

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL
CAUSADO POR EL USO DE PLAGUICIDAS EN SISTEMAS HORTOFRUTÍCOLAS DE LA
SABANA DE BOGOTÁ**

**LENIS BLADIMIR GUAITERO DÍAZ
790688**

**Trabajo de grado presentado para optar el título de Magister en Ciencias Agrarias con énfasis
en Malherbología**

**DIRIGIDO POR:
CILIA LEONOR FUENTES DE PIEDRAHITA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA DE POSGRADOS
Bogotá, D.C., 2010**

JURADO PRESENTACIÓN DE TESIS

Presidente: Guido Armando Plaza Trujillo.

Jurado: Amanda Lozano

Jurado: Fabio Leiva Barón

Directora: Cilia Leonor Fuentes De Piedrahita

AGRADECIMIENTOS

A Dios Padre Todopoderoso como estilo de vida que me ha permitido alcanzar este propósito. Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a mi directora de tesis, la Dra. Cilia Leonor Fuentes De Piedrahita quién con su dedicación y excelentes orientaciones permitió el desarrollo de este trabajo con ideas valiosas y discusiones muy útiles. Aprecio mucho el apoyo, la financiación y la cooperación del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia en el planteamiento y desarrollo de la presente iniciativa en procura de bienestar para la población colombiana. Los resultados aquí presentados no hubiesen podido ser materializados sin sus preciadas colaboraciones.

Quiero agradecer al Dr. Guido Plaza Trujillo quién no dudo en extender su mano para dar su apoyo en el fundamento de esta meta alcanzada, su consejo y apoyo incondicional son muestra de la gran persona que representa.

Mi gratitud especial para el Dr. Ronnie Juraske del Instituto de Ingeniería Ambiental, Instituto Federal Suizo de Tecnología (ETH), no solo por sus orientaciones en la metodología propuesta sino por dedicar su valioso tiempo apoyando el desarrollo de la misma.

Mi más profundo aprecio y gratitud es dado a Olga Díaz y Laureano Guaitero, mis padres, que desde el inicio de mis estudios han dado lo mejor de sí al procurar un mejor andar en el desarrollo de mi vida profesional. Finalmente, mi apreciación especial para Ginna por todo su amor, paciencia e invaluable apoyo y su fe inquebrantable en mí que me han permitido superar todos los obstáculos.

¡MUCHAS GRACIAS!

TÍTULO EN ESPAÑOL:

“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE PLAGUICIDAS EN SISTEMAS HORTOFRUTÍCOLAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ”

TÍTULO TRADUCIDO AL IDIOMA INGLÉS:

“METHODODOLOGICAL PROPOSAL FOR ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT CAUSED BY THE USE OF PESTICIDES IN HORTICULTURAL SYSTEMS IN BOGOTÁ PLATEAU”

RESUMEN EN ESPAÑOL:

Los plaguicidas químicos son uno de los insumos más importantes en la producción agrícola. Sin embargo, en el caso Colombiano, su uso indiscriminado y sus efectos negativos potenciales, sumado a la ausencia de planes de manejo integrado de plagas y enfermedades en los cultivos y de una metodología para la evaluación del riesgo por plaguicidas para el ambiente y los humanos, son algunas de las razones que motivaron el desarrollo de una propuesta de evaluación de riesgo ambiental de la aplicación de plaguicidas. Con el presente trabajo de investigación se diseñó y se verificó – mediante tres estudios de caso en la Sabana de Bogotá - una propuesta metodológica para la evaluación del riesgo ambiental (ERA). Esta se constituye en una herramienta que permite la valoración del nivel del riesgo al que se encuentran expuestos los compartimentos ambientales y los humanos teniendo en cuenta las características de la exposición a los plaguicidas y las características físicas, químicas, toxicológicas y ecotoxicológicas de los mismos. Para esto, en tres fases de evaluación, la propuesta de ERA integra cuatro indicadores de riesgo, que mediante un proceso escalonado, cada vez más exigente, permite la valoración del nivel de riesgo. Las características relevantes de la metodología propuesta es que mantiene un balance entre complejidad y aplicabilidad lo que la hace muy práctica, económica y flexible, la cual puede ser fácilmente adaptada a otros cultivos incluso, ubicados en otras zonas geográficas del país. Además, puede ser fácilmente usada para determinar el ingrediente activo ambientalmente más amigable antes de su aplicación y en determinadas condiciones de cultivo, permitiendo mejorar la toma de decisiones en el uso de plaguicidas. Por estas razones, la ERA propuesta es recomendada como una herramienta práctica para estimar, categorizar y valorar el nivel de riesgo de los plaguicidas antes o después de su aplicación en sistemas hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá.

RESUMEN TRADUCIDO AL IDIOMA INGLÉS:

Chemical pesticides are one of the most important inputs in agricultural production. However, in the case of Colombia, the indiscriminate use and the potential negative effects on human beings and the environment, the lack of integrated pest management plans and the absence of a methodology for assessing pesticide risk are some of the reasons that motivated the development of a proposal for environmental risk assessment. The objective of this research was to structure and validate through three case studies in Bogota plateau a methodology for Environmental Risk Assessment (ERA). This is a tool to assess the level of pesticides risk for human beings and the environment, taking into account the nature of exposure to pesticides as well as the physical, chemical, toxicological and ecotoxicological properties of such inputs. Based on three phases of evaluation ERA's proposal integrates four risk indicators that allows the assessment of the level of risk. Among the relevant features of this proposal it is worth to mention that it maintains a balance between complexity and applicability making it practical, economical and flexible; it is easily adapted to other horticultural crops even located in other geographical areas of the country. The methodology can also be easily used to determine the more environmentally friendly active ingredient before it is applied, enabling improved decision making in the use of pesticides. For these reasons, the proposed ERA is recommended as a practical tool to estimate, categorize and assess the level of risk of agricultural pesticides before or after application in horticultural systems in Bogota plateau.

PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL:

Buenas Prácticas Agrícolas, Indicador de riesgo, Destino ambiental de plaguicidas.

PALABRAS CLAVE TRADUCIDAS AL INGLÉS:

Good Agricultural Practices, Risk indicator, Pesticide environmental fate.

FIRMA DE LA DIRECTORA: _____

CILIA LEONOR FUENTES DE PIEDRAHITA

NOMBRE DEL AUTOR Y AÑO DE NACIMIENTO:

Lenis Bladimir Guaitero Díaz, nacido en 1986.

“Este trabajo hace parte de las investigaciones realizadas por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Sin embargo, las ideas emitidas por los autores son de exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la universidad”.

(Artículo 14 de la Resolución 00047 de 1981)

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	10
2.	MARCO REFERENCIAL PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL (ERA)	15
2.1.	Formulación del problema	16
2.1.1.	Integración De La Información Disponible	18
2.1.2.	Selección de los “assessment endpoints”	18
2.1.3.	Modelos conceptuales	19
2.1.4.	Plan de análisis	19
2.2.	Evaluación del riesgo por la aplicación de plaguicidas químicos	20
2.2.1.	Procedimiento escalonado para la evaluación del riesgo ambiental.....	21
2.3.	Caracterización del riesgo.....	24
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1.	Ubicación y descripción del lugar	26
3.2.	Caracterización y priorización de las metodologías de evaluación del riesgo	26
3.3.	Estructura de la propuesta de ERA	27
3.4.	Verificación de la propuesta de ERA	27
4.	CARACTERIZACIÓN DE INDICADORES PARA VALORAR EL RIESGO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE PLAGUICIDAS EN SISTEMAS AGRÍCOLAS.....	29
4.1.	Programas e Indicadores desarrollados en Europa	29
4.1.1.	Environmental Yardstick for Pesticides (EYP)	29
4.1.2.	Chemical Hazard Evaluation for Management Strategies (CHEMS1)	33
4.1.3.	Environmental Performance Indicator for Pesticides (p-EMA).....	36
4.1.4.	Environmental Impact Quotient (EIQ).....	38
4.1.5.	Environmental Potencial Risk Indicador for Pesticides (EPRIP)	42
4.1.6.	Pesticide Environmental Risk Indicator (PERI)	46
4.1.7.	Synoptisches Bewertungsmodell fur Pflanzenschutzmittel (SYNOPS 2)	48
4.1.8.	System for Predicting the Environmental Impact of Pesticides (SyPEP).....	52
4.1.9.	Suma de las unidades tóxicas equivalentes (the sum of spread equivalent-seq).....	55
4.1.10.	Programa de la Universidad de Milán	56
4.1.11.	Diagrama de Hasse (HD) y metodología de categorización.....	64
4.1.12.	Pesticide Environmental Impact Indicador (Ipest).....	66
4.1.13.	PestScreen.....	68
4.2.	Programas e indicadores desarrollados en los Estados Unidos	71
4.2.1.	Pesticide Screening Tool (WIN-PST)	71
4.3.	Programas e indicadores desarrollados en Asia	72
4.3.1.	Geo-environmental Risk Assessment System (GERAS).....	72

4.4.	Programas e indicadores desarrollados en Latinoamérica	73
4.4.1.	Programa RECAP (Riesgo Ecológico por Aplicación de Plaguicidas) de Chile	73
4.4.2.	Índice de predicción de la presencia potencial de Residuos (IR) y de Residuos Tóxicos (IRT) de plaguicidas en productos cosechados-(Colombia)	81
5.	COMPARACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE PLAGUICIDAS	84
5.1.	Propósito, escala y estado de desarrollo de los indicadores	84
5.2.	Compartimentos ambientales y organismos objeto de evaluación.	87
5.3.	Metodología y presentación de resultados	90
5.4.	Selección de los indicadores que cumplen con los aspectos predefinidos y con los criterios de evaluación	93
5.5.	Criterios de evaluación de las metodologías para valorar el riesgo causado por el uso de plaguicidas.....	93
5.6.	Priorización del indicador en función de los criterios de selección.....	94
6.	ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR LA APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS EN SISTEMAS AGRICOLAS	96
6.1.	Fase 1: Formulación del problema	99
6.1.1.	Integración de la información disponible.....	99
6.2.	Fase 2: Evaluación del Riesgo Ambiental.....	103
6.2.1.	NIVEL I.....	105
6.2.2.	NIVEL II.....	107
6.2.3.	NIVEL III.....	115
6.2.4.	NIVEL IV	115
6.3.	Fase 3: Caracterización del Riesgo.....	116
7.	VERIFICACIÓN DE LA PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE PLAGUICIDAS EN SISTEMAS HORTOFRUTÍCOLAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ.....	117
7.1.	Metodología usada en la verificación de la ERA.....	117
7.1.1.	Recolección de muestras de suelo, agua de riego y tejido vegetal	119
8.	ESTUDIOS DE CASO.....	122
8.1.	Estudio de caso 1: Evaluación de riesgo ambiental causado por el uso de tetradifon en UN cultivo de espinaca en el municipio de Cota (Cundinamarca).	122
8.1.1.	Fase 1: Formulación del problema	122
8.1.2.	Fase 2: Evaluación del riesgo ambiental	124
8.1.2.	Fase 3: Caracterización del riesgo.	131
8.2.	Estudio de caso 2: Evaluación de riesgo ambiental causado por el uso de carbofuran en un cultivo de fresa en el municipio de Facatativá (Cund.)	132
8.2.1.	Fase 1: Formulación del problema	132
8.2.2.	Fase 2: Evaluación del riesgo ambiental	134
8.2.3.	Fase 3: Caracterización del riesgo.	140

8.3.	Estudio de caso 3: Evaluación de riesgo ambiental causado por el uso de carbendazin en un cultivo de fresa en el municipio de Facatativá (Cund.)	141
8.3.1.	Fase 1: Formulación del problema	141
8.3.2.	Fase 2: Evaluación del riesgo ambiental	142
8.3.3.	Fase 3: Caracterización del riesgo	147
9.	CONCLUSIONES	148
10.	LITERATURA CITADA	151
11.	ANEXOS	155

1. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola tiene una importancia fundamental en Colombia. El suministro de alimentos a la población humana, la generación de empleo y su gran participación en el desarrollo socioeconómico del país, son aspectos importantes que cubren esta actividad. Pero como todo sistema productivo, la producción agrícola requiere de insumos que mejoran las condiciones de los cultivos, haciendo que ésta actividad sea rentable y competitiva. Dentro de esta serie de insumos, los plaguicidas constituyen uno de los más importantes debido a que permiten el control de plagas y enfermedades que si no son manejadas, en el peor de los casos, pueden ocasionar la pérdida de la cosecha hasta en un 100%.

Los plaguicidas se constituyen en una herramienta que hace viable y factible la producción agrícola. Siguiendo las recomendaciones técnicas para un uso adecuado y oportuno, estos productos químicos pueden brindar un control eficiente de las plagas y enfermedades de los cultivos ocasionando un impacto negativo mínimo o “aceptable” sobre el ambiente y la salud humana. Sin embargo, en el caso colombiano los plaguicidas han sido usados de forma indiscriminada en la mayoría de los sistemas de producción agrícola, lo cual se traduce en casos de sobredosificación y en aplicaciones calendario con alta frecuencia (Vallejo, 1994; Muñoz, 1992). Por ejemplo, Santiago (2001) demuestra que el 80% de los productores de repollo y el 73% de los productores de espinaca encuestados incurren en sobredosificación de por lo menos un plaguicida químico en explotaciones establecidas en el Municipio de Madrid (Cundinamarca) y en el Municipio de Cota (Cundinamarca), respectivamente. Ese mismo estudio demostró que en cultivos de cilantro y espinaca, en general, se presentan con mayor frecuencia casos de altas dosis de aplicación de fungicidas (hasta 6 aplicaciones por ciclo en Espinaca y hasta 12 aplicaciones en Cilantro). Otros casos similares son reportados en el estudio realizado por Santiago (2001) en cultivos de fresa en el Municipio de Facatativá (Cundinamarca) y por Acosta (2003) en cultivos de cebolla larga en el Municipio de Aquitania (Boyacá). Este uso indiscriminado de los plaguicidas preocupa a las autoridades ambientales y de salud debido al posible riesgo de efectos negativos sobre los ecosistemas y los humanos.

La falta de asistencia técnica y la escasa investigación que se ha generado en el manejo de organismos plaga de los sistemas de producción hortícola en Colombia, ha llevado a un arraigo por parte de los productores a una agricultura tradicional en donde el uso de plaguicidas como el de fertilizantes químicos es intenso y excesivo. Según un estudio realizado por Romero *et al.* (2005), el 80% de los agricultores usan plaguicidas para el manejo de plagas y enfermedades en las fincas hortícolas del Municipio de Cota. Si bien, el uso de agroquímicos muchas veces es indispensable en la producción agrícola, su uso incorrecto, como ocurre en un alto número de las fincas que producen hortalizas en Cota (situación que puede ser semejante en el resto del país) conduce a la contaminación del agua, el suelo y en general de los agroecosistemas, así como a efectos nocivos para el operario y muchas veces para su familia.

Los efectos negativos que para la salud y el ambiente pueden generar la utilización de plaguicidas en la producción de alimentos se han convertido en un tema que preocupa a la sociedad en general. Tal preocupación puede fundamentarse en la presencia de residuos de plaguicidas en alimentos, suelos y aguas, por ejemplo, observar Ongley, 1999 y Pimentel, 1997 y en el país, McCormick (1973), Gallego (1973), Gómez (1975), Restrepo y Jaramillo (1975) y, García y Restrepo (1996). Lo anterior también puede constatarse en varios estudios realizados en el país sobre residuos de plaguicidas en varias hortalizas; por ejemplo, Gómez (1975), Gómez y Cardona (1978), Urrego y Cachique (1986), García y Restrepo (1996) y, Farias *et al.*, (2004). Lo anterior no es una característica sólo de los productores de hortalizas del país, Ongley (1999) reporta la misma situación como un problema generalizado en los países en desarrollo.

Otros de los aspectos que incrementa el riesgo para el ambiente y los humanos debido al uso de plaguicidas es la ausencia o el incumplimiento de normatividad relacionada con el registro, la distribución, comercialización y aplicación de estas sustancias químicas. En Colombia existe normatividad que orienta la adecuada aplicación de los plaguicidas (Resolución 384 de 2001 del Instituto Colombiano Agropecuario; ICA, 2001), además existen guías ambientales para el almacenamiento, transporte, aplicación y disposición de envases y residuos de los plaguicidas (ANDI y MAVDT, 2003), pero el grado de sensibilización y de apropiación de esta normatividad es incipiente por parte de los productores agrícolas. De igual forma, gran parte de los sistemas *productivos* no poseen un adecuado plan de manejo integrado de plagas y enfermedades en los cultivos, el cual podría mejorar las condiciones de aplicación de los plaguicidas de acuerdo con un criterio técnico.

El registro de plaguicidas en Colombia está orientado por la Resolución 3759 de 2003 del ICA, la cual adopta en parte las disposiciones establecidas en la Resolución 532¹ de la Secretaría General de la Comunidad Andina, en donde se expone el “Manual técnico andino para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola”. Según la Comunidad Andina (Resolución 532), la finalidad de la Evaluación del Riesgo Ambiental es la de establecer el potencial de los efectos ambientales de los plaguicidas químicos. Esta evaluación debe ser utilizada en el proceso de evaluación Riesgo/Beneficio de un plaguicida como sustento de la toma de decisiones. Este proceso es una parte importante del control regulatorio para el Registro de los nuevos plaguicidas y la reevaluación de los ya registrados, tal como lo establece la citada Resolución.

¹La Resolución 532 fue emitida en cumplimiento del artículo 70 de la Decisión 436. La Decisión 436 establece la Norma Andina para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola. El objetivo de la Resolución 532 es facilitar la aplicación de la Decisión 436 en los Países Miembros de la Comunidad Andina e identificar los procedimientos y criterios de gradualidad y especificidad que permitan una interpretación armonizada de los requisitos establecidos en la Decisión, orientados al desarrollo técnico científico del Registro de los Plaguicidas.

En países de mayor desarrollo económico se han venido realizando importantes trabajos de investigación sobre el comportamiento, destino y efecto en el ambiente y la salud humana de las sustancias tóxicas utilizadas en distintos procesos de producción, dentro de éstos los de producción agrícola (Walker, 1995). Esto ha permitido establecer políticas, reglamentaciones y procedimientos claros acerca del manejo de este tipo de productos. En Colombia, a pesar de que se han realizado importantes trabajos sobre el comportamiento en el ambiente (agua y suelo) de varias moléculas de agroquímicos, especialmente herbicidas (Pérez, 2000; Acevedo, 1999; Olarte, 1999; Hernández y Sánchez, 1998 y Blanco, 1997), así como de la determinación de Límites Máximos de Residuos (LMR) en alimentos (Cobo de Martínez, 1985 y García y Gordillo, 1983), todavía no existe una metodología práctica para la evaluación del riesgo del uso de los plaguicidas sobre los componentes ambientales y los humanos, así como no se evidencia una metodología clara para la estimación del nivel de riesgo de residuos de plaguicidas en los productos cosechados.

De otro lado, el análisis de residuos de plaguicidas ha tomado gran importancia en el país por constituirse en un requisito de calidad que cada vez cobra mayor interés en las normas de comercialización de productos agrícolas a escala internacional (Beltrán, 1995). En el caso particular de frutas y hortalizas esta situación se presenta con mayor agudeza debido a que se realizan tratamientos intensivos con plaguicidas y a que su consumo se hace normalmente en fresco (Torrado, 1994). Pero el hecho que el tema de residuos se plantee en el comercio internacional, no puede hacer menos importante la consideración de los consumidores nacionales.

En la actualidad, en el mundo existen muchas metodologías, algunas más complejas que otras, que pueden permitir la estimación de los posibles efectos negativos del uso de plaguicidas sobre el ambiente y los humanos, partiendo de las propiedades (físicas, químicas, toxicológicas y ecotoxicológicas) del plaguicida, las características del ambiente y de las aplicaciones en el cultivo. Isensee (1991) destaca como ventajas del uso de los métodos de estimación, que son muy económicos comparados con métodos de determinación en laboratorio, y que además están rápidamente disponibles o que las propiedades sobre las cuales se hacen las estimaciones son relativamente fáciles de determinar.

En esta controversia sobre el uso de los plaguicidas en la agricultura, surge en primer lugar, el interrogante sobre la salud humana, dado el riesgo que puede representar un alimento contaminado con residuos de plaguicidas. Los plaguicidas también son cuestionados por el riesgo para la salud humana que surge de la manipulación, la aplicación en el campo y el manejo final de los envases; cada uno de estos riesgos justifica estudios para valorar su verdadero impacto en la salud humana. En cuanto a los residuos en alimentos, estos se pueden determinar mediante métodos analíticos, pero también se pueden realizar estimaciones mediante el cálculo de índices teóricos, que permitirían evidenciar en determinado momento, los compuestos con posibilidades de estar presentes como residuos en cantidades no

tolerables, en los productos de cosecha como hortalizas y frutas. Particularmente, estas estimaciones resultan de gran importancia, ya que muchas frutas y hortalizas se consumen en fresco, sin procesar.

Identificar los riesgos tanto en las poblaciones humanas como en los diferentes compartimentos del ambiente, es una tarea multifactorial, compleja y que puede ser abrumadora. Sin embargo, la aplicación de metodologías de Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) y el desarrollo de indicadores de riesgo comparativos, son un paso funcional y útil hacia la identificación, categorización, valoración y reducción del riesgo por el uso de plaguicidas en sistemas agrícolas. En este contexto, el uso inadecuado de los plaguicidas, además de permitir dar inicio a la generación de conocimiento necesario para el establecimiento de programas integrados de manejo de cultivos, resalta la necesidad de conocer el destino ambiental y la estimación de los efectos potenciales sobre el ambiente y sobre los humanos. Además, si se desea dar paso al mercado de frutas y hortalizas en el mercado internacional, la exigencia del cumplimiento de los LMR's permisibles para cada producto es de obligatorio cumplimiento, para lo cual y con el fin de reducir los costos de producción, se pueden proponer y verificar metodologías que permitan la estimación de la cantidad de residuos en los productos agrícolas en punto de cosecha.

En resumen, el uso indiscriminado de plaguicidas químicos y sus efectos negativos potenciales durante su ciclo de vida, sumado a la falta de apropiación y sensibilización de los productores agrícolas frente al uso adecuado de los mismos, la ausencia de planes de manejo integrado de plagas y enfermedades en los cultivos y de una metodología para la evaluación del riesgo por plaguicidas para el ambiente y los humanos, así como de una metodología para la estimación del nivel de riesgo de residuos de plaguicidas en los productos cosechados, son algunas de las razones que motivaron el desarrollo de esta propuesta de evaluación de riesgo ambiental de la aplicación de plaguicidas.

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una propuesta metodológica de evaluación del riesgo por el uso de plaguicidas químicos en cultivos de frutas y hortalizas de la Sabana de Bogotá.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar los indicadores para valorar el riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en cultivos de frutas y hortalizas de la Sabana de Bogotá.
2. Priorizar la o las metodologías para la valoración del riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas químicos.
3. Proponer una metodología de evaluación del riesgo por el uso de plaguicidas en cultivos de frutas y hortalizas de la Sabana de Bogotá.

4. Verificar esa propuesta metodológica de evaluación de riesgo ambiental y para los humanos ocasionado por la aplicación de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá.

2. MARCO REFERENCIAL PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL (ERA)

Los agroecosistemas y ecosistemas profundamente alterados, en los que se pretende un grado de equilibrio acorde con los intereses de los humanos. La Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) por plaguicidas permite valorar de manera diagnóstica y predictiva, el nivel de riesgo de efectos adversos del uso de estos compuestos en el ambiente y en humanos. El objetivo que persigue este capítulo es establecer el marco referencial sobre el cual se desarrolla la propuesta metodológica de evaluación de riesgo por la aplicación de plaguicidas en cultivos hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá. Por tanto, se realiza una descripción de los principios fundamentales de cada una de las fases de la ERA y se incluyen guías para los procedimientos de evaluación soportados en los documentos publicados por la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency (EPA), 1992; EPA, 1998) de Estados Unidos y por la Comunidad Andina (CAN, 1998; CAN, 2001). Esto no quiere decir que la presente propuesta incluya todos los procedimientos de evaluación presentados en estos documentos, más bien se integra una propuesta de ERA flexible y ajustada a las condiciones bajo las cuales se desarrolla el estudio.

La evaluación ecotoxicológica que se aprecia a través de una ERA, debe partir de un conocimiento cabal del ambiente (comunidad o ecosistemas) que se pretende proteger o preservar; de los indicadores críticos, de su sobrevivencia; para poder definir con certeza las pruebas y los organismos que debemos utilizar para medir el daño real que puede ocasionar una sustancia química que ingresa al ecosistema (EPA, 1998). Además, para la ERA se requiere la información sobre las propiedades físicas y químicas de la sustancia, además del comportamiento en los ambientes abiótico y biótico, y de este último, el efecto a sus componentes como la toxicidad a aves, mamíferos, peces, artrópodos acuáticos y terrestres, lombriz de tierra, y a microorganismos; además de la información sobre los patrones de uso propuestos de la sustancia.

Los anteriores parámetros considerados son orientativos y pueden ser utilizados con criterio técnico científico para que expresen valores interpretables en el contexto ambiental de la Sabana de Bogotá. Estos parámetros y criterios son sólo referencias que deben ser ajustadas con la constante información que emerge de las experiencias que se obtienen del seguimiento o monitoreo ambiental (EPA, 1998).

La finalidad de ERA es establecer el potencial de los efectos ambientales de los plaguicidas químicos. La Autoridad Nacional Competente (ANC) en aplicación de la Decisión 436 "Norma Andina para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola" (CAN, 1998) deberá contar con una evaluación de riesgo ambiental, que debe ser utilizada en el proceso de evaluación de riesgo/Beneficio de un plaguicida como sustento de la toma de decisiones. El proceso es una parte importante del

control regulatorio para el registro de los nuevos compuestos y la revaluación de los ya registrados, tal como lo establece la citada decisión.

Se puede definir la ERA como el estimado de la probabilidad de que los efectos ecológicos adversos puedan ocurrir o están ocurriendo como un resultado de la exposición a uno o más plaguicidas químicos de uso agrícola. Tomando como referencia el proceso desarrollado por la EPA (1998), el proceso de evaluación de riesgo ambiental por la aplicación de plaguicidas en sistemas agrícolas se divide en 3 fases: formulación del problema, evaluación del riesgo y caracterización del riesgo (**Figura 1**).

2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Consiste en el establecimiento de una hipótesis (basada en las necesidades sociales, regulatorias y científicas, y las perspectivas del problema), sobre la ocurrencia de los efectos ecológicos ocasionados por el uso del plaguicida. En esta fase se determinan los objetivos específicos de la evaluación, y se diseña el esquema de trabajo para la evaluación y la caracterización del riesgo. Cualquier deficiencia en la formulación del problema puede comprometer los resultados de las subsecuentes fases del proceso. Por tal razón, el grupo asesor debe incluir profesionales con experticia directamente relacionada con el tipo y grado del problema bajo consideración (EPA, 1998).

El trabajo del grupo asesor y la integración de otras partes interesadas en la formulación del problema permiten que los productos de esta primera fase sean consistentes y de mayor valor para las subsecuentes fases. El grado de integración o participación de las partes interesadas depende de la complejidad de la evaluación del riesgo y de la magnitud de la decisión de gestión de riesgo a ser tomada.

Un primer paso en la formulación del problema es la integración de la información disponible relacionada con las fuentes, los factores de estrés, los efectos y las características del receptor y del ecosistema. A partir de esta información se generan tres productos: (1) la definición de los “assessment endpoint”² (2), modelos conceptuales que describen las relaciones clave entre un factor de estrés y una entidad ambiental a ser protegida y (3), un esquema o plan de análisis (EPA, 1998).

² Es una expresión explícita del valor real del componente ambiental a ser protegido, operacionalmente definido por una entidad ecológica y sus atributos. Por ejemplo, el salmón es una entidad ecológica de valor ambiental y las características de su reproducción se constituye en uno de sus atributos importantes. En esa medida, las características de la reproducción del salmón constituyen una entidad ambiental a ser protegida o “assessment endpoint” (EPA, 1992).

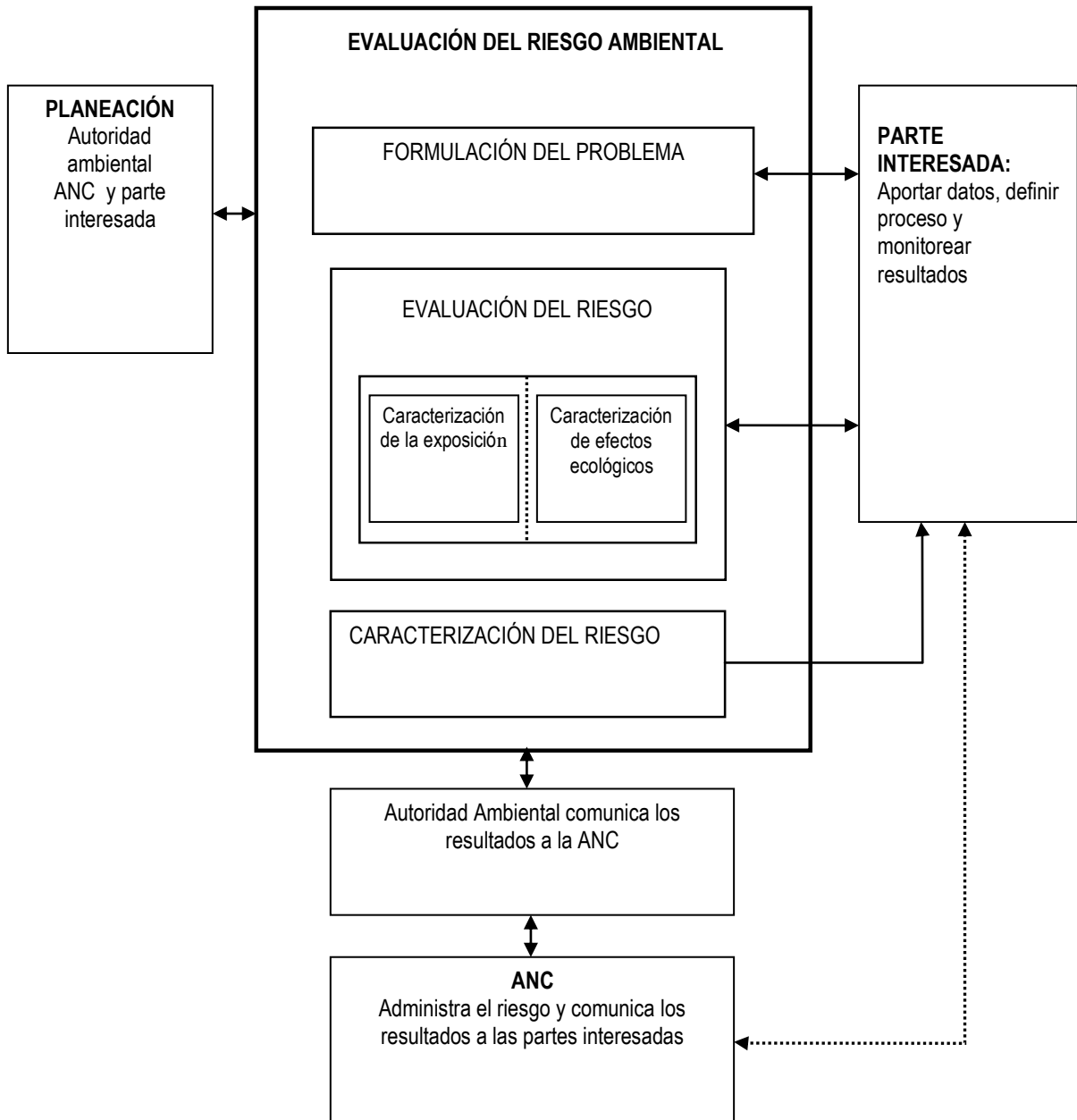


Figura 1. Representación esquemática del proceso de evaluación del riesgo por la aplicación de plaguicidas y su integración con actividades que influyen en y/o son producto de esta evaluación (Adaptado de EPA, 1998).

2.1.1. INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

La integración de la información (primaria y/o secundaria) disponible tiene como objetivo caracterizar de manera *a priori* la existencia de posibles efectos adversos sobre el ecosistema o los humanos de acuerdo con las características de los plaguicidas químicos usados, de los factores de aplicación, de la exposición al plaguicida y del cultivo determinado (EPA, 1992). En este primer punto, se evalúa la pertinencia de la evaluación del riesgo, o si definitivamente no existe evidencia (maneja criterios de “peor escenario”) de efectos adversos sobre el ecosistema o los humanos.

Las evaluaciones iniciales proveen las bases para generar modelos conceptuales o para identificar los “assessment endpoints”. La integración de la información disponible es un proceso iterativo que ocurre y se retroalimenta normalmente mediante la formulación del problema. La cantidad y calidad de la información determina el curso de la formulación del problema. Las evaluaciones de riesgo frecuentemente inician sin la totalidad de la información requerida, caso en el cual, la formulación del problema permite identificar la información o los datos faltantes. Cuando los datos son escasos, se presentan limitaciones en las conclusiones o en la definición del grado de incertidumbre, situación en la cual la evaluación del riesgo debería ser claramente analizada en la caracterización del riesgo (EPA, 1992).

La información (real, inferida o estimada) es integrada inicialmente en un proceso cada vez más riguroso que provee el fundamento para el desarrollo de la formulación del problema. Por tal razón, la evaluación de la información disponible es una actividad constante a través de la formulación del problema.

2.1.2. SELECCIÓN DE LOS “ASSESSMENT ENDPOINTS”

Los “assessment endpoints” son importantes para la formulación del problema debido a que constituyen la estructura central del desarrollo del modelo conceptual y por ende de la evaluación de riesgo. En este acápite se presentan dos puntos a tener en cuenta en la selección del “assessment endpoint”. En primera instancia, se consideran tres criterios (relevancia ecológica, susceptibilidad y relevancia para los objetivos de gestión del riesgo) que prácticamente ayudan a definir las características ecológicas específicas a tener en cuenta en la evaluación de riesgo. En segunda instancia, se establece cómo convertir las características ecológicas definidas en “assessment endpoints” en donde se define la o las entidades ecológicas y sus atributos específicos que pueden ser medidos (EPA, 1992).

2.1.3. MODELOS CONCEPTUALES

En la formulación del problema, el modelo conceptual es la descripción y representación visual de las relaciones estimadas entre las entidades ecológicas y los factores de estrés a los cuales están expuestas. Los modelos conceptuales representan muchas relaciones. Estos pueden incluir los procesos del ecosistema que influyen las respuestas del receptor o los escenarios de exposición que ligan cuantitativamente el uso de la tierra a los factores de estrés. De igual forma, los modelos conceptuales pueden describir las vías de exposición primaria, secundaria y terciaria o la co-ocurrencia entre las vías de exposición, los efectos ecológicos y los receptores (EPA, 1998).

Los modelos conceptuales en la evaluación del riesgo son desarrollados a partir de información relacionada con los factores de estrés, la exposición potencial y los efectos estimados sobre una entidad ecológica (el “assessment endpoint”). Dependiendo de las razones por las cuales se inicia la evaluación del riesgo, son requeridas una o más de estas categorías de información. El proceso de creación de modelos conceptuales permite identificar los elementos desconocidos.

La complejidad del modelo conceptual depende de la complejidad del problema, la cual es dada por el número de factores de estrés, el número de “assessment endpoints” y de las características del ecosistema. Cuando se tiene un único factor de estrés y un solo componente ambiental, el modelo conceptual resultante puede ser simple. En algunos casos, un mismo modelo conceptual básico puede ser usado repetidamente. Sin embargo, cuando los modelos conceptuales son usados para describir factores de estrés particulares y “assessment endpoints” y, la interacción de múltiples y diversos factores de estrés y componentes ambientales, se podrían emplear modelos más complejos y varios submodelos (EPA, 1992). En este caso, esto puede ser útil para crear modelos que también representen las características y la función del ecosistema cuando los factores de estrés no estén presentes.

2.1.4. PLAN DE ANÁLISIS

El plan de análisis es la etapa final de la formulación del problema. Durante la fase de planeación, las hipótesis de riesgo son evaluadas para determinar cómo pueden ser evaluadas usando los datos nuevos o los disponibles. El plan incluye una delineación del diseño de la evaluación, las necesidades de datos, las medidas y los métodos para conducir la fase de evaluación del riesgo. El plan de análisis puede ser breve o extenso dependiendo de la evaluación (EPA, 1998).

El plan de análisis incluye las vías y relaciones identificadas durante la formulación del problema que serán objeto de interés para la fase de análisis. Además, se identifican las hipótesis que contribuyen a la valoración del riesgo. La lógica utilizada en la selección u

omisión de las hipótesis de riesgo debe ser incorporada al plan de análisis e incluye el desconocimiento de datos e incertidumbres. De igual forma, el plan puede incluir una comparación del grado de confianza requerido para la gestión del riesgo con el esperado de análisis alternativos, en orden a determinar la necesidad de datos y evaluar cual aproximación analítica es la mejor (EPA, 1998). Cuando nuevos datos son requeridos, se debe tener en cuenta la factibilidad de conseguirlos.

