y de alguna manera afectar ambientalmente las poblaciones y el medio donde viven, otorga una oportunidad, sobre la evidencia científica, para proponer, diseñar y desarrollar medidas de mitigación, comunicación del riesgo y a mediano o largo plazo.

Esta propuesta, se anida principalmente en el requerimiento específico de la sentencia T236 de 2017, con un aspecto prioritario para la presidencia de la república; de igual forma, se articula directamente con lineamientos nacionales como la ley 1751 de 2015 (ley estatutaria en salud), el plan nacional de desarrollo, plan decenal de salud pública, el nuevo modelo de atención integral de atención en salud territorial y todas las demás directrices nacionales que orienten sus contenidos al mejoramiento de las condiciones de vida y salud de la población Colombiana.

4. Objetivos

Con la recuperación de los documentos, se busca dar respuesta a:

Descripción de los componentes del PICO	
P	Habitantes de la región de la Orinoquia y demás departamentos colombianos donde se realizan las actividades de aspersión con Glifosato
I	Aspersión con glifosato sobre cultivos
Co	Otros plaguicidas utilizados para aspersión
R	Información sobre salud ambiental y modelación de pesticidas, específicamente factores de riesgo, evaluación del riesgo por exposición a Glifosato y medidas de mitigación.

Fuente: (1)Da costa Santos C, Pimienta de Mattos C, Cuce Nobre M. Estrategia PICO para la construcción de la pregunta de investigación y la búsqueda de evidencias. Rev Latino-am Enfermagem [Internet]. 2007 [citado 15 de abril de 2017]; 15(3). Disponible en: http://www.scielo.br/pdf/rlae/v15n3/es_v15n3a23.pdf

Los estudios incluidos son revisiones sistemáticas, meta-análisis y artículos científicos que aborden la temática de efectos ambientales en las matrices aire, agua, suelo, fauna y flora. Adicionalmente, estudios que sugieran, presenten, propongan o apliquen modelos para el análisis de la dispersión del glifosato, contaminación por glifosato en las matrices anteriormente mencionadas y que determinen una posible correlación entre el uso del glifosato y los impactos asociados al riesgo, considerando también sus coadyuvantes.

5. Método

Protocolo y registro

No se cuenta con la información sobre existencia y/o disponibilidad de algún protocolo de revisión en Colombia en el tema de Glifosato.

6. Criterios de elegibilidad

Los estudios incluidos son:

- Revisiones sistemáticas y/o meta-análisis que den respuesta a la pregunta PICO
- Artículos científicos que sugieran, presenten, propongan o apliquen modelos para análisis de la dispersión, contaminación y correlación de glifosato en las matrices agua, aire y suelo.
- Publicaciones entre el año 2009 y 2019, partiendo de los estudios recuperados en la revisión del estado del arte.
- Idioma inglés, español y portugués; buscando controlar el sesgo de selección por idioma en los documentos y alcanzar el principio de exhaustividad.
- Artículos con acceso a texto completo y/o libre, acceso restringido con pago y abstracts que proporcionen la información necesaria para la evaluación de riesgos.
- Artículos citados en los artículos encontrados que traten sobre modelos de dispersión o contaminación de pesticidas y correlacionen dichos modelos con efectos en el ambiente y/o salud humana.

7. Fuentes de información

Se emplea fuente de información secundaria, recurriendo a bases de datos documentales y factuales, arbitradas y validadas por la comunidad científica que permitan acceso a la información relevante, se cuenta con:

- Revisión de las bases de datos: Web of Science, Scopus, Science Direct y en la plataforma de Google Académico.
- Revisión de datos de IDEAM para caracterización de variables climáticas.

8. Búsqueda

Se presenta como ejemplo, la estrategia de búsqueda en *Web of Science* y *Scopus*, utilizada para la recuperación de información relacionada con el tema:

Descriptores controlados (MESH) relacionados con la pregunta PICO:
Efectos en la salud ambiental:

Las palabras claves utilizadas fueron las siguientes:

“Glyphosate AND ecotoxicology”

“(Glyphosate OR Cosmo-Flux OR Roundup OR AMPA) AND Atmosphere”.

“Glyphosate AND Monitoring AND Air”

“Glyphosate AND Monitoring AND Water”

“Glyphosate AND Monitoring AND Soil”

- Modelos

Se seleccionaron las siguientes combinaciones de palabras clave para realizar la búsqueda en las bases de datos previamente mencionadas:

- Model AND dispersion AND glyphosate
- Model AND dispersion AND Cosmo-Flux
- Model AND Contamination AND Glyphosate
- Model AND Contamination AND Cosmo-Flux
- Model AND Correlation AND Glyphosate
- Model AND Correlation AND Cosmo-Flux
- (Model and glyphosate) AND APEX OR SWAT OR PWC
- Model AND AgDisp
- Glyphosate AND monitoring AND soil
- (Model AND glyphosate) AND SWAT OR AGDISP OR AGDRIFT
- Model AND SWAT AND Pesticide

Operadores boléanos

Para las combinaciones entre los descriptores, los operadores boléanos utilizados entre los descriptores son: AND, OR, y NOT.

Los límites establecidos para la búsqueda son:

-artículos científicos revisiones sistemáticas, acceso a texto completo, publicados entre 2009 y 2019.

Buscar Herramientas Búsquedas y alertas Historial de búsqueda Lista de registros marcados

Resultados: 7
(de Colección principal de Web of Science)

Buscó: TEMA: (model) AND TEMA: (dispersion) AND TEMA: (glyphosate)
Período de tiempo: 2009-2019.
Índices: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI.
...Menos

Crear una alerta

Refinar resultados

Buscar en resultados de...

Filtrar resultados por:

☐ Acceso Abierto (1)

Refinar

Ordenar por: Fecha 12 Veces citado Conteo de uso Relevancia Más

1 de 1

Seleccionar página Exportar... Agregar a la lista de registros marcados

Analizar resultados
Crear informe de citas

1. Numerical simulation of spray ejection from a nozzle for herbicide application: Comparison of drag coefficient expressions
Por: Sedano, Carlos G.; Aguirre, Cesar A.; Brizuela, Armando B.
COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE Volumen: 157 Páginas: 136-145 Fecha de publicación: FEB 2019
Texto completo de la editorial Ver abstract

Veces citado: 0
(en la Colección principal de Web of Science)

Conteo de uso

2. Local environmental conditions affecting anuran tadpoles' microhabitat choice and morphological adaptation
Por: Marques, N. C. S.; Rattis, L.; Nomura, F.
MARINE AND FRESHWATER RESEARCH Volumen: 70 Número: 3 Páginas: 395-401 Fecha de publicación: 2019
Texto completo de la editorial Ver abstract

Veces citado: 0
(en la Colección principal de Web of Science)

Conteo de uso

3. Glyphosate dispersion, degradation, and aquifer contamination in vineyards and wheat fields in the Po Valley, Italy
Por: la Cecilia, Daniele; Tang, Fiona H. M.; Coleman, Nicholas V.; et ál.
WATER RESEARCH Volumen: 146 Páginas: 37-54 Fecha de publicación: DEC 1 2018

Veces citado: 5
(en la Colección principal de Web of Science)

Conteo de uso

Buscar Herramientas Búsquedas y alertas Historial de búsqueda Lista de registros marcados

Resultados: 14
(de Colección principal de Web of Science)

Buscó: TEMA: (model) AND TEMA: (contamination) AND TEMA: (glyphosate) ...Más

Crear una alerta

Refinar resultados

Buscar en resultados de...

Filtrar resultados por:

☐ Acceso Abierto (14)

Refinar

Años de publicación

☐ 2019 (2)
☐ 2018 (2)

Ordenar por: Fecha 12 Veces citado Conteo de uso Relevancia Más

1 de 2

Seleccionar página Exportar... Agregar a la lista de registros marcados

Analizar resultados
Crear informe de citas

1. Optimum Droplet Size Using a Pulse-Width Modulation Sprayer for Applications of 2,4-D Choline Plus Glyphosate
Por: Butts, Thomas R.; Samples, Chase A.; Franca, Lucas X.; et ál.
AGRONOMY JOURNAL Volumen: 111 Número: 3 Páginas: 1425-1432 Fecha de publicación: MAY-JUN 2019
Texto completo de la editorial Artículo del repositorio gratuito y publicado Ver abstract

Veces citado: 0
(en la Colección principal de Web of Science)

Conteo de uso

2. Use of Adsorbent Biochar from Pequi (Caryocar Brasiliense) Husks for the Removal of Commercial Formulation of Glyphosate from Aqueous Media
Por: Borba, Lana Lima; Frayne Cuba, Renata Medici; Cuba Teran, Francisco Javier; et ál.
BRAZILIAN ARCHIVES OF BIOLOGY AND TECHNOLOGY Volumen: 62 Número de artículo: e19180450 Fecha de publicación: 2019
Texto completo gratuito y de la editorial Ver abstract

Veces citado: 0
(en la Colección principal de Web of Science)

Conteo de uso

3. A health-based regulatory chain framework to evaluate international pesticide groundwater regulations integrating soil and drinking water standards
Por: Li, Zijian
ENVIRONMENT INTERNATIONAL Volumen: 121 Páginas: 1253-1278 Subdivisión: 2 Fecha de publicación: DEC

Veces citado: 3
(en la Colección principal de Web of Science)

Conteo de uso

Buscar Herramientas Búsquedas y alertas Historial de búsqueda Lista de registros marcados

Resultados: 5
(de Colección principal de Web of Science)

Buscó: TEMA: (model) AND TEMA: (correlation) AND TEMA: (glyphosate) ...Más

Crear una alerta

Refinar resultados

Buscar en resultados de...