2.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR LA APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS QUÍMICOS

Es la identificación de los efectos adversos que una sustancia química tiene capacidad de causar (EPA, 1992). Involucra la recopilación y valoración de la información sobre los tipos de efectos en la salud o en el ambiente que pueda causar un compuesto químico y las condiciones de exposición bajo las cuales se produciría daño, enfermedades o cualquier otro efecto adverso. Durante esta fase, los datos son evaluados para determinar cómo puede ocurrir la exposición a un plaguicida químico: **valoración de la exposición**, y dada esta exposición, cuál es el potencial y el tipo de los efectos ecológicos que se pueden esperar: **valoración de los efectos ecológicos**(EPA, 1998).

La **exposición** puede ser evaluada mediante la medición de la concentración de las exposiciones. Los resultados de la valoración son estimaciones o predicciones, que involucran la determinación de las emisiones, las rutas y tasas de movimiento de una sustancia y de su transformación o degradación, con el fin obtener valores de concentraciones o dosis del compuesto a los cuales pueden estar expuestas poblaciones humanas o los diferentes compartimentos del ambiente (EPA, 1992). También se estima la magnitud y duración de la exposición. La valoración de la exposición puede estimarse para exposiciones pasadas, presentes, o anticipar futuras exposiciones. Además, esta es la etapa más incierta en el proceso de evaluación de riesgo, debido a la falta de información de los factores que influyen en la emisión de un compuesto (fuente de origen de la emisión), y del uso del mismo en diferentes compartimentos o productos y sus respectivas emisiones (fuentes de emisión difusas). La enorme variabilidad de condiciones bióticas y abióticas a las que puede llegar un compuesto plaguicida contribuye grandemente a la incertidumbre de las estimaciones (Solomon, 2009).

La **valoración de los efectos** es más precisamente, la determinación de la dosis de respuesta; esto es, las relaciones entre la dosis y el grado de exposición a una sustancia y de la incidencia y la severidad de los efectos ocasionados (EPA, 1992). Se refiere además, a la descripción de las relaciones cuantitativas entre el grado de exposición a una sustancia y el alcance de un efecto tóxico. Esta información es obtenida de estudios experimentales con animales y plantas, y de estudios de ecosistemas y poblaciones humanas. Diferentes curvas de dosis de respuesta deben efectuarse, porque una sustancia puede producir diferentes efectos tóxicos (Solomon, 2009).

Los productos de estos análisis son dos perfiles, uno de exposición y otro de respuesta al factor de estrés. Estos productos son la base para la caracterización del riesgo.

2.2.1. PROCEDIMIENTO ESCALONADO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

El proceso escalonado de evaluación provee un procedimiento lógico, conservativo y progresivo de aproximaciones, estructuradas en niveles de evaluación cada vez más exigentes. Según los criterios de evaluación de riesgo establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la EPA (1998), el procedimiento plantea cuatro niveles de evaluación. Comienza, en un primer nivel, con una evaluación simple, usando criterios muy conservadores para emitir un juicio, lo que permite una rápida evaluación de aquellos plaguicidas que no representan un riesgo significativo al ecosistema, y se avanza, en los siguientes niveles, hacia estimaciones cada vez más reales, cada vez más exigentes y, requiriendo nuevas pruebas que permitan establecer con mejor precisión el riesgo.

Nivell(Tier I)

El denominado Primer Nivel de la ERA es el de evaluación inicial o tamizaje, donde se considera el análisis determinístico basado en los datos obtenidos en condiciones de laboratorio y el comportamiento del plaguicida en el ambiente, considerando el “peor escenario”. Debido al carácter puntual de la información y a la extrapolación de datos, se genera una alta incertidumbre en este nivel de evaluación.

Se determinan los Cocientes de Riesgo (RQ's) mediante la relación existente entre la Concentración Ambiental Estimada (CAE) y la toxicidad obtenida mediante información secundaria (NOAEL, LOAEL, LC₅₀, LD₅₀)³. Los RQ's normalmente han sido calculados utilizando la concentración de efecto sobre los organismos o grupo de organismos más sensibles comparándolo con la CAE (de mayor valor) medida o estimada en el compartimento ambiental. Este cálculo puede ser más conservativo al usar y aplicar un factor de incertidumbre (CWQG, 1999 tomado de Solomon, 2009) tal como la división de la CAE por un número tal como 20. De acuerdo con las Guías de Evaluación de Riesgo Ecológico para la evaluación de riesgo de plaguicidas, actualmente usadas por la U.S. EPA (Urban y Cook, 1986), el RQ es comparado con un nivel de preocupación (Level of Concern, LOC). Diferentes LOC's son usados para diferentes clases de organismos, dependiendo de la naturaleza del efecto medido o si las especies amenazadas son comúnmente afectadas (Urban y Cook, 1986) (**Tabla 1**).

³ NOAEL = No Observed Adverse Effect Level ó Nivel (concentración) con efectos adversos no observables.

LOAEL= Lowest Observed Adverse Effect ó Efecto adverso observado más bajo.

CL₅₀ = Letal Concentration 50 ó Concentración Letal 50

LD₅₀ = Letal Dose 50 ó Dosis Letal 50

Si la CAE obtenida por cálculos simples en esta etapa se observa que sobrepasa el valor tóxico permitido, es decir, si los valores de RQ superan a los LOC, se concluye que hay un riesgo potencial, lo que significa que un refinamiento de la ERA es necesario; es decir, se debe pasar al siguiente nivel de evaluación. En caso contrario, el ejercicio de evaluación de riesgo concluye en esta etapa, con base en el hecho que este ejercicio es muy conservador por considerar una serie de condiciones estrictas que es poco probable que se puedan dar en el escenario real (Solomon, 2009).

Tabla 1. Supuestos de riesgo usados por la U.S. EPA en la evaluación de plaguicidas (Solomon, 2009 tomado de Urban y Cook, 1986).

Supuesto de riesgo	Cociente de Riesgo (RQ)	Nivel de preocupación (LOC)
Animales terrestres		
Riesgo agudo alto	CAE/LC50 ^a ó LD50/sqft ^b ó LD50/díac	0,5
Riesgo agudo - uso restringido	CAE/LC50 ó LD50/sqft ó LD50/día (ó LD50 < 50 mg/kg)	0,2
Especies amenazadas estado agudo	CAE/LC50 ó LD50/sqft ó LD50/día	0,1
Riesgo crónico	CAE/NOEC	1
Animales acuáticos		
Riesgo agudo alto	CAEd/LC50 ó EC50	0,5
Riesgo agudo - uso restringido	CAE/LC50 ó EC50	0,1
Especies amenazadas estado agudo	CAE/LC50 ó EC50	0,05
Riesgo crónico	CAE/MATC ó NOEC	1
Plantas terrestres y semiacuáticas		
Riesgo agudo alto	CAEe/EC25	1
Especies amenazadas estado agudo	CAE/EC50 ó NOEC	1
Plantas acuáticas		
Riesgo agudo alto	CAEf/EC25	1
Especies amenazadas estado agudo	CAE/EC05 ó NOEC	1

^aCAE es la concentración ambiental estimada en mg/kg

^b mg/ft² (LD50 x wt de aves)

^c mg de toxico consumido por día/(LD50 x wt de aves)

^d CAE en mg/L ó µg/L

^e CAE esta en lbs ai/A

^f CAE en mg/K ó µg/L

Nivel II (*Tier II*)

En el primer nivel de evaluación del indicador, se tiene la mayor cantidad de supuestos y resulta menos complicado su cálculo, pero pasando al segundo nivel de evaluación y en los niveles posteriores, el cálculo se va refinando y, éste incluye un ajuste en los componentes de la exposición, del efecto, o de ambos, haciendo intervenir los factores que influyen el resultado de la valoración del riesgo ambiental.

Durante esta etapa se repite el ejercicio mencionado en la primera etapa, refinando el cálculo de la CAE, hacia un valor más cercano al escenario real de las condiciones de uso e involucrando los parámetros temporales y espaciales del comportamiento ambiental de la molécula. Este cálculo contempla las emisiones, las vías y el movimiento del plaguicida, como también su transformación, disipación y degradación. Igualmente incluye datos más avanzados del perfil del producto y el conocimiento sobre la naturaleza y tamaño de la población expuesta.

En síntesis, en este nivel la caracterización del riesgo asocia por un lado el patrón de uso del plaguicida químico, las características físicas y químicas de la sustancia, su comportamiento y los efectos en los componentes ecológicos de interés, y por otro explora opciones de manejo en un proceso interactivo (aplicable en los niveles 2, 3 y 4) que requieren el establecer los niveles de incertidumbre, y si éstos requieren o no una evaluación adicional.

Si se determina que el RQ es mayor que los valores críticos, esto indica que el riesgo existe, y si éste tiene una alta probabilidad de ocurrencia, se debe proceder a la siguiente etapa de evaluación de riesgo. En caso contrario, el ejercicio de evaluación de riesgo concluye en esta etapa, con base en el hecho que se asume no existe un riesgo inmanejable.

Nivel III (*Tier III*)

Identificados los riesgos relevantes en el nivel II, se puede determinar cuáles son los que se requieren precisar en un nivel más exigente de evaluación. Para lograr una caracterización del riesgo en este nivel, se emplean aproximaciones más refinadas sobre el destino ambiental para el cálculo de la CAE, empleando datos adicionales o información obtenida mediante estudios específicos, los que se conducen a nivel de laboratorio simulando situaciones reales. Para la protocolización de estos estudios se recomienda seguir las pautas descritas por la metodología de la EPA (1998). Entre otros se pueden considerar:

- Estudios de toxicidad aguda (a corto plazo) con especies adicionales.
- Investigaciones de la toxicidad asociada con exposición variable en el tiempo o repetida.
- Estudios de toxicidad crónica (a largo plazo) complementarios
- Estudios de toxicidad en sedimentos

- Estudios adicionales de destino ambiental, a nivel de laboratorio simulando condiciones de campo.
- Aproximaciones más sofisticadas mediante modelación de la exposición, incorporando características ambientales de las áreas agrícolas.
- Evaluación más detallada de opciones de manejo y mitigación, fundamentado en un mayor conocimiento del riesgo ambiental.

Si los resultados de los estudios conducen a la conclusión de que el riesgo subsiste y no puede ser controlado o mitigado, se debe pasar a un último nivel de evaluación.

Nivel IV (*Tier IV*)

Si luego de la aplicación de los modelos matemáticos y la realización de ensayos a pequeña escala simulados en campo, se comprueba que el potencial de riesgo persiste, la ANC y otras partes interesadas determinarán cuáles son las medidas de mitigación, control y monitoreo post-registro y/o post-aplicación apropiados para reducir la probabilidad de que un efecto adverso ocurra en el ecosistema y se contemplan dentro de los programas del Plan de Manejo Ambiental desarrollados para el plaguicida químico respectivo. Ocasionalmente, con el propósito de precisar el perfil toxicológico y dilucidar dudas sobre el comportamiento en condiciones reales se pueden desarrollar pruebas reales de campo, las que se han de protocolizar preferentemente siguiendo la metodología recomendada en el *Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola* (CAN, 2001). Finalmente, como parte del proceso de ERA, la ANC deberá incluir la identificación de los aspectos socioeconómicos y culturales involucrados en el escenario definido para la ERA, y establecer los riesgos y la factibilidad y costos de las medidas de mitigación.

2.3. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

La caracterización del riesgo es la estimación de la incidencia y severidad de que ocurran efectos adversos en una población humana o en los diferentes compartimentos del ambiente, debido a una exposición actual o futura a un compuesto químico (EPA, 1998). En otras palabras, es el proceso de comparar los resultados de la valoración de la exposición, con los datos de los efectos ecológicos adversos, y de establecer la posibilidad de ocurrencia de estos efectos.

En general, involucra la integración de las fases anteriores; en donde debe establecerse un marco para definir la significancia del riesgo, y considerarse todos los supuestos, incertidumbres y juicios científicos provenientes de dichas fases (EPA, 1992). Además, en la caracterización se debe incluir un resumen de los supuestos empleados, una expresión de la incertidumbre científica y los puntos sólidos y débiles del análisis y el significado ecológico del

riesgo, en la que debe incluir una discusión tomando en consideración los tipos y magnitudes de los efectos, los patrones espaciales y temporales y la probabilidad de recuperación.

Se debe aclarar, que hasta este grado de conocimiento, no se puede predecir adecuadamente efectos adversos de un compuesto químico en los ecosistemas, ni tampoco, qué proporción de una población humana pueda ser afectada; únicamente se puede evaluar el riesgo de una manera muy general y simplificada. De hecho, lo mejor que se puede hacer es una categorización relativa del riesgo. La categorización del riesgo permite comparar compuestos químicos individuales o grupos de compuestos, una vez los riesgos individuales han sido estimados (EPA, 1998). Sin embargo, la categorización relativa del riesgo permite reemplazar compuestos dañinos por otras opciones más seguras en la fase de manejo del riesgo, sin conocer el riesgo preciso.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presenta el esquema metodológico general utilizado en la elaboración de la propuesta de evaluación de riesgo ambiental. Durante el desarrollo del estudio, se presenta con mayor de detalle cada una de las estrategias metodológicas implementadas en la investigación.

3.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL LUGAR

El estudio se realizó en sistemas de producción de espinaca y fresa. Los lotes de Espinaca se encuentran ubicados, uno en el Centro Agropecuario Marengo (Municipio de Mosquera, Cundinamarca) y el otro en la Hacienda Alcalá ubicada en el Municipio de Cota (Cundinamarca). El lote de fresa se encuentra ubicado en la finca “Las Golondrinas” en el Municipio de Facatativá. Estos cultivos fueron seleccionados por dos razones principalmente: 1) la corta duración del ciclo de cultivo (espinaca) y de cosecha (fresa) y 2) la intensidad de aplicación de plaguicidas (fresa), según lo documentado en estudios previos por Neusa (2005) y Santiago (2001), y (3) su consumo en fresco.

3.2. CARACTERIZACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO

Teniendo en cuenta el trabajo realizado en el proyecto CAPER (Concerted Action on Pesticide Environmental Risk Indicators) en la evaluación y comparación de indicadores de riesgo de plaguicidas en la Unión Europea (Reus *et al.*, 2002), para la caracterización de las metodologías se tienen en cuenta estos mismos criterios. Estos criterios son importantes ya que permiten ejercer comparaciones entre indicadores y establecer las consideraciones particulares, ventajas o desventajas de cada uno. En esa medida se presenta una descripción y caracterización que incluye el propósito del indicador, el compartimento ambiental evaluado, los efectos implicados, la metodología, la característica de los datos y las consideraciones particulares de cada indicador de riesgo ambiental causado por la aplicación de plaguicidas. La búsqueda de la información relacionada con las metodologías de evaluación se efectuó a través de motores de búsqueda como Google (www.google.com) y a través de artículos de revisión y originales descargados de la plataforma del Sistema Nacional de Bibliotecas (www.sinab.unal.edu.co) de la Universidad Nacional de Colombia.

Para llevar a cabo la comparación de las metodologías a utilizar, partiendo de la información de la caracterización realizada, se realizó una matriz en la que se evaluaron las metodologías de acuerdo con los siguientes tres aspectos: (1) propósito, escala y estado de desarrollo; (2) compartimentos y efectos considerados y (3), metodología y presentación de resultados. Para la priorización final, se seleccionaron las metodologías que cumplieren con los tres aspectos predefinidos; luego estas metodologías pre-priorizadas se filtraron por cuatro criterios de

selección. Estos cuatro criterios se establecieron según las condiciones bajo las cuales se desarrolló este estudio, que fueron:

1. Disponibilidad de los programas/indicadores utilizados en cada metodología, ya sean de uso libre o bajo licencia.
2. Metodología basada en la determinación mecánica de la concentración de plaguicida en cada compartimento ambiental.
3. Disponibilidad de personal capacitado en el país para el entendimiento, la aplicación y el análisis de los algoritmos y de los resultados posibles a obtener por parte de cada metodología.
4. La disponibilidad de información (datos) existentes en el país o en reportes de investigaciones científicas de otros países que es necesaria para los cálculos adelantados en las metodologías

En la calificación se utilizó una escala de 0 a 3, en donde el 0 quiere decir que determinado criterio no se cumple en el indicador y 3 que dicho criterio se cumple satisfactoriamente; de esta manera se priorizó la metodología a utilizar en la propuesta de ERA.

3.3. ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA DE ERA

La consolidación de la propuesta de ERA se realizó teniendo como base los documentos publicados por la EPA (EPA, 1998), haciendo algunas modificaciones. La formulación del problema (Fase 1) incluyó la integración de la información disponible para la ERA. En la evaluación del riesgo (Fase 2), se siguieron los cuatro niveles de evaluación recomendados por la EPA. En el primer nivel, según lo recomienda la EPA (EPA, 1998), se realizó el cálculo de los Cocientes de Riesgo para organismos terrestres y acuáticos y, se compararon con un nivel de preocupación. En el nivel 2, se aplicó la metodología seleccionada mediante el proceso de priorización a realizarse previamente. Esta metodología permitió una valoración del riesgo a mayor profundidad en cada uno de los compartimentos. El nivel 3 y 4 se desarrollan según los resultados de la evaluación realizada en el nivel 2. La caracterización del riesgo (Fase 3) se establece básicamente con base en los análisis y recomendaciones que arrojó todo el proceso de evaluación de riesgo.

3.4. VERIFICACIÓN DE LA PROPUESTA DE ERA

Teniendo en cuenta que la presente propuesta se constituye en una metodología piloto en la evaluación del riesgo ambiental en la aplicación de plaguicidas en sistemas agrícolas colombianos, es necesario llevar a cabo una fase de verificación de la misma. Por tanto, en el desarrollo de esta investigación se estableció una serie de muestreos sobre tres matrices o compartimentos del ambiente importantes: suelo de la capa arable, agua para riego y producto vegetal a punto de cosecha. Aunque la propuesta metodológica no permite estimar la cantidad de residuos de los compuestos plaguicidas presente en cada compartimento, esta estima el

nivel de riesgo que representa la aplicación de un determinado plaguicida para los compartimentos de agua, suelo, aire y producto vegetal. Es por esto que resulta importante cuantificar la cantidad de residuos sobre cada compartimento y así, verificar el nivel de riesgo asociado (al comparar estos valores con los Límites Máximos Residuos (LMR) permisibles). El análisis comparativo entre los valores de riesgo estimados a través de la ERA propuesta y los resultados de los análisis de laboratorio permite la verificación de esta metodología, la cual puede ser fácilmente adaptada a otros cultivos incluso, ubicados en otras zonas geográficas del país, siempre y cuando se tenga en cuenta cada uno de los puntos establecidos en las tres fases de ERA.

4. CARACTERIZACIÓN DE INDICADORES PARA VALORAR EL RIESGO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE PLAGUICIDAS EN SISTEMAS AGRÍCOLAS

Con base en el trabajo realizado en el proyecto CAPER (Concerted Action on Pesticide Environmental Risk Indicators) en la evaluación y comparación de indicadores de riesgo de plaguicidas en la Unión Europea (Reus *et al.*, 2002), en este capítulo se consideraron los mismos criterios para la descripción de los indicadores de riesgo. Estos criterios permiten ejercer comparaciones entre indicadores y establecer las consideraciones particulares, ventajas o desventajas de cada uno.

Existen varios métodos de evaluación de impacto ambiental (Levitan *et al.*, 1997). Actualmente, los indicadores más usados consideran la frecuencia de aplicación y la cantidad de ingrediente activo aplicado por hectárea. Sin embargo, estos indicadores no toman en cuenta el hecho que los plaguicidas pueden diferir considerablemente en su toxicidad frente a organismos no objetivo, su tasa de degradación y su movilidad en el ambiente.

De forma clara, los muestreos y el monitoreo pueden contribuir a la evaluación del impacto ambiental de los plaguicidas, pero este método es muy costoso. Por tanto, se han desarrollado estas metodologías para predecir el impacto ambiental de los plaguicidas. En esa medida, a continuación se presenta una descripción que incluye el propósito del indicador, el compartimento ambiental, los efectos implicados, la metodología, la característica de los datos y las consideraciones particulares de cada indicador de riesgo ambiental causado por la aplicación de plaguicidas.

4.1. PROGRAMAS E INDICADORES DESARROLLADOS EN EUROPA

4.1.1. ENVIRONMENTAL YARDSTICK FOR PESTICIDES (EYP)

Institución

Centro para la agricultura y el ambiente (CLM). Países bajos.

Investigadores involucrados

Desarrollado por Reus y Leendertse (1999).

Propósitos del indicador

EYP fue llevado a la práctica en 1993 y actualmente es usado por agricultores y asesores técnicos para seleccionar plaguicidas con menor impacto ambiental potencial en una situación dada. Este también es usado para:

- Monitorear el desempeño ambiental de los agricultores por autoridades regionales y compañías de distribución de agua para consumo humano.
- Fijar estándares en la producción agrícola por parte de organizaciones de certificación y comercialización.
- Evaluar políticas que regulan la producción agrícola.

Metodología

Este indicador asigna puntaje de impacto ambiental a los plaguicidas de acuerdo con su potencial para contaminar la aguas subterráneas, aguas superficiales y el suelo y, su impacto ecotoxicológico sobre organismos acuáticos y terrestres. Para cada compartimento, EYP calcula primero un valor teniendo como base un tasa de aplicación estándar de 1 kg/ha. Luego este valor estándar es calculado y multiplicado por la tasa de aplicación real para así determinar un valor EIP (Environmental Impact Points ó puntos de impacto ambiental). Estos valores EIP se basan en la relación entre la Concentración Ambiental Estimada (CAE) en un determinado compartimento y la Límite Máximo de Residuos (LMR) en el mismo compartimento de acuerdo con la legislación holandesa sobre plaguicidas.

La CAE depende de la dosis aplicada, la técnica de aplicación, las propiedades químicas del plaguicida y de ciertas condiciones ambientales tales como temperatura, precipitación y contenido de materia orgánica en el suelo. Dado que los datos de toxicidad sobre organismos del suelo son escasos, la Concentración sin Efectos Observables (NOEC) para organismos del suelo es extrapolada desde la NOEC para organismos acuáticos y la CAE para el suelo se convierte en la CAE para suelo húmedo.

Para determinar la concentración de plaguicida en aguas subterráneas, EYP se apoya en el programa de simulación de lixiviación PEARL (Pesticide Emission Assessment at Regional and Local Scales). PEARL, es un modelo numérico unidimensional que simula el comportamiento de los plaguicidas en sistema suelo-planta (Reus y Leendertse, 1999; Reus *et al.*, 2002 y Titak *et al.*, 2000; tomado de <http://www.aftresearch.org/ipm/risk/eyp/index.php#introduction>).

Ecuaciones del indicador:

Concentración de plaguicida en agua subterránea: en primera medida, el modelo PEARL permite calcular la CAE para una aplicación estándar de plaguicida. El indicador tiene en cuenta información del producto químico, tal como el valor de vida media y el Koc, además de

condiciones meteorológicas que son específicas para cada sitio de aplicación. Con la CAE, EYP determina el valor EIP de acuerdo con la **Ecuación 1**

$$\text{Ecuación 1. } EIP_{aguasubterranea} = \left[\left(\frac{PEARLCAE_{aguasubt}}{0.1 \mu g/L} \right) * 100 EIP \right] * [T. de Aplicación]$$

En la ecuación, el valor $0.1 \mu g/L$ es el valor estándar Neerlandés para el agua de consumo. Como resultado, cualquier químico que se prevé que supere este estándar permitirá un valor EIP superior a 100, lo cual entra a violar el estándar definido para el agua subterránea.

Concentración de plaguicida en agua superficial: EYP permite examinar la cantidad de plaguicida sobre el agua superficial y el peligro potencial para organismos acuáticos. Para determinar la CAE en el agua superficial, el indicador EYP usa las **ecuaciones 2 y 3:**

$$\text{Ecuación 2. } CAE_{aguasuperf} = (0.1) \left(1 \text{ kg/ha} \right) \left(\% \text{ de emisión de plag. en aguas superf./profund} \right)$$

$$\text{Ecuación 3. } EIP_{aguasuperf} = \left[\left(\frac{CAE_{aguasuperf}}{0.1 * LC50_{Organ. de agua}} \right) * 100 EIP \right] * [T. de Aplic]$$

Cuando la información de profundidad no está disponible, EYP usa un valor predeterminado de 25 cm. Los valores de LC50 de organismos acuáticos utilizados corresponden a los de organismos sensibles como *Daphnia*, peces y algas.

Concentración de plaguicida en suelo (riesgo agudo): en este caso, EYP toma en cuenta el riesgo para los organismos del suelo presentes inmediatamente luego de la aplicación. Aquí el valor EIP es calculado con las **ecuaciones 4, 5 y 6:**

$$\text{Ecuación 4. } Cant. \text{ de plaguicida aplic. al suelo (CPAS)} = 0.025 * \text{tamaño campo} * \text{densa parente}$$

$$\text{Ecuación 5. } CAE_{riesgo agudo} = \frac{1}{CPAS} * 1.000.000$$

Ecuación 6. $EIP_{riesgo\ agudo\ suelo}$

$$= \left[\left(\frac{CAE_{riesgo\ agudo}}{0.1 * LC50_{lombriz}} \right) * 100 EIP \right] * [T.deAplic]$$

EYP asume que el plaguicida se distribuye en los primeros 0.025 m. de suelo, luego de la aplicación.

Concentración de plaguicida en suelo (riesgo crónico): en este caso, EYP toma en cuenta el efecto potencial de una aplicación en los organismos del suelo después de un período de tiempo de dos años. Aquí el valor EIP es calculado con las **ecuaciones 7, 8 y 9**:

Ecuación 7. $CAE_{2\ años}$

$$= (\% \text{ deplaguicida en el suelo luego de 2 años}) * (CAE_{riesgo\ agudo})$$

Ecuación 8. $CAE_{humedad\ del\ suelo}$

$$= CAE_{2\ años} / [(Kom * contenido\ CO\ del\ suelo) + 0.2]$$

Ecuación 9. $EIP_{riesgo\ cronico\ en\ suelo}$

$$= \left[\left(\frac{CAE_{2\ años}}{0.1 * NOEC_{lombriz}} \right) * 100 EIP \right] * [T.deAplicación]$$

Datos, variables y unidades:

En la **Tabla 2** se presentan las variables y las unidades que maneja el indicador.

Tabla 2. Variables y unidades utilizadas por EYP.

Variable	Unidad
Cantidad de plaguicida aplicado al suelo (CPAS)	Kg
Dosis de aplicación	kg/ha
Profundidad	M
Emisión de plaguicida sobre agua superficial	%
Tamaño del campo	Ha
Kom	dm ³ /kg
LC50 _{lombriz}	mg/kg
NOEC _{lombriz}	mg/kg
PEARL CAE _{agua subterránea}	mg/L
CAE _{2 años}	mg/kg
CAE _{riesgo agudo}	mg/kg
CAE _{agua superficial}	mg/L
Densidad aparente del suelo	kg/m ³
Contenido de Carbono Orgánico en suelo	%

Los datos requeridos se pueden obtener de la ficha técnica del plaguicida y se pueden complementar con datos de la bibliografía disponible

Análisis de resultados y consideraciones del indicador:

Para determinar la variable $CAE_{2 \text{ años}}$, EYP calcula un CAE en los primeros 0.2 metros del suelo. Se toma este valor dado que se asume que el plaguicida se distribuirá en esta cantidad de suelo en los dos años. El valor de $CAE_{2 \text{ años}}$ se ajusta a un gráfico PESTLA. Este gráfico tiene en cuenta cuanto plaguicida se degradará en los dos años. De igual forma, el gráfico posee intervalos de porcentaje que permiten aproximar la cantidad de plaguicida remanente en el suelo luego de dos años. Este porcentaje depende del valor de K_{om} y de la Vida Media del plaguicida. Por ejemplo, un plaguicida con 20 años de vida media y $60 \text{ dm}^3/\text{kg}$ de K_{om} , se presentará en un porcentaje de 0.01% de la cantidad original aplicada luego de los dos años en el suelo. Desafortunadamente, el gráfico PESTLA usado por EYP es para un suelo con un contenido de materia orgánica de 4.5%, lo cual pone al indicador en desventaja cuando se trabaja con suelos con diferente contenido de materia orgánica.

Los valores de NOEC para la lombriz de tierra pueden ser difíciles de encontrar, sin embargo, el sistema EYP permite sustituciones en este valor. En esta sustitución, la variable $CAE_{2 \text{ años}}$ es convertida en la variable $CAE_{\text{humedad del suelo}}$ y luego los valores de $NOEC_{\text{organismo acuático}}$ son usados para determinar el valor de EIP para suelos con riesgo crónico de contaminación.

De la anterior discusión se puede observar que el indicador EYP considera el efecto ambiental potencial de la aplicación de plaguicidas en cuatro compartimentos del ambiente. Los valores obtenidos para cada uno de estos compartimentos no pueden ser combinados en un gran valor final que represente el riesgo de la aplicación de un plaguicida. Aunque EYP se basa en los modelos PEARL y PESTLA, éstos no son difíciles de usar y se encuentran fácilmente disponibles.

4.1.2. CHEMICAL HAZARD EVALUATION FOR MANAGEMENT STRATEGIES (CHEMS1)

Este indicador valora el riesgo potencial del uso a plaguicidas para la salud humana y el ambiente, usando una metodología de clasificación. El indicador considera el impacto ambiental de los plaguicidas en el aire, el suelo, y las aguas subterráneas y superficiales. Examina factores como la propensión de un compuesto químico a causar efectos anormales en mamíferos, y que tanto del compuesto está realmente presente en el ambiente debido a su uso (Swanson *et al.*, 1997; tomado de <http://www.aftresearch.org/ipm/risk/chems1/index.php#introduction>).

Ecuaciones del indicador:

Para la evaluación del riesgo, el indicador CHEMS1 tiene en cuenta los valores de riesgo para diversas variables en tres secciones separadas: efectos sobre la salud humana, efectos ambientales y factor de exposición. Estas secciones son incorporadas a la **ecuación 10**, en la cual se calcula el valor de riesgo total (VRT).

Ecuación 10. VRT

$$= (\text{efectos sobre salud humana} + \text{efectos ambientales}) \\ * \text{factor de exposición}$$

Para cada variable, en cada sección se usa una metodología de clasificación para calificar los valores de riesgo de acuerdo a cierta información de toxicidad e información de parámetros químicos. Estos valores son sumados para determinar los valores de riesgo para las secciones específicas. Luego, estos valores de riesgo pueden ser multiplicados por un factor ponderado de liberación (release weighting factor) que toma en cuenta el plaguicida que ya estaba en el ambiente.

$$\text{Efectos sobre salud humana} = HV_{or} + HV_{inh} + HV_{car} + HV_{nc}$$

$$HV_{or} = 6.2 - 1.7 (\log LD50) \text{ para } 5 \text{ mg/kg} < LD50 \leq 5000 \text{ mg/kg}$$

$$HV_{or} = 0 \text{ para } LD50 > 5000 \text{ mg/kg}$$

$$HV_{or} = 5 \text{ para } LD50 \leq 5 \text{ mg/kg}$$

$$HV_{inh} = 8.0 - 2.0 (\log LC50) \text{ para } 31.6 \text{ ppm} \leq LC50 \leq 10000 \text{ ppm}$$

$$HV_{inh} = 0 \text{ para } LC50 > 10000 \text{ ppm}$$

$$HV_{inh} = 5 \text{ para } LC50 < 31.6 \text{ ppm}$$

Nota: Se tomaron los valores de LD50 y LC50 para ratones.

$$HV_{car} = 0 \text{ para la clase carcinogénica EPA Grupo E}$$

$$HV_{car} = 0 \text{ para la clase carcinogénica EPA Grupo D}$$

$$HV_{car} = 1.5 \text{ para la clase carcinogénica EPA Grupo C}$$

$$HV_{car} = 3.5 \text{ para la clase carcinogénica EPA Grupo B2}$$

$$HV_{car} = 4.0 \text{ para la clase carcinogénica EPA Grupo B1}$$

$$HV_{car} = 5.0 \text{ para la clase carcinogénica EPA Grupo A}$$

HV_{nc} = efectos mutagénicos + efectos en el desarrollo + efectos en la reproducción + efectos neurotóxicos

(Nota: para cada efecto presente el valor es 1, si está ausente es 0)

Efectos ambientales = $HV_{mam} + HV_{fa} + HV_{fc}$

$HV_{mam} = 6.2 - 1.7 (\log LD50)$ para $5 \text{ mg/kg} < LD50 \leq 5000 \text{ mg/kg}$

$HV_{mam} = 0$ para $LD50 > 5000 \text{ mg/kg}$

$HV_{mam} = 5$ para $LD50 \leq 5 \text{ mg/kg}$

(Nota: Se tomaron los valores de LD50 para ratones)

$HV_{fa} = -1.67 (\log LC50) + 5.0$ para $1 \text{ mg/L} \leq LC50 < 1000 \text{ mg/L}$

$HV_{fa} = 0$ para $LC50 > 1000 \text{ mg/L}$

$HV_{fa} = 5$ para $LC50 < 1 \text{ mg/L}$

(Nota: Se tomaron los valores de LC50 para peces)

$HV_{fc} = 3.33 - 1.67 (\log NOEL)$ para $0.1 \text{ mg/L} < NOEL \leq 100 \text{ mg/L}$

$HV_{fc} = 0$ para $NOEL > 100 \text{ mg/L}$

$HV_{fc} = 5$ para $NOEL \leq 0.1 \text{ mg/L}$

(Nota: Se tomaron los valores de NOEL para peces)

Factor de exposición = $HV_{bod} + HV_{hyd} + HV_{bcf}$

$HV_{bod,hyb} = 1$ para hidrólisis de vida media ≤ 4 días

$HV_{bod,hyb} = 2.5$ para hidrólisis de vida media > 500 días

$HV_{bod,hyb} = 0.311 (\text{LN de hidrólisis de vida media}) + 0.568$ para $4 \text{ días} < \text{hidrólisis de vida media} \leq 500 \text{ días}$

$HV_{bcf} = 0.5 (\log BCF) + 0.5$ para $1.0 < \log BCF \leq 4.0$

$HV_{bcf} = 1$ para $\log BCF \leq 1.0$

$HV_{bcf} = 2.5$ para $\log BCF > 4.0$

Factor ponderado de liberación

Para ingredientes activos ya liberados

$RWF = \text{LN (emisiones químicas)} - 10$

Para aplicaciones de plaguicidas

$RWF = \text{LN (tasa de aplicación real)} + A$

$RWF = 1$ para tasa de aplicación actual $< B$

Donde:

$A = 10 - \text{LN (tasa de aplicación máxima)}$

$B = e^{(1-A)}$

$wHV_{or} = (HV_{or})(RWF_w)$

$wHV_{inh} = (HV_{inh})(RWF_a)$

$wHV_{car} = (HV_{car})(RWF_t)$

$wHV_{nc} = (HV_{nc})(RWF_t)$

$$wHV_{mam} = (HV_{mam})(RWF_w)$$

$$wHV_{fa} = (HV_{fa})(RWF_w)$$

$$wHV_{fc} = (HV_{fc})(RWF_w)$$

En la **Tabla 3** se listan las variables y las unidades utilizadas por el indicador CHEMS1.

Tabla 3. Variables y unidades utilizadas por el indicador CHEMS1.

Símbolo	Descripción y Unidades
Tasa de aplicación real	lbs/acre de ingrediente activo aplicado
Emisiones químicas	lbs de químico en el ambiente
HVbcf	Valor de riesgo por bioconcentración acuática
HVbod	Valor de riesgo por biodegradación
HVcar	Valor de riesgo por carcinogenicidad
HVfa	Valor de riesgo por toxicidad aguda en peces
HVfc	Valor de riesgo por toxicidad crónica en peces
HVhyd	Valor de riesgo por degradación por hidrólisis
HVin	Valor de riesgo por toxicidad aguda por inhalación
HVmam	Valor de riesgo por toxicidad oral aguda en mamíferos
HVnc	Valor de riesgo por toxicidad crónica, no cancerígena
HVor	Valor de riesgo por toxicidad oral aguda
Tasa de aplicación máxima	Máxima cantidad de ingrediente activo recomendada de acuerdo a la etiqueta del plaguicida (lbs/acre)
RWFw	Factor ponderado de liberación para agua
RWFa	Factor ponderado de liberación para aire
RWFt	Factor ponderado de liberación total

Análisis de resultado y consideraciones del indicador:

CHEMS1 puede ser usado en pequeñas escalas en campo debido a que fue específicamente diseñado para evaluar el efecto de grandes cantidades de químicos dispuestos en el ambiente debido a la producción industrial. Para lograr esto, la forma como el indicador tiene en cuenta la cantidad de plaguicidas en el medio ambiente tiene que ser ajustada para reflejar la menor cantidad de productos químicos que normalmente se observa en las fincas. Este ajuste se observa previamente en la ecuación 5. En segundo lugar, el indicador requiere el uso de “vida media biológica de oxígeno”; estos valores pueden ser difíciles de determinar y se puede dejar en blanco cuando el indicador se utiliza en finca.

4.1.3. ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDICATOR FOR PESTICIDES (P-EMA).

Institución

University of Hertfordshire, Departament of Environmental Sciences, Reino Unido.

Investigadores involucrados

Desarrollado por Lewis y Newbold (2004).

Propósito del indicador

Evaluar el cumplimiento de las prácticas en el manejo de plaguicidas establecidas por la legislación del Reino Unido y de la Unión Europea.

Compartimentos ambientales y efectos

p-EMA no mide el riesgo o impacto ambiental, pero si evalúa el desempeño ambiental; al hacerlo, este toma en cuenta:

- el peligro potencial para los humanos, la vida silvestre, las abejas y los organismos acuáticos,
- las emisiones potenciales hacia el aire, las aguas subterráneas y las aguas superficiales
- la bioacumulación.

Metodología

Esta técnica realiza una evaluación del desempeño (eco-evaluación) sobre una escala fija basada en frases de riesgo regulatorias para la formulación plaguicida (peligro para humanos, vida silvestre, abejas y organismos acuáticos); cuyo valor es obtenido mediante un factor que está basado en condiciones sitio-específicas (p.e. distancia a aguas superficiales).

Las propiedades físico-químicas, como DT_{50} en suelo, K_{oc} , K_{ow} , la constante de Henry y la solubilidad del agua en combinación con la cantidad aplicada. Además, se puede incluir un factor de “castigo” para prácticas pobres, como la aspersión de plaguicidas a velocidades altas de viento o por la aplicación de un plaguicida para un cultivo específico, el cual no tiene aprobación regulatoria.

Ecuación del indicador

$p\text{-EMA} = (S_{\text{risk-phrases}} * \text{penalti factor}) + (S_{K_H} + S_{GUS} + S_{K_{ow}} + S_{\text{solubility}}) * i.a. \text{ (kg/ha)}$
risk phrases (-40 a -1)

K_H , GUS, K_{ow} , valores de rendimiento de la solubilidad de -20 a 0.

Sitio local y condiciones de aplicación determinar el factor de castigo.

4.1.4. ENVIRONMENTAL IMPACT QUOTIENT (EIQ)

Investigadores

Desarrollado por Kovach, Petzoldt, Degni y Tette (1992).

Metodología

El EIQ, permite calcular el riesgo asociado a los plaguicidas hacia los trabajadores agrícolas, los consumidores y los organismos terrestres, basado en una metodología de categorización. En esta metodología, la información referente a la toxicidad y las propiedades físico-química de los compuestos se categoriza; luego, estos rangos o categorías se incorporan a ecuaciones hasta llegar a un puntaje final EIQ (Kovach *et al.* 1992, tomado de <http://www.aftresearch.org/ipm/risk/eiq/index.php#introduction>).

Ecuaciones del indicador:

En la **Ecuación 11** se muestra la ecuación final de EIQ.

Ecuación 11: EIQ

$$= (C(DT * 5) + (DT * P)) + ((C * (S + P)^2 * SY) + (L)) + ((F * R) + (D * (S + P)/2 * 3) + (Z * P * 3) + (B * P * 5))/3$$

El valor de la ecuación final EIQ luego puede ser manipulado con tasa de aplicación del ingrediente activo plaguicida (en lbs/acre) para determinar el valor de uso en campo (**Ecuación 12**).

Ecuación 12. Tasa de uso en campo EIP = valor EIQ * tasa de aplicación

El indicador EIQ se basa en una metodología de categorización. Este esquema de categorización tiene diez secciones diferentes, detalladas a continuación:

Modo de acción (**Tabla 4**).

Tabla 4. Categorización del modo de acción de los plaguicidas usada por el indicador EIQ.

Categoría	Modo de acción
1	Plaguicidas no sistémicos
1	Todos los herbicidas
3	Plaguicidas sistémicos

LD₅₀ aguda termal en ratas o conejos (**Tabla 5**)

Tabla 5. Categorización de la dosis letal 50 usada por el indicador EIQ.

Categoría	LD ₅₀
1	>2000 mg/kg
3	200-2000 mg/kg
5	0-200 mg/kg

Efectos a largo plazo en la salud (**Tabla 6**)

Tabla 6. Caracterización de los efectos a largo plazo en la salud.

Categoría	Efectos
1	Ninguna/poca
3	Posible
5	Ocurrencia indudable

Vida media (V_{1/2}) de residuos en la superficie de las plantas (**Tabla 7**)

Tabla 7. Vida media de residuos en la superficie de las plantas.

Categoría	V _{1/2}
1	1-2 semanas
3	2-4 semanas
5	> 4 semanas
1	Herbicidas preemergentes

Vida media (V_{1/2}) de residuos en el suelo (**Tabla 8**)

Tabla 8. Vida media de residuos en el suelo.

Categoría	V _{1/2}
1	< 30 días
3	30-100 días
5	> 100 días

LC₅₀ en peces (**Tabla 9**)

Tabla 9. LC₅₀ en peces usado por el indicador EIQ

Categoría	LC ₅₀
1	> 10 ppm
2	1-10 ppm
3	<1 ppm

LC₅₀ en aves (**Tabla 10**)

Tabla 10. LC₅₀ en aves usado por el indicador EIQ

Categoría	LC ₅₀
1	> 1000 ppm
3	100-1000 ppm
5	1-100 ppm

Toxicidad en abejas (**Tabla 11**)

Tabla 11. Toxicidad en abejas usado por el indicador EIQ

Categoría	Toxicidad
1	Relativamente no tóxico
3	Moderadamente tóxico
5	Altamente tóxico

Toxicidad a insectos benéficos (**Tabla 12**)

Tabla 12. Toxicidad a insectos benéficos.

Categoría	Toxicidad
1	Bajo impacto
3	Impacto moderado
5	Impacto severo
3	Herbicidas posemergentes

Potencial de lixiviación o escorrentía (**Tabla 13**)

Tabla 13. Potencial de lixiviación o escorrentía.

Categoría	Potencial
1	Pequeño
3	Medio
5	Grande

Listado de símbolos (**Tabla 14**).

Tabla 14. Listado de variables y unidades utilizados por EIQ.

Listado de abreviaturas	Descripción y Unidades
Dosis de aplicación	Cantidad de ingrediente activo (i.a.) del plaguicida en lbs/acre
B	Categoría de toxicidad a artrópodos benéficos
C	Clasificación de la toxicidad crónica
D	Valor de la categoría para LC ₅₀ en patos
DT	Valor de la categoría para LD ₅₀ dermal en ratas
F	Categoría para LD ₅₀ en peces
L	Categoría para potencial de lixiviación del i.a. del plaguicida
P	Categoría de vida media en superficie de plantas
R	Categoría para potencial de escorrentía del i.a. del plaguicida
S	Categoría para valor de vida media en el suelo
SY	Clasificación de sistemicidad del plaguicida
Z	Categoría para valor de LD ₅₀ en abejas

Análisis de resultado y consideraciones del indicador:

Los distintos números usados en la ecuación EIQ son factores ponderados usados por los autores para hacer más énfasis sobre ciertas características de los plaguicidas. Estos factores ponderados pueden reflejar el diseño original de EIQ para únicamente considerar plaguicidas en frutas y hortalizas. Al usar este indicador se debe prestar particular atención en la metodología de categorización. Por ejemplo, con esta metodología frecuentemente se tendrán que realizar nuevas investigaciones para distinguir un plaguicida que tiene una “lixiviación potencial medio” de otro que posee un “gran potencial de lixiviación”.

4.1.5. ENVIRONMENTAL POTENCIAL RISK INDICADOR FOR PESTICIDES (EPRIP)

Institución

Università Cattolica del Sacro Cuore, Institute of Environmental and Agricultural Chemistry (ICAA), Italia.

Investigadores involucrados

Desarrollado por Trevisan, M., Errera, G., Capri, E., Padovani, L. y A.A.M. Del Re. (1999)

Metodología

EPRIP calcula la Concentración Ambiental Estimada (CAE) en los compartimentos aguas subterráneas, aguas superficiales, suelo y aire. Para determinar las CAE en cada compartimento, el indicador presenta una serie de ecuaciones que consideran información de toxicidad, ecotoxicidad, parámetros físico-químicos de los ingredientes activos, y datos específicos del sitio de aplicación. Después de calcular las CAE, el valor de las CAE se dividen por valores de toxicidad que reflejan el daño a los organismos presentes en el compartimento ambiental particular (Trevisan *et al.*, 1999; tomado de <http://www.aftresearch.org/ipm/risk/eprip/index.php#introduction>).

Ecuaciones del indicador:

$$\text{Índice de riesgo potencial}_{\text{aguasubterranea}} = \text{aguasubt}/0.1\text{mg/L}$$
$$\text{CAE}_{\text{aguasubt}} = \text{LG} = 2.739 \cdot \text{AF} \cdot \text{Tasa} (1 - f_{\text{int}}) / \text{P}$$

$$\text{AF} = \exp(-0.693 \cdot \text{tr} / \text{HF})$$
$$\text{tr} = \text{L} \cdot \text{RF} \cdot \text{FC} / \text{q}$$
$$\text{RF} = [1 + (\text{BD} \cdot \text{OC} \cdot \text{Koc}) / \text{FC} + (\text{AC} + \text{Kh}) / \text{FC}]$$

$$\text{Índice de riesgo potencial}_{\text{suelo}} = \text{CAE}_{\text{suelo}} / \text{LC50}_{\text{lombriz}}$$
$$\text{CAE}_{\text{suelo}} = \text{tasa} \cdot (1 - f_{\text{int}}) / (100 \cdot \text{profundidad} \cdot \text{BD})$$

En aplicaciones repetidas:

$$\text{CAEn} = \text{CAE}_{\text{suelo}} \cdot (1 - \exp^{-nki}) / (1 - \exp^{-ki})$$
$$k = \text{LN}2 / \text{HF}$$

$$\text{Índice de riesgo potencial}_{\text{aguasuperf}} = \text{CAE}_{\text{deriva}} / \text{LC50}_{\text{organismos acuáticos}}$$
$$\text{CAE}_{\text{deriva}} = \text{rate} \cdot f_{\text{deriva}} / \text{V}$$
$$\text{V} = [h \cdot (b+h)] / (b+2 \cdot h)$$

Índice de riesgo potencia_{aguasuperf} = PEC_{escorrentia}/LC50_{organismos acuáticos}

CAE_{escorrentia} = Pr * Rate3d * F_{aq} / Dr

Pr = Fst * Fs * Fr * [0.55 * logKoc + 1.47]

Fs = 0.124 * SL + 0.0082(SL)²

Fr = 0.0208 * RE + 0.00011 * (RE)²

RE = Rmax - 17

Faq = [1/(1+Q)]

Q = 2 * Koc * OC / 100 * escorrentía

Dr = (0.47 * Rmax) - 10

Índice de riesgo potencial_{aire} = CAE_{aire}/LC50_{rata}

CAE_{aire} = C_{aire}

C_{aire} = Jo/Vf

Jo = Da * Csa/d

Da = 0.036 * (76/MW)^{1/2}

Csa = CAEs * BD * Pa / Ac

Pa = (Za * Va) / (Za * Va + Zw * Vw * Zs * Vs)

Za = 1 / (R * T)

Zw = S / VP

Zs = Kd * BD * Zw / (1 - P)

Para el índice de riesgo del agua subterránea, la CAE es dividida en 0.1 mg/L. Ésta es la concentración de química admisible en el agua en Italia. Para el compartimento de aguas superficiales, la CAE es calculada teniendo en cuenta la deriva y la lixiviación del plaguicida sobre el agua superficial. El índice de riesgo potencial debido a la deriva y a la lixiviación puede ser calculado por medio de indicadores como algas, crustáceos y peces. Como tal, para el agua superficial, se calculan seis índices de riesgo potencial. Cada índice de riesgo potencial para cada compartimento es categorizado sobre una metodología de puntuación EPRIP desde 1 hasta 5 (**Tabla 15**).

Tabla 15. Puntajes para la categorización del riesgo en el indicador EPRIP.

Valor CAE	Puntaje asignado
CAE < 0.01	Punto de riesgo EPRIP = 1
CAE < 0.1	Punto de riesgo EPRIP = 2
CAE < 1.0	Punto de riesgo EPRIP = 3
CAE < 10.0	Punto de riesgo EPRIP = 4
CAE > 10.0	Punto de riesgo EPRIP = 5

Como tal, se calcula un valor dentro del rango 1-5 para el compartimento de agua subterránea, suelo, aire y para las seis variables del compartimento de agua superficial. Para determinar el valor final EPRIP para el compartimento de agua superficial, se selecciona el valor máximo

obtenido en alguna de las seis variables tenidas en cuenta. Las variables del compartimento de agua superficial son: escorrentía de agua superficial para peces, escorrentía de agua superficial para crustáceos, escorrentía de agua superficial para algas, deriva de agua superficial para peces, deriva de agua superficial para crustáceos y deriva de agua superficial para algas. Finalmente, se multiplican los valores obtenidos en cada compartimento para obtener un valor EPRIP final.

Para cada valor EPRIP, se consideran determinados puntos de sanción. Un régimen de sanciones es utilizado de modo que para cualquiera de los compartimentos del ambiente, un valor de riesgo de 4, suma 25 puntos de sanción y, un valor de riesgo de 5 suma 50 puntos de sanción. En la **Tabla 16**, se muestra la clasificación EPRIP con el sistema de sanciones por puntos.

Tabla 16. Clasificación del riesgo y sistema de sanciones según EPRIP.

Valor EPRIP	Sanción considerada	Clasificación del riesgo potencial final
1		“ninguno”
2-16	Sin valores de riesgo ≥ 4	“insignificante”
17-81	No puede tener dos valores de riesgo ≥ 4	“pequeño”
82-256	No puede tener tres valores de riesgo = 5	“presente”
257-400		“grande”
>400		“muy grande”

Como resultado, el valor final EPRIP es obtenido con la **ecuación 13**.

Ecuación 13. $Vr_{finalEPRIP}$

$$= (Vlraguasubt * Vlrsuelo * Vlraguasuperf * Valoraire) + \sum san$$

En la **Tabla 17** se listan las variables y unidades utilizadas por el indicador EPRIP.

Tabla 17. Variables y unidades utilizadas por el indicador EPRIP.

Símbolos	Descripción y unidades
AC	Contenido de aire en el suelo (%)
B	Ancho del fondo de la zanja (m)
BD	Densidad aparente del suelo (kg/m ³)
C	Concentración de aire en 1.5 m (g/m ³)
Csa	Concentración de aire en suelo (kg/m ³)
D	Espesor de capa límite (m)
Da	Coefficiente de difusión del aire libre (m ² /h)
Depth	Profundidad de mezcla del suelo (m)
Dr	Profundidad de escorrentía (mm)
Faq	Fracción de plaguicida disuelto en agua de escorrentía (kg*mm/m ³)
FC	Capacidad de campo del suelo

f_{drift}	Fracción de plaguicida por deriva en la aplicación (%)
f_{int}	Intercepción del cultivo (%)
Fr	Factor lluvia
Fs	Factor pendiente
Fst	Factor tipo de suelo
H	Profundidad de zanja (m)
HF	Vida media en suelo (días)
I	Días entre aplicaciones
J_o	Flujo de capa límite (m ² /h)
Kh	Constante de Henry's (sin unidades)
Koc	Coefficiente de sorción (m ³ /kg)
L	Nivel de agua subterránea (m)
MW	Peso molecular del ingrediente activo plaguicida (g/mol)
N	Numero de aplicaciones
OC	Contenido de carbono orgánico del suelo (%)
P	Porosidad del suelo (sin unidades)
Pa	Fracción masa en aire (sin unidades)
PD	Densidad de partículas (kg/m ³)
CAE _{air}	Concentración ambiental predicha en el aire (g/m ³)
CAE _{drift}	Concentración ambiental predicha en agua superficial debido a deriva (g/m ³)
CAE _{gw}	Concentración ambiental predicha en agua subterránea (mg/L)
CAE _{runoff}	Concentración ambiental predicha en agua superficial debido a escorrentía (g/ha*m ³)
CAE _{soil}	Concentración ambiental predicha en el suelo (g/m)
Pr	Fracción de plaguicida perdido por escorrentía
Q	Recarga neta de agua subterránea (m/año)
Rate	Tasa de aplicación de ingrediente activo de plaguicida (g/m ²)
S	Solubilidad en agua (mol/m ³)
SL	Pendiente de la tierra (%)
R	Constante de gas (L*atm/K*mol)
Rate3d	Cantidad de plaguicida aplicado remanente sobre el suelo después de 3 días (g/ha)
RE	Cantidad de lluvia en exceso (mm)
Rmax	Máximo promedio de lluvia diaria (mm)
Runoff	Cantidad de agua perdida (mm/year)
T	Temperatura en Kelvin
V	Volumen de agua en zanja (m)
Va	Volumen de fracción de aire
Vs	Volumen de fracción de suelo
Vw	Volumen de fracción de agua
Vf	Velocidad de dilución (m/h)
Za	Fugacidad en el compartimento aire (mol/L*atm)
Zw	Fugacidad en el compartimento agua (mol/L*atm)
Zs	Fugacidad en el compartimento suelo (mol/L*atm)

Análisis de resultados y consideraciones del indicador:

Este indicador fue específicamente diseñado para condiciones climáticas del Mediterráneo. Como resultado, si este indicador es usado fuera de esta región, los resultados finales no podrían ser adecuados. Se podrían presentar significantes inconvenientes al calcular los valores de la CAE en el compartimento de aguas superficiales. Estos valores dependen de los valores de precipitación de la región del Mediterráneo calculados de gráficas y ecuaciones

contenidos en un artículo de C. Kosmas *et al.* Este indicador también posee esquemas de conversión de unidades complejos que podrían ser una importante barrera en el uso exitoso por parte de algunos usuarios. Por ejemplo, existe dificultad en la interpretación de las unidades de la CAE de la variable lluvia.

4.1.6. PESTICIDE ENVIRONMENTAL RISK INDICATOR (PERI)

Institución

Swedish University of Agricultural Sciences

Investigadores involucrados

Desarrollado por Nilsson, C. (1999).

Metodología

Este indicador forma parte de un sistema de indicadores que pueden ser usados por los agricultores para evaluar posibles riesgos ambientales, como parte de un proceso de certificación ISO 14001. El indicador PERI usa una metodología de clasificación que valora las propiedades físico-químicas y los datos de toxicidad del plaguicida en una escala de 1 a 5. El programa considera los compartimentos ambientales aguas subterráneas, superficiales y aire. Más que considerar cada compartimento separadamente, PERI agrupa todas las variables de los diferentes compartimentos en una ecuación para llegar a un puntaje de calificación de riesgo ambiental (Nilsson, 1999; Reus *et al.*, 2002; tomado de <http://www.aftresearch.org/ipm/risk/peri/index.php#introduction>).

Ecuaciones del indicador:

Como se planteó anteriormente, el indicador PERI realiza una estimación del riesgo de manera global para todos los compartimentos ambientales (**Ecuación 14**).

Ecuación 14. *Valor de riesgo ambiental*

$$= (valor_{GUS} * Constante_{deHenry}) + (valor_{EC50\ abejas} + Valor_{EC50\ lombriz} + valor_{LC50\ Daphnia} + valor_{EC50\ algas} + Valormicroorganismos\ suelo) / 5) * (Kow) / 10$$

Este valor de riesgo ambiental luego puede ser manipulado con datos de aplicación reales para determinar un Indicador de Riesgo Ambiental final (**Ecuación 15**).

Ecuación 15. *Ind. Riesgo Amb. Final*

$$= Vlr_{deriesgoamb} * (Tasadeapl.\ real / tasadeapl.\ estándar)$$

Esquema de clasificación:

En las siguientes tablas (18-24) se muestra el esquema de categorización de las variables utilizadas por el indicador PERI en la valoración del riesgo.

Tabla 18. Categorización del valor GUS para la valoración del riesgo por PERI

Valor GUS	Puntaje PERI
<0	1
0-1	2
1.0-1.8	3
1.8-2.8	4
>2.8	5

Tabla 19. Categorización de la Constante de Henry

Constante de Henry	Valor PERI
<1	1
1-5	2
5-25	3
25-100	4
>100	5

Tabla 20. Categorización del Coeficiente de partición Octanol-agua (Kow)

Kow	Puntaje PERI
<3.0	1
≥3.0	5

Tabla 21. Categorización de BCF usado por el indicador PERI

BCF	Puntaje PERI
<100	1
100-1000	3
>1000	5

Tabla 22. Categorización de la LC50/EC50 de *Daphnia*

LC50/EC50	Puntaje PERI
>100 mg/L	1
10-100 mg/L	2
1-10 mg/L	3
0.1-1 mg/L	4
>0.1 mg/L	5

Tabla 23. Categorización de LC50 en Lombriz de tierra

LC50 en Lombriz de Tierra	Puntaje PERI
---------------------------	--------------

>1000 mg/kg	1
1000-100 mg/kg	2
10-100 mg/kg	3
1-10 mg/kg	4
<1 mg/kg	5

Tabla 24. Categorización de LC50 en Abejas

LC50 en Abejas	Puntaje PERI
>100 mg/abeja	1
10-100 mg/abeja	2
1-10 mg/abeja	3
0.1-1 mg/abeja	4
<0.1 mg/abeja	5

Análisis de resultados y consideraciones del indicador:

En investigaciones previas, este indicador no ha correlacionado con otros indicadores ambientales (ver Reus *et al.*, 2002). Sin embargo, se debe tener en cuenta que esto no invalida este indicador y que los valores de toxicidad para los microbios del suelo son de difícil consecución.

4.1.7. SYNOPTISCHES BEWERTUNGSMODELL FUR PFLANZENSCHUTZMITTEL (SYNOPS 2)

Institución

Federal Biological Research Centre for Agricultural and Forestry (BBA), Institute of Technology Assessment in Plant Protection, Alemania.

Investigadores involucrados

Desarrollado por Gutsche, V. y D. Rossberg (1999).

Propósito del indicador

El propósito de este indicador es evaluar el potencial riesgo ambiental de una estrategia de aplicación de plaguicidas y comparar diferentes estrategias de manejo de plagas que utilicen distintas opciones de plaguicidas. SYNOPS_2 considera los efectos potenciales de los plaguicidas sobre el suelo, aire, aguas subterráneas y aguas superficiales. El efecto potencial sobre el aire se considera "opcional" ya que este no posee un balance de masa real y sin impactos eco-toxicológicos. El efecto potencial sobre las aguas subterráneas incorpora las CAE del programa PELMO. PELMO es un software que simula el movimiento vertical de los plaguicidas en el suelo producto de la lixiviación. SYNOPS_2 también analiza los efectos eco-toxicológicos potenciales (agudo y crónico) sobre los organismos terrestres y acuáticos

(Ganzelmeier, H. 1997; Gutsche y Rossberg, 1999; Klein, 1995; Lutz, 1984; Maniak, 1992; Reus et al., 2002; tomado de <http://www.aftresearch.org/ipm/risk/synops2/index.php#introduction>)

Ecuaciones del indicador:

Cálculo de cargas directas (**Ecuación 16**):

$$\text{Ecuación 16. Deriva} = \text{Dosis} * \frac{VGT}{100}$$

$$\text{Cargadelsuelo} = (\text{Dosis} - \text{Deriva}) * (100 - VDT)/100$$

$$\text{Cargadeagua} = \text{Deriva} * \text{Índicedeagua}$$

Cálculo de la concentración en el suelo para cada ingrediente activo plaguicida en función del tiempo (**Ecuación 17**)

Ecuación 17.

$$\lambda = LN 2 / DT50_{\text{suelo}}$$

$$y_0 = \text{Cargasuelo} / 375 \text{ (asumiendodensidad } 1.5 \text{ g/cm}^3 \text{ y profsuelo de } 2.5 \text{ cm)}$$

$$\lambda * (t) = \exp(0.08 * (\text{Temp}(t) - 20)) * l$$

$$CS_{ai}(t_0) = y_0$$

$$CS_{ai}(t_i) = y_0 + CS_{ai}(t_i) * (\exp - \lambda * (t_i)) \text{ (paralos días de la aplicación)}$$

$$CS_{ai}(t_i) = CS_{ai}(t_{i-1}) * \exp - \lambda * (t_i) \text{ (paralos días después de la aplicación)}$$

$$CS_{ai}(t) = \sum CS_{ai} \text{ napp}(t_i)$$

$$sPECS_{ai} = \max CS_{ai}(t)$$

$$IPECS_{ai} = \sum CS_{ai}(t_i)$$

Cálculo de la concentración en el agua superficial para cada ingrediente activo en función del tiempo (**Ecuación 18**)

Ecuación 18.

$$y_0 = \text{cargadeagua} / 3000 \text{ (asumiendoprofundidad del agua de } 30 \text{ cm)}$$

$$Kd = Koc * \%OC/100$$

$$f1 = (0.02153 * \text{pendiente}) + (0.001432 * \text{pendiente}^2) \text{ (silapendiente es } < 20\%)$$

$$f1 = 1 \text{ (silapendiente es } \geq 20\%)$$

$$f2 = 1 - \text{intercepción de la planta}/100$$

$$f3 = 0.83 * WBZ$$

$$f = f1 * f2 * f3$$

$$L\%_{\text{runoff}} = (Q/P) * f * \exp(-3 * LN2/DT50_{\text{suelo}}) * 100/(1 + Kd)$$

$$\begin{aligned}
RUNa.i. &= L\%escorrentía * Dosis/3000 \\
CWai(t_i) &= CWai(t-1) * \exp(-\lambda * (t_i)) + RUNa.i. \\
sPECWai &= \max CWai(t) \\
IPECWai &= \sum CWai(t)
\end{aligned}$$

Índice de lixiviación de aguas subterráneas (**Ecuación 19**):

Ecuación 19. $LI = 730 \max t = 1 (C_{sol}(t, slnr50)) / (C_{sol}(1,1))$

Índice para el aire:

$$Koc = 0.66069 Kow^{1.029}$$

$$KdS = \%OC * Koc/100$$

$$KdW = \%OCW * Koc/100$$

$$ASai = KdS * sPECSai / KdS + 1$$

$$AWai = KdW * sPECWai / KdW + 1$$

$$AIRai = Dosis * \text{mínimo} [DT50 \text{ hidrolisis}, DT50 \text{ fotolisis}] * Kh$$

Riesgo biológico:

Ecuación 20. $abrew = sPECS / LC50ew$

$$abrwo = sPECW / LC50wo$$

$$cbrew = IPECS / (NOECew * tew)$$

$$cbrwo = IPECW / (NOECwo * two)$$

$$screw(t) = \sum m(\sum t(CSai(t)/NOECew * tew))$$

$$scrwo(t) = \sum(\sum(CWai(t)/NOECwo * two))$$

$$tscrew = \max screw$$

$$tscrwo = \max scrwo$$

En la **Tabla 25** se presentan las variables y unidades utilizadas por el indicador SYNOPS 2.

Tabla 25. Variables y unidades utilizadas por el indicador SYNOPS 2.

Símbolos	Descripción y Unidades
abr _{ew}	Riesgo biológico agudo para lombrices de tierra (sin unidades)
abr _{wo}	Riesgo biológico agudo para organismos acuáticos (sin unidades)
AIR _{ai}	Índice de exposición al aire (g/ha/día)
AS _{ai}	Índice de adsorción por el suelo (sin unidades)
AW _{ai}	Índice de adsorción por sedimentos del agua (sin unidades)
cbr _{ew}	Riesgo biológico crónico para lombrices de tierra (sin unidades)
cbr _{wo}	Riesgo biológico crónico para organismos acuáticos (sin unidades)
C _{sol} (1,1)	Concentración de plaguicida PELMO (i.a.) en la capa superior del suelo (g/cm ²)
C _{sol} (t, slnr ₅₀)	Concentración de plaguicida PELMO (i.a.) en un suelo con profundidad de 50 cm (g/cm ²)
CS _{ai}	Concentración diaria de plaguicida (i.a.) en el suelo luego de la aplicación (mg/kg suelo)

$CS_{ai}(t)$	Concentración de plaguicida (i.a.) en suelo (mg/kg suelo)
$CS_{ai} t_i$	Concentración diaria de plaguicida (i.a.) en suelo (mg/kg suelo)
$CS_{ai}(t_i - 1)$	Concentración de plaguicida i.a. en el día previo (mg/kg suelo)
$CW_{ai}(t)$	Concentración de plaguicida (i.a.) en el agua superficial (mg/L)
$CW_{ai}(t-1)$	Concentración de plaguicida (i.a.) en el agua superficial en el día previo (mg/L)
Dosis	Cantidad de plaguicida (i.a.) aplicado (g/ha)
Drift	Cantidad de plaguicida (i.a.) derivándose a nuevos compartimentos (g/ha)
DT50 hidrólisis	Vida media del químico en agua (días)
DT50 fotólisis	Vida media del químico expuesto al sol (días)
DT50 _{soil}	Vida media en el suelo (días)
F	Factor de corrección por escorrentía
IPECS _{ai}	PEC a largo plazo de plaguicida (i.a.) en suelo (mg*d/kg de suelo)
IPECW _{ai}	PEC a largo plazo de plaguicida (i.a.) en agua (mg*d/L de agua)
Kh	Constante de Henry (sin unidades)
Kd	Coefficiente de adsorción en el suelo (L/kg)
KdS	Coefficiente de adsorción en el suelo estimado (sin unidades)
KdW	Coefficiente de adsorción de sedimentos en el suelo (sin unidades)
Koc (para aire)	Coefficiente de adsorción estimado (sin unidades)
Koc (para suelo)	Coefficiente de adsorción (L/kg)
Kow	Coefficiente de partición octanol-agua
Λ	Constante de degradación.
$\lambda^*(t)$	Constante de degradación considerando el efecto de la temperatura
LC50 _{ew}	Concentración letal 50 para lombriz de tierra (mg/kg)
LC50 _{wo}	Concentración letal 50 para organismos acuáticos (mg/L)
LI	Índice de lixiviación de aguas subterráneas (sin unidades)
L%escorrentía	Porcentaje de la dosis de aplicación disuelta en el agua de escorrentía
M	Número de ingredientes activos considerados en la estrategia
Napp	Número de aplicaciones
NOEC _{ew}	Concentración sin efectos observables para lombriz de tierra (mg/kg)
NOEC _{wo}	Concentración sin efectos observables para organismos acuáticos (mg/L)
%OC	% de contenido orgánico en el suelo
P	Volumen de precipitación (mm)
Q	Volumen de escorrentía (mm). Tablas de Lutz (1984) y Maniak (1997)
RUN _{ai}	Cantidad-punto de escorrentía (mg/L)
scf _{ew}	Índice de riesgo subcrónico para lombriz de tierra (sin unidades)
scf _{wo}	Índice de riesgo subcrónico para organismos acuáticos (sin unidades)
Pendiente	Pendiente del campo (%)
sPECS _{ai}	PEC a corto plazo de plaguicida (i.a.) en el suelo (mg/kg suelo)
sPEW _{ai}	PEC a corto plazo de plaguicida (i.a.) en el agua (mg/kg agua)
t_0	Día del evento de aplicación (igual a 0)
(t)	Tiempo de incremento o (igual a 1 si el investigador desea concentraciones de plaguicida diarias)
t_i	Días (usado solo como un conteo entre aplicaciones. Esto no tiene valor en las ecuaciones)
Temp	temperatura (°Celsius)
tscr _{ew}	Valor máximo de riesgo subcrónico para lombriz de tierra
tscr _{wo}	Valor máximo de riesgo subcrónico para organismos acuáticos
VDT	% intercepción del cultivo
VGT	% de deriva en la aspersión a partir de la tabla de Ganzelmeier (Ganzelmeier, 1997)
Carga de suelo	Cantidad de plaguicida cargado en el compartimento suelo (g/ha)
Carga de agua	Cantidad de plaguicida cargado en el compartimento agua (g/ha)
Índice de agua	% del campo bordeando el agua superficial
yo (para suelo)	Concentración de plaguicida (i.a.) inicial en el suelo causada por carga del suelo (mg/kg suelo)
yo (para agua)	Concentración de plaguicida (i.a.) inicial en el agua superficial causada por carga del agua (mg/L)

Análisis de resultados y consideraciones del indicador:

Los cálculos de carga del suelo y del agua de los ingredientes activos plaguicidas están en función de las dosis, del valor de la deriva en la aspersión, el porcentaje de cobertura del canopi y de un índice de agua, el cual representa la relación entre campos de rodean algún cuerpo de agua superficial y la circunferencia del campo total en una región. Este índice puede ser catalogado como un valor predeterminado donde los resultados son representativos de las condiciones del agua superficial del área (p.e. una región con muchos ríos). Para las concentraciones de agua superficial, SYNOPS_2 tiene un componente adicional que asume un evento de concentración de escorrentía tres días después de la aplicación.

SYNOPS_2 también estima la concentración de cada ingrediente activo plaguicida en el suelo y en el agua subterránea. Estos cálculos determinan la degradación de los i.a. plaguicidas a través del tiempo; para lo cual se tiene en cuenta la vida media de los plaguicidas en el suelo y en el agua, la temperatura del área, la densidad del suelo y la profundidad de la capa del suelo. La exposición ambiental a largo plazo es determinada asumiendo cada una de las concentraciones diarias de los plaguicidas. La exposición a corto plazo es estimada al determinar la concentración máxima del plaguicida para cualquier día.

Los cálculos de SYNOPS_2 son bastante complejos. Como resultado, el entendimiento de las ecuaciones y la interacción de diferentes parámetros ambientales pueden tomar tiempo. Además, la disponibilidad de datos adecuados es un problema especialmente para ciertos valores de NOEC (p.e. valores NOEC para la lombriz de tierra). De otro lado, para calcular la lixiviación hacia aguas subterráneas, los usuarios deben aprender a manejar el programa de simulación de lixiviación PELMO. Sin embargo, PELMO posee una interface gráfica que lo hace ligeramente fácil de usar. De igual forma, está disponible en la INTERNET.

4.1.8. SYSTEM FOR PREDICTING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF PESTICIDES (SYPEP)

Institución

Veterinary and Agrochemical Research Centre, Bélgica.

Investigadores involucrados

Desarrollado por Pussemier, L. (1999).

Metodología

El indicador SyPEP usa ecuaciones para modelar las PEC en aguas subterráneas y superficiales. Después de calcular estas PEC, se comparan con las concentraciones máximas permisibles (CMP) del compuesto en ese determinado compartimento. Para hacer esta comparación, los valores de las CMP se dividen entre el valor de las PEC (i.e. CMP/PEC). Esta razón o cociente, se clasifica en una escala de 1 a 5, que permite llegar a valor SyPEP para cada compartimento (Pussemier, 1999; Reus, *et al.*, 2002; tomado de <http://www.aftresearch.org/ipm/risk/sypep/index.php#introduction>).

Ecuaciones del indicador:

En la **Ecuación 21**, APEBOD es la cantidad de plaguicida potencialmente lixiviable hacia un metro de profundidad. La variable recarga de agua subterránea es calculada al dividir la cantidad de lluvias en el año en un sitio en 3. Este valor predeterminado es dado en el indicador SyPEP.

Ecuación 21. $PEC_{aguasubter} = (APEBOD * 1000 / \text{aguasubterecarga})$
 $APEBOD = C\text{SPER}1 * \left(\text{dosis} \frac{\text{real}}{\text{dosis}} \text{deref.} \right) * \text{factordecorrecc. del suelo}$

GUS es el valor ubicuo del agua subterránea (**Ecuación 22**), CSPER1 es la cantidad de plaguicida capaz de lixivarse bajo un metro de profundidad de acuerdo con el escenario estándar Neerlandés (**Ecuación 23**), y el factor de corrección de suelo es un factor que toma en cuenta la cantidad de lluvias y el tipo de suelo ya incluidos en SyPEP (**Tabla 26**).

Ecuación 22. $GUS = \log DT50 * (4 - \log Koc)$

Tabla 26. Factor de corrección utilizado en el cálculo del indicador SYPEP.

Tipo de suelo	Precipitación < 750mm	750mm<Precipitación<850mm	Precipitación>850mm
Arena	0.67	0.95	1.00
Arcilla	0.10	0.14	0.38
Humus	0.33	0.43	0.48

SyPEP también calcula la CAE para el agua superficial de acuerdo con la **Ecuación 24**.