Filtrar resultados por:

☐ Acceso Abierto (5)

Refinar

Años de publicación

☐ 2017 (2)

☐ 2018 (1)

Ordenar por: Fecha Veces citado Conteo de uso Relevancia Más

☐ Seleccionar página

☐ 1. **Modeling pollen-mediated gene flow from glyphosate-resistant to -susceptible giant ragweed (*Ambrosia trifida* L.) under field conditions**

Por: Ganie, Zahoor A.; Jhala, Amit J.
SCIENTIFIC REPORTS Volumen: 7 Número de artículo: 17067 Fecha de publicación: DEC 6 2017

Texto completo gratuito y de la editorial Ver abstract

Veces citado: 4
(en la Colección principal de Web of Science)

Conteo de uso

☐ 2. **Biologically effective rates of a new premix (atrazine, bicyclopyrone, mesotrione, and S-metolachlor) for preemergence or postemergence control of common waterhemp (*Amaranthus tuberculatus* (Moq.) Sauer var. *rudis*) in corn**

Por: Sarangi, D.; Jhala, A. J.
CANADIAN JOURNAL OF PLANT SCIENCE Volumen: 97 Número: 6 Páginas: 1075-1089 Fecha de publicación: DEC 2017

Texto completo gratuito y de la editorial Ver abstract

Veces citado: 2
(en la Colección principal de Web of Science)

Conteo de uso

☐ 3. **The Comet Assay and its applications in the field of ecotoxicology: a mature tool that continues to expand its perspectives**

Por: de Lapuente, Joaquín; Lourenco, Joana; Mendo, Sonia A.; et ál.

Veces citado: 56
(en la Colección principal de Web of Science)

Scopus Search Sources Lists SciVal Create account Sign in

5 document results

(TITLE-ABS-KEY (model) AND TITLE-ABS-KEY (dispersion) AND TITLE-ABS-KEY (glyphosate)) AND PUBYEAR > 2008 AND PUBYEAR < 2020

Edit Save Set alert Set feed

Search within results...

Refine results

Access type

Year

☐ 2017 (1)

☐ 2016 (1)

Documents Secondary documents Patents [View Mendeley Data \(2\)](#)

Analyze search results [Show all abstracts](#) Sort on: Date (newest)

☐ All [Export](#) [Download](#) [View citation overview](#) [View cited by](#) [Add to List](#)

	Document title	Authors	Year	Source	Cited by
☐ 1	Glyphosate binding in soil as revealed by sorption experiments and quantum-chemical modeling	Gros, P., Ahmed, A., Kühn, O., Leinweber, P.	2017	Science of the Total Environment 586, pp. 527-535	22

[View abstract](#) [Full text](#) [View at Publisher](#) [Related documents](#)

9. Selección de los estudios

La selección de los estudios que hicieron parte de la revisión; en primer lugar, cumplieron con los criterios de elegibilidad (numeral 6). Adicionalmente, se seleccionaron estudios que contengan además de los capítulos antes descritos, aspectos claros en la metodología (fuente de información, número de estudios revisados, número de estudios incluidos, nivel de evidencia de los estudios, descripción detallada del aporte de cada estudio a la revisión, etc) y propuestas de modelos para dispersión o contaminación de pesticidas de tal manera que pudieran ser utilizados para determinar el destino y/o comportamiento ambiental del glifosato y coadyuvantes.

10. Proceso de extracción de datos

La información fue extraída de bases de datos documentales (on line) y bases de datos factuales (repositorios nacionales), teniendo en cuenta los criterios de búsqueda mencionados anteriormente. Se rastrearon datos de artículos de referencia, revisiones sistemáticas, textos completos referentes a la modelación del destino y transporte de plaguicidas especialmente glifosato y sus efectos ambientales, abstracts que aborden el mismo tópico y que permitieron la identificación de los parámetros de estudio y demás documentos científicos que representen evidencia y un insumo para la consecución de los objetivos específicos del estudio.

Lista de datos

Las variables necesarias e incluidas en la revisión para los parámetros: que permitieron un acercamiento a la pregunta PICO del estudio, serán:

Efectos en la salud ambiental en agua

- Nombre del articulo
- Objetivo del articulo
- Lugar o procedencia
- Altitud
- Pendiente
- Temperatura
- Oxígeno Disuelto
- Oxido reducción
- Saturación de oxigeno
- Conductividad
- pH
- Solidos disueltos
- Profundidad
- Caudal

- Nitrato
- Nitritos
- Nitrógeno amoniacal
- Ortofosfatos
- Sulfatos
- DBO₅
- DQO
- Fosforo total
- Nitrógeno total
- Materia orgánica
- Concentración de glifosato, aditivos, metabolito u otras sustancias
- Valores de referencia
- Efectos sobre el ecosistema o conclusiones

Efectos en la salud ambiental en suelo

- Nombre del artículo
- Objetivo del artículo
- Lugar o procedencia
- Altitud
- Pendiente
- Temperatura
- pH
- Conductividad
- CIC
- Profundidad
- Materia orgánica
- Textura
- Potencial redox
- Tipo de clima
- Época climática
- Tipología
- Concentración de glifosato, aditivos, metabolito u otras sustancias
- Valores de referencia
- Efectos sobre el ecosistema o conclusiones

Efectos ambientales en el aire

- Precipitación
- Dirección del viento
- Velocidad del viento
- Brillo solar
- Altitud

- Temperatura
- Tipo de clima
- Época climática
- Otras características encontradas
- Tipología
- Concentración de glifosato, aditivos, metabolito u otras sustancias
- Valores de referencia
- Efectos sobre el ecosistema o conclusiones

Efectos ambientales en la fauna y flora

- Clima
- Temperatura
- Precipitación
- Tipo de suelo
- pH
- Materia orgánica
- Textura
- Caudal
- Oxígeno disuelto
- Tipo y nombre del organismo
- Concentración de glifosato, aditivos, metabolito u otras sustancias
- Valores de referencia
- Efectos sobre el ecosistema o conclusiones

Identificación de modelos

- Nombre del modelo
- Objetivo del modelo
- Alcance de modelo
- Características de los datos de entrada
- Características de los datos de salida (Outputs)
- Necesidades para aplicación del modelo (Recursos)
- Variables medidas
- Costo
- Descripción de los casos en que fue aplicado
- Metodología
- Principales resultados o conclusiones
- URL

11. Medidas de resumen

Las medidas consideradas para realizar la evaluación del riesgo, corresponde a la naturaleza de las variables observadas en la recuperación de los documentos.

Como es sabido, el resultado primario en esta revisión sistemática fue definir los efectos producidos en salud ocasionados por la exposición a glifosato y otras fórmulas utilizadas para la aspersión. Los datos extraídos de la revisión fueron presentados en tablas de doble entrada o según el volumen de información recuperados de la literatura consultada.

Es de anotar, que los resultados de la revisión de literatura, son netamente descriptivos y no se realizó en ningún momento metanálisis ni cuantitativo, ni cualitativo; y las medidas de resumen presentadas y mencionadas en el párrafo anterior, corresponden a los resultados observados en los diferentes estudios recuperados.

12. Evaluación de riesgo de sesgo en los estudios incluidos

Para la evaluación de la calidad dos investigadores de forma independiente se utilizaron las Escala de New Castle-Ottawa, Toxicological data Reliability Assessment Tool (ToxRTool,) y una herramienta adaptada por la universidad de Córdoba con el fin de evaluar la calidad de los estudios publicados en el tema de salud ambiental. La escala new castle usa un sistema de valoración estelar (con un máximo de nueve estrellas) para evaluar la calidad de los estudios, categorizada dentro de tres dominios: selección de los grupos de estudio, comparabilidad de los grupos de estudio y resultados, en este último ítem la determinación de la exposición para estudios de cohortes o el resultado de interés para estudios de casos y controles. Los estudios que obtengan entre ocho a nueve estrellas se consideraron de alta calidad, los estudios con seis a siete estrellas se considerarán de alta calidad, los estudios con menor puntuación se consideran de baja.

Por su parte ToxRtool, es una nueva herramienta para evaluar la fiabilidad de los datos toxicológicos, con 156 veces citado y ventajas resaltadas en diferentes estudios que la han utilizado(125).

El informe de calidad, será incluido dentro del documento final, como evidencia científica recuperada a partir de la fuente de información utilizada.

13. Síntesis de resultados

El manejo y combinación de datos cuantitativos en los documentos recuperados, se desarrolló a partir del estudio de meta-análisis, haciendo uso de la estimación y análisis de la

heterogeneidad (consistencia), que representa el número de estudios incluidos en las revisiones o metanálisis recuperados sin descuidar el poder estadístico que representa el número de estudios incluidos en las revisiones o metanálisis recuperados.

De igual forma, se observó, la combinación de resultados que los autores de revisiones sistemáticas o meta-análisis, realizan teniendo en cuenta los criterios de precisión en las estimaciones presentadas.

14. Análisis adicionales

Se equilibra si los autores de la búsqueda sistemática para la identificación y caracterización de peligro, así como la información para el desarrollo de los puntos subsiguientes a la evaluación del riesgo, tuvieron en cuenta aspectos formulados dentro de la herramienta de la OMS, así como la inclusión de otros parámetros sensibles para la evaluación objeto de este estudio.