Ecuación 24. $CAE_{sw} = PCOW * (1 - BFI)$
 $PCOW = APESUW / (\text{lluvia} * SPR)$
 $CAE_{sw} - lt = \text{Promedio}CAE_{sw}$
 $CAE_{sw} - st = \text{Máximo}CAE_{sw}$

En la **ecuación 24**, PCOW es la concentración estimada en las corrientes de agua. La variable BFI es el índice de flujo base que representa la fracción de agua del río que no está

directamente ligada a la lluvia (y quizás originada desde fuentes subterráneas). APESUW es la cantidad de plaguicida potencialmente lixiviable hacia aguas superficiales y es calculada al adicionar las pérdidas de plaguicida al agua superficial tales como derivas, escorrentía, drenajes y pérdidas directas. Luego que los valores de las CAE son obtenidos, son convertidos a relaciones de toxicidad-exposición (**Ecuación 25**) (TER's, Toxicity-Exposure Rates):

Ecuación 25. $TER_{gw} = 0.1/CAE_{gw}$

$$TER_{sw-lt} = NOEC_{organismacuático} / CAE_{sw-lt}$$

$$TER_{sw-st} = NOEC_{organismacuático} * 10 / CAE_{sw-st}$$

$$Riesgototal = TER_{gw} + TER_{sw-lt} + TER_{sw-st}$$

En la **ecuación 25** el valor de 0.1 representa el valor estándar de calidad del agua de consumo igual a 0.1 g/L. Los valores de toxicidad NOEC son usados en lugar de las MPC's, ya que los valores de MPC son difíciles de encontrar. Esta situación es específicamente permitida por el sistema SyPEP. Luego que se obtiene los valores de las TER's, estas son convertidas a valores de impacto ambiental, teniendo en cuenta la **Tabla 27**.

Tabla 27. Valor de impacto ambiental en función de las Tasas de Toxicidad-Exposición (TER)

Valor TER	Valor de impacto
<0.1	5
<1	4
<10	3
<100	2
<1000	1
>1000	0

Estos valores luego pueden ser sumados teniendo en cuenta todos los compartimentos ambientales considerados (agua subterránea, agua superficial a corto plazo y agua superficial a largo plazo) con el fin de determinar un valor SyPEP final. En la **Tabla 28** se listan las variables y las unidades utilizadas en el cálculo del indicador SyPEP.

Tabla 28. Variables y unidades usadas por SyPEP.

Símbolos	Descripción y Unidades
Dosis real	Cantidad de plaguicida (i.a.) aplicado (g/ha)
APEBOD	Cantidad de plaguicida (i.a.) potencialmente exportable por debajo de 1 m (g/ha/año)
APESUW	Cantidad de plaguicida (i.a.) potencialmente exportable hacia el agua superficial (g/ha)
BFI	Índice de flujo base
CSPER1	Cantidad de plaguicida (i.a.) capaz de lixiviarse bajo un metro de profundidad según el escenario estándar Neerlandés (g/ha/año)
GUS	Valor ubicuo de agua subterránea
PCOW	PEC de plaguicida (i.a.) en agua circulante (g/L)
PEC _{gw}	PEC de plaguicida (i.a.) en agua subterránea (g/L)
PEC _{sw}	PEC de plaguicida (i.a.) en agua superficial (g/L)
PEC _{sw-st}	Concentración aguda de plaguicida (i.a.) en agua superficial (g/L)
PEC _{sw-L}	Concentración de plaguicida a largo plazo en agua superficial (g/L)

Lluvia	Cantidad de lluvia (m ³)
Recarga de agua subterránea	Influjo de nuevas aguas subterráneas (m ³)
Dosis de referencia	Cantidad de plaguicida (i.a.) aplicado por recomendación (g/ha)
Factor de corrección del suelo	Factor para la condición pedo-climática de la región
SPR	Porcentaje de escorrentía estándar (%)

Análisis de resultados y consideraciones del indicador:

Con el fin de operar este indicador, es posible que se tengan en cuenta algunos supuestos. Primero, SyPEP requiere datos de precipitación quincenales. Para determinar estos datos quincenales (si el investigador solo tiene datos mensuales), las cantidades de precipitación mensuales pueden ser divididas en dos. Segundo, algunos plaguicidas podrían tener un CAEgw de 0. Sin embargo, un valor igual a 0 no podría operar en la ecuación del valor de la relación de exposición a toxicidad, debido a que no es posible dividir por 0. Tal vez, si un plaguicida tiene un valor CAEgw igual a 0, un valor de 1e-9 (o similar) puede ser usado de tal manera que el valor del impacto ambiental del plaguicida pueda ser calculado. Tercero, es posible usar un valor predeterminado de 0.5 para la variable Índice de Flujo Base (la cual es la fracción de agua de río no directamente ligada con la lluvia). Cuarto, es posible usar un valor predeterminado de 0.333 para el porcentaje estándar de escorrentía (que es la fracción de agua que irá al río por escorrentía o drenaje). Quinto, se usó un valor de 1 como factor de corrección teniendo en cuenta la cantidad de precipitación anual > 850 mm y un tipo de suelo arenoso. Este factor fue utilizado para calcular la CAEgw.

4.1.9. SUMA DE LAS UNIDADES TÓXICAS EQUIVALENTES (THE SUM OF SPREAD EQUIVALENT-SEQ)

Investigadores

Desarrollado por De Smet, B. y W. Stearbaut. (2002).

Propósito

Este es un indicador desarrollado en Flandes-Bélgica como herramienta de apoyo en el manejo o gestión del riesgo ambiental. Este indicador es utilizado por autoridades ambientales en el seguimiento del objetivo que se han trazado y determinar la tendencia general en el uso de plaguicidas. Este índice describe el efecto potencial en organismos acuáticos, pero no determina otros efectos como bioacumulación o efectos endocrinos (De Smet y Steurbaut, 2002; De Smet *et al.*, 2005).

Ecuaciones del indicador

El índice es calculado mediante la **ecuación 26**.

$$\text{Ecuación 26. } \sum_{i=1}^n Seq = \frac{DT50 * E}{CMP}$$

Donde:

DT₅₀ es la vida media del ingrediente activo

E es la masa total aplicada del ingrediente activo

CMP es la concentración máxima permitida

La concentración máxima permitida es calculada mediante la **ecuación 27**.

$$\text{Ecuación 27. } CMP = \frac{NOEC_{min}}{FdS}$$

Donde NOEC_{min} es la concentración de plaguicida a la cual no se observan efectos, determinada para el organismo más sensible. FdS es el factor de seguridad, aplicado de acuerdo al grado de información disponible para la determinación del valor NOEC.

Análisis de resultados y consideraciones del indicador

Estas ecuaciones ponderan las cantidades de plaguicidas utilizados con la persistencia y ecotoxicidad de cada plaguicida. Por lo tanto aquellos plaguicidas con mayores efectos ecotóxicos contribuyen relativamente más al índice que aquellos con menores efectos. Debido a la facilidad de uso de este índice, así como de un bajo número de datos, ha sido adecuado para la evaluación de políticas ambientales a escala regional. Sin embargo, este tipo de índice presenta limitaciones al no evaluar el riesgo ambiental de los diferentes componentes del ecosistema.

4.1.10. PROGRAMA DE LA UNIVERSIDAD DE MILÁN

Institución

Universidad de Milán

Investigadores

Desarrollado por Finizio, A., Calliera, M. y M. Vighi (2001).

Propósito y metodología

La Metodología de la Universidad de Milán está en concordancia con las normativas Europeas (Directive 414/91/EEC). El indicador de evaluación ambiental desarrolla seis indicadores de

riesgo, tres de ellos para evaluar riesgo agudo de los compartimentos ambientales agua superficial, suelo epigeo y suelo hipogeo; y otros tres para evaluar el riesgo ambiental crónico o de largo plazo en los compartimentos ambientales ya indicados. Los indicadores han sido estandarizados a una escala de 0 a 100, a fin de facilitar la visualización del efecto de los plaguicidas sobre los distintos compartimentos y categorizados en cinco niveles, los cuales son: Nulo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. La categorización del riesgo ambiental tiene por objetivo facilitar la comparación del riesgo ambiental de la aplicación de plaguicidas. Los autores propusieron valores para las diferentes categorías de riesgo en función de un “juicio experto” (Finizio *et al.* 2001) (**Tabla 29**).

Tabla 29. Clasificación de riesgo ambiental de los plaguicidas desarrollados según la metodología de la Universidad de Milán (Finizio *et al.* 2001).

Nivel de Riesgo	PRIHS 1	PRIHS 2	PRIES 1	PRIES 2	PRISW 1	PRISW 2
Imperceptible	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Bajo	> 5 < 15	> 5 < 15	> 5 < 15	> 5 < 15	> 5 < 15	> 5 < 15
Medio	> 15 < 40	> 15 < 40	> 15 < 40	> 15 < 40	> 15 < 40	> 15 < 40
Alto	> 40 < 60	> 40 < 60	> 40 < 60	> 40 < 60	> 40 < 60	> 40 < 60
Muy alto	> 60	> 50	> 70	> 70	> 80	> 60

Índice de Riesgo Ambiental Agudo en Ecosistema Hipogeo PRIHS-1

El índice PRIHS-1 evalúa el riesgo ambiental agudo para organismos no objetivo de control inmediatamente después de la aplicación del plaguicida. El índice evalúa el riesgo ambiental para especies del ecosistema hipogeo, para lo cual evalúa la concentración del plaguicida en los primeros 5 cm de suelo. La CAE del plaguicida se determina mediante la **ecuación 28**.

$$\text{Ecuación 28. } CAE = \text{Dosis (g/ha)} / (500 * Dap)$$

En donde:

CAE es la Concentración Ambiental Esperada en mg/kg

Dap es la densidad aparente del suelo (g/cm³).

Dosis: dosis del ingrediente activo del plaguicida aplicado en g/ha.

El índice evalúa el riesgo ambiental comparando la CAE con la dosis letal (LD50) para mamíferos, la concentración letal (EC50) para lombrices y el efecto sobre los artrópodos benéficos. En los artrópodos benéficos no es posible determinar un valor real de la TER, por lo que se utiliza la evaluación de la inhibición de actividad a valores fijos de la dosis de plaguicida aplicado (0.5, 1 y 2 veces la dosis del plaguicida). Los valores obtenidos son transformados a una escala de evaluación (**Tabla 30**) y finalmente el valor del índice es calculado con la **ecuación 29**.

$$\text{Ecuación 29. } PRIHS - 1 = (A * 5.5) + (B * 5) + (C * 2)$$

En donde:

A es la puntuación asignada a la tasa EC50/CAE obtenida en lombrices.

B es la puntuación asignada a la tasa % efecto/CAE obtenida en artrópodos benéficos.

C es la puntuación asignada a la tasa LC₅₀/CAE obtenida en mamíferos

Tabla 30. Puntaje para categorías de PRIHS-1 en base a valores TER.

Lombrices		Artrópodos benéficos		Mamíferos	
(A)		(B)		(C)	
(EC50/CAE)	Puntaje	% efecto (DMA)*	Puntaje	(LD50/CAE)	Puntaje
> 1000	0	2 (DMA) = 0%	0	> 1000	0
1000 – 100	1	0% < DMA < 30%	2	1000 - 100	1
100 – 10	2	DMA > 30%	4	100 - 10	2
10 – 1	4	(0.5 DMA > 30%	8	10 - 1	4
< 1	8			< 1	8

*DMA: Dosis Máxima Aplicada

Índice de Riesgo Ambiental Crónico en Ecosistema Hipogeo PRIHS-2

Este índice evalúa el riesgo ambiental crónico para especies hipogeas, es similar al PRIHS-1 pero la escala de tiempo cambia, por lo que la CAE considera la degradación del producto a través de la **ecuación 30**.

$$\text{Ecuación 30. } CAEC = CAE * (1 - e^{-kt}) / kt$$

$$k = \ln 2 / DT_{50}$$

En donde:

CAEC es la concentración ambiental estimada crónica

CAE es la concentración ambiental estimada aguda

t es el tiempo considerado en función de las propiedades ecotoxicológicas.

k es la constante de degradación

DT₅₀ es la vida media aeróbica del producto en el suelo.

Para este índice, el trabajo original de Finizio *et al.* (2001) consideró los siguientes grupos: Lombrices, mamíferos, microorganismos y artrópodos benéficos (**Tabla 31**). El cálculo del índice PRIHS2 se realiza siguiendo la **ecuación 31**.

$$\text{Ecuación 31. } PRIHS2 = (A * 4) + (B * 4) + (C * 3) + (D * 1.5)$$

En donde:

A es la puntuación asignada a la tasa NOEC/CAEC obtenida en lombrices.

B es la puntuación asignada a la tasa % efecto obtenida en microorganismos.
 C es la puntuación asignada a la tasa % efecto obtenida en artrópodos benéficos.
 D es la puntuación asignada a la tasa NOEL/CAEC obtenida en mamíferos.

Tabla 31. Puntaje para categorías de PRIHS-2 en base a valores TER.

Lombrices		Microorganismos		Artrópodos benéficos		Mamíferos	
(A)		(B)		(C)		(D)	
(NOEC/CAEC)	Puntaje	% Efecto (DMA)*	Puntaje	% Efecto (DMA)*	Puntaje	(NOEL/C AEC)	Puntaje
>1000	0	2 (DMA) = 0%	0	2 (DMA) = 0%	0	>1000	0
1000 – 100	1	0% < DMA < 25%	2	0% < DMA < 30%	2	1000 – 100	1
100 – 10	2	DMA > 25%	4	DMA > 30%	4	100 – 10	2
10 – 1	4	(0.5 DMA > 25%)	8	(0.5 DMA > 30%)	8	10 – 1	4
< 1	8					< 1	8

*DMA: Dosis Máxima Aplicada

Índice de Riesgo Ambiental Agudo en Ecosistema Epigeo PRIES-1

Este índice evalúa el efecto de los plaguicidas sobre el ecosistema que se desarrolla sobre el suelo. Para su evaluación el indicador utiliza cuatro grupos de especies: abejas, aves, artrópodos benéficos y mamíferos. Para abejas el puntaje es aplicado sobre el cociente de riesgo que corresponde al cociente entre la dosis de aplicación y el LD₅₀ (µg/kg). Para aves y mamíferos el índice se determina mediante el cociente de la dosis letal y el consumo total diario (TDI, por sus siglas en inglés). Los puntajes asignados y ponderaciones para cada uno de los grupos ecológicos considerados se presentan en la **tabla 32**.

Tabla 32. Puntaje para categorías de PRIES-1.

Abejas		Aves	Artrópodos benéficos	Mamíferos			
(A)		(B)	(C)	(D)			
HQ*	Puntaje	LD ₅₀ /TDI**	Puntaje	% Efecto	Puntaje	LD ₅₀ /TD	Puntaje
< 1	0	>1000	0	2 (DMA***) =0%	0	>1000	0
1 – 10	1	1000 – 100	1	0% < DMA < 30%	2	1000 – 100	1
10 – 100	2	100 – 10	2	DMA > 30%	4	100 – 10	2
100 – 1000	4	10 – 1	4	(0.5 DMA) > 30%	8	10 – 1	4
> 1000	8	< 1	8			< 1	8

* HQ= Cociente de Riesgo

** TDI= Consumo Total Diario (Total Daily Intake, por sus siglas en inglés)

*** DMA= Dosis aplicada del plaguicida

El puntaje total del índice es obtenido mediante la **ecuación 32**.

Ecuación 32. $PRIES\ 1 = (A * 3) + (B * 4) + (C * 3) + (D * 2.5)$

En donde:

A es la puntuación asignada a la tasa DMA/LD₅₀ (RQ) obtenida para abejas,

B es la puntuación asignada a la tasa LD₅₀/TDI obtenida en aves.

C es la puntuación asignada a la tasa % efecto obtenida en artrópodos beneficiarios.

D es la puntuación asignada a la tasa LD₅₀/TDI obtenida en mamíferos.

RQ es el cociente de riesgo

TDI es el consumo total diario.

Índice de Riesgo Ambiental Crónico en Ecosistema Epigeo PRIES-2

Este índice evalúa el riesgo ambiental considerando un período de tiempo prolongado a fin de evaluar los efectos crónicos de los plaguicidas. Debido a que en este escenario la determinación de la CAE es de difícil determinación, el índice utiliza parámetros indirectos de carácter cualitativo. El índice considera el efecto sobre cinco indicadores biológicos, fitotoxicidad en plantas, abejas, artrópodos benéficos, aves y mamíferos. Los puntajes son asignados a una serie de variables de exposición, (NOEL Aves, NOEL mamíferos). Además se considera aspectos del plaguicida como son la vida media en el suelo y el potencial de bioconcentración evaluado a través del coeficiente de partición agua-octanol. Los puntajes asignados a cada categoría se presentan en las **tablas 33 y 34**.

Tabla 33. Puntaje para categorías de PRIES-2.

Plantas T ₁		Abejas T ₂		Artrópodos Benéficos T ₃		Aves T ₄		Mamíferos T ₅	
Fitotoxicidad	Puntaje	NOEL ug/Abeja	Puntaje	NOEL g/ha	Puntaje	NOEL mg/Kg dieta	Puntaje	NOEL mg/Kg dieta	Puntaje
+	4	< 0.1	0	< 10	4	< 0.1	4	< 0.1	4
-	0.1	0.1-1	1	10-100	3	0.1-1.0	3	0.1-1.0	3
		1-10	2	100-500	2	1.0 - 10	2	1 - 10	2
		10-100	4	500-1000	1	10 - 100	1	10-100	1
		> 100	8	> 1000	0.1	< 100	0.1	>100	0.1

El puntaje es obtenido mediante la **ecuación 33**.

$$\text{Ecuación 33. PRIES 2} = \frac{\sum_{i=1}^5 T_i}{5} * \frac{A + S}{2} * B * P * DMA$$

En donde:

T₁ es la puntuación asignada a la concentración tóxica crónica obtenida para plantas acuáticas.

T₂ es la puntuación asignada a la concentración tóxica crónica obtenida para abejas.

T₃ es la puntuación asignada a la concentración tóxica crónica para artrópodos benéficos.

T₄ es la puntuación asignada a NOEL para aves.

T₅ es la puntuación asignada a NOEL para mamíferos.

A es la puntuación asignada por la afinidad del plaguicida en el aire.

S es la puntuación asignada por la afinidad del plaguicida en el suelo.

B es la puntuación asignada por bioacumulación del plaguicida.

P es la puntuación asignada por vida media del plaguicida en el suelo.

DMA es la puntuación asignada por dosis de aplicación del plaguicida en el suelo.

Tabla 34. Puntaje de propiedades del plaguicida para categorías de PRIES-2.

Persistencia		Bioacumulación		Afinidad por aire Fugacidad nivel I		Afinidad por suelo Fugacidad nivel I		Dosis Aplicada	
(P)		(B)		(A)		(S)		(DMA)	
<	Puntaje	Log Kow	Puntaje	%	Puntaje	(%)	Puntaje	(g/ha)	Puntaje
<10	1	< 2.5	1	< 0.01	1	< 1	0	< 50	1
10-30	2	2.5 -3.5	1.1	0.01-5	1.25	1-20	1.25	50-200	2
30-90	3	> 3.5	1.25	> 5	1.5	>20	1.5	200-1000	3
90-300		4						1000-10000	4
> 300		5						>10000	5

Índice de Riesgo Ambiental Agudo en Ecosistema de Aguas Superficiales PRISW-1

Este índice evalúa el riesgo ambiental en agua superficial inmediatamente después de la aplicación del plaguicida en un cuerpo de agua de 1 metro de profundidad y ubicado a una distancia de 20 m. desde el área en que este ha sido aplicado. Para el cálculo de la CAE se considera que el plaguicida llega al agua a través de deriva y por transporte superficial. En el peor escenario se ha estimado que la deriva alcanza al 4% de la masa (**Ecuación 34**) (Ganzelmeyer *et al.*, 1995).

$$\text{Ecuación 34. } Q_D = MRA * D_f$$

Q_D es la cantidad que alcanza el cuerpo de agua debido a la deriva.

MRA es la dosis de plaguicida aplicada.

D_f es la fracción de deriva (que ha sido asumida en 4%; Ganzelmeyer *et al.*, 1995).

Para el cálculo de la cantidad del plaguicida transportado por escurrimiento, en el trabajo de Finizio *et al.* (2001) se propuso calcular el movimiento del plaguicida mediante el uso del indicador de fugacidad aplicado para el escenario más desfavorable, que considera la ocurrencia de una lluvia luego de 24 horas después de la aplicación de éste. Así la CAE para este indicador es calculada mediante la suma del plaguicida perdido por deriva mas la pérdida por escurrimiento superficial. El efecto sobre este ecosistema es evaluado utilizando tres especies como indicadores, algas, *Daphnia* y peces. Los puntajes para la tasa de toxicidad-exposición para cada grupo se presentan en la **tabla 35**.

Tabla 35. Puntaje para categorías de PRISW-1.

Algas		Daphnia		Peces	
(A)		(B)		(C)	
(EC ₅₀ / CAE)	Puntaje	(EC ₅₀ / CAE)	Puntaje	(LC ₅₀ / CAE)	Puntaje
> 10000	0	> 10000	0	> 10000	0
10000 – 1000	1	10000 – 1000	1	10000 – 1000	1
1000 – 100	2	1000 – 100	2	1000 – 100	2
10 – 100	4	10 – 100	4	10 – 100	4
2 – 10	6	2 – 10	6	2 – 10	6
< 2	8	< 2	8	< 2	8

El puntaje para este índice es obtenido inicialmente mediante la **ecuación 35**:

$$\text{Ecuación 35. } PRISW\ 1 = (A * 3) + (B * 4) + (C * 5.5)$$

En donde:

A es la puntuación asignada a la tasa EC₅₀ / CAE obtenida para algas.

B es la puntuación asignada a la tasa EC₅₀ / CAE obtenida para *Daphnia*.

C es la puntuación asignada a la tasa LC₅₀ / CAE obtenida para peces.

Índice de Riesgo Ambiental Crónico en Ecosistema de Aguas Superficiales PRISW-2.

Al igual que el índice crónico del ecosistema epigeo, la concentración crónica en aguas superficiales depende de variables difíciles de incorporar en forma cuantitativa, por lo tanto los autores recurrieron a un índice cualitativo, en el que se evalúan variables utilizando un indicador de fugacidad. El procedimiento calcula un valor teórico de concentración de plaguicida en el agua, el cual es comparado con los valores de NOEC para los distintos organismos acuáticos. Además se incorporaron en el índice factores como la bioacumulación y la afinidad por los sedimentos.

Utilizando el porcentaje de plaguicida afín al agua, mediante el indicador de fugacidad se puede determinar la concentración unitaria del plaguicida que puede encontrarse en el agua (**Tabla**

36). La CAE se obtiene multiplicando la fracción de plaguicida por la dosis aplicada, por un factor de persistencia (**Tabla 37**) y dividida por un factor de dilución igual a 10, determinado por los autores. El factor de persistencia indica que degradación del producto es proporcional a la vida media de éste; lo cual se calcula mediante la **ecuación 36**.

Tabla 36. Fracción teórica del plaguicida en agua con base en la afinidad por el agua.

% Agua Fugacidad Nivel I	Fracción plaguicida Fugacidad suelo mg/L
> 95	1e-2 - 1e-1
60-95	1e-3 – 1e-2
20-60	1e-4 – 1e-3
2-20	1e-5– 1e-4
0.1-2	1e-6 – 1e-5

Tabla 37. Puntaje por persistencia del plaguicida en base a vida media en el suelo.

DT ₅₀ suelo (días)	Puntaje
< 5	0.01
5 – 10	0.1
10 – 30	1
30 – 90	10
90 – 300	50
< 300	100

$$\text{Ecuación 36. CAEC} = \frac{(DMA * FPSF * FP)}{FD}$$

Donde:

CAEC = CAE crónica

DMA = Dosis Máxima Aplicada

FP = Factor Persistencia

FD = Factor de dilución

Los autores del estudio, sin embargo, han hecho presente que el cálculo de la concentración crónica utilizando la metodología descrita es complejo y altamente arbitrario. El valor obtenido en ningún caso representa una concentración realista sino un valor numérico que permite comparaciones semicuantitativas. Los puntajes asignados a cada una de las categorías se presentan en las **tablas 38y 39**.

Tabla 38. Puntaje para categorías de PRISW-2.

Algas	Daphnia	Peces
-------	---------	-------

(A)		(B)		(C)	
(NOEC / CAEC)	Puntaje	(NOEC / CAEC)	Puntaje	(NOEC / CAEC)	Puntaje
> 10000	0	> 10000	0	> 10000	0
10000 – 1000	1	10000 – 1000	1	10000 – 1000	1
1000 – 100	2	1000 – 100	2	1000 – 100	2
10 – 100	4	10 – 100	4	10 – 100	4
2 – 10	6	2 – 10	6	2 – 10	6
< 2	8	< 2	8	< 2	8

Tabla 39. Puntaje con base en el potencial de bioacumulación y afinidad por sedimento usado en el índice PRISW-2.

Bioacumulación		Afinidad por sedimento	
(B)		(S)	
Log Low	Puntaje	%	Puntaje
< 2.5	1	> 1	1
2.5-3.5	1.1	1– 30	1.1
> 3.5	1.25	>30	1.25

El índice es calculado mediante la **Ecuación 37**.

$$\text{Ecuación 37. PRISW 2} = (A * 2) + (B * 3) + (C * 3) * B * S$$

En donde:

A es la puntuación asignada a la razón NOEC/CAEC obtenida en algas.

B es la puntuación asignada a la razón % efecto obtenida en Daphnia.

C es la puntuación asignada a la razón % efecto obtenida en peces.

B es la puntuación asignada por bioacumulación.

S es la puntuación asignada por afinidad del plaguicida al sedimento.

4.1.11. DIAGRAMA DE HASSE(HD) Y METODOLOGÍA DE CATEGORIZACIÓN

Institución

Danish Institute of Agricultural Sciences, Research Centre Flakkebjerg, Slagelse, Dinamarca.

Investigadores involucrados

Halfon, E., S. Galassi, R. Brüggemann y A. Provini (1996).

Propósito

Un diagrama de Hasse es una serie parcialmente ordenada, que forma una gráfica y se enmarca en la metodología de categorización. Entre otras aplicaciones, este diagrama ha sido utilizado para categorizar plaguicidas de acuerdo con el riesgo ambiental que representan, evaluando componentes ambientales como agua subterránea, agua superficial, suelo, organismos acuáticos y organismos del suelo (Halfon *et al.*, 1996).

Los diagramas de Hasse, son gráficos orientados (dígrafos acíclicos) que permiten visualizar el orden de relaciones parcialmente ordenadas. Un dígrafo consta de una serie de objetos dibujados como círculos en los diagramas Hasse. En la práctica, los círculos ubicados en la parte superior del diagrama de Hasse representan los plaguicidas que parecen ser los de mayor riesgo en relación al criterio utilizado para categorizarlo. Se utiliza la palabra “parecen” en lugar de la afirmación “son” debido a que muchas veces no existen líneas conectando los objetos (plaguicidas) del diagrama y por lo tanto no pueden ser comparados entre sí. Como tal, una línea en el diagrama de Hasse indica que los dos objetos pueden ser “comparables”; la falta de secuencias de las líneas indica que existen contradicciones en la categorización de acuerdo a los diferentes criterios utilizados; en este caso, estos dos objetos no pueden ser comparados; como por ejemplo dos plaguicidas con propiedades físico-químicas diferentes.

Ordenamiento y ordenamiento parcial de objetos

Algunos objetos deben cumplir tres condiciones (reflexividad, antisimetría y transitividad) para poder decir que poseen relación de orden. Orden no es un propiedad intrínseca de un objeto en particular, más bien permite la comparación de objetos: 0 es menor que 1. Antisimetría significa, “5 es más grande que 3 pero 3 no es más grande que 5” y, transitividad significa que “ $0 < 1$ y $1 < 1000$ de lo cual se puede deducir que $0 < 1000$ ”. En cambio, reflexividad significa que un objeto puede ser comparado con sí mismo.

Además, existen cuatro términos descriptivos de relaciones de orden, estricto y no estricto y, total y no total. Como por ejemplo, la afirmación “el plaguicida X representa mayor riesgo que el plaguicida Y”, dando a entender que X es estrictamente de mayor riesgo que Y. En general, la afirmación “el plaguicida X es tan riesgoso como el plaguicida Y”, da a entender que tanto el plaguicida X como Y representan riesgo y por tanto, la orden es definida como no estricta. Si todos los objetos pueden ser mutuamente comparados, estos estarían en un orden total (o equivalentemente: orden lineal). Sin embargo, la afirmación “el plaguicida Y es más riesgoso que el plaguicida X, debido a la propiedad A y menos riesgoso debido a la propiedad B”, dando a entender que existe una ambigüedad entre el riesgo ambiental ejercido por el plaguicida X y por el Y; en este caso, los dos plaguicidas resultan incomparables. En tal razón, la presencia de objetos incomparables dentro de un esquema de orden es explícitamente denotada por el término “orden no total” u “orden parcial”. Finalmente, el número de niveles en el diagrama de Hasse es, cualitativamente, una medida aproximada de los objetos que son comparables entre sí.

4.1.12. PESTICIDE ENVIRONMENTAL IMPACT INDICADOR (IPEST)

Institución

National Institute of Agricultural Research (INRA), Francia.
Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA)

Investigadores involucrados

Desarrollado por van der Werf, H. y C. Bockstaller (1998).

Propósito del indicador

Es un sistema experto para calcular el indicador "Ipest", el cual refleja la percepción y el juicio de un experto sobre el impacto potencial ambiental de la aplicación de un plaguicida en un campo de cultivo. El sistema toma en consideración tres tipos de variables: Propiedades físico-químicas del plaguicida, condiciones particulares del sitio de aplicación y factores de la aplicación del pesticida. Puede usarse como una herramienta que soporta la toma de decisiones para clasificar y seleccionar diferentes opciones de tratamientos plaguicidas. El sistema tiene una estructura modular, y proporciona tanto un indicador sintético que refleja el impacto total de un plaguicida, como información más detallada a través de sus módulos (Van der Werf, y Zimmer, 1998).

Estructura del indicador

El desarrollo del indicador se fundamenta en el hecho de que el impacto de un plaguicida sobre el ambiente depende de la presencia de cierta cantidad de plaguicida, de su toxicidad y de las pérdidas de plaguicida por deriva, volatilización, escorrentía o lixiviación. En esa medida, el indicador posee cuatro módulos de análisis. El módulo de Presencia refleja la tasa de aplicación de los plaguicidas y los módulos de Riesgo de contaminación de aguas superficiales (Rsur), Riesgo de contaminación de aguas subterráneas (Rgro) y el Riesgo de contaminación del aire (Rair) reflejan el riesgo para los tres principales compartimentos ambientales. Para cada módulo, se calcula un valor en una escala adimensional entre 0 (no riesgo de impacto ambiental) y 1 (máximo riesgo de impacto ambiental). El valor del módulo de presencia de una única variable, la tasa de aplicación. Los valores de los otros tres módulos dependen de cuatro o cinco variables de entrada y de una serie de reglas de decisión (**Tabla 40**). Como se puede ver en la tabla, las variables se agrupan en tres tipos: propiedades del plaguicida, condiciones sitio-específicas y características en la aplicación de plaguicidas. En la selección de estas variables se tuvo en cuenta su relevancia en la evaluación del impacto y la disponibilidad de los datos. Estos cuatro módulos pueden ser considerados individualmente o pueden ser agrupados para obtener un indicador global que permita estimar el impacto ambiental potencial total de la aplicación de plaguicida, medido en una escala entre 0 y 1.

Como se puede ver, esta estructura modular presenta varias ventajas. En primer lugar, se puede tener acceso a un indicador global o a un indicador individual para cada módulo. En segundo lugar, el modo de agrupación de los módulos puede cambiar e incluso nuevos módulos pueden ser agregados (p.e. riesgo para el suelo, impacto sobre artrópodos benéficos, etc.) según la disponibilidad de datos y del entendimiento del impacto del plaguicida.

Tabla 40. Variables de entrada de los módulos de Presencia, Riesgo de contaminación de agua superficial (Rsur), Riesgo de contaminación de aguas subterráneas (Rgro) y Riesgos de contaminación del aire (Rair).

Variables de entrada	Presencia	Rsur	Rgro	Rair
Propiedades del plaguicida				
Vida media en campo		X		X
GUS			X	
Volatilidad				X
Toxicidad acuática		X		
Toxicidad en humanos			X	X
Condiciones del sitio				
Porcentaje de deriva		X		
Riesgo de escorrentía		X		
Riesgo de lixiviación			X	
Factores de aplicación				
Tasa de aplicación	X			
Posición de aplicación		X	X	X

Sistema experto basado en lógica difusa

La metodología Ipest utiliza un sistema experto basado en lógica difusa para agrupar las variables en los módulos y para, subsecuentemente, agrupar los módulos. La lógica difusa es un conjunto de la lógica convencional (Booleana) que ha sido ampliado para incluir el concepto de la verdad parcial: los valores de verdad entre “totalmente cierto” y “totalmente falso”.

En la teoría de conjuntos clásica, un elemento puede estar o no en un conjunto. Por ejemplo, si un subconjunto A comprende los plaguicidas con una vida-media en campo máxima de 20 días, un plaguicida particular puede ser clasificado como un miembro o no del subconjunto. Sin embargo, si se define que A esta en el subconjunto de los plaguicidas “no persistentes” luego es más difícil determinar si un plaguicida específico esta en el subconjunto. Si se decide que solo los plaguicidas con una vida-media máxima de 20 días están en el subconjunto, luego un plaguicida con una vida-media de 21 días no puede ser clasificado como “no persistente” aunque este “casi” sea no persistente. El uso de la teoría difusa es particularmente importante debido a que los valores disponibles para las variables son imprecisos y/o inciertos. Sin embargo, la definición de agrupamientos mediante esta aproximación convencional, puede resultar en la identificación de clases de manera abrupta y con alta incertidumbre.

La situación anterior puede ser tratada mediante la definición de “grados de membresía” de un elemento en un conjunto por medio de una función de membresía; en donde esta función solo puede tomar dos valores: 0 (no membresía) y 1 (membresía). En conjuntos difusos la función

de membresía puede tomar cualquier valor del intervalo 0-1. El valor de 0 representa completa “no-membresía”, 1 representa completa “membresía” y los valores intermedios son usados para representar membresía parcial.

4.1.13. PESTSCREEN

Investigadores

Juraske, R., Antón, A., Castells, F. y M. Huijbregts (2007)

Propósito

En orden a evaluar el impacto de los plaguicidas sobre la salud humana y el ecosistema, existe la necesidad de desarrollar una nueva aproximación por categorización que incluya no solo indicadores de efectos tóxicos sino también indicadores relacionados con la movilidad y el tiempo de vida de un plaguicida. En esa dirección, PestScreen es un procedimiento que permite cuantificar el riesgo relativo de los plaguicidas al proveer a) la cantidad de plaguicida liberado al ambiente en función del ingrediente activo, b) indicadores de exposición y destino, basado en cálculos de modelos multi-media y, c) indicadores ecotoxicológicos y humanos. PestScreen permite obtener un valor de riesgo para cada ingrediente activo por medio de análisis multi-criterio (Juraske *et al.*, 2007).

Indicadores y ecuaciones del indicador:

Dosis de aplicación (D): es la cantidad de ingrediente activo plaguicida aplicado en kilogramos por hectárea en determinada área cultivada. La dosis fue seleccionada como indicador debido a que determina la cantidad exacta de ingrediente activo incorporándose al ambiente por área de cultivo. La frecuencia de aplicación no es buen indicador, ya que no permite distinguir la concentración y el área a la cual se ha aplicado un plaguicida.

Persistencia ambiental total (Pov): es el tiempo de permanencia de un contaminante en un componente ambiental definido. El cálculo del tiempo de permanencia de una sustancia en un ambiente es tomado como una medida de persistencia (**Ecuación 38**).

$$\text{Ecuación 38. } P_{ov} = \tau_{overall} = \frac{\sum M_i}{\sum (M_i \times k_i)} = \frac{1}{\sum (\varphi_i \times k_i)} = \frac{1}{\ln 2 \times \sum \left(\frac{\varphi_i}{t_{\frac{1}{2},i}} \right)}$$

Donde, M_i es el inventario de masa (estado-estable) (kg/día), φ_i es la fracción de masa (kg/kg), k_i es la tasa constante de transformación de primer orden (día⁻¹) y $t_{\frac{1}{2},i}$ es la vida media de la sustancia en el medio i (días). Definida de esta forma, la persistencia total es la

permanencia ambiental promedio ponderada por la distribución de masas, en unidades de tiempo (días).

Debido a que actualmente no existen estrategias de monitoreo que permitan medir estas propiedades o variables de manera directa, se recurre al uso de los modelos multi-media. Los modelos de fugacidad multi-media nivel III pueden calcular la persistencia en el ambiente a partir de estimaciones de la vida media. En este trabajo, la persistencia se calculó usando el modelo de destino multi-media SimpleBox 3.0.

Potencial de transporte de largo alcance (LRTP, del inglés “Long-Range Transport Potential”): puede ser descrito como una medida (relacionada con distancia) que incluso estima la fracción de la emisión total (entre 0 y 1) llevada desde la región de origen hasta y quizás transportarla más allá de una distancia fija en estado estable. LRTP es relevante para el ensayo y la evaluación de químicos debido a que indica si un químico tiene el potencial para liderar una exposición que continuará en el futuro o será desplazada a regiones remotas. En este indicador, el potencial de transporte de largo alcance F (fracción adimensional) (**Ecuación 39**) de los plaguicidas fue calculada usando el modelo SimpleBox 3.0. El modelo tiene en cuenta las condiciones climáticas (viento, precipitación y temperatura), las propiedades del suelo (contenido de materia orgánica y profundidad del suelo) y características del sitio.

$$\text{Ecuación 39. } F = \frac{k_{o,s} * m_s + k_{ow} * m_w + k_{o,a} * m_a}{\sum_i q_i}$$

Donde $K_{o,i}$ (día^{-1}) es la constante tasa de salida del compartimento i (suelo, agua y aire). m_i (kg) son las masas en los compartimentos en estado estable y la q_i (kg/día) son los flujos de masa liberados por los compartimentos i .

Fracción de entrada (iF , intake fraction): representa la fracción de la cantidad de plaguicida liberado que ingresa a la población humana. Esta fracción es descrita como la relación de la tasa de entrada de contaminante por la población (mg/día) a la tasa de liberación al ambiente (mg/día). En este caso, fracción de entrada a los humanos es definida como la tasa de entrada de plaguicida por la población humana dividida en la tasa de emisión bajo el supuesto de condiciones estado-estables (**Ecuación 40**).

$$\text{Ecuación 40. } iF_{r.i.s.a.} = \frac{\delta I_{r.s.a.}}{\delta M_{i,s}} = \frac{\delta I_{r.s.a.}}{\delta M_{j,s}} * \frac{\delta I_{j.s.}}{\delta M_{i,s}}$$

En donde $iF_{r.i.s.a.}$ representa la fracción de entrada de la población humana a una escala geográfica a que ayuda al transporte de sustancias s vía ruta de entrada (ingestión, inhalación) desde compartimentos de emisión i (adimensionales), $\delta I_{r,s}$ es el cambio marginal en la entrada de sustancia s por la población humana vía ruta de entrada r (kg/día); $\delta I_{j,s}$ es el cambio

marginal en la concentración estado-estable de una sustancia s en el compartimento j (kg/m^3) y $\delta M_{i,s}$ es el cambio marginal en la emisión de sustancia s para el compartimento i ($\text{kg}/\text{día}$).

Ingesta diaria aceptable (ADI, del inglés “Acceptable Daily Intake”): hace referencia a la estimación de la cantidad de plaguicida que puede ser ingerido diariamente en relación al tiempo de vida sin apreciar ningún tipo de riesgo en la salud del consumidor. Normalmente es expresada en mg de sustancia por kg del peso corporal por día y, para su cálculo se tiene en cuenta los valores de NOAEL (nivel de efecto adverso no observable). El valor de la ADI es usado como un indicador del riesgo potencial para la salud humana derivado de una exposición crónica a plaguicidas.

Dosis letal media para ratas (LD50, del inglés “lethal dose 50”): es una dosis derivada estadísticamente de un químico o población bajo condiciones definidas. Es expresada en mg de ingrediente activo plaguicida por kg del peso corporal y es usada como indicador de la toxicidad aguda por plaguicidas en mamíferos.

Dosis letal media para abejas: la LD50 oral de abejas (*Apis mellifera*) se expresa en microgramos de sustancia química por abeja y es usada como indicador de efectos ecotoxicológicos agudos para insectos en hábitats terrestres. La toxicidad en lombriz de tierra puede considerarse como alternativa y/o como un indicador adicional para este procedimiento.

Concentración letal media para peces (LC50, del inglés “lethal concentration 50”): es una concentración de una sustancia (derivada estadísticamente) que en un ambiente puede matar al 50% de los organismos bajo prueba en una población. Los valores de LC50 son obtenidos de estudios de dosis-respuesta y representan efectos adversos de duración finita ocurriendo dentro un lapso de tiempo corto (máximo 14 días). La LC50 se expresa en mg de contaminante por litro de agua.

PestScore

Hace referencia a la ecuación final que permite el cálculo del valor del impacto de la aplicación de un plaguicida sobre el ambiente y la salud humana. Esta ecuación se fundamenta en que el impacto de los plaguicidas sobre el ambiente depende de 1) la cantidad de ingrediente activo aplicado y su sitio de aplicación, 2) su distribución en los diferentes compartimentos ambientales; 3) su tasa de degradación en cada compartimento y 4) su toxicidad sobre las especies presentes en esos compartimentos. Teniendo en cuenta lo anterior, se formula la **ecuación 41**:

$$\text{Ecuación 41. PestScore} = D * \left(\frac{\sum F_{i-2}}{2} + \frac{\sum E_{i-1}}{1} + \frac{\sum T_{i-4}}{4} \right)$$

El valor determinado provee una simple distinción categórica entre los plaguicidas en términos de la dosis de aplicación y de las siguientes tres categorías de riesgo: destino (F), exposición

(E) y toxicidad (T). A cada categoría se le asigna el mismo peso, donde i representa el número de indicadores utilizados en cada categoría. El valor final representa un indicador basado en el riesgo en el cual, los valores de 0 pueden ser reportados cuando no se realiza aplicación de plaguicidas. La dosis de aplicación (D) es usada como un indicador de carga química y por tanto es separada de los indicadores de riesgo. Cada indicador de riesgo (F, E y T) es valorado en una escala de 1 a 4 (bajo hasta muy alto), luego los valores son sumados para formar el índice de riesgo que finalmente se multiplica por la dosis de aplicación del plaguicida y así obtener un valor total del impacto.

PestScreen es similar a otros métodos de categorización ambiental en relación a las propiedades físico-químicas, pero usa un variado rango de indicadores para categorizar agroquímicos de una manera simple. Además, el método utiliza modelos multi-media para calcular medidas no detectables. PestScreen puede ser utilizado para determinar el ingrediente activo más amigable con el ambiente. Por todo esto, este método puede ser recomendado como herramienta práctica para ensayar, categorizar y valorar el riesgo relativo de plaguicidas alternativos con el mismo efecto agrícola.

4.2. PROGRAMAS E INDICADORES DESARROLLADOS EN LOS ESTADOS UNIDOS

4.2.1. PESTICIDE SCREENING TOOL (WIN-PST)

Es un instrumento de categorización del riesgo ambiental por plaguicidas. Esta herramienta es utilizada para evaluar el potencial de movimiento de los plaguicidas en el suelo ya sea orgánico o erosionado. WIN-PST usa valoraciones cualitativas para clasificar la probabilidad relativa de pérdidas de plaguicidas desde los límites del campo vía escorrentía o por lixiviación. La calificación total se basa en la interacción de dos valoraciones separadas, una para los plaguicidas y otra para el suelo. Algoritmos basados en reglas simples desarrollados por investigadores del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2006), han sido usados para determinar las valoraciones para los plaguicidas y el suelo. Estas valoraciones básicas son ajustadas a condiciones caso-específicas tales como el método y la dosis de aplicación de plaguicida, la pendiente del campo, la porosidad del suelo, el contenido de humedad y la probabilidad de lluvia. En consideración a la toxicidad por plaguicidas, el riesgo producto de su aplicación es evaluado y categorizado en cuatro clases, alto, intermedio, bajo y muy bajo.

De igual forma, se debe tener en cuenta que las valoraciones que realiza el indicador sobre la pérdida potencial de plaguicidas en el suelo se encuentran basadas en las propiedades del suelo (grupo hidrológico, % materia orgánica, profundidad del horizonte, factor K del suelo), así como en las propiedades del plaguicida (vida media, Koc y solubilidad). WIN-PST incluye un algoritmo para determinar una valoración de la interacción, usando las valoraciones del suelo y

del plaguicida por separado. En la **Tabla 41** se presenta la interacción de las valoraciones de la interacción suelo-plaguicida.

Durante el proceso de valoración de las interacciones es posible que se ajusten las valoraciones, ya sea incorporando variables o propiedades del suelo que sean particulares al sitio de estudio y su interacción con el plaguicida, lo que puede incidir en los resultados del indicador. En términos prácticos, se pueden incorporar variables que no se tenían en cuenta y que pueden ser definitivas por su efecto en el comportamiento del plaguicida al interactuar con el suelo; algunas de estas características son la lixiviación, la escorrentía, etc. Estas nuevas variables se cruzan en una matriz con cada una de las propiedades del suelo y del plaguicida preestablecidas, en tal forma que se pueda estimar el efecto resultante al interactuar; cuantitativamente si se observa efecto se representa con +1, que indica que se incrementa en una clase, p.e. pasa de “bajo” a “intermedio”; con -1 para estimar efecto negativo o “ninguno” para indicar que no existe efecto entre las dos variables que se contrastan. De igual forma, si la influencia de una variable sobre otra es demasiado alta, se pueden utilizar números mayores a 1 pero menores de 4, y de esta manera darle más peso al resultado final.

Tabla 41. Matriz de decisión para la valoración del riesgo por plaguicidas según WIN-PST.

Valoración del suelo	Valoración del plaguicida			
	Alto	Intermedio	Bajo	Muy bajo
Alto	Alto	Alto	Intermedio	Bajo
Intermedio	Alto	Intermedio	Bajo	Muy bajo
Bajo	Intermedio	Bajo	Bajo	Muy bajo
Muy bajo	Bajo	Bajo	Muy bajo	Muy bajo

Como se puede ver, a través de la **tabla 41** el indicador permite identificar el nivel de riesgo en la aplicación de plaguicidas teniendo en cuenta las propiedades del suelo, del plaguicida y del sitio donde se realiza aplicación.

4.3. PROGRAMAS E INDICADORES DESARROLLADOS EN ASIA

4.3.1. GEO-ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT SYSTEM (GERAS)

Indicador de riesgo desarrollado por el Instituto de Geo-Recursos y Ambiente (GREEN) y el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Industrial Avanzada (AIST).

Los indicadores de exposición son esenciales para estimar la exposición o el nivel de riesgo para los humanos. Existen tres clases de indicadores de exposición para determinar el nivel y la distribución de la exposición de un individuo: el primero, el indicador tipo “screening”, el segundo es el indicador de exposición tipo sitio-específico y el tercero, el indicador de exposición tipo multimedia. Debido a que la implementación del indicador tipo “screening” es el primer paso para la evaluación del nivel de riesgo de contaminación, es importante desarrollarlo en concordancia con las categorías y propiedad de los químicos y el escenario a exposición. En esta medida GERAS ha sido desarrollado para entender los niveles de riesgo de contaminación del suelo y para evaluar el riesgo geo-ambiental frente al uso de plaguicidas.

El indicador tipo “screening” (GERAS-1) puede ser usado como primer paso para diagnosticar la contaminación del suelo. En este indicador se consideran las siguientes vías de exposición, ingestión, contacto dérmico con el suelo, inhalación de suelo, inhalación del aire, ingestión de aguas subterráneas e ingestión de cosechas. Luego de ingresar los datos del contenido del suelo; se calcula la fugacidad del agua y el aire en el suelo. Después se determina la concentración de agroquímico en cada medio (cultivos, aguas subterráneas, etc.) que permiten estimar las tasas de exposición y finalmente la evaluación del riesgo por plaguicidas.

4.4. PROGRAMAS E INDICADORES DESARROLLADOS EN LATINOAMÉRICA

4.4.1. PROGRAMA RECAP (RIESGO ECOLÓGICO POR APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS) DE CHILE

Desarrollado en Chile por Jerez *et al.* (2006) y adaptado de los criterios señalados por la metodología del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Milán (Finizio *et al.*, 2001). Consta de cinco indicadores de riesgo, tres de ellos para evaluar riesgo agudo de los compartimentos ambientales agua superficial, suelo epigeo y suelo hipogeo; y otros dos para evaluar el riesgo ambiental crónico o de largo plazo en los compartimentos ambientales suelo epigeo y suelo hipogeo. Sigue la lógica del indicador de la Universidad de Milán al evaluar compartimentos ecológicos, en los que se evalúa una serie de especies que actúan como indicadoras del efecto de los plaguicidas en el ecosistema. En este indicador se ha agregado la posibilidad de evaluar mezclas de plaguicidas mediante el uso de las unidades tóxicas equivalentes.

El software integra la evaluación de riesgo ecológico con una base de datos de los plaguicidas autorizados en Chile, la que cuenta con los parámetros físico-químicos y toxicológicos de los ingredientes activos. Además tiene una base de datos de los suelos de las regiones VI y VII, que en la presente versión sólo es utilizada para obtener datos de densidad aparente, utilizado en dos de los índices de riesgo ambiental, pero que en el futuro desarrollo del indicador proporcionará información requerida para otros índices, que por restricciones de la información disponible y tiempo de desarrollo no fueron incluidos en esta oportunidad.

El indicador RECAP contribuye a la evaluación del riesgo ambiental de plaguicidas, al presentar una metodología que permite la evaluación de distintas estrategias de aplicación de agroquímicos en la producción agrícola. Este indicador, sin embargo, en su actual estado de desarrollo sólo puede ser considerado un prototipo, debido a que las concentraciones de plaguicidas utilizadas para determinar el riesgo ambiental no han sido contrastadas con datos de terreno en condiciones nacionales. Además, el indicador si bien presenta un esquema de evaluación de los distintos compartimentos ambientales, no incorporó el agua subterránea y, el agua superficial sólo es evaluada en términos parciales.

Como riesgo se conoce la posibilidad de sufrir daño o pérdida. Esta posibilidad se compone de un nivel de peligrosidad, uno de vulnerabilidad y un período o condición de exposición. La evaluación del riesgo ecológico es el proceso científico para estimar la probabilidad de que ocurra un efecto ecológico adverso para la integridad de ecosistemas naturales y los servicios que ellos proveen, como resultado de la exposición a factores de estrés relacionados con la actividad humana.

En relación a lo anterior, se debe considerar que la magnitud de riesgo es intrínsecamente siempre un valor probabilístico, como por ejemplo, la probabilidad que un organismo se exponga a una cierta dosis de plaguicida. El presente indicador establece una categorización de estos niveles de riesgo (probabilísticos) considerando rangos de magnitud. Los sistemas ecológicos de suelo epigeo están constituidos por organismos cuyos ciclos vitales se desarrollan en la superficie del suelo. Por otra parte el sistema hipogeo se conforma por organismos cuyo ciclo vital se desarrolla predominantemente bajo el suelo hasta los 50 cm. de profundidad.

Los indicadores han sido estandarizados a una escala de 0 a 100, a fin de facilitar la evaluación del efecto de los plaguicidas sobre los distintos compartimentos y son categorizados en cinco niveles. Los niveles son Nulo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. La categorización del riesgo ambiental tiene por objetivo facilitar la comparación del riesgo ambiental de la aplicación de plaguicidas. El autor propuso valores para las diferentes categorías de riesgo en función de un juicio experto (**Tabla 42**)

Tabla 42. Clasificación de riesgo ambiental de los plaguicidas para los diferentes ecosistemas considerados en el indicador RECAP.

Nivel de riesgo	PRIHS 1	PRIHS 2	PRIES 1	PRIES 2	PRISW 1
Imperceptible (Nulo*)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Bajo	>5 <15	>5 <15	>5 <15	>5 <15	>5 <15
Medio	>15 <40	>15 <30	>15 <50	>15 <40	>15 <40
Alto	>40 <60	>30 <50	>50 <70	>40 <70	>40 <80
Muy Alto	> 60	> 50	> 70	> 70	> 80

* Según se indica en RECAP.

Para determinar el efecto de la aplicación de plaguicidas se debe considerar sus ingredientes activos y correspondientes concentraciones. De tal forma, a través de la **ecuación 42** se puede estimar cómo la dosis de plaguicida aplicado puede generar un riesgo sobre los ecosistemas definidos con anterioridad.

$$\text{Ecuación 42. Dosis} = \Sigma (C_{ij} * D_j / C_{ui})$$

En donde.

C_{ij} es la concentración del *i*-ésimo ingrediente activo en el *j*-ésimo producto comercial

D_j es la dosis aplicada del *j*-ésimo producto comercial

C_{ui} es la concentración umbral con efectos tóxicos agudos o crónicos (e.g. *NOEC*, *LD₅₀* etc.) del *i*-ésimo ingrediente activo.

De acuerdo con el ecosistema afectado, los valores de la concentración umbral pueden variar. La suma inversa ponderada de estas concentraciones, se deriva de la aplicación del concepto de unidades tóxicas. Estas permiten estimar cuánto contribuye al riesgo total cada uno de los ingredientes activos. Como se desprende de la ecuación, mientras menor sea el valor de una concentración umbral de ingrediente activo que produce efectos agudos o crónicos, como por ejemplo *NOEC*, más tóxico es el respectivo ingrediente y por consiguiente mayor será su contribución al riesgo ecológico derivado de la aplicación del plaguicida al ambiente.

El indicador permite comparar los distintos plaguicidas y dosis utilizadas. Además, se ha incorporado la opción de evaluar la aplicación de mezclas de ingredientes activos, a fin de evaluar las aplicaciones múltiples de plaguicidas que se realizan en algunos cultivos.

El indicador requiere la selección del cultivo a evaluar, que relaciona al cultivo con los plaguicidas autorizados por el SAG para ser aplicados en este. Posteriormente se debe seleccionar el producto comercial y la dosis aplicada (kg/ha del producto comercial). Internamente el programa relaciona el producto comercial con los ingredientes activos del producto y con sus correspondientes datos físicos-químicos y ecotoxicológicos.

Los indicadores utilizados incorporados en el indicador *RECAP* se describen a continuación.

Índice de Riesgo Ambiental Agudo en Ecosistema Hipogeo PRIHS-1

El índice *PRISH-1* evalúa el riesgo ambiental agudo para organismos no objetivo de control inmediatamente después de la aplicación del plaguicida. El índice evalúa el riesgo ambiental para especies del ecosistema hipogeo para lo cual evalúa la concentración del plaguicida en los primeros 5 centímetros de suelo. La CAE del plaguicida se determina mediante la **ecuación 43**:

Ecuación 43. $CAE = Dosis (g/ha) / (500 * D_{ap})$

En donde:

CAE es la concentración ambiental estimada en mg/kg

D_{ap} es la densidad aparente del suelo (g/cm^3).

Dosis: dosis del ingrediente activo del plaguicida aplicado en g/ha.

El índice evalúa el riesgo ambiental comparando la concentración ambiental esperada con la dosis letal media (LD_{50}) para mamíferos y la concentración letal (LC_{50}) para lombrices. Los valores obtenidos son transformados a una escala de evaluación (**Tabla 43**) y finalmente el valor del índice es calculado con la **ecuación 44**.

Ecuación 44. $PRIHS - 1 = (A * 10.5) + (B * 2)$

En donde:

A es la puntuación asignada a la razón LC_{50}/CAE obtenida en lombrices.

B es la puntuación asignada a la razón LC_{50}/CAE obtenida en mamíferos.

Tabla 43. Puntaje para categorías de PRIHS-1 en base a valores TER.

Lombrices		Mamíferos	
(A)		(B)	
(LC_{50}/CAE)	Puntaje	(LD_{50}/CAE)	Puntaje
>1000	0	>1000	0
1000 – 100	1	1000 – 100	1
100 – 10	2	100 – 10	2
10 – 1	4	10 – 1	4
< 1	8	< 1	8

A diferencia del indicador de la Universidad de Milán, los artrópodos benéficos no fueron incorporados en el índice debido a la falta de información para este grupo. Sin embargo, el efecto sobre artrópodos benéficos, se consideró aumentando la ponderación para lombrices a un valor que iguala la suma de la ponderación de artrópodos benéficos y lombrices del indicador de la Universidad de Milán.

La ponderación de los dos componentes ambientales está dada por la representación del grupo de especies en el compartimiento evaluado. La información local no permitió evaluar si las ponderaciones desarrolladas en el trabajo de Finizio *et al.* (2001) son plenamente vigentes para la realidad del país, pero tiene la ventaja de incorporar dos grupos importantes del ecosistema hipogeo que la mayoría de los índices evalúa sólo a través de las lombrices de suelo. La evaluación de las ponderaciones utilizadas en el índice es una tarea que deberá ser abordada en un desarrollo futuro.

Índice de Riesgo Ambiental Crónico en Ecosistema Hipogeo PRISH-2

Este índice evalúa el riesgo ambiental crónico para especies hipogeas, en forma similar al *PRISH-1* pero la escala de tiempo cambia, por lo que la CAE considera la degradación del producto a través de la **ecuación 45** (Finizio *et al.*, 2001):

$$\text{Ecuación 45. } CAEC = CAE * (1 - e^{-kt}) / kt$$

$$k = \ln 2 / DT_{50}$$

En donde:

CAEC es la concentración ambiental estimada crónica

CAE es la concentración ambiental estimada aguda

t es el tiempo considerado en función de las propiedades ecotoxicológicas.

k es la constante de degradación calculada como:

DT₅₀ es la vida media aeróbica del producto en el suelo

Al igual que en el caso del índice *PRISH-1* este índice es evaluado con lombrices y mamíferos como indicadores biológicos. Se decidió excluir el efecto sobre artrópodos benéficos debido a la falta de información. Los valores obtenidos son transformados a una escala de evaluación (**Tabla 44**) y finalmente el valor del índice es calculado con la **ecuación 46**.

Tabla 44. Puntaje para categorías de *PRISH-2* en base a valores *TER*.

Lombrices		Mamíferos	
(A)		(B)	
(NOEL / CAEC)	Puntaje	(NOEL / CAEC)	Puntaje
>1000	0	>1000	0
1000 – 100	1	1000 – 100	1
100 – 10	2	100 – 10	2
10 – 1	4	10 – 1	4
< 1	8	< 1	8

$$\text{Ecuación 46. } PRIHS - 2 = (A * 11) + (B * 1.5)$$

En donde:

A es la puntuación asignada a la razón *NOEC/CAEC* obtenida en lombrices.

B es la puntuación asignada a la razón *NOEL/CAEC* obtenida en mamíferos.

Índice de Riesgo Ambiental Agudo en Ecosistema Epigeo PRIES-1

Este índice evalúa el efecto de los plaguicidas sobre el ecosistema que se desarrolla sobre el suelo. Para su evaluación el indicador utiliza tres de especies: abejas, aves y mamíferos. Para abejas el puntaje es aplicado sobre el cociente de riesgo que corresponde al cociente (HQ, del

inglés *Hazard Quotient*) entre la dosis de aplicación y el LD₅₀ (µg/kg). Los puntajes asignados para cada uno de los grupos ecológicos considerados se presentan en la **Tabla 45**.

Tabla 45. Puntaje para categorías de *PRIES-1* en base a valores *TER*.

Abejas		Aves		Mamíferos	
(A)		(B)		(C)	
(HQ)	Puntaje	(LD ₅₀ /TDI)	Puntaje	(LD ₅₀ /TDI)	Puntaje
< 1	0	>1000	0	>1000	0
1 – 10	1	1000 – 100	1	1000 – 100	1
10 – 100	2	100 – 10	2	100 – 10	2
100 – 1000	4	10 – 1	4	10 – 1	4
> 1000	8	< 1	8	< 1	8

*TDI: Consumo Total Diario (Total

Daily Intake, por sus siglas en inglés)

En forma similar a los anteriores indicadores, el indicador original de la Universidad de Milán, incluía el efecto sobre artrópodos benéficos, los cuales fueron asimilados con el efecto sobre abejas. Por consiguiente el puntaje final se obtiene mediante la **ecuación 47**.

$$\text{Ecuación 47. } PRIES\ 1 = (A * 6) + (B * 4) + (C * 2.5)$$

En donde:

A es la puntuación asignada al cociente de riesgo (HQ) obtenida en abejas

B es la puntuación asignada a la razón *LD₅₀/TDI* obtenida en aves

C es la puntuación asignada a la razón *LD₅₀/TDI* obtenida en mamíferos

Índice de Riesgo Ambiental Crónico en Ecosistema Epigeo *PRIES-2*

Este índice evalúa el riesgo ambiental considerando un período de tiempo prolongado a fin determinar los efectos crónicos de los plaguicidas. El indicador de la Universidad de Milán uso cinco bioindicadores para evaluar el efecto de los plaguicidas. Debido a la falta de información, se asumió el peor escenario respecto a los plaguicidas y se consideró el mayor puntaje para fitotoxicidad. Al igual que en el caso de los índices anteriores, el efecto sobre los artrópodos benéficos fue asimilado a través del efecto sobre abejas. De igual manera, a los factores bioacumulación, afinidad por aire y suelo, se le asignaron los máximos puntajes considerando el peor escenario. Por consiguiente el puntaje final se obtiene, utilizando la **ecuación 48**.

$$\text{Ecuación 48. } PRIES 2 = ((4 + 2 * T1 + T2 + T3) / 3) * 2.06 * P * DMA$$

En donde:

DMA es la puntuación asignada por dosis de aplicación del plaguicida en el suelo

P es la puntuación asignada por DT_{50} que es la vida media del plaguicida en el suelo

T_1 es la puntuación asignada a la concentración tóxica crónica (o NOEL) obtenida para abejas

T_2 es la puntuación asignada a NOEL para aves

T_3 es la puntuación asignada a NOEL para mamíferos

El valor NOEL para abejas no está disponible en la literatura para muchos compuestos, por lo que se procedió a calcularlo mediante la **ecuación 49**.

$$\text{Ecuación 49. } NOEL_{abejas} = LD50_{abejas} / 500$$

Los puntajes asignados para cada uno de los grupos ecológicos considerados se presentan en la **Tabla 46**.

Tabla 46. Puntaje para categorías de *PRIES-2*.

Abejas		Aves		Mamíferos		Dosis de aplicación		Persistencia	
T_1		T_2		T_3		DMA		P	
NOEL	Puntaje	NOEL	Puntaje	NOEL	Puntaje	(DMA) g/ha	Puntaje	(DT ₅₀)	Puntaje
<0.1	4	<0.1	4	<0.1	4	< 50	1	<10	1
0.1–1	3	0.1–1	3	0.1–1	3	50–200	2	10–30	2
1–10	2	1–10	2	1–10	2	200–1000	3	30–90	3
10–100	1	10–100	1	10–100	1	1000– 10.000	4	90–300	4
> 100	0.1	> 100	0.1	> 100	0.1	> 10000	5	>300	5

Índice de Riesgo Ambiental Agudo en Ecosistema de Aguas Superficiales PRISW-1

Este índice evalúa el riesgo ambiental en agua superficial inmediatamente después de la aplicación del plaguicida en un cuerpo de agua de 1 metro de profundidad y ubicado a una distancia de 20 m desde el área en que este ha sido aplicado. Para el cálculo de la CAE se considera que el plaguicida llega al agua a través de deriva y por transporte superficial. Guardando los criterios del peor escenario se establece que la deriva alcanza el 4% de la masa del plaguicida aplicado, de acuerdo con información de la literatura científica reportada por Ganzelmeyer *et al.* (1995) (**Ecuación 50**).

Ecuación 50. $Q_D = DMA * D_f$

Q_D es la cantidad que alcanza el cuerpo de agua debido a la deriva.

DMA es la dosis de plaguicida aplicada.

D_f es la fracción de deriva (que ha sido asumida en 4%; Ganzelmeyer *et al.*, 1995).

La CAE del plaguicida se calcula en función de la deriva y de la escorrentía según la **ecuación 51**.

Ecuación 51. $CAE = f(Q_d + r_0)$

Finizio *et al.* (2001) propusieron calcular el movimiento de plaguicida mediante el uso del indicador de fugacidad aplicado para el escenario más desfavorable, que considera la ocurrencia de una lluvia 24 horas después de la aplicación. Para el caso del modelo RECAP, la determinación de las concentraciones de plaguicida por escurrimiento superficial está limitada por la falta de información climática, así como de aquella referida al potencial de erosión de los suelos. Por ello, en la evaluación ambiental se ha considerado sólo el plaguicida que se transportaría por deriva; así, la CAE en este caso, se ha hecho igual a la Q_D . El puntaje para este índice es obtenido inicialmente mediante la **ecuación 52**.

Ecuación 52. $PRISW\ 1 = (A * 3) + (B * 4) + (C * 5.5)$

En donde:

A es la puntuación asignada a la tasa EC_{50} / CAE obtenida para algas.

B es la puntuación asignada a la tasa EC_{50} / CAE obtenida para *Daphnia*.

C es la puntuación asignada a la tasa LC_{50} / CAE obtenida para peces.

Los puntajes asignados para cada uno de los grupos ecológicos considerados se presentan en la **Tabla 47**.

El desempeño de un indicador de riesgo para una valoración global, se incrementa en proporción con su reducción para una adecuada valoración hacia compartimentos o aspectos específicos. En consecuencia, para la valoración del riesgo de plaguicidas en regiones puede resultar interesante usar dos tipos de indicadores, uno global y otro más específico.

Tabla 47. Puntaje para categorías de PRISW-1.

Algas		Daphnia		Peces	
(A)		(B)		(C)	
(EC_{50} / CAE)	Puntaje	(EC_{50} / CAE)	Puntaje	(LC_{50} / CAE)	Puntaje
> 10.000	0	> 10000	0	> 10000	0

10000 – 1000	1	10000 – 1000	1	10000 – 1000	1
1000 – 100	2	1000 – 100	2	1000 – 100	2
10 – 100	4	10 – 100	4	10 – 100	4
2 – 10	6	2 – 10	6	2 – 10	6
< 2	8	< 2	8	< 2	8

4.4.2. ÍNDICE DE PREDICCIÓN DE LA PRESENCIA POTENCIAL DE RESIDUOS (IR) Y DE RESIDUOS TOXICOS (IRT) DE PLAGUICIDAS EN PRODUCTOS COSECHADOS-(COLOMBIA)

Este Índice fue desarrollado por la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia (Santiago, 2000) y utilizado luego por Acosta (2003) y Neusa (2005) en otros estudios. Para el cálculo del índice se toman en cuenta variables de uso y manejo de los plaguicidas y factores relacionados con las características físicas, químicas y biológicas de cada plaguicida. Se empleó una metodología similar a la utilizada por Kookana, *et al.* (1997), para el índice PIRI (Pesticide Impact Ranking Index) empleado para la evaluación del riesgo de contaminación de aguas profundas y superficiales en regiones o cuencas.

4.4.2.1. Componentes

El Potencial de Residuos (PR y PRT) está dado, en general, por dos factores principales. Uno que determina la cantidad de cada plaguicida que se aplica por ciclo de cultivo por agricultor, que se denomina Carga del plaguicida (C) y está relacionado con las variables de manejo (para el caso del PR) y con la toxicidad en el caso en que se considera el potencial de residuos tóxicos (PRT), y otro que indica el Potencial de Concentración del plaguicida en la planta (PC) y esta dado por las características físicas químicas y biológicas del compuesto relacionadas con los tejidos grasos y proteicos en la planta. Así, el cálculo del Potencial de Residuos (PR) se realiza según la **ecuación 53**.

$$\text{Ecuación 53. } PR = C * PC$$

Carga del pesticida (C)

La carga del pesticida se determina según la ecuación 54.

$$\text{Ecuación 54. } C = d * f / p^*$$

$$C = \frac{d \times f}{(p \times DL50) **}$$

$$f = na * (1 + 1/ia) * ma$$

$$ma = (si + sf) / sc$$

* cuando se considera sólo el residuo (PR) ** cuando se considera el residuo tóxico (PRT)

donde :

- d** : dosis (mg i.a./cm²)
- f** : frecuencia de aplicación ajustada
- na** : número de aplicaciones por ciclo
- ia** : intervalo de tiempo (días) que transcurre entre aplicaciones
- ma** : momento de aplicación (factor de ajuste)
- si** : semana en la que se inician las aplicaciones
- sf** : semana en que se finalizan las aplicaciones
- sc** : número de semanas para un ciclo de cultivo
- p** : tiempo (días) entre la última aplicación y la cosecha
- DL50** : dosis letal media aguda oral para ratas hembras o machos (la más drástica)

La frecuencia de aplicación ajustada busca hacer precisión en las frecuencias de aplicación de los plaguicidas, puesto que los controles químicos que se realizan durante el ciclo del cultivo no se disponen con una frecuencia estable a lo largo del ciclo, sino, que tienden a concentrarse en una fase de éste de acuerdo con el comportamiento de las plagas, las enfermedades o el criterio del productor. El factor $(1+1/ia)$ es un indicador, generalizado, de la acumulación de plaguicida que se podría presentar si el tiempo de degradación o disipación del plaguicida en la planta supera el tiempo que transcurre entre aplicaciones. El momento de aplicación (m_a) es un factor que señala la concentración (en el tiempo) de las aplicaciones. Indica que la presencia potencial de residuos puede aumentar o disminuir dependiendo de que las aplicaciones se concentren al final o al comienzo del ciclo del cultivo, respectivamente. Lo anterior está relacionado con la distancia, en tiempo, al momento de la cosecha y con la capacidad de la planta para captar plaguicida debida a su menor o mayor área foliar dependiendo de la fase del cultivo en que se efectúen las aplicaciones.

Potencial de concentración en la planta (PC)

El **potencial de concentración (PC)** en la planta está dado por la **ecuación 55**.

$$\text{Ecuación 55. } PC = t_{1/2} (PBCP + PBCL)$$

$$t_{1/2} = 0,20 * vidamediaensuelo$$

$t_{1/2}$ es una medida de la vida media con base en el metabolismo del plaguicida sobre la planta. $PBCP$ es el potencial de concentración en tejido proteico y $PBCL$ es el potencial de concentración en lípidos. Su cálculo en forma general, su cálculo se realiza según la **ecuación 56**.

$$\text{Ecuación 56. } \text{Log}PBCP = 0,62 \text{Log}Kow + 0,46$$

$$\text{LogPBCL} = \text{LogKow}$$

Los valores de $t_{1/2}$, PBC_P y PBC_L fueron tomados del programa para computador "PETE" realizado por Nicholls (1997). El fundamento de los cálculos también puede observarse en Nicholls, 1997. Los valores de PBC_P y PBC_L son un indicador de la posibilidad que tiene los plaguicidas de concentrarse en la planta, relacionada directamente con los valores de K_{ow} de cada plaguicida. Los valores de K_{ow} empleados para los PBC_P y PBC_L son recalculados por el programa en el caso de compuestos ionizados, como : bases, ácidos y cationes (Nicholls, 1997). El valor de $t_{1/2}$ es un indicador del tiempo que puede permanecer biodisponible el compuesto en la planta. De acuerdo con Briggs (1981), citado por Nicholls en el programa PETE (1997), las tasas de metabolismo de un compuesto fueron, proporcionalmente muy aproximadas a las tasas de respiración de varios organismos analizados, para este caso las plantas. Así, Nicholls (1997), utiliza el factor 0.2 para el cálculo de la vida media en planta ($t_{1/2}$) a partir de la vida media en suelo

Los valores del índice, IR e IRT, se calcularon con base en los valores obtenidos de PR o PRT respectivamente, de acuerdo con la **Tabla 48**.

Tabla 48. Valoración y significado de los índices IRR

Cifras significativas del PR	Valor del índice IRR	Interpretación	Valores críticos*
Milésimas o menores	<1	Bajísimo	-
Centésimas	1	Muy Bajo	-
Décimas	2	Bajo	-
Unidad	3	Medio	Crítico
Decenas	4	Alto	Crítico
centenas o mayores	>4	Muy Alto	Crítico

* para efecto del análisis

5. COMPARACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA VALORACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE PLAGUICIDAS

En este capítulo, se pretende comparar las 17 metodologías identificadas para la valoración del riesgo causado por el uso de plaguicidas, con el fin de determinar las fortalezas y debilidades de cada una. Se debe considerar que es difícil recomendar un indicador particular debido a que cada uno posee sus propias fortalezas y debilidades (Dubus y Surdyk, 2006). Sin embargo, es necesario aclarar que la metodología a proponer tiene en cuenta las condiciones bajo las cuales se desarrolla el estudio y de acuerdo con los criterios de selección predeterminados. Por tanto, al final de este capítulo se presentan las metodologías que cumplen con las expectativas del presente estudio de acuerdo con los aspectos y criterios de selección y, se identifica la o las metodologías más adecuadas para implementar o adaptar a la propuesta metodológica de evaluación de riesgo en la aplicación de plaguicidas en cultivos hortofrutícolas.