De no contar con esta información, fue decisión por parte de los investigadores principales, si se tiene en cuenta o no el documento.

15. Selección de estudios

Los resultados son presentados a través de un diagrama de flujo, con el número total de registros identificados en fuentes de datos, así como con el número de documentos recuperados haciendo uso de búsquedas manuales, lista de referencias e índices de citación, especificando el número de documentos recuperados por cada fuente.

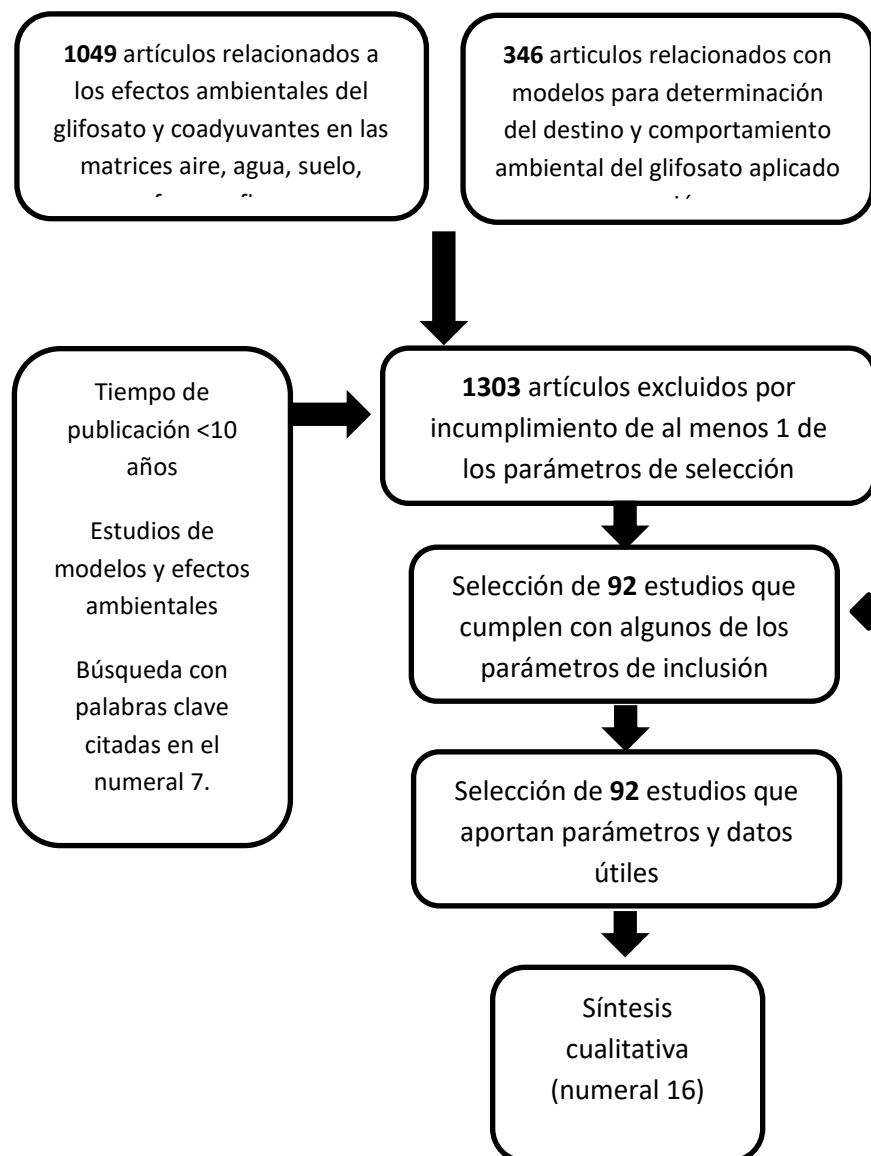
Los resultados, se presentan tanto en diagrama de flujo como en texto, describiendo detalladamente las características y el proceso de recuperación por cada fuente.

Así mismo, se reportan registros únicos identificados en las búsquedas, así como los registros y su justificación que se excluyen después de una revisión preliminar del estudio.

Se indica y explica, los estudios con acceso a texto completo que pueden ser elegibles, así como los artículos a texto completo que son excluidos con su justificación. Como parte de esta selección, se presenta el número total de estudios incluidos en la síntesis cualitativa y cuantitativa de la búsqueda sistemática (Figura 1).

Por último, y como parte de la síntesis cualitativa, se presenta una reseña con los estudios resultantes tenidos en cuenta para la evaluación del riesgo, incluyendo campos y su descripción como título, autor, año y revista de publicación, tipo de estudio, objetivo, metodología, principales resultados y conclusiones.

15.1 Diagrama de flujo de la búsqueda sistemática



Efectos en la salud ambiental en agua

Nombre del artículo; Objetivo del artículo; Lugar o procedencia; Altitud; Pendiente; Temperatura; Oxígeno Disuelto; Oxido reducción; Saturación de oxígeno; Conductividad; pH; Solidos disueltos; Profundidad; Caudal; Nitrato; Nitritos; Nitrógeno amoniacal; Ortofosfatos; Sulfatos; DBO₅; DQO; Fosforo total; Nitrógeno total; Materia orgánica; Concentración de glifosato, aditivos, Metabolito u otras sustancias; Valores de referencia; Efectos sobre el ecosistema o conclusiones.

Efectos en la salud ambiental en suelo

Nombre del artículo; Objetivo del artículo; Lugar o procedencia; Altitud; Pendiente; Temperatura; pH; Conductividad; CIC; Profundidad; Materia orgánica; Textura; Potencial redox; Tipo de clima; Época climática; Tipología; Concentración de glifosato, aditivos, metabolito u otras sustancias; Valores de referencia; Efectos sobre el ecosistema o conclusiones.

Efectos ambientales en el aire

Precipitación; Dirección del viento; Velocidad del viento; Brillo solar; Altitud; Temperatura; Tipo de clima; Época climática; Otras características encontradas; Tipología; Concentración de glifosato, aditivos, metabolito u otras sustancias; Valores de referencia; Efectos sobre el ecosistema o conclusiones.

Efectos ambientales en la fauna y flora

Clima; Temperatura; Precipitación; Tipo de suelo; pH; Materia orgánica; Textura; Caudal; Oxígeno disuelto; Tipo y nombre del organismo; Concentración de glifosato, aditivos, metabolito u otras sustancias; Valores de referencia; Efectos sobre el ecosistema o conclusiones.

Identificación de modelos

Nombre del modelo; Objetivo del modelo; Alcance de modelo Características de los datos de entrada; Características de los datos de salida (Outputs); Necesidades para aplicación del modelo (Recursos); Variables medidas; Costo; Descripción de los casos en que fue aplicado; Metodología; Principales resultados o conclusiones; Variables encontradas; Observaciones.

16. Análisis cualitativo del rastreo bibliográfico

Descripción de flujograma de búsqueda para evaluación de riesgos por exposición a plaguicidas (glifosato)

Se identificó un total de 1396 artículos en la búsqueda de base de datos científicas como Web Of Science, Scopus, Science Direct y plataformas como Google Académico y al aplicar filtros de inclusión como: tiempo de publicación (<10 años), texto de acceso libre, estudios con metodologías y resultados enfocados a la determinación, evaluación y/o análisis de los efectos ambientales de pesticidas o estudios que presente, propongan o apliquen modelos para determinación del destino y comportamiento ambiental de pesticidas, se obtuvieron resultados de 92 artículos, quedando excluidos 1303 artículos. Los 92 artículos seleccionados se distribuyen así: 63 relacionados con los efectos ambientales, 28 relacionados a los modelos de destino y comportamiento ambiental de pesticidas y 1 artículo sobre efectos ambientales del año 2020 que se incluyó por considerarse relevante para el estudio.

Los artículos excluidos, no cumplían con alguno de los anteriores criterios, principalmente se tuvo en cuenta una vez aplicados los filtros de búsqueda en la base de datos, realizar una lectura reflexiva y analítica del *abstract* para determinar si el artículo presentaba información relacionada al objetivo de la búsqueda. Así, en los casos en los cuales el *abstract* mostró la información necesaria para incluirse en el estudio, se procedió a hacer la descarga y análisis completo del mismo, en este proceso se aplica un segundo filtro al obtenerse información más detallada que permita reevaluar la pertinencia de los estudios.

Anexo 3 CAEnviTool. Herramienta para evaluar la calidad de la información de los estudios ambientales

(CAEnviTool)

Adaptación de una herramienta para evaluar calidad en la información publicada en estudios ambientales

1. Introducción

Durante el proceso de evaluación de riesgos, debe considerarse la implementación de un proceso a través del cual se pueda determinar si la evidencia científica suministrada es completa y/o válida para su uso en la toma de decisiones asociada a la evaluación de riesgos(352).

La evaluación de la calidad de los estudios es un componente crítico de las síntesis de evidencia, como las revisiones sistemáticas (RS), que tienen como finalidad contribuir con las decisiones políticas. Para reducir el potencial de sesgo de los revisores y garantizar que los hallazgos de las SR son transparentes y reproducibles, organizaciones como la Colaboración Cochrane, la Colaboración Campbell, y la Colaboración para la Evidencia Ambiental, recomiendan el uso de herramientas formales de evaluación de calidad en lugar de un juicio informal de expertos (353).