Esta comparación se realiza teniendo cuenta los aspectos relacionados en la descripción de los indicadores efectuada en el capítulo anterior y con base en la siguiente estructura: (1) propósito, escala y estado de desarrollo; (2) compartimentos y efectos considerados y (3), metodología y presentación de resultados. Para tal hecho y teniendo presente la variabilidad de los indicadores entorno a estos tres aspectos, se utilizan matrices o tablas comparativas que permiten visualizar y comparar las características de cada metodología ó indicador con referencia a los demás.

5.1. PROPÓSITO, ESCALA Y ESTADO DE DESARROLLO DE LOS INDICADORES

Para este estudio y en términos de este primer aspecto, es de particular importancia identificar los indicadores que consideran aspectos como: (1) la promoción de políticas sobre aplicación de plaguicidas, (2) el asesoramiento a técnicos y productores, (3) la realización de evaluación de riesgo por producto químico, cultivo y si es posible en finca y, 4) que haya sido validado con datos de aplicación de plaguicidas en campo. En primera instancia, se observa que con respecto a las consideraciones antes citadas, todos los indicadores difieren entre sí. En la **Tabla 49** se resume el propósito, la escala y el estado de desarrollo de los 17 indicadores.

Tabla 49. Propósito, escala y estado de desarrollo de los 17 indicadores que han sido desarrollados y evaluados en el mundo.

Indicador	EYP	CHEMS1	p-EMA	EIQ	EPRIP	PERI	SYNOPS	SyPEP	SUTE	PUM	HD	Ipest	Pest Screen	WIN-PST	GERAS	RECAP	IRR
Propósito																	
Asesoramiento a técnicos o productores	*		*	*	*	*	(*)	*				*	*	*		*	*
Promoción de políticas	(*)	*	*	*	(*)		*	*	*		*				*		
Compañías de distribución del agua	(*)							*				(*)					
Registro de productos plaguicidas										*			(*)				
Escala																	
Por plaguicida	*		(*)		*	(*)			*	*	*	*	*	*	*	*	*
Por cultivo	*		*		*	*	(*)			*	*	*	*	*	*	*	*
Por finca	*		*	*	(*)	*	(*)	(*)		*	*	*	*	*		*	
Por región	(*)	*					*	*	*								
En el país	(*)	*					*	*									
Estado de desarrollo																	
En desarrollo					*	*											*
Piloto / en prueba		*		*	*			*		*	*	*	*			*	*
Usado en la práctica	*		*				*		*					*	*		

FUENTE: Adaptado de Reus *et al.* (2002) y, Dubus I.G. y Surdyk N. (2006).

*significa que el indicador es desarrollado para el propósito y la escala indicada;

(*) significa que el indicador no fue desarrollado para este propósito y escala, pero en la práctica es usado.

Inicialmente se debe tener en cuenta que estos indicadores son usados para evaluar, diagnosticar, simular o predecir el impacto de la aplicación de plaguicidas sobre uno o varios compartimentos del ambiente y sobre el producto vegetal. En esa medida, gran parte de los indicadores han sido desarrollados como herramienta para ser usados por asistentes técnicos en la selección de plaguicidas que causen el menor impacto ambiental, así como para la promoción de políticas sobre el correcto uso de plaguicidas. En menor proporción, se han desarrollado indicadores con el objetivo de permitir la evaluación técnica de plaguicidas como requisito para su registro (e.g. el Programa de la Universidad de Milán (PUM) y PestScreen) y, algunos indicadores son usados por compañías de distribución de agua en pruebas-diagnóstico de calidad (EYP (Environmental Yardstick for Pesticides), Ipest (Pesticide Environmental Impact Indicador) y SyPEP (System for Predicting the Environmental Impact of Pesticides)) (**Tabla 49**).

Dentro de los indicadores diseñados para brindar asesoramiento a técnicos o productores y como herramienta para la promoción de políticas, se encuentran en primer lugar, p-EMA (Environmental Performance Indicator for Pesticides), SyPEP y EIQ (Environmental Impact Quotient), y en segundo lugar⁴, EYP, SYNOPSIS (Synoptisches Bewertungsmodell für Pflanzenschutzmittel) y EPRIP (Environmental Potencial Risk Indicador for Pesticides) (**Tabla 49**).

En cuanto a la escala o cobertura de análisis que permiten estos 17 indicadores; se tiene que la mayoría de estos pueden ser implementados en finca, cultivo y por compuesto plaguicida. Dentro de los indicadores particularmente diseñados para estas tres escalas se encuentran: EYP, HD (Hasse Diagram), Ipest, PUM, PestScreen, WIN-PST (Pesticide Screening Tool), RECAP (Riesgo Ecológico por Aplicación de Plaguicidas) y IRR (Índice de Riesgo de Residuos) y, en segundo lugar estarían los indicadores: p-EMA, EPRIP y PERI (Pesticide Environmental Risk Indicator). De otro lado, existen indicadores que son flexibles en cuanto a la escala que manejan, los cuales pueden ser aplicados en el país, de igual forma permitiendo hacer la evaluación por plaguicida o cultivo; este es el caso de los indicadores EYP y SYNOPSIS. Contrario a lo anterior, existen indicadores con escalas muy específicas como por ejemplo el indicador EIQ, que permite la evaluación de riesgo por plaguicidas en finca (**Tabla 49**).

Como se puede ver en la **Tabla 49**, la mayoría (10/17) de los indicadores se encuentran en fase de prueba y seis ya están siendo usados como metodología de evaluación de riesgo en la aplicación de plaguicidas. Dentro de los indicadores usados en la práctica se encuentran EYP, SYNOPSIS, p-EMA, SUTE (Suma de las Unidades Tóxicas Equivalentes), WIN-PST y GERAS (Geo-environmental Risk Assessment System). Teniendo en cuenta las consideraciones de propósito, escala y estado de desarrollo, se pueden identificar algunos indicadores que se pueden nominar como candidatos a hacer parte de la metodología de evaluación de riesgos a

⁴Se ubican en un segundo lugar debido a que originalmente no fueron diseñados para cumplir alguno de estos dos propósitos; sin embargo, en la práctica han sido utilizados con resultados satisfactorios.

desarrollar, estos son: **EYP, p-EMA, EPRIP, RECAP, Ipest, HD, WIN-PST, IRR y PERI**. Estos indicadores son preseleccionados debido a que cumplen con las características establecidas para el presente estudio en relación con las consideraciones definidas. La selección final de alguno de estos indicadores está en función del cumplimiento de los restantes aspectos y criterios de interés para el estudio.

5.2. COMPARTIMENTOS AMBIENTALES Y ORGANISMOS OBJETO DE EVALUACIÓN.

Para este estudio y en términos de este segundo aspecto, es de particular importancia identificar los indicadores que permitan de manera conjunta evaluar el impacto sobre los compartimentos: suelo, aire, agua superficial y si es posible de manera práctica valorar el impacto potencial sobre el agua subterránea. Además de permitir valorar el nivel de riesgo de los efectos sobre los organismos acuáticos, terrestres y la salud humana. De igual forma, es importante identificar aquellos indicadores que permitan identificar el nivel de riesgo que implica la contaminación por plaguicidas o la presencia de residuos de estos compuestos en los productos vegetales de cosecha.

Casi todos los indicadores incluyen la evaluación del riesgo sobre las aguas superficiales (excepto GERAS y IRR), organismos acuáticos (excepto WIN-PST, GERAS y IRR) y, consideran la persistencia del plaguicida dentro de sus algoritmos (excepto Ipest). En cuanto a los restantes compartimentos y efectos, los indicadores difieren considerablemente entre sí. Sin embargo, muchos incluyen el impacto potencial sobre: (1) el agua subterránea (EYP, HD, p-EMA, Ipest, EPRIP, SyPEP, PERI, CHEMS1, EIQ y GERAS), (2) el suelo (EYP, HD, SYNOPS, p-EMA, EPRIP, PUM, WIN-PST, GERAS y RECAP), (3) el aire (HD, SYNOPS, p-EMA, Ipest, EPRIP, PERI, CHEMS1, PUM y RECAP), (4) los organismos terrestres (EYP, HD, SYNOPS, EPRIP, PERI, EIQ, PUM, PestScreen y RECAP) y (5) la salud humana (EYP, p-EMA, Ipest, EPRIP, SyPEP, CHEMS1, EIQ, PUM, PestScreen y RECAP). De otro lado, muy pocos indicadores tienen en cuenta el efecto de la bioacumulación de plaguicidas (p-EMA, PERI, PUM y RECAP) y la toxicidad sobre abejas (p-EMA, PERI, PestScreen, PUM y RECAP). Tan solo el indicador IRR valora la presencia de residuos de plaguicidas en los productos vegetales de cosecha (**Tabla 50**).

Como se planteo anteriormente, la mayoría de los indicadores valoran el impacto de la aplicación de plaguicidas principalmente sobre las aguas superficiales y subterráneas y en menor proporción sobre el suelo y el aire. Los indicadores que se destacan por evaluar estos cuatro compartimentos de manera conjunta, son: HD, EPRIP y p-EMA. De otro lado, los indicadores que involucran los compartimentos de agua superficial, suelo y aire, son: PUM, RECAP y SYNOPS. Ipest, PERI y CHEMS1 (Chemical Hazard Evaluation for Management Strategies) evalúan la concentración de plaguicidas en aguas subterráneas, superficiales y en el aire más no en el suelo. En cambio EYP realiza esta evaluación en todos estos compartimentos excepto en el aire. De igual forma, se observan indicadores especializados en la evaluación del

riesgo por plaguicidas en el compartimiento de agua (sean superficiales o subterráneas), tales como: SyPEP, EIQ, SUTE y PestScreen.

Dentro de los indicadores que tienen en cuenta el impacto sobre los organismos acuáticos y terrestres, sobre la salud humana, las abejas y la bioacumulación se encuentra RECAP y PUM (Tabla 50). Los indicadores que tienen en cuenta los efectos sobre la salud humana y sobre los organismos acuáticos y terrestres son: EPRIP, EIQ, EYP y PestScreen. Este último indicador también considera la evaluación del impacto sobre abejas. De otro lado, indicadores como p-EMA y PERI tienen en cuenta todos los efectos excepto sobre los organismos del suelo y sobre la salud humana, respectivamente. También se observan indicadores que se centran exclusivamente en la evaluación del impacto sobre los organismos acuáticos y terrestres (HD y SYNOPS) y otros que no valoran los efectos sobre ninguno de los aspectos estudiados (WIN-PST y GERAS), más bien, son indicadores que simulan o predicen el comportamiento de los plaguicidas en el suelo o en el agua.

La persistencia en el suelo ha sido la propiedad de los plaguicidas que con mayor frecuencia se ha tenido en cuenta en el desarrollo de estos indicadores; tan solo el indicador Ipest no la incluye y esto es debido a que este indicador está orientado a evaluar impactos sobre el agua superficial y subterránea.

La mayoría de los indicadores de riesgo no han tenido en cuenta, de manera directa, la estimación del nivel de riesgo de presencia de residuos de plaguicidas en los productos vegetales al momento de la cosecha. Este aspecto es de gran importancia debido a que bajo las condiciones de la producción agrícola colombiana, es muy probable que no se respeten los períodos de carencia establecidos para cada plaguicida luego de su aplicación, lo que se constituye en una vía de exposición que hace inminente el riesgo de contaminación por plaguicidas durante el consumo del producto vegetal. Por tanto, es indispensable que la propuesta metodológica a definir incluya un índice de riesgo toxicológico que permita valorar este tipo de riesgo para la salud humana, tal como lo hace el IRR que es una adaptación del Índice propuesto por Santiago (2000).

Finalmente, teniendo en cuenta estos aspectos se pueden identificar algunos indicadores que se pueden nominar como candidatos a hacer parte de la metodología de evaluación de riesgo a desarrollar, estos son: **PUM, RECAP, p-EMA, EPRIP, PERI, EYP, HD, SYNOPS, EIQ, IRR y PestScreen**. Estos indicadores son preseleccionados debido a que cumplen con las características establecidas para el presente estudio en relación con las consideraciones definidas. La selección final de alguno de estos indicadores está en función del cumplimiento de los restantes aspectos y criterios de interés en la investigación.

Tabla 50. Compartimentos ambientales y efectos considerados en los 17 indicadores de riesgo por plaguicidas.

Indicador	EYP	CHEMS1	p-EMA	EIQ	EPRIP	PERI	SYNOPS	SyPEP	SUTE	PUM	HD	lpest	Pest Screen	WIN-PST	GERAS	RECAP	IRR
Compartimentos																	
Agua subterránea	*	*	*	*	*	*		*			*	*			*		
Agua superficial	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	
Suelo	*		(*)		*		*			*	*			*	*	*	
Aire		*	(*)		*	*	(*)			*	*	*				*	
Residuos en producto cosechado																	*
Efectos																	
Salud humana	(*)	*	*	*	*			(*)		*		*	*			*	*
Organismos acuáticos	*	*	*	*	*	*a	*	*	*	*	*	*	*			*	
Organismos del suelo o terrestres	*			*	*	*a	*			*	*		*			*	
Bioacumulación			*			*a				*						*	
Abejas			*			*a				*			*			*	
Persistencia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

FUENTE: Adaptado de Reus *et al.* (2002) y, Dubus I.G. y Surdyk N. (2006).

significa que el compartimento / efecto es tomado en cuenta; () significa que el compartimento/efecto es tomado en cuenta en forma parcial o rudimentaria. ^aPERI toma en cuenta los efectos sobre organismo no objetivo en general, mas no para grupos de organismos específicos.

5.3. METODOLOGÍA Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para este estudio y en términos de este tercer aspecto, es de particular importancia identificar los indicadores que permitan de manera conjunta estimar el riesgo ambiental asociado a la aplicación de plaguicidas, así como, identificar la mejor práctica de manejo de estos químicos en el cultivo. Además, en lo posible el indicador debe permitir conocer el valor de riesgo para cada compartimento del ambiente y el fundamento básico de la metodología llevada a cabo en la definición del indicador con el fin de tener mayor control y entendimiento de los resultados obtenidos y de los factores que están influenciándolos.

La totalidad de los indicadores abordados permiten estimar la presencia de plaguicidas en el ambiente en determinados compartimentos. A excepción de CHEMS1, SUTE y GERAS, los restantes indicadores pueden ser utilizados en la determinación de la práctica de manejo más amigable con respecto a estos químicos con el ambiente. El éxito en la determinación de esta práctica estaría en función de las características del indicador (p.e. requerimientos de datos), del sitio de estudio, el manejo a realizar, del personal capacitado, etc. (**Tabla 51**).

Los indicadores difieren con respecto a la información que se requiere de las propiedades químicas de los plaguicidas y los factores de aplicación que son tenidos en cuenta, así como de las condiciones ambientales que influyen en los resultados de los cálculos. Se observa que muchos indicadores estiman el riesgo ambiental potencial tomando en cuenta el destino en el ambiente y los efectos ecotoxicológicos; en donde el uso de factores como la persistencia en el suelo, la movilidad en el suelo y la toxicidad a organismos acuáticos y del suelo, es común en varios de estos indicadores.

Seis indicadores (EYP, SYNOPS, SyPEP, EPRIP, WIN-PST, GERAS e IRR) usan el enfoque de índices de riesgo; esto es, la relación entre exposición (usualmente la concentración en cierto compartimento ambiental) y la toxicidad para organismos relevantes. Por lo general, las CAE son determinadas mediante índices que consideran las condiciones ambientales y los factores de aplicación.

De otro lado, Ipest, HD y EPRIP proporcionan un valor total de riesgo, al igual que permiten obtener valores de riesgo para cada compartimento o efecto en el ambiente. Ipest, hace uso de una aproximación intermedia, en donde el valor de riesgo de un plaguicida se fundamenta en sus propiedades químicas, las condiciones ambientales y en una serie de reglas de decisión mediante el uso de lógica difusa (van der Werf y Zimmer, 1998). En cambio, el indicador HD genera una categorización de los plaguicidas de acuerdo con diferentes aspectos como la vida media, el Coeficiente de adsorción en materia orgánica (K_{OC}) y la dosis de aplicación (c.f. Brüggegan y Halfon, 1995, tomado de Reus et al., 2002).

Tabla 51. Metodología general y presentación de resultados de los 17 indicadores de riesgo.

INDICADOR	EYP	CHEMS1	p-EMA	EIQ	EPRIP	PERI	SYNOPS	SyPEP	SUTE	PUM	HD	Ipest	Pest Screen	WIN-PST	GERAS	RECAP	IRR
Qué se estima?																	
Presencia en el ambiente	(*) a	*	*	*	(*) ^a	*	*	(*) ^a	*	*	(*) ^a	*	*	*	*	*	*
Presencia en producto vegetal																	*
Mejor práctica de manejo de cultivo	*		*	*	*	*	*	*		(*)	*	*	*			*	*
Riesgo ambiental total o valores separados?																	
Un valor total		*	* ^e	*	* ^g	* ⁱ			*		* ^c	* ^f	*	*	*		*
Valores separados para cada compartimento	* ^b				* ^g		* ^d	* ^h		*	* ^c	* ^f				*	
Valor para ingrediente activo o producto formulado?																	
Ingrediente activo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Producto formulado	*		*						(*)								*
Metodología usada																	
Tabla de valores relativos			*	*		*											
Categorización relativa		*							*	*	*		* ^j			*	
Sistemas expertos (lógica difusa)												*					
Índices de riesgo	*				*		*	*						*	*		*

FUENTE: Elaboración propia basado en Reus *et al.* (2002) y Dubus I.G. y Surdyk N. (2006).

a es indicado para la presencia en aguas subterráneas. b el impacto ambiental es expresado en puntos de impacto ambiental para cada compartimento. c categorización relativa de plaguicidas. d el impacto ambiental es expresado en gráficas de riesgo relativo. e el desempeño ambiental es expresado en eco-evaluaciones. f el impacto ambiental es expresado en valores entre 0 y 1. g el impacto ambiental es expresado en valores entre 1 y 5 para cada compartimento y entre 1 y 625 para el valor de riesgo total. h el impacto ambiental es expresado en valores entre 0 y 5 para cada compartimento. i el impacto ambiental es expresado mediante un índice usualmente entre 1.1 y 7.5. j PESTSCREEN usa sistema multicriterio.

Los indicadores PERI y p-EMA proporcionan un valor total de riesgo ambiental y de desempeño ambiental, respectivamente; en donde los plaguicidas son clasificados de acuerdo con ciertas propiedades físico-químicas y coeficientes como Kd, Koc, Kom, etc. Los valores para cada propiedad están combinados en una tabla de valores o algoritmos para evaluar el impacto ambiental global relativo para los plaguicidas.

Todos los indicadores generan un valor que refleja el riesgo o desempeño ambiental. Los valores que estima EYP, IRR y SYNOPS están directamente basados en las concentraciones de plaguicida en el ambiente o producto ó, en la relación entre concentración y toxicidad. De otro lado, p-EMA proporciona valores negativos para indicar efectos perjudiciales sobre el ambiente, mientras que el resto de indicadores proveen valores positivos.

Los indicadores p-EMA, PERI, SUTE, PestScreen, CHEMS1, EIQ, WIN-PST, IRR y GERAS permiten obtener un valor de riesgo total. En cambio, HD, Ipest y EPRIP generan valores de riesgo separados para cada compartimento ambiental que pueden ser combinados en un valor total. Finalmente, se ubican los indicadores que solo permiten obtener valores de riesgo para cada compartimento, estos son: EYP, SYNOPS, SyPEP, PUM y RECAP (**Tabla 51**).

En HD, p-EMA, PERI, EIQ, PUM y RECAP los plaguicidas son categorizados de acuerdo con ciertas características químicas y toxicológicas. Los valores para cada propiedad se combinan en una tabla de valores o algoritmo que permite evaluar el impacto ambiental relativo de los plaguicidas. De esta forma, el peso de un valor puede estar influenciado por ciertas condiciones ambientales, como la temperatura o la distancia a aguas superficiales. Los factores de aplicación, como la dosis también pueden ser incluidas en la tabla de valores o algoritmo.

Los valores de riesgo obtenidos mediante la metodología Ipest están basados en las propiedades físico-químicas y coeficientes del plaguicida, las condiciones ambientales, los factores de aplicación y de manera particular, sobre una serie de reglas de decisión que usan el sistema experto basado en lógica difusa.

Finalmente, teniendo en cuenta estos aspectos se pueden identificar algunos indicadores que se pueden nominar como candidatos a hacer parte de la metodología de evaluación de riesgo a desarrollar en este estudio, estos son: **EYP, HD, p-EMA, EPRIP, Ipest, SYNOPS, SyPEP, PUM, IRR y RECAP**. Estos indicadores son preseleccionados debido a que cumplen con las características establecidas para el presente estudio en relación con las consideraciones definidas. La selección final de alguno de estos indicadores está en función del cumplimiento de los restantes aspectos y criterios de interés para el estudio.

5.4. SELECCIÓN DE LOS INDICADORES QUE CUMPLEN CON LOS ASPECTOS PREDEFINIDOS Y CON LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Con base en los resultados del análisis anterior, se pretende seleccionar los indicadores que cumplen de manera conjunta con los tres aspectos técnicos predefinidos en este estudio y con algunos criterios de evaluación. Los criterios de evaluación son establecidos teniendo en cuenta las condiciones particulares en las que se desarrolla la investigación. Como se planteó anteriormente, estos aspectos y criterios permiten orientar la priorización de uno o varios indicadores que pueden ser incorporados a la propuesta metodológica a desarrollar, en función de las condiciones particulares en las que se adelanta la investigación. En la **Tabla 52** se relacionan los indicadores que cumplen con cada uno de los aspectos predefinidos, de igual forma, se resaltan en negrilla los indicadores (candidatos) más adecuados para implementar o adaptar a la propuesta metodológica de evaluación de riesgo en la aplicación de plaguicidas en cultivos hortofrutícolas.

Tabla 52. Indicadores de riesgo por plaguicidas seleccionados de acuerdo a los tres aspectos predefinidos en el acápite anterior.

ASPECTO PREDEFINIDO	INDICADORES SELECCIONADOS / ASPECTO										
Propósito, escala y estado de desarrollo.	EYP	p-EMA	EPRIP	RECAP	HD	IRR	PERI				lpest
Compartimentos y efectos considerados	EYP	p-EMA	EPRIP	RECAP	HD	IRR	PERI	PUM	SYNOPS		
Metodología y presentación de resultados	EYP	p-EMA	EPRIP	RECAP	HD	IRR		PUM	SYNOPS		lpest

5.5. CRITERIOS DE EVALUACION DE LAS METODOLOGIAS PARA VALORAR EL RIESGO CAUSADO POR EL USO DE PLAGUICIDAS

Teniendo en cuenta la descripción realizada sobre las metodologías de análisis de riesgo ambiental en la aplicación de plaguicidas, así como los ejercicios desarrollados en otros países (p.e. el realizado por Jerez *et al.*, 2006) y las condiciones técnicas y financieras bajo las cuales se desarrolla esta investigación, se establecieron los siguientes criterios de evaluación:

- Como primer criterio de evaluación de la metodología a utilizar, se debe tener en cuenta la **disponibilidad de los programas o software** utilizado en cada metodología, ya sean de uso libre o bajo licencia. En el caso que corresponda comprar la licencia del programa, se debe tener en cuenta el impacto del costo económico sobre el presupuesto definido para el estudio. Para tal hecho, se pretende identificar el indicador a implementar en esta investigación y recomendar el programa más adecuado para su uso futuro en el país.
- Metodología basada en la **estimación mecanística de la concentración de plaguicida** en cada compartimento ambiental y producto cosechado. Este criterio busca identificar las

metodologías que permitan conocer, al mayor detalle posible, los algoritmos o técnicas que permiten determinar el cálculo de los índices, indicadores y variables implicadas en la metodología. Esto con el fin de tener un mejor dominio y comprensión de las variables (y cálculos) que influyen en los resultados obtenidos. De igual forma, la determinación mecanística permitirá justificar la consistencia de los resultados, así como identificar los principales factores y su dinámica, que finalmente están influenciando los resultados de la metodología.

- El tercer criterio de evaluación se relaciona con la **disponibilidad de personal capacitado** en el país para el entendimiento, la aplicación y el análisis de los algoritmos y de los resultados posibles a obtener por parte de cada metodología.
- Como cuarto criterio de selección, se debe tener en cuenta la **disponibilidad de información** (datos) existente en el país o en reportes de investigaciones científicas de otros países que es necesaria para los cálculos adelantados en las metodologías. Este criterio se fundamenta en uno de los requerimientos que debe cumplir un indicador de riesgo como lo es, el balance entre complejidad y aplicabilidad del mismo. En ese sentido, con este criterio se buscan identificar las metodologías que permitan obtener resultados consistentes en función de los datos existentes en el país.

La priorización de la metodología a implementar en la evaluación de riesgo por la aplicación de plaguicidas en sistemas agrícolas está sujeta al cumplimiento, en el mayor grado posible, de estos cinco criterios de selección definidos. Es necesario aclarar que el o los indicadores a utilizar se seleccionarán y aplicarán en función de las condiciones bajo las cuales se desarrolla el estudio en cuanto a disponibilidad de datos, personal capacitado, recursos financieros, etc. Probablemente en el futuro se puedan aplicar indicadores más complejos (p.e. modelos probabilísticos) que requieren históricos de datos que el país en el momento no posee.

5.6. PRIORIZACIÓN DEL INDICADOR EN FUNCIÓN DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN

En este acápite se pretenden identificar los indicadores que cumplen con los criterios de selección preestablecidos. Para este efecto, en la **Tabla 53** se presenta la calificación asignada a cada indicador en función de los criterios de selección. En la calificación se utilizó una escala de 0 a 3, en donde el 0 quiere decir que determinado criterio no se cumple en el indicador y 3, que dicho criterio se cumple satisfactoriamente en el indicador.

En la tabla se observa que el indicador RECAP e IRR poseen los mayores puntajes (12/12), esto quiere decir que estos indicadores son los que mejor se adaptan a las condiciones bajo las cuales se orienta la presente investigación, tanto en orden técnico como financiero. El indicador EPRIP calcula la CAE en la mayoría de los compartimentos mediante una serie de ecuaciones que requieren datos muy particulares a un determinado sitio (p.e. contenido de aire en el suelo, profundidad de escorrentía, etc.), implicando adelantar estudios de campo para la consecución de los mismos. Esta

característica hace que EPRIP se torne complejo, inflexible y por tanto, poco adecuado para incorporarlo a la propuesta metodológica de ERA.

EYP y p-EMA realizan los cálculos del valor de riesgo por medio de programas de computador, que a pesar de estar fácilmente disponibles (en la INTERNET o por solicitud formal), no se conocen en su totalidad los algoritmos o las ecuaciones utilizadas, además son desarrollados para áreas geográficas determinadas, por ejemplo p-EMA para los Estados Unidos y EYP para Países Bajos, utilizando coeficientes previamente determinados y validados en campo. Algo muy similar ocurre con el indicador HD, con la particularidad de no utilizar un programa de computador para realizar los cálculos, de otro modo, la información reportada sobre los algoritmos, las ecuaciones y el modo de uso es incipiente. Todas estas características hacen que estos tres indicadores tengan los puntajes más bajos en la matriz de priorización y por tanto, sean probablemente descartados al incluirlos en la propuesta de ERA.

Tabla 53. Matriz de priorización de los indicadores a incluir en la metodología de evaluación de riesgo causado por el uso de plaguicidas en cultivos hortofrutícolas.

CRITERIO DE SELECCIÓN	INDICADOR					
	RECAP	IRR	EPRIP	EYP	p-EMA	HD
1. Disponibilidad de software (libre o de bajo costo)	3	3	3	3	3	0
2. Algoritmos y/o técnicas que permiten determinar el cálculo de los índices y variables implicadas en el indicador (sustento teórico)	3	3	3	1	1	1
3. Disponibilidad de personal capacitado para el entendimiento, la aplicación y el análisis de los algoritmos y de los resultados.	3	3	3	2	2	2
4. Disponibilidad de información (datos) necesaria para los cálculos requeridos por los indicadores	3	3	1	2	2	1
Total	12	12	10	8	8	4

Se debe tener en cuenta que la propuesta metodológica a desarrollar se puede fortalecer con características de otros indicadores que permitan mejorar el desempeño de la misma en términos de practicidad y aplicabilidad, sin comprometer la calidad de los resultados obtenidos. Por tal razón, este proceso de selección se constituye en un primer paso hacia el diseño de la propuesta metodológica de evaluación de riesgo para el caso de plaguicidas, en donde más que identificar un único indicador, se pretende tener un número reducido de indicadores que permitan la evaluación general de riesgo y a partir de este resultado, poder refinar la valoración del mismo para cada compartimento ambiental mediante indicadores específicos que serán caracterizados a profundidad en lo restante de la propuesta metodológica a definir.

6. ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO POR LA APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS EN SISTEMAS AGRICOLAS

La propuesta metodológica para la Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) desarrollada en el presente estudio, básicamente se encuentra fundamentada según lo consignado en la Guía para la Evaluación del Riesgo Ecológico de la EPA (1998). Sin embargo, dada las condiciones particulares de la investigación, se realizan algunas adaptaciones y ajustes en cada una de las fases de la evaluación. En el Capítulo 2 se describen las fases de formulación del problema, evaluación y caracterización del riesgo. En ésta investigación, en la formulación del problema se integra la información primaria y secundaria disponible relacionada para la evaluación de la pertinencia de la ERA y para la aplicación de los indicadores de riesgo. La fase de evaluación depende directamente de la formulación del problema. Mediante el uso de indicadores de riesgo se establecen relaciones entre la exposición a los plaguicidas (caracterización de exposición) y el potencial y tipo de efecto ecológico esperado (caracterización de efectos ecológicos), con el fin de valorar el nivel de riesgo al que están expuestos los componentes ambientales y los humanos. Por último, en la fase de caracterización de riesgo se integran y se analizan los resultados de las fases anteriores, se estima la probabilidad de que ocurran efectos adversos de acuerdo al estudio de caso, se consolidan las consideraciones y supuestos de la propuesta y, se generan pautas para la gestión del riesgo.

Se debe aclarar que la Guía requiere información relacionada con el conocimiento de los ecosistemas, principalmente para la selección de los “assessment endpoints”; en esa medida, en la presente propuesta no se definen los “assessment endpoints”, dado que resulta difícil establecer las medidas para los posibles cambios en los atributos de las entidades ecológicas de posible interés (“endpoints”). En cambio, la ERA propuesta utiliza los indicadores de riesgo, que integran la información primaria y secundaria requerida y estiman el posible nivel de riesgo al que pueden o podrían estar expuestos organismos indicadores (lombrices, ratones, abejas, aves, algas, peces y *Daphnia*) que son sensibles a la exposición de plaguicidas químicos. Estos bioindicadores han sido muy utilizados en estudios de impacto ambiental en todo el mundo, por tanto poseen suficiente información para alimentar los indicadores permitiendo valorar el riesgo potencial para las entidades ecológicas presentes en cualquier agroecosistema donde se haga uso de plaguicidas. La información secundaria (toxicológica y ecotoxicológica) relacionada con estos bioindicadores y, las propiedades físico-químicas de los plaguicidas, además de la información primaria, soportan los requerimientos de datos de los modelos o indicadores a utilizar en la propuesta.

De otro lado, adicional al esquema general presentado en la Guía de la EPA, ésta propuesta de ERA incluye la valoración del riesgo potencial que representan los residuos de plaguicidas en producto vegetal para los humanos. En el presente capítulo, se describe la ERA propuesta para sistemas hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá, en donde se expone el procedimiento a seguir en la valoración del riesgo en cada una de las fases del proceso, teniendo en cuenta las condiciones

particulares en las que se desarrolla el presente estudio. En la **Figura 2** se presenta un esquema general de la metodología de ERA propuesta.

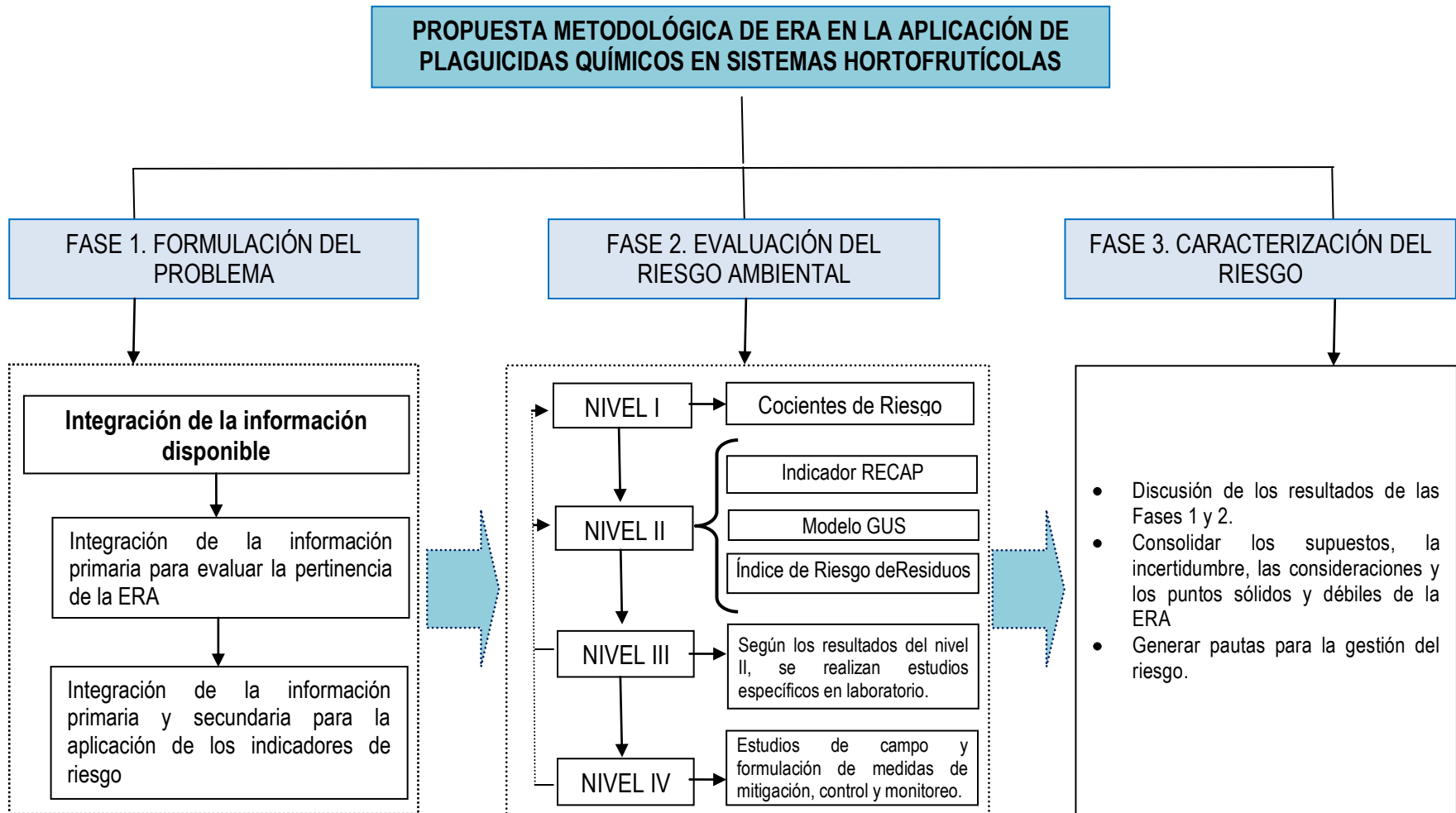


Figura 2. Representación gráfica del proceso de Evaluación de Riesgo Ambiental (ERA) en la aplicación de plaguicidas químicos de sistemas hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá.

6.1.FASE 1: FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los plaguicidas se usan en la producción hortofrutícola principalmente para el control de malezas, de artrópodos plaga y de enfermedades. El uso de plaguicidas implica riesgo y el nivel del mismo depende del tipo de producto usado y su toxicidad, de la frecuencia de aplicación y de la utilización de medidas de protección durante el manejo y aplicación de esas sustancias, de acuerdo con las condiciones específicas del sitio de cultivo. Un primer paso en la formulación del problema es la integración de la información primaria y secundaria disponible relacionada con el manejo de plaguicidas, las medidas de protección, las condiciones bajo las cuales se desarrolla el cultivo, las propiedades y características toxicológicas y ecotoxicológicas de los plaguicidas. A partir de esta información se procede en las siguientes fases del proceso de evaluación.

6.1.1. INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE.

En este acápite se desarrollan dos aspectos metodológicos importantes. El primero, relaciona la estrategia metodológica para la consecución de información primaria para evaluar la pertinencia de la ERA y el segundo, la metodología para la recopilación de la información primaria y secundaria requerida para aplicar los indicadores. La integración de la información disponible tiene como objetivo caracterizar de manera *a priori* la existencia de posibles efectos adversos sobre el ecosistema o los humanos de acuerdo a las propiedades de los plaguicidas químicos usados, de los factores de aplicación, de la exposición al plaguicida y de las características del predio determinado. Principalmente, se estudia la pertinencia de la evaluación y de la caracterización del riesgo o si definitivamente no existe evidencia (manejando criterios de **peor escenario**) de efectos adversos sobre el ecosistema o los humanos, que no podrían ser aceptables en relación a los posibles niveles de riesgo que pueden ser representados.

Integración de la información primaria para la evaluación de la pertinencia de la ERA

Al momento de aplicarse a un cultivo agrícola, la ERA propuesta debe ser flexible en la valoración de los posibles efectos adversos al ecosistema o los humanos. Sin embargo, no es obligatorio y adecuado que la ERA tenga que ser aplicada a todas las actividades agrícolas en el país que impliquen el uso de plaguicidas. Por tanto, en este acápite se dan pautas para verificar o descartar la existencia de posibles efectos adversos sobre el ecosistema o sobre los humanos en una explotación agrícola determinada.

En la **Tabla 54**, se presenta una lista de 18 preguntas que en conjunto con el juicio de personal capacitado en ERA puede orientar el desarrollo o no de las siguientes fases de evaluación. A estas preguntas se les debe dar respuesta en el sitio donde se ubica el cultivo y con ayuda del operario que realiza la aplicación plaguicida en campo, el asistente técnico que emite las recomendaciones y con el administrador o propietario de la explotación agrícola. Se requiere que la encuesta se realice en el predio para observar las condiciones en las que se realiza la aplicación, las características del sitio, las fuentes de exposición al plaguicida y los compartimentos potenciales a ser afectados. La

presencia del operario y del asistente técnico se requiere para conocer al detalle, la forma de aplicación de los plaguicidas, las dosis utilizadas, el volumen de solución, la preparación de la mezcla, el equipo de protección utilizado, etc. Por su parte, el propietario o el administrador puede dar a conocer la historia del lote en cuanto a la rotación de cultivos y la intensidad de aplicación de plaguicidas. Toda esta información puede permitir el análisis de las características del uso de plaguicidas y de la explotación agrícola, brindando las bases y el contexto suficiente para que el personal capacitado en ERA tome la decisión de continuar con el proceso de evaluación, descartar la evaluación sobre algunos compartimentos ambientales ó, si definitivamente el uso de plaguicidas en determinado predio representa un nivel de riesgo muy bajo para cada compartimento ambiental implicado.

Las preguntas formuladas en la **Tabla 54** parten del supuesto de que los componentes ambientales ligados al cultivo están o estuvieron expuestos a plaguicidas químicos, lo cual es condición que se cumple para la mayoría de los sistemas hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá. De otro lado, el cuestionario es de tipo binario (1 o 0) según la respuesta afirmativa o negativa que se le dé a cada pregunta. Sin embargo, una respuesta toma valor de uno (1) cuando está tiende a incrementar el nivel de riesgo al que están o estuvieron expuestos los compartimentos ambientales ligados al cultivo hortofrutícola, es decir, que las respuestas con valor cero (0) muestran que el agricultor está realizando el manejo y la aplicación de los plaguicidas de manera adecuada teniendo en cuenta las propiedades del plaguicida y las características del lote de cultivo. Se debe tener en cuenta que la continuidad del proceso de ERA no está sujeto a que la totalidad de las respuestas adquieran el valor de uno (sumatoria de valores = 18), sugiriendo su participación en el incremento del nivel de riesgo al que están expuestos los compartimentos ambientales. Pero, ¿cómo tomar la decisión de dar continuidad o no al proceso de evaluación del riesgo de acuerdo con los resultados del cuestionario? Para tal hecho, se propone dar continuidad al proceso de ERA cuando la sumatoria de los valores de respuesta sea superior a 9, es decir, cuando más del 50% de las preguntas están ligadas con un posible incremento del nivel de riesgo para los compartimentos ambientales. Sin embargo, el personal capacitado en ERA puede recomendarla evaluación de riesgo ambiental de acuerdo con criterios técnicos en situaciones particulares que la ameriten.

De acuerdo con los resultados de la aplicación del cuestionario, el personal capacitado en ERA toma la decisión de seguir o no con las siguientes fases de la evaluación del riesgo. En caso de no continuar con la evaluación, se deben generar las recomendaciones para la prevención y minimización de los efectos adversos de la aplicación de los plaguicidas de acuerdo a las condiciones particulares del sitio de cultivo. En caso contrario, es decir si se decide continuar con el proceso de evaluación, se inicia la recopilación de la información primaria y secundaria requerida para la aplicación de los indicadores de riesgo en la Fase II de la ERA.

Integración de la información para la aplicación de los indicadores de riesgo.

En este acápite se presenta el detalle de la metodología utilizada en la recolección de **información primaria**⁵ y **secundaria**⁶ necesaria para la aplicación de los indicadores de riesgo ambiental y para los humanos. La recolección de información primaria, es un procedimiento obligado para la aplicación de la propuesta metodológica a desarrollar. Consiste en identificar datos de campo relacionados particularmente con los factores de uso y manejo de los plaguicidas, que incluyen datos como los productos plaguicidas aplicados, la dosis de aplicación, la frecuencia de aplicación, etc. En el **Anexo 1** se presenta el formato guía utilizado en la recolección de información primaria.

Igualmente, la información requerida en el formato anexo debe ser producto de una entrevista con el productor agrícola, el aplicador y quien emite las recomendaciones de manejo en el lote de cultivo. Es necesario hacer claridad en que la información consignada en el formato debe ser verídica y detallada, para tal hecho el entrevistador debe procurar cuidadosamente obtener toda la información, principalmente, la relacionada con la aplicación de los plaguicidas. Finalmente, el entrevistador debe consolidar la información de contexto que puede contribuir al desarrollo de la evaluación del riesgo y al análisis de los resultados de la misma. La información de importancia está relacionada con: la topografía del lugar, la existencia de fuentes de agua o reservorios cerca al lote de cultivo, el sitio de preparación de la mezcla plaguicida, los equipos de aplicación utilizados, la disposición de los envases vacíos de los plaguicidas, etc.

En la aplicación de la metodología de ERA, es necesario recolectar datos de tipo secundario que son insumos importantes para las herramientas implementadas principalmente en la fase de evaluación de riesgo ambiental. De igual forma, esta información secundaria, aunque gran parte no es producto de estudios realizados bajo condiciones de la Sabana de Bogotá, se constituye en una aproximación funcional para llevar a cabo las estimaciones de riesgo. Se debe tener en cuenta que bajo las condiciones del presente estudio resulta difícil entrar a realizar las evaluaciones experimentales del comportamiento ambiental de los plaguicidas de interés (p.e. estudios de destino ambiental y valoración de efectos adversos sobre componentes ecológicos) debido a que consumen tiempo e inversión de capital.

⁵ Información primaria hace referencia a los datos obtenidos directamente del productor agrícola relacionados con el manejo agronómico haciendo especial énfasis en los factores de uso y manejo de plaguicidas químicos.

⁶ La información secundaria hace referencia a los datos experimentales obtenidos mediante la búsqueda en bases de datos y buscadores no estructurados (como google.com). Estos datos son presentados en forma de reportes, artículos de investigación, fichas técnicas o reglamentaciones particulares sobre el uso y manejo de plaguicidas químicos de uso agrícola.

Tabla 54. Lista de preguntas que orientan el desarrollo de la evaluación y caracterización del riesgo por la aplicación de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas.

	Si	No	Observaciones para el entrevistador
En cuanto al plaguicida químico			
¿Usa productos plaguicidas con categoría toxicológica I y II?	1	0	Observación en campo.
En cuanto al uso y disposición del plaguicida químico			
¿Ha realizado actividades de entrenamiento y capacitación en manejo de plaguicidas?	0	1	
¿Ha realizado actividades de entrenamiento y capacitación en buenas prácticas agrícolas?	0	1	
¿Implementa buenas prácticas agrícolas en su finca?	0	1	
¿Posee un plan de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades?	0	1	
En cuanto a las condiciones de aplicación			
¿Realiza actividades de calibración de los equipos de aplicación del plaguicida?	0	1	
¿Los equipos de aplicación poseen una adecuada calibración?	0	1	En este caso, más que realizar la pregunta literalmente se debe profundizar en cómo se lleva a cabo la calibración de los equipos y, según la explicación dar respuesta a la pregunta.
¿Maneja elementos adecuados para medir, como baldes, jarras, balanzas, pipetas y probetas?	0	1	Observación en campo.
¿Usa agua (para la mezcla) posiblemente contaminada con plaguicidas?	1	0	Observación en campo.
¿Se realiza la aplicación de plaguicidas con alta frecuencia?	1	0	Aplicaciones semanales de forma consecutiva.
¿Las aplicaciones de plaguicidas están sujetas a la recomendación de un asistente técnico?	0	1	
¿Las aplicaciones de plaguicidas están sujetas a las instrucciones de la etiqueta del producto químico?	0	1	
¿La aplicación de los plaguicidas se realiza por recomendación de otros productores o de manera autónoma?	1	0	
En cuanto a las características del lote			
¿Realiza aplicaciones de plaguicidas cerca a fuentes de agua?	1	0	Observación en campo. Se deben respetar las franjas de seguridad de 10 m en aplicación terrestre y de 100 m en aplicación aérea con respecto a cuerpos de agua.
¿Realiza aplicaciones plaguicidas en presencia de vientos fuertes?	1	0	
¿El cultivo es establecido sobre suelos con bajos contenidos de materia orgánica?	1	0	Observación en campo, según experiencia técnica.
¿El cultivo es establecido sobre suelos arenosos ó franco-arenosos?	1	0	Observación en campo, según experiencia técnica.
¿El agua subterránea se encuentra cerca a la capa arable del suelo?	1	0	Es decir, a menos de 30 metros de profundidad.

Las principales bases de datos consultadas, en donde se dispone la información necesaria se presentan en la **Tabla 55**. Estas bases de datos tienen la característica de ser de libre acceso, fácil manejo y presentar información concisa sobre un amplio número de ingredientes activos plaguicidas.

Tabla 55. Principales bases de datos que documentan información sobre las propiedades fisicoquímicas y características toxicológicas y ecotoxicológicas de los plaguicidas químicos.

Base de datos	Descripción	Enlace
EU Pesticide Database.	Base de Datos de Plaguicidas de la Unión Europea. Relaciona reportes de investigación actualizados sobre propiedades fisicoquímicas, toxicología, ecotoxicología y residualidad de un gran número de productos plaguicidas.	http://ec.europa.eu/sanco_pesticides/public/index.cfm?event=activesubstance.selection&a=1
Pesticide Properties DataBase (PPDB).	PPDB es una amplia base de datos sobre las características fisicoquímicas y ecotoxicológica de los plaguicidas. Ha sido desarrollada por la Agriculture y Environment Research Unit (AERU) de la University of Hertfordshire, a partir de la base de datos que originalmente estuvo disponible a través del software EMA (Environmental Management for Agriculture) (también desarrollado por AERU) con información adicional proveída por el proyecto FOOTPRINT de la Unión Europea	http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/en/index.htm
PAN Pesticide DataBase.	Base de datos de la Pesticide Action Network (PAN) que posee información sobre toxicidad y regulaciones de plaguicidas.	http://www.pesticideinfo.org/
Integrated Risk Information System (IRIS).	Es una compilación de reportes electrónicos sobre sustancias específicas encontradas en el ambiente y su potencial para causar efectos sobre la salud humana. IRIS fue desarrollada por la EPA en respuesta a la creciente demanda de información consistente a la hora de realizar evaluaciones de riesgo ambiental.	http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList

La información consultada está relacionada con las propiedades físicas y químicas, las características residuales, toxicológicas y ecotoxicológicas del plaguicida químico. En la **Tabla 56** se presenta la lista de datos que deben ser buscados en las bases de datos como insumo para la aplicación de cada uno de los indicadores de riesgo propuestos.

6.2. FASE 2: EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

En la **fase 2**, que corresponde a la **evaluación del riesgo**, se sigue un procedimiento escalonado que implica cuatro niveles de evaluación, siendo estos cada vez más exigentes y precisos en la valoración de riesgo para cada compartimento considerado (suelo, agua superficial, agua subterránea, aire y producto vegetal). Considerando el “peor escenario”, en el nivel I se establece la relación entre la exposición y el grado de toxicidad de los plaguicidas usados en determinado compartimento y cultivo, lo cual representa el riesgo potencial para las entidades ecológicas de cada compartimento. En el nivel II, el cálculo se va refinando y éste incluye un ajuste en los componentes de la exposición y de efecto, haciendo intervenir los factores que los afectan.

Luego de identificar los riesgos relevantes en el nivel II, en el nivel III se puede determinar cuáles son los que se requieren precisar en un nivel más exigente de evaluación. Para lograr una caracterización del riesgo en este nivel, se emplean aproximaciones más refinadas sobre el destino ambiental para el cálculo de la CAE, empleando datos adicionales o información obtenida mediante estudios

específicos, los que se conducen en laboratorio simulando situaciones reales. Si los resultados de los estudios del nivel III conducen a la conclusión de que el riesgo subsiste y no puede ser controlado o mitigado se debe pasar a un último nivel de evaluación. En este último nivel, se busca precisar el perfil toxicológico y dilucidar dudas sobre el comportamiento ambiental del plaguicida en condiciones reales mediante pruebas en campo.

Tabla 56. Lista de variables de los indicadores de riesgo propuestos en la Fase II de la ERA que requieren de consulta en bases de datos.

Indicador	Variable	Descripción
Cociente de riesgo (RQ)	DT50 _{suelo}	Tiempo requerido para la disipación del 50% de la concentración inicial del plaguicida químico en suelo
	t	Tiempo (días) de exposición contemplado en los estudios de toxicidad crónica para cada plaguicida y organismo (lombriz de tierra).
	EC50	Concentración de efecto 50, expresa la concentración de plaguicida a la cual el 50% de los organismos expuestos muestran el efecto probado, en la mayoría de los casos se utiliza la mortalidad como indicador. (<i>Daphnia</i> ó Algas)
	LC50	Concentración Letal 50, toxicidad que puede matar la mitad de la muestra de una población de un organismo determinado (lombriz de tierra, peces).
	NOEC	Concentración de efecto no observables, es la concentración a la cual no se observa el efecto probado (lombriz de tierra).
Riesgo Ecológico por Aplicación de Plaguicidas (RECAP)	LC50	Concentración Letal 50 aguda oral, toxicidad que puede matar la mitad de la muestra de una población de un organismo determinado (ratas y peces).
	LD50	Dosis Letal 50 aguda oral, dosis del plaguicida que resulta letal para la mitad de la población bajo prueba (ratas, abejas y aves)
	t	Tiempo (días) de exposición contemplado en los estudios de toxicidad crónica para cada plaguicida y organismo (ratas).
	DT50 _{suelo}	Tiempo requerido para la disipación del 50% de la concentración inicial del plaguicida químico en suelo
	NOEC	Concentración de efecto no observables, es la concentración a la cual no se observa el efecto probado (lombrices).
	NOAEL	No Observed Adverse Effect Level ó Nivel (concentración) con efectos adversos no observables (mamíferos)
	NOEL	No Observed Effect Level ó Nivel (concentración) de efecto no observable (abejas y aves)
	TDI	Total Diary Intake ó Consumo Diario Total (aves y mamíferos)
Índice de Riesgo de Residuos (IRR)	DT50 _{suelo}	Tiempo requerido para la disipación del 50% de la concentración inicial del plaguicida químico en suelo
	Kow (Log)	Coefficiente de partición Octano-agua.
Modelo GUS	DT50 _{suelo}	Tiempo requerido para la disipación del 50% de la concentración inicial del plaguicida químico en suelo
	Koc	Coefficiente de absorción a Carbono Orgánico.

Este acápite tiene como objetivo definir los aspectos metodológicos a tener en cuenta en el proceso de aplicación de la propuesta de ERA. Es necesario aclarar que la presente propuesta metodológica se apoya en el marco referencial (Capítulo 2) y en la caracterización de los indicadores de riesgo (Capítulo 4). En el nivel I y II de la Fase II se utilizan indicadores de riesgo reportados en la literatura nacional e internacional que han sido priorizados de acuerdo a una serie de criterios técnicos y

financieros particulares a las condiciones bajo las cuales se realiza el estudio (Capítulo 5). Sin embargo, algunos de estos indicadores han sufrido adaptaciones según las recomendaciones de investigadores expertos en Evaluación de Riesgo Ambiental.

6.2.1. NIVEL I

En este primer nivel se propone el cálculo de los Cocientes de Riesgo (RQ). Considerando el “peor escenario”, los RQ’s se calculan utilizando la concentración del plaguicida que causa efecto sobre determinados organismos sensibles comparándola con la Concentración (de plaguicida) Ambiental Estimada (CAE) en el compartimento ambiental. El valor del RQ obtenido es comparado con un Nivel de Preocupación (Level of Concern, LOC). Estos LOC’s son usados para diferentes clases de organismos, dependiendo de la naturaleza del efecto medido. Si la CAE obtenida por cálculos simples en esta etapa, se observa que sobrepasa el valor tóxico permitido, es decir, si los valores de RQ superan a los LOC, se concluye que hay un riesgo potencial, lo que significa que un refinamiento de la ERA es necesario; es decir, se debe pasar al siguiente nivel de evaluación. En caso contrario, el ejercicio de evaluación de riesgo concluye en esta etapa, con base en el hecho que este ejercicio es muy conservador por considerar una serie de condiciones estrictas que es poco probable que se puedan dar en el escenario real.

Teniendo en cuenta lo reportado por Solomon (2009, **Tabla 1**) y las recomendaciones de expertos en evaluación de riesgo (Dr. Ronnie Juraske⁷, Dra. Cilia Fuentes De Piedrahita⁸) se propuso el cálculo de los RQ’s para Lombriz de tierra y para *Daphnia* (organismo acuático). Esta selección básicamente se realizó teniendo en cuenta dos criterios importantes: la disponibilidad de información sobre cada organismo y, su alto grado de sensibilidad frente a la exposición a plaguicidas. Sin embargo, el cálculo de los RQ’s se puede realizar teniendo en cuenta los valores de toxicidad reportados para Algas y Peces en caso de encontrar limitaciones de información para *Daphnia*.

En la **Tabla 57** se muestran los supuestos de riesgo usados por la U.S. EPA y adaptados para el nivel I de la fase II de la ERA propuesta. Como se planteó anteriormente, se propone el cálculo de los RQ’s para organismos animales terrestres y organismos animales acuáticos manejando supuestos de riesgo agudo y crónico. Según la EPA (2004), el supuesto de riesgo agudo se refiere al potencial de riesgo para los organismos no-objetivo el cuál puede justificar el desarrollo de medidas regulatorias y el uso restringido de determinado ingrediente activo plaguicida. De otro lado, la misma fuente define al supuesto de riesgo crónico como el potencial de riesgo que puede justificar el desarrollo de medidas regulatorias en donde las especies potencialmente amenazadas pueden ser afectadas mediante la exposición prolongada a los plaguicidas.

⁷ Ph.D. Postdoctoral Research Associate, Institute of Environmental Engineering, ETH Zurich, Suiza.

⁸ Ph.D. en Biología Vegetal. Investigador en Residualidad y Destino ambiental de plaguicidas en sistemas agrícolas. Universidad Nacional de Colombia.

Tabla 57. Supuestos de riesgo adaptados para el nivel I de la ERA propuesta. Procedimiento de cálculo de las CAE y de los RQ's y valores de LOC para cada supuesto.

Supuesto de riesgo	CAE	Cociente de Riesgo (RQ)	Nivel de preocupación (LOC)
Organismos animales terrestres (Lombriz de tierra)			
Riesgo agudo alto	$CAE = \frac{Dosis \left(\frac{g \text{ de i.a.}}{ha}\right)}{500 \times Densidad \text{ aparente suelo} \left(\frac{g}{cc}\right)}$	$RQ = \frac{CAE}{LC50 \text{ (Lombriz de tierra)}}$	0,5
Riesgo crónico	$CAEC = \frac{CAE \times (1 - e^{-k \times t})}{k \times t}$ $k = \frac{\ln 2}{DT50_{suelo} \text{ (días)}}$	$RQ = \frac{CAEC}{NOEC \text{ (Lombriz de tierra)}}$	1
Organismos animales acuáticos (Daphnia, algas o peces)			
Riesgo agudo alto	$CAE = Dosis \left(\frac{g \text{ de i.a.}}{ha}\right) \times D_f$ $D_f = \text{pérdida por deriva en la aplicación}$	$RQ = \frac{CAE}{EC50 \text{ (Daphnia, Algas)}}$ o $RQ = \frac{CAE}{LC50 \text{ (peces)}}$	0,5

La Lombriz de tierra se utilizó como bioindicador en el cálculo de los RQ's para organismos terrestres. Para el cálculo de la CAE (riesgo agudo) se requiere conocer la dosis de aplicación del plaguicida y la densidad aparente del suelo. La dosis de aplicación se obtiene mediante información primaria. De otro lado, es probable que el productor agrícola no haya realizado un análisis físico del suelo de cultivo o de su finca, por tanto, una aproximación al valor de densidad aparente se puede obtener mediante información secundaria a través de estudios de campo realizados en zonas geográficas poco distantes al sitio de cultivo y con condiciones topográficas y pedológicas similares.

En el caso de los organismos animales acuáticos, la disponibilidad de información secundaria sobre los valores de toxicidad (LC50 y EC50) es muy variable y básicamente depende del nivel y la cantidad de investigaciones realizadas en un determinado ingrediente activo. Por tanto, para el cálculo de los RQ's se propone tomar el organismo (ya sea *Daphnia*, Algas o Peces) que es más sensible, es decir, el organismo animal con los valores de toxicidad más bajos en los reportes identificados. Además, dentro de los cálculos de la CAE se requiere conocer el porcentaje de deriva el cual ha sido estimado alrededor de 4% (0.04 en la ecuación) de la cantidad aplicada (Ganzelmeyer *et al.*, 1995).

Es necesario aclarar que no se avanzó en el cálculo del RQ en el supuesto de riesgo crónico debido a las dificultades en la determinación de la CAE en las aguas superficiales. Algunos estudios

recomiendan usar la CAE pico (“peak”) para el cálculo del RQ. Esta CAE pico refleja una concentración (de plaguicida) máxima de manera instantánea sin perder el carácter conservativo del nivel I de la ERA. Sin embargo, el uso de la CAE pico presenta limitaciones debido a que debe ser estimada teniendo en cuenta los factores que influyen en el comportamiento del ingrediente activo de interés en un sitio determinado y por período de tiempo establecido (ECOFRAM, 1999).

Se debe precisar que tanto en el nivel I como en el nivel II de esta fase de evaluación, los indicadores de riesgo utilizan los valores estimados de la Concentración Ambiental de los plaguicidas en los diferentes compartimentos. Para una mejor valoración del riesgo y de acuerdo con los resultados de los niveles I y II, en los niveles III y IV se propone adelantar estudios de campo para la medición de la Concentración Ambiental y la caracterización de los efectos adversos sobre las entidades ecológicas potenciales a ser afectadas.

Un error común en la interpretación de los RQ’s es el asumir que el RQ es sí mismo proporcional al “riesgo”. Dado que el concepto de riesgo debe siempre incorporar un elemento de probabilidad, los RQ’s muestran sesgo puesto que suponen que las condiciones de los RQ’s existen en cada ocasión y en cada localidad. Además, los RQ’s se basan en una estimación puntual del efecto (EC50 o NOEC) y no considera las relaciones entre la concentración y el efecto. Es por esto que el enfoque de los RQ es útil solo para los primeros niveles de evaluación o para evaluaciones de riesgo preliminares (Solomon, 2009).

6.2.2. NIVEL II

En el nivel I se consideraron organismos animales de ecosistemas acuáticos y terrestres. En este nivel se realiza la valoración del riesgo por plaguicidas químicos para los diferentes componentes del ambiente y para los humanos. Aquí, las evaluaciones de riesgo se efectúan sobre cinco compartimentos distintos (agua superficial, agua subterránea, suelo, aire y producto vegetal) mediante indicadores de riesgo reportados en la literatura nacional e internacional. En esa medida, los indicadores de riesgo priorizados para la valoración del riesgo son RECAP (Riesgo Ecológico por Aplicación de Plaguicidas), el modelo GUS y el IRR (Índice de Riesgo de Residuos). Estos indicadores tienen la característica de estar disponibles libremente a través de la INTERNET, ser de fácil aplicación y la información requerida es de flexible consecución (para más detalle ver Capítulo 4 y 5).

Modelo RECAP⁹ (Adaptado de Jerez *et al.* 2006)

⁹ El modelo RECAP se encuentra anexo en medio digital como un archivo de aplicación de Microsoft Office Excel.

Consta de cinco índices de riesgo, tres de ellos para evaluar riesgo agudo de los compartimentos ambientales agua superficial, suelo epigeo y suelo hipogeo; y otros dos para evaluar el riesgo ambiental crónico o de largo plazo en los compartimentos ambientales suelo epigeo y suelo hipogeo. Los sistemas ecológicos de suelo epigeo están constituidos por organismos cuyos ciclos vitales se desarrollan en la superficie del suelo, en este caso se utiliza como bioindicadores abejas, aves y mamíferos. Por otra parte, el sistema hipogeo se conforma por organismos cuyo ciclo vital se desarrolla predominantemente bajo el suelo hasta los 50 cm. de profundidad, en este caso se utiliza como bioindicadores la lombriz de tierra y mamíferos. En la evaluación del nivel de riesgo agudo para organismos de aguas superficiales se utilizan como bioindicadores: algas, *Daphnia* y peces. De otro lado, el indicador puede ser útil al comparar los distintos plaguicidas y dosis utilizadas.

Se debe considerar que la magnitud de riesgo es intrínsecamente siempre un valor probabilístico, como por ejemplo, la probabilidad que un organismo se exponga a una cierta dosis de plaguicida. Por lo tanto, el presente indicador establece una categorización de estos niveles de riesgo (probabilísticos) considerando rangos de magnitud. Por ello, los indicadores han sido estandarizados a una escala de 0 a 100, a fin de facilitar la evaluación del efecto de los plaguicidas sobre los distintos compartimentos y son categorizados en cinco niveles. Los niveles son Nulo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. La categorización del riesgo tiene por objetivo facilitar la comparación del riesgo ambiental de la aplicación de plaguicidas. En la **Tabla 58** se muestra los niveles que sirven para categorizar el nivel de riesgo de los ingredientes activos en cada uno de los índices considerados.

Tabla 58. Clasificación de riesgo ambiental de los plaguicidas para los diferentes ecosistemas considerados en el indicador RECAP.

Nivel de riesgo	Ecosistema índice				
	PRIHS 1	PRIHS 2	PRIES 1	PRIES 2	PRISW 1
Imperceptible (Nulo*)	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Bajo	>5 <15	>5 <15	>5 <15	>5 <15	>5 <15
Medio	>15 <40	>15 <30	>15 <50	>15 <40	>15 <40
Alto	>40 <60	>30 <50	>50 <70	>40 <70	>40 <80
Muy Alto	> 60	> 50	> 70	> 70	> 80

Según la tabla anterior, en cada uno de los ecosistemas (ya sea hipogeo, epigeo o de agua superficial) el nivel de riesgo es valorado de acuerdo a una escala preestablecida. Esta característica permite conocer cuál ecosistema está siendo más afectado y por lo tanto, hacia donde dirigir estudios de mayor profundidad en la caracterización del riesgo y de los efectos adversos. Se debe tener en cuenta que ninguno de los índices arroja un valor de riesgo como tal, más bien, se obtiene una valoración cualitativa que puede orientar la continuidad del proceso de ERA.

Los indicadores utilizados incorporados en el indicador RECAP se describen a continuación:

Índice de Riesgo Ambiental Agudo en Ecosistema Hipogeo PRIHS-1

El índice *PRISH-1* valora el riesgo ambiental agudo para organismos no objeto de control inmediatamente después de la aplicación del plaguicida. El índice evalúa el riesgo ambiental para especies del ecosistema hipogeo para lo cual evalúa la concentración del plaguicida en los primeros 5 cm de suelo. El índice evalúa el riesgo ambiental comparando la LC50 (para lombrices) y la LD50 (para ratones) con la CAE, es decir se realiza el cálculo de la TER, que es la relación entre la toxicidad y la exposición por un organismo a un plaguicida. Los valores obtenidos de TER son transformados a una escala de evaluación y finalmente se calcula el valor del índice PRIHS-1 (**Tabla 59**).

Tabla 59. Puntaje para categorías de PRIHS-1 en base a valores TER.

Cálculo de la CAE (mg/kg)	Lombrices		Mamíferos		Cálculo de PRIHS-1
	(A)		(B)		
$CAE_1 = \frac{D \left(\frac{g \text{ i.a.}}{ha} \right)}{(500 \times Dap)}$ <p><i>D</i>=dosis <i>Dap</i>=densidad aparente del suelo 500= 10,000 m²x0,05 cm</p>	(LC ₅₀ /CAE)	Puntaje	(LD ₅₀ /CAE)	Puntaje	$PRIHS1 = (A \times 10,5) + (B \times 2)$
	>1000	0	>1000	0	
	1000 – 100	1	1000 – 100	1	
	100 – 10	2	100 – 10	2	
	10 – 1	4	10 – 1	4	
< 1	8	< 1	8		

Índice de Riesgo Ambiental Crónico en Ecosistema Hipogeo PRIHS-2

Este índice evalúa el riesgo ambiental crónico para especies hipogeas, en forma similar al *PRISH-1* pero la escala de tiempo cambia, por lo que la CAE considera la degradación del producto a través del tiempo. Al igual que en el caso del índice *PRISH-1* este índice es evaluado con lombrices y mamíferos como indicadores biológicos. Los valores obtenidos de TER son transformados a una escala de evaluación y finalmente se calcula el valor del índice *PRIHS-2* (**Tabla 60**).

Índice de Riesgo Ambiental Agudo en Ecosistema Epigeo PRIES-1

Este índice valora el nivel de riesgo por plaguicidas para los ecosistemas que se desarrollan sobre el suelo. Para su evaluación el índice utiliza tres especies: abejas, aves y mamíferos. Para abejas el puntaje es aplicado sobre el cociente de riesgo (RQ) que corresponde al cociente entre la dosis de aplicación y el LD50(µg/kg). Los puntajes asignados para cada uno de los grupos ecológicos considerados y la forma de cálculo del *PRIES-1* se presentan en la **Tabla 61**.

Índice de Riesgo Ambiental Crónico en Ecosistema Epigeo PRIES-2

Este índice valora el riesgo ambiental considerando un período de tiempo prolongado a fin determinar los efectos crónicos de los plaguicidas. Los puntajes asignados para cada uno de los grupos

ecológicos considerados se observan en la **Tabla 62** y la forma de cálculo del PRIES-2 se muestra en la **ecuación 57**.

$$\text{Ecuación 57. PRIES 2} = ((4 + (2 * T_1) + T_2 + T_3) / 3) * 2.06 * P * DMA$$

En donde:

DMA es la puntuación asignada por dosis de aplicación del plaguicida en el suelo

P es la puntuación asignada por *DT₅₀* que es la vida media del plaguicida en el suelo

T₁ es la puntuación asignada a la concentración tóxica crónica (o NOEL) obtenida para abejas

T₂ es la puntuación asignada a NOEL para aves

T₃ es la puntuación asignada a NOEL para mamíferos

Tabla 60. Puntaje para categorías de PRIHS-2 en base a valores TER*.

Cálculo de la CAE (mg/kg)	Lombrices		Mamíferos		Cálculo de PRIHS-2
	(A)		(B)		
$CAEC = CAE_1 * (1 - e^{-kt}) / kt$ $k = \ln 2 / DT_{50}$	(NOEC / CAEC)	Puntaje	(NOEL / CAEC)	Puntaje	PRIHS2 = (A x 11) + (B x 1,5)
	>1000	0	>1000	0	
	1000 – 100	1	1000 – 100	1	
	100 – 10	2	100 – 10	2	
	10 – 1	4	10 – 1	4	
	< 1	8	< 1	8	

* la descripción de las abreviaturas de la tabla se presenta con detalle en la tabla 59.

Tabla 61. Puntaje para categorías de PRIES-1 en base a valores TER.

Cociente de Riesgo (RQ) para abejas	Abejas		Aves		Mamíferos		Cálculo de PRIES-1
	(A)		(B)		(C)		
$RQ = \frac{D (gi.a./ha)}{LD50 (\mu g/kg)}$ D=dosis de aplicación	(RQ)	Puntaje	(LD ₅₀ /TDI)	Puntaje	(LD ₅₀ /TDI)	Puntaje	PRIES1= (A x 6) + (B x 4) + (C x 2,5)
	< 1	0	>1000	0	>1000	0	
	1 – 10	1	1000 – 100	1	1000 – 100	1	
	10 – 100	2	100 – 10	2	100 – 10	2	
	100 – 1000	4	10 – 1	4	10 – 1	4	
	> 1000	8	< 1	8	< 1	8	

*TDI: Consumo Total Diario (Total Daily Intake, por sus siglas en inglés) en mg/kg peso/día

Tabla 62. Puntaje para categorías de PRIES-2.

Abejas	Aves	Mamíferos	Dosis de aplicación	Persistencia
T ₁	T ₂	T ₃	DMA	P

NOEL	Puntaje	NOEL	Puntaje	NOEL	Puntaje	(DMA) g/ha	Puntaje	DT ₅₀	Puntaje
<0.1	4	<0.1	4	<0.1	4	< 50	1	<10	1
0.1-1	3	0.1-1	3	0.1-1	3	50-200	2	10-30	2
1-10	2	1-10	2	1-10	2	200-1000	3	30-90	3
10-100	1	10-100	1	10-100	1	1000- 10.000	4	90-300	4
> 100	0.1	> 100	0.1	> 100	0.1	> 10000	5	>300	5

El valor NOEL para abejas no está disponible en la literatura para muchos compuestos, por lo que se procedió a calcularlo mediante la **ecuación 58**.

Ecuación 58. $NOEL_{abejas} = LD50_{abejas} / 500$

Índice de Riesgo Ambiental Agudo en Ecosistema de Aguas Superficiales PRISW-1

Este índice evalúa el riesgo ambiental en agua superficial inmediatamente después de la aplicación del plaguicida en un cuerpo de agua de 1 metro de profundidad y ubicado a una distancia de 20 m desde el área en que este ha sido aplicado. Para el cálculo de la CAE se considera que el plaguicida llega al agua a través de deriva. Guardando los criterios del peor escenario se establece que la deriva alcanza el 4% de la masa del plaguicida aplicado, de acuerdo con información de la literatura científica reportada por Ganzelmeyer *et al.* (1995) (**Ecuación 59**). Para el caso del modelo RECAP, la determinación de las concentraciones de plaguicida por escurrimiento superficial está limitada por la falta de información climática, así como de aquella referida al potencial de erosión de los suelos. Por ello, en la evaluación ambiental se ha considerado sólo el plaguicida que se transportaría por deriva; así, la CAE en este caso, se ha hecho igual a la Q_D.

Ecuación 59. $QD = DMA * Df$

Q_D es la cantidad que alcanza el cuerpo de agua debido a la deriva.

DMA es la dosis de plaguicida aplicada.

D_f es la fracción de deriva (que ha sido asumida en 4%; Ganzelmeyer *et al.*, 1995).

Los puntajes asignados para cada uno de los grupos ecológicos considerados se presentan en la **Tabla 63**.

Tabla 63. Puntaje para categorías de PRISW-1.

Algas	Daphnia	Peces	Cálculo de PRISW-1
-------	---------	-------	--------------------

(A)		(B)		(C)		PRISW1= (A x 3) + (B x 4) + (C x 5,5)
(EC ₅₀ / CAE)	Puntaje	(EC ₅₀ / CAE)	Puntaje	(LC ₅₀ / CAE)	Puntaje	
> 10.000	0	> 10000	0	> 10000	0	
10000 – 1000	1	10000 – 1000	1	10000 – 1000	1	
1000 – 100	2	1000 – 100	2	1000 – 100	2	
10 – 100	4	10 – 100	4	10 – 100	4	
2 – 10	6	2 – 10	6	2 – 10	6	
< 2	8	< 2	8	< 2	8	

Índice de Riesgo de Residuos (IRR) de plaguicidas sobre el producto vegetal

El IRR se constituye en un indicador que estima el nivel de riesgo de residuos de plaguicidas sobre el producto vegetal a punto de consumo como una alerta temprana para indicar el riesgo potencial para el consumidor. Este índice es adaptado del Índice de Predicción de la Presencia Potencial de Residuos (IR) y de Residuos Tóxicos (IRT), el cual fue desarrollado por Santiago (2000) en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia. La adaptación realizada excluye la toxicidad y como tal, solo expresa el riesgo de presencia de residuos sobre el producto vegetal. La toxicidad no se tiene en cuenta debido a que el índice (IRT) no contempla la cantidad de producto vegetal, es decir la magnitud de la exposición al contaminante tóxico (Recomendación del Dr. Ronnie Juraske). El cálculo del índice toma en cuenta variables de uso y manejo de los plaguicidas y factores relacionados con las características físicas, químicas y biológicas de cada plaguicida.