Se utilizan diferentes términos para caracterizar la calidad de los datos de los ensayos clínicos, estudios toxicológicos, eco toxicológicos, y epidemiológicos en general, como son: validación/validez, confiabilidad y exactitud. Estos términos describen no solo los procedimientos para definir la calidad de los resultados (datos obtenidos), sino también la relevancia y reproducibilidad del estudio a evaluar. En este tipo de valoraciones también se tienen en cuenta los juicios de validez que se dan en los procesos de evaluación, especialmente si un experto debe decidir qué datos de resultados de estudios son representativos/relevantes para describir un efecto correctamente(352).

Adicionalmente, las herramientas de evaluación de la calidad deberían: (a) tener validez de constructo probada (es decir, los criterios de evaluación deben tener un vínculo demostrable con lo que pretenden medir), (b) facilitar el acuerdo entre revisores, (c) ser aplicable en determinados diseños de estudio, y (d) permitir ser usada de manera rápida y fácil de interpretar(353).

Este estudio tiene como objetivo desarrollar criterios y una metodología transparente para evaluar la calidad de datos obtenidos en estudios ambientales existentes, con la finalidad de ser usados para la toma de decisiones en el área de evaluación de riesgo toxicológico en salud. Si bien se ha propuesto una metodología para el desarrollo de criterios de calidad de evaluando datos de diferentes matrices ambientales y herramientas de modelación ambiental puesto que

anteriormente no fueron observadas en la literatura revisada, iniciativas similares de la implementación de una herramienta de evaluación exclusiva para evidencia ambiental. Mientras que han sido desarrolladas este tipo de herramientas en el área de toxicología y Ecotoxicología(124,354). Adicionalmente, tanto la relevancia como la idoneidad de los datos dependen del contexto normativo específico en el que se va a utilizar, por esta razón esta versión piloto de la herramienta de evaluación se centró también en valorar no solo la calidad inherente, es decir, la fiabilidad de los datos ambientales, sino también el uso de estos datos para fines reglamentarios(355).

La elaboración de esta versión piloto de la herramienta adaptada, ha sido determinada estableciendo un conjunto de criterios de evaluación, con los cuales se busca, además de evaluar la evidencia ambiental, implementar estos criterios en forma de una herramienta fácilmente entendible, que también facilite la documentación de la evaluación. Este prototipo de herramienta de evaluación crítica tanto de la validez interna y externa, como de confiabilidad, ha sido nombrada: CAEnviTool (herramienta de evaluación crítica de evidencia ambiental) está destinada a ser utilizada por científicos que se ocupan habitualmente de realizar evaluación de crítica de datos ambientales. En definitiva, el uso de esta herramienta contribuye con el aumento de la transparencia, y proporciona una orientación más precisa hacia enfoques más confiables para el uso de datos en la elaboración de revisiones sistemáticas.

2. Materiales y métodos

Definiciones

Parámetros

- Validez interna (Riesgo de sesgos)

Este aspecto de interés, es una medida que permite determinar la probabilidad de que el estudio esté libre de sesgos. Un sesgo, es un error sistemático resultante de un diseño deficiente del estudio o problemas asociados con el método de recolección, análisis, interpretación e informe de datos. Los sesgos pueden operar en cualquier dirección, lo que, si no se tiene en cuenta, puede afectar la validez de las conclusiones de un estudio. Los sesgos pueden variar en magnitud: algunos son pequeños y triviales, y otros son sustanciales, de modo que un hallazgo aparente puede deberse completamente al sesgo. Por lo general, es imposible saber en qué medida los sesgos han afectado los resultados de un estudio en particular, aunque existe una buena evidencia empírica de que fallas particulares en el diseño, la realización y el análisis de los estudios conducen a una mayor probabilidad de sesgo(353).

- Confiabilidad

La validez de la conclusión estadística del estudio; lo cual se refiere a las características del estudio, donde se incluyen: el uso de procedimientos de muestreo adecuados, pruebas estadísticas apropiadas y procedimientos de medición confiables. Las amenazas a la confiabilidad de la conclusión estadística son básicamente, estadísticas de bajo poder, supuestos violados en los test estadísticos, falta de confiabilidad de las mediciones realizadas, y restricción de rangos(353).

- *Validez externa (relevancia)*

Podría considerar cuán generalizables son los hallazgos de un artículo, por ejemplo a una escala espacial y la distribución de sitios de estudio en relación con la pregunta de PICO. Durante el curso de la evaluación de calidad se pueden hacer observaciones que son importantes para discutir la relevancia de los datos para propósitos específicos. La posibilidad opcional del uso de estos datos, se proporciona a través del siguiente test, documentando estas observaciones para uso futuro (353).

Desarrollo de la herramienta. Esta herramienta fue elaborada con la finalidad de proporcionar una metodología transparente para asignar una puntuación individual a estudios ambientales y clasificarlos en las categorías “aprobado” o “no aprobado”. Esta puntuación permite clasificar los estudios ambientales mediante criterios específicos ponderados (como se detalla a continuación). La herramienta ha sido diseñada para ser aplicable solo a datos originales. Los criterios se desarrollaron inicialmente mediante la compilación de una lista de parámetros con un impacto potencial en la calidad de los datos de un estudio(355). Los parámetros fueron obtenidos, después de realizar una búsqueda bibliográfica basándose en los requisitos planteados en la guía de evaluación de la colaboración para la evidencia ambiental (CEE), y siguiendo los lineamientos de la herramienta ROB-2 de la Colaboración Cochrane(127,355). Así como, también se tuvieron en cuenta las publicaciones e informes relacionados con este tema, en cuanto a diseño de herramientas de evaluación crítica de la calidad de la evidencia. Del análisis inicial, se hizo evidente que la herramienta tenía que ser organizada en tres secciones, es decir, una inicial para evaluar *validez interna*, luego otra sección para evaluar *confiabilidad*, y la tercera para *validez externa*. Sin embargo, las partes de la herramienta se desarrollaron paralelamente siguiendo la misma estructura. Los parámetros se reformularon en preguntas (sesgos/criterios) y se dividieron en grupos de dos a cuatro preguntas, determinando: **(a)** Sesgo en la selección del sitio de estudio, **(b)** Sesgo en la clasificación de la exposición, **(c)** Sesgo debido a la falta de datos, **(d)** Sesgo en la medición de los resultados, **(e)** Sesgo en el reporte de resultados, **(f)** Sesgo debido a la confundación, y **(h)** Validez externa.

Siguiendo la guía de evaluación de evidencia ambiental de la CEE, se definió un conjunto mínimo de información en cada grupo de preguntas que fue considerada indispensable, para obtener datos confiables(355). Los parámetros que abordan dicha información, son confrontados con una o varias preguntas; teniendo como opciones de respuesta, las siguientes: “Sí”, “Probablemente sí”, “No”, y “Probablemente no”. El incumplimiento de al menos un criterio

reduce la probabilidad de alcanzar la puntuación necesaria para clasificar como estudio aprobado, independientemente de la puntuación total (es decir, la suma de las puntuaciones de todos los criterios) alcanzada. Si se cumplen todos los criterios, escogiendo en todas las respuestas la opción “Sí”, las puntuaciones individuales se resumen y conducen a la asignación de la categoría “aprobado”, con al menos aproximadamente el 80% de la puntuación máxima, o con al menos aproximadamente el 60% de la puntuación máxima. Por otra parte, las puntuaciones totales más bajas dan como resultado la categoría “no aprobado”.

Los valores de corte para las categorías “aprobado” y “no aprobado”, se establecieron arbitrariamente para proporcionar rangos adecuados para todas las categorías. Este prototipo de herramienta consistió inicialmente en 6 criterios que incluían un total de 25 preguntas. Al igual que la versión final de la herramienta, esos criterios permitían evaluar los artículos ambientales en cuanto a validez interna, externa y confiabilidad. En la versión inicial, los criterios se complementaron con explicaciones para apoyar la comprensión inequívoca y común de su significado. En las etapas iniciales del proyecto, se estableció un grupo de expertos, perteneciente al grupo de investigaciones de Aguas, Química aplicada y ambiental. Este grupo hizo aportes, sugerencias y permitió adecuar el test hacia una redacción más entendible y concisa. Posteriormente, debió convocarse un panel de evaluadores compuesto por ocho toxicólogos/epidemiólogos del ámbito nacional e internacional. En conjunto, este grupo debió acompañar y apoyar el desarrollo de la herramienta y su método de puntuación durante todo el período de elaboración. Las tareas principales de los evaluadores/expertos, eran proporcionar la orientación y retroalimentación toxicológica y epidemiológica necesarias para salvaguardar la solidez científica, la idoneidad y la aplicabilidad de la herramienta.

En el momento de la evaluación de los artículos, debió asignarse una categoría en función de los criterios, la herramienta ofrece la opción de asignar una única categoría, según el criterio personal de cada evaluador. Se recomienda que cada artículo sea evaluado por no más de dos jueces; si el juicio personal de cada juez difiere de en el resultado, se solicita al evaluador que documente los motivos. Esta documentación no tiene impacto en la evaluación de la calidad, sin embargo se recomienda que sea suministrada. Permite el registro informal de observaciones, realizadas durante la evaluación, que pueden ser importantes para futuras evaluaciones. Adicionalmente, el proceso de diseño y ajustes de la herramienta debe realizarse de manera periódica; convirtiéndose en un proceso cíclico evaluado por expertos y presentando una versión actualizada aproximadamente cada año. Un resumen del este proceso de diseño y elaboración de la herramienta puede ser observado en la Figura 1.

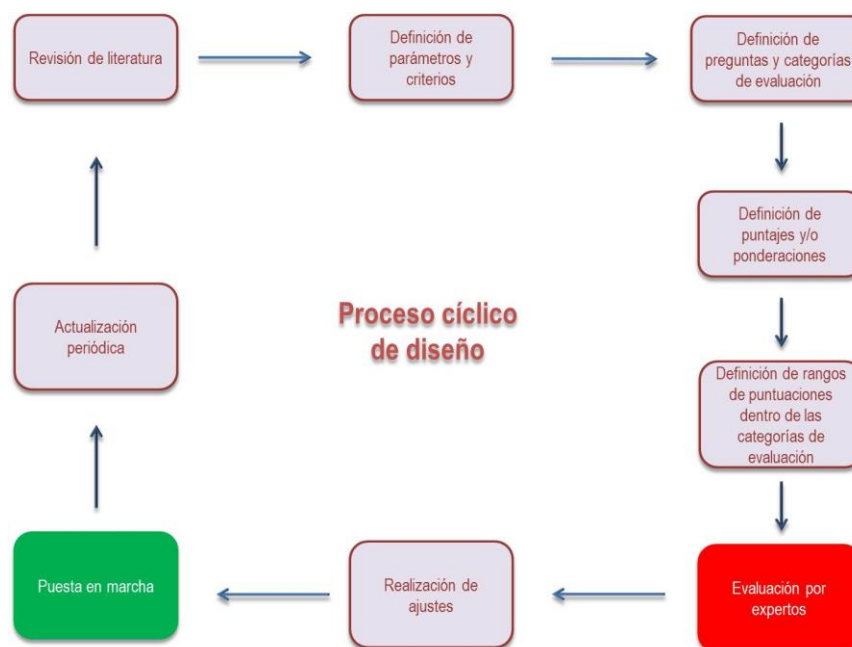


Figura 1. Esquema de la elaboración/diseño de la herramienta CAEnvíTool.

Diseño de esquema de uso de la herramienta por parte de evaluadores. Una vez establecida la revisión del preliminar de la herramienta, después de consultar con el grupo de expertos del grupo, esta debió transformarse en un archivo de Microsoft Office Excel®2019 para ser desarrollada con más facilidad durante uno o dos experimentos entre posibles jueces/evaluadores. En estos experimentos, la herramienta se aplicó a un conjunto de estudios ambientales seleccionados como estándar por ingenieros ambientales voluntarios (asesores) también involucrados en el proyecto. Se pidió que los evaluadores proporcionaran algunos detalles personales, como el nombre y la información de contacto, así como su opinión general sobre la herramienta después de haber completado el experimento de evaluar.

Tras el análisis de los hallazgos y conclusiones del primer experimento entre evaluadores, en el que se utilizó esta versión piloto 1 de la herramienta, se desarrolló una versión piloto 2 de la herramienta, con algunos ajustes. Someter la versión piloto 2 a un segundo experimento entre evaluadores (con evaluadores diferentes al del primer experimento) permite evaluar la efectividad de los ajustes realizados.

En consulta con el grupo de expertos, se seleccionaron cinco (5) estudios para representar una amplia variedad de tipos de estudio y criterios de valoración. Además, la intención era que estos artículos deberían representar un amplio espectro de calidad de datos (para permitir realizar una evaluación crítica objetiva), incluidos los estudios realizados de acuerdo con las directrices, publicaciones detalladas revisadas por pares, publicaciones antiguas, así como estudios que encierran resultados de grandes exposiciones ambientales. En un segundo experimento entre evaluadores, GAQA invitaría a científicos de listas de correo compiladas en el contexto de pruebas basadas en toxicología y epidemiología para evaluar la versión final de la herramienta de calidad.

3. Resultados

Esquema elegido para la evaluación, puntuación y/o ponderación. Para la versión piloto 2 de la herramienta de evaluación de la calidad de estudios ambientales, le fue dada una calificación cuantitativa a cada uno de los criterios de evaluación, por medio de la designación de un porcentaje de peso a cada criterio, que se relaciona con los valores de la respuesta, las cuales al igual que los criterios tienen un valor cuantitativo. El esquema de valoración cuantitativa se determina partiendo de que los siete (356) criterios que finalmente fueron escogidos, luego de las revisiones por parte de los expertos evaluadores, contemplan un 100%, determinando una porción de ese porcentaje de manera individual para cada criterio; esto dependiendo de su valor cualitativo descrito en cuanto a relevancia e importancia de este, a la hora de evaluar y posterior a la evaluación. El esquema de asignación de porcentajes, se encuentra detallado en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de porcentajes distribuidos según el peso del sesgo.

Sesgos	Porcentaje (%)
S1: Sesgos en la selección del sitio de estudio	10.0
S2: Sesgos en la clasificación de la exposición	10.0
S3: sesgos debido a la falta de datos	18.0
S4: sesgos en la medición de los resultados	20.0
S5: sesgos en el reporte de los resultados	12.0
S6: sesgos debido a la confundación	10.0
S7: validez externa	20.0
Total	100

Ahora bien, establecidos los porcentajes, cada criterio tuvo entre una (1) y cuatro (4) preguntas a responder, estas respuestas debieron integrarse al porcentaje por medio de una valoración individual establecida como se esquematiza en la Tabla 2. Estos valores se relacionan con los valores representados en la Tabla 1 realizando sumatoria del promedio estadístico de los resultados obtenidos para cada criterio, es decir, si el sesgo en la selección del sitio de estudio tiene tres (3) preguntas, los resultados de cada pregunta estarían entre cuatro (4) y uno (1) según la Tabla 2, de esta manera para hallar el valor total del criterio se determinó que debe calcularse la suma del promedio de los tres resultados y multiplicarse por el porcentaje de peso del criterio. Un ejemplo puede basado en la Tabla 1 puede ser observado en la Tabla 3.

Tabla 2. Valores de puntajes asignados a cada criterio de evaluación.

Opciones de respuesta	Valor asignado (puntaje)
Si	4
Probablemente sí	3
Probablemente no	2
No	1

Tabla 3. Ejemplo de puntuación y ponderación según uno de los sesgos determinados como criterio de evaluación.

Criterio	Porcentaje del criterio (Tabla 1)	Preguntas			Total
		P.1	P.2	P.3	
Sesgo en la selección del sitio de estudio	14.0	4	3	4	Suma promedio de (P.1+P.2+P.3) Multiplicado por Porcentaje del criterio (14%)

Ahora bien, obtenido el resultado total, este es sumado con el resultado total de los demás criterios, es decir, sumar el total de los siete (7) criterios, el cual dará un resultado entre uno (1) y cuatro (4). Este resultado entra a una escala valorada estadísticamente por límites inferiores y superiores de la como se encuentra detallado en la Tabla 3. Con esta escala estadística, se clasifica el resultado total del estudio ambiental evaluado, determinando evaluación aprobada o no aprobada, significa que si el resultado total del estudio está entre 1 a 3, se clasificaría como “no aprobado” y si el resultado total del estudio se establece entre 3.1 y 4 la clasificación se incluye en la categoría “aprobada”.

4. Discusión

En el presente estudio, una herramienta destinada a aumentar la transparencia y objetividad, evitando juicios informales en la evaluación de validez interna, externa y confiabilidad de datos ambientales, se ha desarrollado de forma progresiva y probada en dos experimentos independientes entre evaluadores. Este tipo de estudio también permitió obtener una idea de las posibles fuentes de variabilidad en la evaluación de la calidad de los datos ambientales que, que según la literatura revisada, no se había definido antes. Schneider y col. (2009) dieron a conocer la revisión de una herramienta de evaluación toxicológica elaborada por ellos (*ToxRTool*), en la que un panel de evaluadores realizó diferentes sugerencias y ajustes en la escala aplicada a criterios de calidad de datos toxicológicos de dos publicaciones. Luego de esos ajustes, en el estudio mencionado, se estableció una lista de 20 criterios, con criterios ponderados de manera diferente (3, 4, 5 o 10 puntos) y aplicados a los por una panel que incluyó a 23 evaluadores(357). En el presente estudio, la prueba exhaustiva de esta herramienta en dos revisiones independientes entre evaluadores permitirá un análisis detallado de varios aspectos de las evaluaciones de confiabilidad.

Anexo 4. Aproximación Teórica a Modelos conceptuales de la relación salud ambiente a partir del uso de Glifosato

1. Introducción

A partir de este documento, se exploraron algunos de los modelos teóricos explicativos de problemas de salud ambiental como el modelo Presión- Estado – Respuesta; el modelo FPEIR, el Modelo FPEEEA y el Modelo de Fuerzas Motrices – MFM.

Siendo el uso de plaguicidas como el glifosato un problema que cabe en el amplio espectro de los problemas de salud ambiental, se realizó un acercamiento a su análisis bajo el Modelo de Fuerzas Motrices.

Este modelo involucra categorías como las fuerzas motrices (FM) definidas como las condiciones de carácter estructural tanto sociales, económicas y demográficas que afectan las condiciones ambientales en un territorio específico. La FM es la categoría donde las condiciones y los riesgos ambientales pueden desarrollarse o evitarse. Desde una perspectiva de determinación social, las fuerzas motrices se derivan de los procesos de producción, distribución y consumo que se definen en una determinada sociedad y que no corresponden con asuntos individuales sino más estructurales. Es decir, son los seres humanos insertos en ciertas condiciones quienes a través de los procesos de producción, distribución y consumo generan las condiciones o los riesgos que pueden afectar la salud humana. Es en estos procesos que se impulsan actividades capaces de impactar negativamente el ambiente, redundando en efectos adversos a la salud de la población (6).

La presión (PE) entendidas como las manifestaciones concretas de las fuerzas motrices o el cómo se expresan las fuerzas motrices. Por ello, hacen referencia a las fuerzas económicas y sociales que de manera explícita se aplican en un territorio concreto. Se pueden identificar dos tipos de presiones: las antrópicas y las naturales. Es relevante resaltar que las presiones sobre el ambiente no actúan necesariamente en el mismo territorio donde surgen las fuerzas motrices que las determinan (6).

El estado (E) como la condición y la calidad del ambiente. Específicamente, se refiere a la situación del capital natural (recursos naturales, atmósfera, tierra y agua) que resulta de las presiones que los procesos de desarrollo imponen sobre los ecosistemas. Para establecer el estado es deseable revisar las condiciones y las tendencias biofísicas del ambiente (6).

La Exposición (Ex) que se refiere a las vías, rutas y modos a través de los cuales entra en contacto el riesgo ambiental o la condición ambiental con el ser humano (respiratoria, hídrica, alimentaria, cutánea) y, además, da cuenta de la frecuencia y la intensidad de dicho contacto. Esta categoría puede asimilarse a la noción de exposición que se usa en la epidemiología tradicional y el efecto (Ef) referido a las consecuencias en la salud de la población que se expresan en morbilidad, mortalidad evitable, afectaciones, discapacidad o letalidad (6).

2. Modelos Teóricos de Fuerzas Motrices y Salud Ambiental

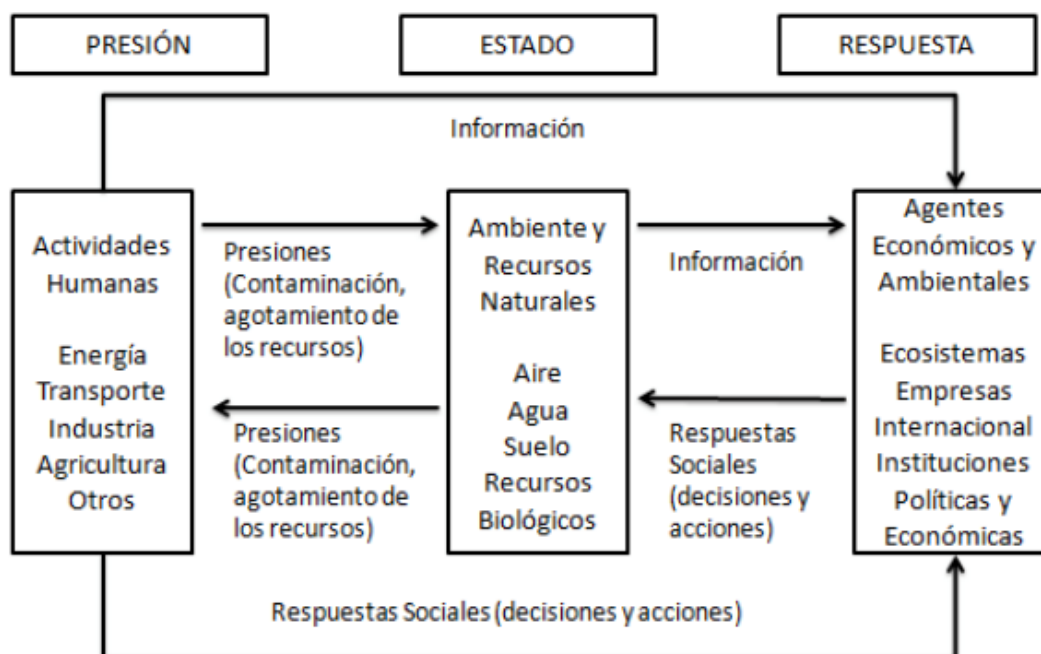
2.1 Modelo Presión – Estado – Respuesta

El modelo P-E-R (Presión- Estado- Respuesta), está basado en una lógica de causalidad, que asume que las actividades humanas ejercen una presión sobre el ambiente y afectan la calidad de sus elementos y la cantidad de sus recursos (estado); ante lo cual la sociedad responde a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales, así como cambios en la percepción y comportamiento (respuesta social) (1), (2)

El PER tiene la ventaja de destacar estas relaciones, proporcionando al público en general y a los tomadores de decisiones una visión integrada del ambiente y otros aspectos interconectados (1).

Para establecer el modelo de un problema ambiental dado, el esquema P-E-R identifica tres aspectos básicos: las presiones que recibe el ambiente, la situación del estado ambiental afectado y la respuesta de la sociedad. El marco conceptual Presión – Estado - Respuesta (PER), sigue la lógica lineal de que una Presión causa un cambio en el Estado, el cual provoca entonces una Respuesta por parte de la sociedad. Sin embargo, el modelo PER es limitado en su aplicación, pues no refleja los complejos procesos ecológicos y las interacciones hombre-medio ambiente. Más específicamente, no explica los impactos que pueden resultar de los cambios en el Estado, ni provee un medio para que las respuestas impacten el sistema de una manera dinámica y cíclica (1), (3).

La figura 1, muestra el modelo P-E-R de manera gráfica



Fuente: OCDE 1993

De acuerdo con el propósito para el cual el modelo PER es usado, este puede ser ajustado para mayor detalle o para incorporar algunos aspectos específicos. Un ejemplo es el modelo Fuerza Directriz- Estado- Respuesta (Driving force State- Response) empleado por la Comisión de Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas o bien, el marco utilizado para indicadores sectoriales por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico y el modelo Fuerzas Directrices- Estado- Impacto- Respuesta (Driving force State- Impact- Response) introducido por la Agencia Internacional Europea (1), (4)

Posteriormente, surge un marco conceptual más detallado que ayuda al análisis de la problemática ambiental y a evaluar los resultados dentro de la región que permitan generar respuestas efectivas y se desarrolla el modelo (FPEIR o DPSIR en Inglés). Este es una extensión del modelo PER que se basa en la idea de que las actividades antropogénicas impactan el ambiente y que estos impactos ambientales adversos inducen a los humanos a restringir o controlar los factores que afectan alguna fase del sistema (1)

2.2 Modelo FPEIR (o DPSIR en Inglés)

En el modelo FPEIR, las Fuerzas Motrices de la sociedad llevan a Presiones antropogénicas, que generan un Estado en el ambiente físico y / o natural inducido por Impactos; como consecuencia habrá Efectos en la salud que, a su vez, demandan respuestas. Las “Respuestas” retroalimentan a cada uno de los otros tipos de indicadores y como intervención pueden ocurrir en cualquier punto del espectro causal (1), (5)

En el modelo es posible diferenciar dos componentes: “Exposición” y “Efecto.” Esto es aplicable para las consideraciones tradicionales de modelos de salud, pero no excluye la importancia de los resultados ecológicos. La Exposición hace referencia a la intersección entre las personas y los riesgos inherentes en el ambiente, mientras el Efecto se refiere a las consecuencias en la salud causadas directamente por la exposición a los riesgos ambientales. Con esta modificación, el análisis se conduce del Estado a la Exposición al Efecto, antes de, finalmente, enlazarse a la Respuesta. Este modelo introduce dos nuevos conceptos: 1) “Fuerzas motrices,” que representan la forma como las presiones económicas y el comportamiento de la sociedad afectan al ambiente, y por lo tanto, al bienestar humano, y 2) “Impactos” que demuestra que el bienestar humano está relacionado con la calidad ambiental (1)

Las Fuerzas Motrices son factores socio-económicos que causan o favorecen cambios en el medio ambiente, los cuales influyen positiva o negativamente las presiones en el mismo. Ejemplos comunes de fuerzas motrices son el tamaño y composición de la población, el uso de los recursos, y los niveles de educación (ingreso per cápita, número de habitantes, o consumo de energía en el hogar) (1), (6)

Las “Presiones”, son factores naturales o antropogénicos que influyen directamente el estado del medio ambiente. Como la OCDE señala, las Presiones “cambian la calidad ambiental y la cantidad de los recursos naturales” (7). Un ejemplo común es el nivel de emisiones de fuentes de contaminación o la pérdida de recursos (cantidad de bióxido de carbono emitido por vehículos automotores, cantidad de descargas a efluentes por fuentes fijas, o la producción forestal maderable) (1).

El Estado se refiere a medidas de la calidad ambiental y la cantidad de recursos naturales, influenciados por las presiones. Un ejemplo típico es la concentración de un contaminante en un medio (concentración de ozono contaminante en el aire o el número de coliformes fecales en el agua) (1).

Los Impactos son los resultados de la condición del ambiente sobre las personas, animales y procesos ecológicos. Para los indicadores de salud ambiental, los Impactos pueden ser divididos en Exposición y Efecto. Un ejemplo común es la exposición a los contaminantes ambientales en las poblaciones biológicas (incidencia de enfermedades gastrointestinales en la población) (1).

Las Respuestas son los esfuerzos que realiza la sociedad para responder a los cambios y problemas ambientales. Como medidas de acción dirigidas, las Respuestas son típicamente expresadas como actividades de programa (número de trabajadores agrícolas capacitados en riesgos por pesticidas o la creación de leyes más estrictas para el control de las descargas de aguas residuales). El modelo

FPEIR fue implementado por México y Estados Unidos en el Plan Frontera, y es utilizado por la agencia europea del medioambiente AEMA (1).

2.3 Modelo FPEEEA

En 2003, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), en colaboración técnica con la Fundación Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) de Brasil, decidieron comenzar a trabajar conjuntamente en el proyecto denominado Global Environmental Outlook (GEO - Salud), una iniciativa creada en respuesta a la Declaración de los Ministros de Medio Ambiente y Salud de las Américas, aprobada en Ottawa, Canadá, en marzo de 2002 (8).

De este deriva un compromiso político con el apoyo a programas orientados a impulsar ambientes saludables, reducción de la pobreza e inequidad y el desarrollo sostenible. Por otra parte, a impulsar el mejoramiento de aptitudes para realizar gestión soportada en evaluación fundamentada en indicadores de salud ambiental (1).

La finalidad del proyecto GEO Salud es, crear una dinámica interdisciplinaria, intersectorial y participativa de producción de información científica confiable, dirigida a los responsables de tomar decisiones en los países que conlleven a la implementación de políticas ambientales y sanitarias sostenibles a mediano y largo plazo (Schutz, 2008). Ello implica la implementación de un enfoque metodológico fundamentado en indicadores ambientales que soporten los procesos de monitoreo, evaluación y seguimiento de las condiciones de salud ambiental (9).

El enfoque metodológico generador de indicadores surge por varias razones: Las herramientas metodológicas en uso actualmente provienen de experiencias llevadas a cabo en países desarrollados, los que cuentan con una capacidad técnica y científica instalada diferente a la disponible en la mayoría de los países de América Latina y del Caribe –ALC-, especialmente en lo referido al monitoreo de variables ambientales y la disponibilidad de series históricas consolidadas para consulta (8).

La heterogeneidad socio-ambiental y política de ALC exige la creación de una herramienta de evaluación general del medio ambiente y la salud en ALC –una región caracterizada por fuertes desigualdades sociales– no puede excluir el análisis de determinantes socioeconómicas. Este proceso integrado se desarrolla en tres etapas consecutivas: la definición del problema, la definición de los indicadores de salud y la formulación y posterior implementación de las intervenciones recomendadas (8). En la figura 2 se ilustra el modelo FPEEEA.

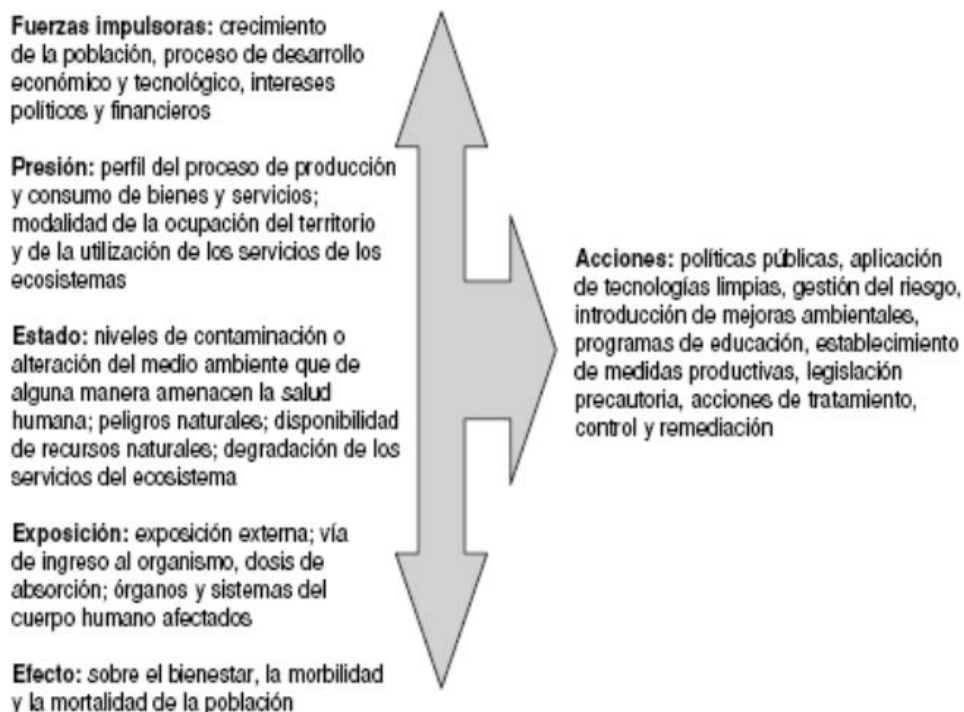


Figura 2. Componentes del modelo FPEEEA (8).

El modelo FPEEEA se utilizó en la iniciativa Análisis de Salud y Ambiente para la Toma de Decisiones (HEADLAMP), surgida con el objetivo de contribuir a la formulación de políticas ambientales y de salud mediante el aporte de conocimientos científicamente validados. Esta iniciativa integra métodos de evaluación toxicológica y epidemiológica con métodos de evaluación ambiental a fin de generar y agregar datos en indicadores destinados a monitorear el efecto de los cambios ambientales sobre la salud de la población (8).

Modelos de Fuerzas Motrices aplicado al uso de plaguicidas

A continuación se describen los pasos a seguir para la adaptación del uso de glifosato al Modelo de Fuerzas Motrices, de acuerdo con la metodología descrita por el Ministerio de Salud y Protección Social y la Organización Panamericana de la Salud (6)

3. Evento de interés seleccionado

El evento de interés seleccionado es “Exposición a glifosato”. La puerta de entrada para la aplicación del Modelo de Fuerzas Motrices - MFM es la categoría exposición. El porcentaje de personas expuestas al glifosato se define como exposición, es una consecuencia del modelo de producción agrícola con el que cuenta el país, en donde existen pocas posibilidades de contar con otro tipo de herbicidas por la cantidad de plagas que afectan los cultivos y por el problema estructural del narcotráfico que ha llevado a la aspersión de cultivos de uso ilícito como la coca con este herbicida.

MOMENTO 1. Identificación del evento de interés en salud ambiental

De acuerdo con el reporte de Viviana Manrique Zuluaga y Paz Carmona Alert “glifosato ¿en que consiste el debate”? (10). Desde que la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC, por su sigla en inglés) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) dio a conocer su informe el 20 de marzo de 2015 en el que concluyó que la sustancia denominada glifosato es un probable carcinogénico para humanos (grupo 2A), teniendo en cuenta que la inclusión del glifosato en el grupo 2A constituía un hecho nuevo de suma importancia¹⁹, se dio paso a un fuerte debate internacional respecto a su uso y llevó incluso a que varios países tomaran medidas al respecto, incluyendo a Colombia.

Dado que es un herbicida de amplio espectro, lo que está en cuestión es que el glifosato tiene un potencial impacto en todo tipo de cultivos, así mismo, en las aguas subterráneas y suelos, en la fauna local (peces, abejas y otros) y, eventualmente, en la salud de las personas que están expuestas a él.

En lo sucesivo a la definición dada por la OMS, se han lanzado diversos estudios y análisis con miras a determinar con mayor precisión el impacto de esta sustancia, especialmente en la salud de las personas y en el medioambiente.

La Unión Europea ordenó un estudio propio al respecto con miras a discutir la aprobación de su uso por cinco años más, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, por sus siglas en inglés) “realizó el informe científico más completo hasta la fecha sobre la evaluación del riesgo del glifosato, incluyendo el análisis de la IARC y otros trabajos públicos y de la industria de los últimos 40 años”. A través del cual, “la EFSA concluyó que es poco probable que el glifosato represente un riesgo cancerígeno para los humanos y la evidencia no respalda la clasificación con respecto a su potencial carcinogénico”, lo que permitió darle luz verde para su empleo.

Sin embargo, se le encargó a un grupo expertos realizar un estudio del informe por posible plagio, debido a diversas denuncias recibidas, quienes en enero de 2019 concluyeron que “el plagio se descubrió exclusivamente en los capítulos que tratan sobre la evaluación de estudios publicados sobre riesgos para la salud relacionados con el glifosato. En estos capítulos, el 50,1% del contenido se identificó como plagio” de informes favorables emitidos por la industria productora del herbicida. Lo que pone en entredicho la seguridad real del uso de esta sustancia.

Otra entidad que ha hecho eco de este debate es la Federación Internacional de Ginecología y Obstetricia (FIGO), que en marzo de 2019 sacó un comunicado solicitando remover el glifosato de su uso global atendiendo al principio de precaución. Aclaran que tanto la exposición directa por aplicación del producto o indirecta a través de productos alimenticios y en suministros de agua debido a la escorrentía del uso agrícola, y referencian que, “el meta-análisis más reciente

publicado en 2019 afirma que existe un vínculo convincente entre el linfoma no Hodgkin y el glifosato”.

El meta-análisis al que hace referencia es de febrero de 2019 y se titula “Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: A meta-analysis and supporting evidence” en el cual se investiga si existe una asociación entre altas exposiciones acumulativas a glifosato (GBH) y un mayor riesgo de desarrollar linfoma no Hodgkin (NHL) en humanos, ante lo que concluyeron que “la evidencia general de los estudios humanos, animales y mecanicistas presentados aquí respalda un vínculo convincente entre las exposiciones a GBH y un mayor riesgo de NHL.

En la Universidad de Texas se realizó un estudio relacionando el efecto del glifosato en las abejas, asegurando que es de gran peligrosidad para éstas, de hecho, “los investigadores concluyen que el glifosato puede debilitar el sistema inmunológico de los insectos alterando su microbioma intestinal”, lo que puede resultar de gran preocupación, en tanto, las abejas fueron declaradas como la especie más importante del planeta por el Instituto EarthWatch.

A nivel local, en Colombia el Grupo de Investigación en Toxicología Acuática y Ambiental (Aquatica) de la Universidad Nacional de Colombia, realizó diversos experimentos para evaluar el efecto del glifosato en los peces nativos, recientemente publicado como “Efectos tóxicos del glifosato en ictiofauna nativa de Colombia” presentado en la Feria Internacional del Libro de este año. Los experimentos supusieron la exposición de distintas especies de peces al herbicida, algunos pudieron resistir niveles más altos de concentración de la sustancia, mientras que otros murieron ante la concentración más baja. El doctor Jaime González, director del equipo de investigación, advirtió que “Aplicando las cantidades necesarias y suficientes pudimos establecer su efecto tóxico en los peces. Para esto utilizamos Roundup, herbicida producido por la multinacional Monsanto”.

Anteriormente, el 2017 en Colombia se llevó a cabo otro estudio por investigadores de la Universidad de los Andes, el cual explora las relaciones de las variaciones en la fumigación aérea en Colombia respecto a un panel de registros de salud individuales de modo de analizar los posibles efectos causales del empleo de glifosato en la salud a corto plazo.

Frente a todas estas reclamaciones y estudios, desde Bayer (la compañía dueña del producto Roundup luego que adquiriera a Monsanto), la microbióloga Osoris Ocando – gerente de asuntos públicos – explicó que cuando una autoridad regulatoria autoriza el uso del glifosato para un cultivo alimenticio, dentro de sus valoraciones debe analizar cuál va ser el impacto para los consumidores frente a un residuo de glifosato “detectar un porcentaje mínimo de glifosato en un alimento no representa riesgo, por ejemplo la EPA y otras entidades han analizado estos residuos y han determinado que el producto es seguro y que los niveles a los que estamos expuestos no representan un riesgo para la salud.

Asimismo, Henry Vanegas, gerente de la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas de Colombia (FENALCE), declaró que “el glifosato no es el problema, es su aplicación y se deben seguir las instrucciones al pie de la letra para evitar intoxicaciones. Acá se vende sin fórmula y se debería vender con acompañamiento de un técnico que lleve un récord para identificar abuso del producto o contaminación.

Por otra parte, la Reunión Conjunta FAO/OMS sobre Residuos de Plaguicidas también revisó la evaluación de la IARC y “determinó que era improbable que [el glifosato] entrañase el riesgo de producir cáncer en el ser humano por la exposición a través de la alimentación.

Así también, lo estableció en sus estudios el académico canadiense Keith Solomon, en los que concluyó que “los riesgos para las especies silvestres sensibles y para la salud humana provenientes del uso de glifosato para el control de la producción de coca (y amapola) en Colombia, son insignificantes, especialmente cuando se compara con los riesgos para las especies silvestres y para el hombre, resultantes de la totalidad del proceso de producción de cocaína (y heroína) en Colombia” y que, en el caso de la exposición por efecto de los vientos, “la aspersión directa sobre los humanos con glifosato más Cosmo-Flux fue un riesgo insignificante para la salud humana, la exposición a la deriva en el sentido del viento presenta un riesgo aún menor.

Sin embargo, para la Corte Constitucional colombiana, los estudios de Solomon no son determinantes, en tanto: “por un lado, fue comisionado por la CICAD, que es el órgano político de la OEA encargado principalmente de la lucha contra las drogas. Por otra parte, como lo puso de presente un congresista en uno de los varios debates de control político cuyas actas se enviaron a la Corte, los autores de este informe tienen vínculos importantes con las empresas productoras del glifosato. El autor principal, además, es quien formuló varios de los productos coadyuvantes utilizados por las autoridades colombianas en la erradicación de la coca. Dicha afiliación fue revelada de manera recta y transparente por este experto al rendir su concepto ante la Corte”

MOMENTO 2. Identificación de indicadores

En el momento 1 se consideraron algunos de los determinantes estructurales e intermedios de la exposición al herbicida glifosato y los efectos en salud relacionados. En la siguiente tabla se identifican una serie de indicadores para cada una de las categorías del MFM y que se corresponden con la clasificación de determinantes propuesta por la OMS en 2008 y asumida por el Plan Decenal de Salud Pública

Tabla 1. Indicadores para glifosato según las categorías del MFM

Categoría del Modelo	Posibles Indicadores
Fuerza Motriz	Políticas Agrícolas Políticas de erradicación de Cultivos de uso ilícito Pactos firmados con otros países para la erradicación de cultivos de uso ilícito Crecimiento demográfico Nivel de pobreza de la población Expansión de la frontera agrícola
Presión	Número de Hectáreas fumigadas con glifosato Tipo de cultivos asperjados con glifosato Cantidad de glifosato comprado
Estado	Matrices ambientales contaminadas con glifosato Absorción de glifosato en diferentes organismos como peces, macroinvertebrados, lombrices, plantas, mamíferos Concentración de glifosato y sus metabolitos en diferentes matrices ambientales
Exposición	Concentración de glifosato y sus metabolitos en agua para consumo humano Concentración de glifosato y sus metabolitos en alimentos Concentración del glifosato y sus metabolitos en el aire Exposición ocupacional al glifosato Exposición al glifosato a través del polvo en el hogar, fumigaciones y suelo del jardín Numero de asperjadores expuestos al glifosato Numero de productores de coca expuestos al glifosato Número de circundantes (nombre dado a quienes se encuentran expuestos en los campos de cultivo o zonas aledañas al cultivo) expuestos al glifosato
Efectos	Efectos neurológicos Efectos en la piel Efectos en el sistema digestivo Efectos sobre los organos de los sentidos Efectos sobre el sistema respiratorio Efectos sobre el sistema hematopoyético Efectos sobre el sistema cardiovascular Efectos sobre el sistema urinario Concentración de acetilcolinesterasa en contexto ocupacional y no ocupacional

Fuente: elaboración propia.

Conviene a partir de este listado de indicadores del Modelo de Fuerzas Motrices establecer las principales relaciones entre indicadores con el fin de tomar decisiones de cuáles usar según las

dinámicas específicas de cada territorio. A manera de ejemplo se especifica el análisis de una posible ruta de relacionamiento entre indicadores en la figura 3



Figura 3. Indicadores para glifosato según las categorías del MFM. Fuente: elaboración propia

Finalmente se requiere aclarar que es necesario para cada uno de los indicadores que se vaya a usar establecer el nombre; a que categoría del Modelo de Fuerzas Motrices pertenece (Fuerza Motriz, Presión, Estado, Exposición, Efecto); la descripción; valor admitido o deseable (si lo hay); cálculo; fuente de información; escala temporal; escala espacial y horizonte de tiempo del indicador.

Bibliografía

- (1) Pérez M. Minería en Colombia: un asunto a analizar desde el modelo de fuerzas motrices. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [Internet] 2015; 1: 531-538 [consultado 2020 Abr 20] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263139243072.pdf>
- (2) Vásquez R, García R. Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades* [Internet] 2018; 27 (supl. 53-1): [consultado 2020 Abr 20] Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/859/85955159001/html/index.html>
- (3) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Marcos conceptuales de indicadores ambientales [Internet] [Consultado 2020 Abr 20] Disponible en: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores14/conjuntob/00_conjunto/marco_conceptual2.html
- (4) Polanco C. Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y Ambiente* [Internet] 2006; 9(2): 27-41 [consultado 2020 Abr 20] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169420986007.pdf>
- (5) Quiroga R. Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe [Internet] [Consultado 2020 Abr 20] Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5498/S0700589_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- (6) Ministerio de Salud y Protección Social, Organización Panamericana de la Salud. Modelo de Fuerzas Motrices en el marco de la Dimensión de Salud Ambiental del Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021. [Internet] [Consultado 2020 Abr 20] Disponible en: <https://www.MSPS.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/modelo-de-fuerzas-motrices-en-el-marco-de-la-dimension-de-salud-ambiental-del-plan-decenal-de-salud-publica-2012-2021.pdf>
- (7) OCDE. OECD core set of indicators for Environmental performance reviews: A synthesis report by the Group on the State of the Environment. [Internet] [Consultado 2020 Abr 20] Disponible en: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD\(93\)179&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD(93)179&docLanguage=En)
- (8) Schütz G, Hacon S, Silva H, Moreno A, Nagatani K. Principales marcos conceptuales aplicados para la evaluación de la salud ambiental mediante indicadores en América Latina y el Caribe. [Internet] [Consultado 2020 Abr 20] Disponible en: <https://scielosp.org/article/rpsp/2008.v24n4/276-285/>

(9) PNUMA, OPS. GEO Salud: Metodología para una evaluación integrada de medio ambiente y salud. Un enfoque en América Latina y el Caribe. [Internet] [Consultado 2020 Abr 20] Disponible en: <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/GEO%20SALUD%20PNUMA%206-19-09.pdf>

(10) Manrique V, Carmona P. Glifosato ¿En qué consiste el debate?. [Internet] [Consultado 2020 Abr 20] Disponible en: <http://www.oei.org.co/uploads/files/microsites/31/129/glifosato-en-que-consiste-el-debate.pdf>