El IRR está dado, en general, por dos factores principales. Uno que determina la cantidad de cada plaguicida que se aplica por ciclo de cultivo por agricultor, que se denomina Carga del plaguicida (C) y, está relacionado con las variables de manejo; y otro, que indica el Potencial de Concentración del plaguicida en la planta (PC) y esta dado por las características físicas, químicas y biológicas del compuesto relacionadas con los tejidos grasos y proteicos en la planta. Así, el cálculo del Potencial de Residuos (PR) se realiza según la **ecuación 60**.

$$\text{Ecuación 60. } PR = C * PC$$

La carga del plaguicida se determina según la **ecuación 61**.

$$\text{Ecuación 61. } C = d * f / p$$

$$f = na * (1 + 1/ia) * ma$$

$$ma = (si + sf) / sc$$

donde :

d : dosis (mg i.a./cm²)

f : frecuencia de aplicación ajustada

na : número de aplicaciones por ciclo

ia : intervalo de tiempo (días) que transcurre entre aplicaciones

- ma : momento de aplicación (factor de ajuste)
- si : semana en la que se inician las aplicaciones
- sf : semana en que se finalizan las aplicaciones
- sc : número de semanas para un ciclo de cultivo
- p : tiempo (días) entre la última aplicación y la cosecha

La **frecuencia de aplicaciónajustada** busca hacer precisión en la frecuencia de aplicación de los plaguicidas, puesto que los controles químicos que se realizan durante el ciclo del cultivo no se disponen con una frecuencia estable a lo largo del ciclo, sino que tienden a concentrarse en una fase de éste de acuerdo con el comportamiento de las plagas, las enfermedades o el criterio del productor. El factor $(1+1/ia)$ es un indicador, generalizado, de la acumulación de plaguicida que se podría presentar si el tiempo de degradación o disipación del plaguicida en la planta supera el tiempo que transcurre entre aplicaciones. El momento de aplicación (ma) es un factor que señala la concentración (en el tiempo) de las aplicaciones. Indica que la presencia potencial de residuos puede aumentar o disminuir dependiendo de que las aplicaciones se concentren al final o al comienzo del ciclo del cultivo, respectivamente. Lo anterior está relacionado con la distancia, en tiempo, al momento de la cosecha y con la capacidad de la planta para captar plaguicida debida a su menor o mayor área foliar dependiendo de la fase del cultivo en que se efectúen las aplicaciones.

El **potencial de concentración (PC)** en la planta está dado por la **ecuación 62**.

$$\text{Ecuación 62. } PC = t_{1/2} (PBCP + PBCL)$$

$$t_{1/2} = 0.25 * \text{vidamediaensuelo}$$

$t_{1/2}$ es una medida de la vida media con base en el metabolismo del plaguicida sobre la planta.

$PBCP$ es el potencial de concentración en tejido proteico y $PBCL$ es el potencial de concentración en lípidos. En forma general, su cálculo se realiza según la **ecuación 63**.

$$\text{Ecuación 63. } \text{Log}PBCP = 0.62 \text{Log}Kow + 0.46$$

$$\text{Log}PBCL = \text{Log}Kow$$

Los valores de $PBCP$ y $PBCL$ son un indicador de la posibilidad que tiene los plaguicidas de concentrarse en la planta, relacionada directamente con los valores de Kow de cada plaguicida. Los valores de Kow empleados para los $PBCP$ y $PBCL$ son recalculados por el programa en el caso de compuestos ionizados, como: bases, ácidos y cationes (Nicholls, 1997). El valor de vida media es un indicador del tiempo que puede permanecer biodisponible el compuesto en la planta. De acuerdo con Juraske *et al.* (2007) se utiliza el factor de 0.25 para el cálculo de la vida media en planta ($t_{1/2}$) a partir de la vida media en suelo.

Los valores del IRR se calculan con base en los valores obtenidos de PR de acuerdo con la **Tabla 64**.

Tabla 64. Valoración y equivalencia de los IRR

Cifras significativas del PR	Valor del índice IRR	Interpretación	Valores críticos*
Milésimas o menores	<1	Bajísimo	-
Centésimas	1	Muy Bajo	-
Décimas	2	Bajo	-
Unidad	3	Medio	Crítico
Decenas	4	Alto	Crítico
centenas o mayores	>4	Muy Alto	Crítico

* para efecto del análisis

Indicador GUS

La persistencia y la movilidad se estudian en un esfuerzo por predecir la lixiviación de los plaguicidas en el suelo. La lixiviación en los suelos constituye una preocupación ambiental dado que mediante este proceso es muy probable que el plaguicida se desplace desde el área tratada hacia aguas subterráneas. Por tanto, se ha adaptado un modelo matemático para intentar predecir la lixiviación hacia aguas subterráneas que combina dos parámetros, uno de movilidad, el Koc (Coeficiente de Adsorción de Carbono Orgánico) y otro de persistencia, la vida media en el suelo (DT₅₀) (Gustaffson, 1989), estos valores sirven para calcular un puntaje de ubicuidad en las aguas subterráneas. El modelo se desarrolla según la **ecuación 64**.

$$\text{Ecuación 64. } GUS = \text{Log}_{10} (DT_{50} \text{ suelo}) \times [4 - \text{Log}_{10} (Koc)]$$

Donde:

GUS es el Grado de Difusión hacia Aguas Subterráneas.

Koc es el Coeficiente de Adsorción de Carbono Orgánico = Kd/foc

Kd es el Coeficiente de Adsorción (Agua/suelo)

Foc es el contenido de carbono orgánico

DT50 es la vida media en suelo

El potencial de lixiviación de acuerdo a lo estipulado por Gustaffson en el Groudwater Ubicuity Score de Environmental Toxicology Chem (SETAC) (1989), se considera como se estipula en la **Tabla 65**.

Tabla 65. Potencial de lixiviación estipulado por Gustaffson (1989).

GUS	Potencial de lixiviación
≥ 2.8	Alto
1.8 – 2.8	Moderado
≤ 1.8	No lixivia

La interpretación de este parámetro debe realizarse relacionándolo con la persistencia y sus características físicas y químicas del plaguicida, por ejemplo, si el valor determinado sobrepasa 2.8 y el producto tiene una amplia vida media en agua, planes específicos de monitoreo de aguas subterráneas se deben contemplar en el Plan de Manejo Ambiental para las zonas de mayor uso del producto.

6.2.3. NIVEL III

Luego de identificar los riesgos relevantes en el nivel II, en el nivel III se puede determinar cuáles son los que se requieren precisar en un nivel más exigente de evaluación. Para lograr una caracterización del riesgo en este nivel, se emplean aproximaciones más refinadas sobre el destino ambiental para el cálculo de la concentración ambiental, empleando datos adicionales o información obtenida mediante estudios específicos, los que se conducen en laboratorio simulando situaciones reales. Para la protocolización de estos estudios se recomienda seguir las pautas descritas por la metodología de la EPA. Entre otros estudios se pueden considerar:

- Estudios de destino ambiental que busquen precisar el grado de exposición de los organismos (concentración ambiental) del ecosistema epigeo, hipogeo, agua superficial y agua subterránea con exposiciones a corto y largo plazo.
- Si es el caso, se pueden adelantar estudios de toxicidad aguda y crónica sobre entidades ecológicas de interés, por ejemplo, sobre especies en vía de extinción, especies de potencial interés económico particulares de una región, etc.
- Estudios adicionales de destino ambiental, en laboratorio simulando condiciones de campo.

Si los resultados de los estudios conducen a la conclusión de que un alto nivel de riesgo subsiste para ciertos organismos se recomienda pasar a un último nivel de evaluación. Se debe tener en cuenta que estos estudios implican inversión de tiempo y dinero; por tanto, la ANC y otras partes interesadas juegan un papel importante en el desarrollo de este nivel de evaluación. Además, los profesionales y especialistas en destino y comportamiento ambiental de plaguicidas pertenecientes a las instituciones de investigación pueden apoyar la ejecución de los estudios requeridos.

6.2.4. NIVEL IV

En este último nivel, se busca precisar el perfil toxicológico y dilucidar dudas sobre el comportamiento ambiental del plaguicida en condiciones reales mediante pruebas en campo, las que se han de protocolizar preferentemente siguiendo la metodología recomendada en el Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola (CAN, 2001). En este nivel también se sugieren aproximaciones más sofisticadas mediante modelación de la exposición durante el ciclo de vida de los plaguicidas, incorporando características ambientales de las áreas agrícolas y la fisiología de los cultivos (modelos cultivo-específicos). Estas aproximaciones permiten hacer

seguimiento del nivel de riesgo de los plaguicidas de acuerdo con sus propiedades, los factores de aplicación y las características del sitio de cultivo.

De otro lado, la ANC y otras partes interesadas deben procurar por la evaluación más detallada de las actividades y procedimientos de manejo y reducción del riesgo, fundamentado en un mayor conocimiento del riesgo ambiental. De esta forma determinarán cuáles son las medidas de mitigación, control y monitoreo post-registro y/o post-aplicación apropiados para reducir la probabilidad de que un efecto adverso ocurra en el ecosistema y los humanos. Además, se debe contemplar el desarrollo de un Plan de Manejo Ambiental para los plaguicidas químicos implicados. De igual forma, se debe avanzar en las medidas de regulación que permitan reducir el nivel de riesgo de residuos de plaguicidas en los productos agrícolas cosechados.

6.3. FASE 3: CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

En esta fase se presenta la caracterización y contextualización de los resultados de las fases anteriores, de donde es posible la valoración de efectos adversos sobre los diferentes compartimentos del ambiente o sobre la salud humana, debido a una exposición actual o futura a un compuesto químico. En esta fase se realiza un análisis de los resultados de la ERA (Fases 1 y 2), se consolidan los supuestos, las consideraciones y los puntos sólidos y débiles de la evaluación y, se generan las pautas definitivas para la gestión del riesgo.

En general, involucra la integración de las fases anteriores; en donde debe establecerse un marco para definir la significancia del riesgo, y considerarse todos los supuestos, incertidumbres y juicios científicos provenientes de dichas fases, en la que se debe incluir una discusión tomando en consideración los tipos y magnitudes de los efectos, los patrones espaciales y temporales y la probabilidad de recuperación.

7. VERIFICACIÓN DE LA PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE PLAGUICIDAS EN SISTEMAS HORTOFRUTÍCOLAS DE LA SABANA DE BOGOTÁ

Teniendo en cuenta que la presente propuesta se constituye en una metodología piloto en la evaluación del riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas colombianos, es necesario llevar a cabo una fase de verificación de la misma. En este capítulo, se describe la metodología usada en la verificación de la propuesta metodológica y se efectúa la verificación de la ERA propuesta por medio de tres estudios de caso para algunos cultivos hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá.

7.1. METODOLOGÍA USADA EN LA VERIFICACIÓN DE LA ERA

Aunque la ERA propuesta no permite la estimación de la cantidad de residuos sobre cada compartimento, esta sí permite valorar el nivel de riesgo que representa la aplicación de un determinado plaguicida para los compartimentos de agua, suelo, aire y producto vegetal. Es por esto que resulta importante cuantificar la cantidad de residuos sobre cada compartimento y así, determinar el nivel de riesgo asociado (al comparar estos valores ya sea con los Límites Máximos Residuos (LMR) permisibles u algún otro indicador). El análisis comparativo entre los valores de riesgo estimados a través de la ERA propuesta y los resultados de los análisis de laboratorio permitirá la verificación de esta metodología, la cual puede ser fácilmente adaptada a otros cultivos hortofrutícolas incluso, ubicados en otras zonas geográficas del país, siempre y cuando se tenga en cuenta cada uno de los puntos establecidos en las tres fases de ERA.

Para tal efecto, en el desarrollo de esta investigación se establecieron una serie de muestreos sobre tres matrices o compartimentos importantes: suelo de la capa arable, agua para riego y producto vegetal a punto de cosecha. En la **Tabla 66**, se presentan las localidades y los cultivos preestablecidos para la verificación de la propuesta metodológica. En la misma tabla se presentan los resultados del análisis de residuos de plaguicidas realizados en FYTOLAB (Laboratory for Pesticide and Residue Analysis) en Bélgica, para dos cultivos hortícolas (Espinaca y Lechuga) y dos frutícolas (Fresa y Uchuva).

Por lo menos para uno de los cultivos hortícolas y frutícolas se realizaron muestreos en localidades distintas, con el objetivo de observar las diferencias en respuesta (influenciada por las condiciones de sitio, los factores de uso y manejo de plaguicidas) luego de aplicar la ERA propuesta. Sin embargo, los análisis de laboratorio realizados no reportaron presencia de residuos de plaguicidas comunes a las matrices agua para riego y tejido vegetal (Uchuva y Espinaca). En la matriz de suelo de la capa arable se detectaron residuos del insecticida DDT (1,1,1-Tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)-etano) en el cultivo de Uchuva en el Municipio de Mosquera y en el Municipio de Granada.

Las muestras enviadas a FYTOLAB fueron sometidas a tres tipos de análisis de laboratorio: (1) GMS (Multi-residue method by GC-MSMS for the quantification of pesticides in fruit, vegetables and

potatoes), (2) LMS (Multi-residue method by LC-MSMS for the quantification of pesticides in fruit, vegetables, potatoes and cereals) y (3) Dithiocarbamates. Estos análisis permiten la cuantificación de residuos de plaguicidas en cada una de las muestras de las matrices (suelo, agua y producto vegetal).

Tabla 66. Residuos de plaguicidas químicos encontrados en suelo, agua de riego y tejido vegetal de algunos cultivos hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá.

CULTIVO	LOCALIDAD	MATRIZ	PLAGUICIDAS ENCONTRADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (ppm)	LIMITE MAXIMO DE RESIDUOS (ppm)*
Espinaca	Municipio de Cota	Agua	N**	N	N
		Suelo	Cyprodinil	0.019	--
			Procymidone	0.014	--
			Tetradifon	0.045	--
	Vegetal	Tetradifon	0.059	0.02	
	Municipio de Mosquera	Agua	N	N	N
		Suelo	Chloorpyrifos	0.18	--
			Thiabendazole	0.032	--
			Dieldrin	0.043	--
	Vegetal	N	N	N	
Uchuva	Municipio de Granada	Agua	N	N	N
		Suelo	DDT (SUM) DDE pp 0.050 ppm DDT pp 0.050 ppm	0.10	--
			Dieldrin	0.042	--
			Difenoconazool	0.027	--
			Dimethomorf	0.016	--
		Tebuconazool	0.027	--	
	Vegetal	N	N	N	
	Municipio de Mosquera	Agua	N	N	N
		Suelo	Chloorpyrifos	0.051	--
			DDT (Sum) DDE pp 0.020 ppm DDT pp 0.040 ppm	0.060	--
			Dieldrin	0.063	--
			Imidacloprid	0.025	--
			Metolachloor	0.017	--
Thiamethoxam			0.14	--	
Vegetal	N	N	N		
Lechuga	Municipio de Mosquera	Agua	N	N	N
		Suelo	Chloorpyrifos	0.079	--
		Vegetal	N	N	N
Fresa	Municipio de	Agua	N	N	N

	Facatativá	Suelo	DDT (SUM) DDE pp 0.017 ppm	0.017	--
		Vegetal	Dithiocarbamates	0.12	10
			Pyraclostrobin	0.011	0.5
			Iprodion	0.068	15
			Methamidofos	0.089	0.01
			Chlofentizin	0.010	2
			Carbofuran (sum)	0.72	0.02
			Carbendazin (BCM)	0.046	0.1

* Con base en la reglamentación de la Unión Europea.

** N = no se encontraron residuos plaguicidas para ese cultivo y matriz.

La selección de los cultivos hortofrutícolas a utilizar en la verificación de la presente propuesta metodológica (estudios de caso) se fundamentó de acuerdo con los siguientes criterios:

- Acceso a los datos de manejo agronómico y de los factores de uso y manejo de los plaguicidas.
- Acceso a muestras de cada matriz para la cuantificación de residuos de plaguicidas.
- Reporte de residuos de plaguicidas por lo menos en una de las matrices analizadas

De acuerdo con los anteriores criterios, para la verificación de la presente propuesta metodológica se utilizan los datos obtenidos para el ingrediente activo **Tetradifon** en cultivos de Espinaca en el Municipio de Cota y para **Carbofuran** en el cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá. De otro lado, para verificar la flexibilidad de la propuesta metodológica de ERA en la estimación del nivel de riesgo, se aplica dicha propuesta a plaguicidas que según los resultados del análisis de Laboratorio no alcanzan los LMR y por tanto no representarían un nivel de riesgo significativo, tal es el caso del plaguicida **Carbendazin** en cultivos de fresa en Facatativá (**Tabla 66**).

La verificación de la ERA implica el abordaje de una situación real que permita la aplicabilidad de la metodología propuesta. Para tal hecho, se seleccionaron las tres situaciones expuestas en el párrafo anterior. Para el desarrollo de la verificación se contempla la aplicación de cada una de las tres fases de ERA propuestas en el capítulo 6 a cada uno de los estudios de caso seleccionados.

7.1.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO, AGUA DE RIEGO Y TEJIDO VEGETAL

La estrategia utilizada para realizar la recolección de muestras necesarias para el análisis de residuos de plaguicidas se llevo a cabo sobre las siguientes tres matrices: (1) agua de riego, (2) suelo del cultivo y (3) producto vegetal. El número y el tamaño de las muestras, los cultivos, las zonas muestreadas y el diseño de muestreo, se presentan a continuación:

Número de muestras por lote: 3 muestras compuestas¹⁰, una muestra para cada matriz.

Tamaño de la muestra compuesta: 2 kg. de suelo, 1 kg. de producto vegetal y 1 lt de agua obtenida de la fuente de agua para riego más cerca al cultivo.

Cultivo de espinaca:

- Ubicación: Municipio de Cota (Cundinamarca), Km 2 vía Municipio de Cota – Siberia. Finca Alcalá.
- Sistema de cultivo: a campo abierto.
- Tamaño del lote de Cultivo: 2.500 m² (0.25 ha).
- Estado del cultivo: cosecha.
- Tipo de riego: aspersión
- Fuente de agua para riego: Reservorio de almacenamiento (sobre la superficie del suelo) de agua subterránea.
- Características del reservorio: de aproximadamente 10 m. de diámetro y 3 m. de profundidad, construido artificialmente para el almacenamiento de aguas para riego de cultivos hortícolas. Ubicado en zona de baja altitud con respecto a los cultivos y cerca al sitio de preparación de mezclas de tanque, lo que representa una posible escorrentía de residuos de plaguicidas.
- Profundidad del pozo profundo: 130 m. aproximadamente.
- Toma de la muestra de agua: a una profundidad de 1 m., establecida de acuerdo a profundidad de la boquilla de equipo de bombeo de agua.
- Toma de la muestra de suelo: se tomaron 8 submuestras aleatorias sobre los primeros 20 cm del perfil del suelo.
- Toma de la muestra de producto vegetal: se tomaron hojas de espinaca en forma aleatoria tratando de cubrir el área del cultivo.

Cultivo de Fresa:

- Ubicación: Municipio de Facatativá (Cundinamarca). Vereda Cuatro Esquinas. Finca La Carolina.
- Tamaño del lote de Cultivo: 10.000 m² (1 ha).
- Estado del cultivo: producción o cosecha.
- Tipo de riego: goteo.
- Fuente de agua para riego: Pozo profundo.
- Toma de la muestra de agua: tanque (de concreto) de almacenamiento de agua.
- Toma de la muestra de suelo: se tomaron 8 submuestras aleatorias sobre los primeros 20 cm del perfil del suelo.

¹⁰ Para obtener una muestra compuesta se realiza la toma de submuestras aleatorias dentro del lote de cultivo que posteriormente son mezcladas buscando representar las características del lote. Luego de esta mezcla se toma la cantidad de matriz (muestra compuesta) necesaria para los análisis de laboratorio.

- Toma de la muestra de producto vegetal: se tomaron frutos de fresa en forma aleatoria tratando de cubrir el área del cultivo.

En total se tomaron 15 muestras compuestas para los tres cultivos y los tres sitios bajo estudio durante los días 7, 8 y 9 de Octubre de 2009. Estas muestras se enviaron al laboratorio FYTOLAB (<http://www.fytolab.com/index.php> , Bélgica) el 13 de Octubre de 2009, para el análisis de residuos de plaguicidas. De otro lado, algunas de las muestras de suelo fueron enviadas al Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, para la caracterización físico-química de los mismos.

8. ESTUDIOS DE CASO

8.1. ESTUDIO DE CASO 1: EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE TETRADIFON EN UN CULTIVO DE ESPINACA EN EL MUNICIPIO DE COTA (CUNDINAMARCA).

8.1.1. FASE 1: FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Integración de la información primaria para la evaluación de la pertinencia de la ERA

En esta etapa se pretende evaluar la pertinencia de la ERA en el uso de Tetradifon (4-clorofenil-2,4,5 triclofenil) en un cultivo de Espinaca en el Municipio de Cota (Cundinamarca). Para tal hecho, mediante una entrevista en campo con el agricultor y el operario que realiza las aplicaciones plaguicidas se aplicó el cuestionario propuesto en la **Tabla 54**. Los resultados de este ejercicio se pueden observar en la **Tabla 67**.

De acuerdo con la **Tabla 67** se observa que para el caso de este estudio de caso, los resultados sugieren continuidad en el proceso de ERA debido a que más del 50% de las respuestas obtenidas reflejan e indican un alto grado de exposición a plaguicidas al que están siendo sometidos los compartimentos ambientales y los humanos. Tal grado de exposición se sustenta en las características del sitio de cultivo y en las condiciones de aplicación de los plaguicidas. El uso de productos plaguicidas con categoría toxicológica I y II, la inexistencia de un Plan de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades y de prácticas adecuadas de calibración y aplicación, son razones suficientes que impulsan el proceso de ERA.

Integración de la información para la aplicación de los indicadores de riesgo.

En la misma oportunidad, se realizó una encuesta al agricultor relacionada con la información requerida por los indicadores de riesgo a utilizar en la propuesta de ERA (**Tabla 68**). En la tabla se presenta información relacionada con la ubicación geográfica, el tamaño de la explotación, los rendimientos, además del registro de plaguicidas aplicados durante todo el ciclo de cultivo. La intensidad de aplicación de plaguicidas en este cultivo de Espinaca se puede calificar como baja. Durante todo el ciclo se utilizaron cinco productos plaguicidas, un acaricida, dos insecticidas, un fungicida y un herbicida, que reúnen un total de siete aplicaciones distribuidas durante el periodo de crecimiento y desarrollo del cultivo.

Tabla 67. Resultados del cuestionario aplicado mediante entrevista a productor de Espinaca en el Municipio de Cota (Cundinamarca). Este cuestionario es un insumo importante en la decisión de seguir o no con el proceso de ERA.

	Si	No	Observaciones para el entrevistador
En cuanto al plaguicida químico			
¿Usa productos plaguicidas con categoría toxicológica I y II?	1		Observación en campo.
En cuanto al uso y disposición del plaguicida químico			
¿Ha realizado actividades de entrenamiento y capacitación en manejo de plaguicidas?		1	
¿Ha realizado actividades de entrenamiento y capacitación en buenas prácticas agrícolas?		1	
¿Implementa buenas prácticas agrícolas en su finca?		1	Observación en campo.
¿Posee un plan de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades?		1	
En cuanto a las condiciones de aplicación			
¿Realiza actividades de calibración de los equipos de aplicación del plaguicida?		1	
¿Los equipos de aplicación poseen una adecuada calibración?		1	En este caso, más que realizar la pregunta literalmente se debe profundizar en cómo se lleva a cabo la calibración de los equipos y, según la explicación dar respuesta a la pregunta.
¿Maneja elementos adecuados para medir, como baldes, jarras, balanzas, pipetas y probetas?		1	Observación en campo.
¿Usa agua (para la mezcla) posiblemente contaminada con plaguicidas?	1		Observación en campo.
¿Se realiza la aplicación de plaguicidas con alta frecuencia?		0	Aplicaciones semanales de forma consecutiva.
¿Las aplicaciones de plaguicidas están sujetas a la recomendación de un asistente técnico?		1	
¿Las aplicaciones de plaguicidas están sujetas a las instrucciones de la etiqueta del producto químico?		1	
¿La aplicación de los plaguicidas se realiza por recomendación de otros productores o de manera autónoma?	1		
En cuanto a las características del lote			
¿Realiza aplicaciones de plaguicidas cerca a fuentes de agua?	1		Observación en campo. Se deben respetar las franjas de seguridad de 10 m en aplicación terrestre y de 100 m en aplicación aérea con respecto a cuerpos de agua.
¿Realiza aplicaciones plaguicidas en presencia de vientos fuertes?		0	
¿El cultivo es establecido sobre suelos con bajos contenidos de materia orgánica?		0	Observación en campo, según experiencia técnica.
¿El cultivo es establecido sobre suelos arenosos ó franco-arenosos?		0	Observación en campo, según experiencia técnica.
¿El agua subterránea se encuentra cerca a la capa arable del suelo?		0	Es decir, a menos de 30 metros de profundidad.
Total (Cantidad de 1)		13	

De otro lado, existe información de contexto que resulta muy importante para la evaluación del riesgo. En este caso, se observó que el cultivo de Espinaca fue establecido en un terreno ondulado y con corrientes de agua (rio) cercanas (aprox. 50 m), en donde la escorrentía y los fuertes vientos pueden contribuir a la contaminación de la fuente de agua. Además, cerca al lote de cultivo (aprox. 20 m) se dispuso un reservorio de agua subterránea, elaborado en el suelo con las siguientes dimensiones: 10 m de diámetro y 3 m de profundidad. Justamente a la orilla del reservorio se realiza la preparación de la mezcla plaguicida y el llenado de las aspersoras. Además se observa una inadecuada disposición de los envases vacíos de los plaguicidas. Como se puede ver, es posible que se esté utilizando agua contaminada con plaguicidas en las labores de control de plagas y enfermedades incrementando el riesgo de contaminación de los compartimentos ambientales implicados (aguas superficiales, suelo y aire).

En cuanto a la información secundaria, en la **Tabla 69** se presenta la lista de variables requeridas por los indicadores de riesgo. La información consultada en las base de datos está relacionada con las propiedades físicas y químicas, las características residuales, toxicológicas y ecotoxicológicas del acaricida Tetradifon.

8.1.2. FASE 2: EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

NIVEL I

En el nivel I se establece la relación entre la exposición y el grado de toxicidad del Tetradifon sobre organismos animales terrestres y acuáticos. Por medio de estos organismos indicadores se estima, considerando “el peor escenario”, el nivel de riesgo al que podrían estar expuestos los organismos de los compartimentos suelo, aire y agua superficial asociados al cultivo de Espinaca en el Municipio de Cota. Para llevar a cabo la valoración, se hizo el cálculo de los RQ's para ratas y *Daphnia*, cuyos valores luego fueron comparados con los Niveles de Preocupación (LOC). Como se planteó en la metodología, solo si el RQ es mayor a los LOC se avanza en las siguientes fases la de evaluación del riesgo.

Tabla 68. Información primaria requerida por los indicadores de riesgo a utilizar en la ERA causado por el uso de Tetradifon en un Cultivo de Espinaca en el Municipio de Cota.

Ubicación:		Departamento	Cundinamarca	Municipio	Cota	Vereda	Finca	Alcalá
		Cultivo	Espinaca	Lote	1	Altura (msnm)	Productor	Nestor Cardenas
Fecha de siembra o trasplante:		3 de agosto de 2009			Fecha de primer cosecha:		9 de octubre de 2009	
Número de cosechas:		1						
Ciclo de producción (meses):		2 meses						
Producción por ciclo de cultivo (Ton/lote):		22,5 ton/ha						
Tamaño del lote de cultivo (m ² o has):		2500 m*m						
Tratamiento poscosecha		Ninguno						
Densidad del suelo (gr/c.c.)		0,77 (análisis de laboratorio)						
Producto plaguicida	Dosis aplicada (Cant. P.C.*/Vol. agua/Área)	Primera aplicación (dds ó sds ó ddt ó sdt)**	Frecuencia de aplicación	Número de aplicaciones por ciclo de producción	Aplic. 1 (dds ó sds ó ddt ó sdt)	Aplic. 2 (dds ó sds ó ddt ó sdt)		Periodo de carencia
Tedion V 1.8 EC(Tetradifon)	2 L/200 L de agua	30 dds	10 días	2	30 dds	40 dds		18 días
Monitor Proficol (Metamidofos)	100 c.c./200 L de agua	8 dds	0	1				50 días
Vertimec	50 c.c./200 L de agua	30 dds	10 días	2	30 dds	40 dds		18 días
Dual Gold	60 c.c./20 L	2 dds	0	1				56 días
Ridomil Gold 68 WP	250 gr/200 L	30 dds	0	1				26 días
* P.C. = Producto Comercial. ** dds = días después de la siembra, sds = semanas después de la siembra, ddt = días después del trasplante, sdt = semanas después del trasplante.								
Observaciones: cultivo establecido cerca de corrientes de agua (aprox. 50 m), regado con agua de reservorio en suelo (10 m de diámetro y 3 m de profundidad) con posible contaminación por plaguicidas (al preparar la mezcla).								

Tabla 69. Información secundaria requerida por los indicadores de riesgo en la ERA para los plaguicidas Tetradifon, Carbofuran y Carbendazin.

Indicador de riesgo	Variable	Unidades	Ingrediente activo plaguicida		
			Tetradifon	Carbofuran	Carbendazin
Cociente de riesgo (RQ)	DT50 _{suelo}	Días	112	14	22
	t (Lombriz de tierra)	Días	14	56	14
	EC50 (<i>Daphnia</i>)	mg i.a./L	2	0,0094	0,15
	LC50 (Lombriz de tierra)	mg/kg suelo	5000	224	5,4
	NOEC (Lombriz de tierra)	ppm	0,1	0,84	1,0
Riesgo Ecológico por Aplicación de Plaguicidas (RECAP)	LC50 (Peces)	mg i.a./L	880	0,18	0,44
	LD50 (Ratas)	mg/kg peso	14700	7	10000
	LD50 (Abejas)	µg/kg	11	0,05	756
	LD50 (Aves)	ppm	5000	0,71	2250
	t (Ratas)	Días	700	60	730
	DT50 _{suelo}	Días	112	14	22
	NOEC (Lombriz de tierra)	ppm	0,1	0,84	1,0
	NOEL (Mamíferos, ratas)	ppm	200	0,2	500
	NOEL (Abejas)	ppm	0,022	0,001	1,512
	NOEL (Aves)	ppm	Alto	0,64	212
	TDI (Aves)	mg/kg peso/día	12,5	1,6	615
	TDI (Mamíferos, ratas)	mg/kg peso/día	12,5	0,10	0,02
	EC50 (<i>Daphnia</i>)	mg i.a./L	2	0,0094	0,15
EC50 (Algas)	mg i.a./L	100	6,5	8	
Índice de Riesgo de Residuos (IRR)	Kow (Log)	--	4,61	1,80	0,90
	DT50 _{suelo}	Días	112	14	22
Modelo GUS	Koc	--	100	28	223
	DT50 _{suelo}	Días	112	14	22

En la **Tabla 70** se presentan los resultados del cálculo de los RQ's para organismos animales terrestres y acuáticos debido al uso del plaguicida Tetradifon. El procedimiento detallado del cálculo del RQ para Tetradifon se muestra en el **Anexo 2**.

Tabla 70. Valores de RQ's para organismos animales terrestres y acuáticos y comparación con valores LOC, para el caso del plaguicida Tetradifon en cultivo de Espinaca.

Plaguicida	Organismos terrestres (Lombriz de tierra)						Organismo acuáticos (<i>Daphnia</i>)		
	RQ - Riesgo agudo alto	LOC	RQ>LOC	RQ- Riesgo crónico	LOC	RQ>LOC	RQ - Riesgo agudo alto	LOC	RQ>LOC
Tetradifon	0,000083	0,5	No	3,98	1	Si	3,2	0,5	Si

Según la tabla y teniendo en cuenta la regla de decisión, los resultados sugieren que en los siguientes niveles de la Fase 2 se debe avanzar en la estimación del nivel de riesgo para organismos animales terrestres - manejando el supuesto de riesgo crónico - y para organismos acuáticos. Estos resultados

guardan correlación con los coeficientes y características ecotoxicológicas de Tetradifon, puesto que a pesar de tener una baja toxicidad relativa para organismos terrestres (LC50=5000 mg/kg para Lombriz de tierra), la vida media (DT50=112 días) hace que exista un alto grado de exposición al plaguicida en el largo plazo, lo cual justifica los posteriores niveles de evaluación. De otro lado, el nivel de toxicidad del Tetradifon para organismos animales acuáticos es elevado (EC50=2 mg i.a./L para *Daphnia*), por tanto es inevitable las estimaciones del nivel de riesgo bajo los supuestos de riesgo agudo y crónico para estos organismos en los siguientes niveles de evaluación.

NIVEL II

Resultados de la estimación del riesgo utilizando el modelo RECAP

Los resultados de la evaluación realizada en el nivel I sugieren profundizar en la estimación del nivel de riesgo para los organismos animales acuáticos y para los organismos animales terrestres bajo exposición prolongada al plaguicida. Sin embargo, el modelo RECAP permite la estimación del nivel de riesgo - a través de índices que integran distintos organismos bioindicadores - para el ecosistema hipogeo, epigeo y agua superficial. En la **Tabla 71** se sintetizan las estimaciones del riesgo ambiental realizadas a través del modelo RECAP. Los cálculos detallados para la estimación del riesgo ambiental causado por el uso de Tetradifon en el cultivo de Espinaca se presentan en el **Anexo 3**.

Tabla 71. Valores y calificación de los índices de riesgo ambiental causado por el uso de Tetradifon en un cultivo de Espinaca en el municipio de Cota-Cundinamarca, usando el modelo RECAP.

Tetradifon en Cultivo de Espinaca		
Índice	Valor	Riesgo
PRIHS-1	0,0	Nulo
PRIHS-2	88,0	Muy alto
PRIES-1	16,0	Medio
PRIES-2	77,5	Muy alto
PRISW-1	55,0	Alto

Según la tabla anterior, Tetradifon representa desde niveles de riesgo nulos hasta muy altos para los ecosistemas en consideración. Los mayores niveles de riesgo estimados (muy alto) se presentan cuando se realiza la evaluación del riesgo sobre ecosistemas hipogeo (PRIHS-2) y epigeo (PRIES-2) manejando el supuesto de riesgo crónico. Este primer resultado corrobora las estimaciones realizadas en el Nivel I en donde la exposición prolongada de los organismos terrestres (Lombriz de tierra) a Tetradifon induce un alto nivel de riesgo a efectos adversos.

El índice PRIES-2 utiliza como bioindicadores abejas, aves y ratas y, tiene en cuenta la dosis de aplicación y la persistencia del plaguicida. Como se puede ver, el valor de riesgo estimado (muy alto) mediante este índice establece que el ingrediente activo Tetradifon a largo plazo puede provocar

efectos adversos sobre organismos animales habitando el compartimento aire (p.e. aves, insectos y mamíferos terrestres), siendo la persistencia del acaricida ($DT_{50}=112$ días) una de las variables que más influyen en los resultados de esta estimación.

El índice PRISW-1 evalúa el riesgo ambiental en agua superficial a corto plazo en donde el cálculo de la CAE considera la deriva y el transporte superficial como las principales fuentes de contaminación. Aquí los organismos bioindicadores son peces, algas y *Daphnia* en donde las evaluaciones reportan un alto nivel de riesgo. Mas ahora, es necesario aclarar que el cultivo de Espinaca utilizado en la verificación se encuentra establecido cerca a fuentes de agua (río), lo cual hace que para este escenario el nivel de riesgo estimado sea muy significativo. Como se puede ver, en este caso las características ecotoxicológicas del Tetradifon ponen en riesgo los organismos animales acuáticos, en donde el grado de exposición hace que se recomienden acciones para la reducción y mitigación del nivel de riesgo. Aquí, se evidencia la importancia de contextualizar los resultados de las estimaciones del modelo de tal forma que las recomendaciones a generar sean consistentes.

De otro lado, el modelo RECAP estima un nivel de riesgo nulo para el ecosistema hipogeo a exposiciones cortas a Tetradifon, lo que coincide con las estimaciones realizadas en el Nivel I para organismos terrestres (lombriz de tierra) bajo el supuesto de riesgo agudo. Este resultado está fuertemente influenciado por los altos valores en los coeficientes como la LC_{50} (5.000 ppm para lombrices) y LD_{50} (14.700 ppm para ratones) en exposiciones cortas, es decir que dada la baja toxicidad del plaguicida (categoría toxicológica IV), las exposiciones a corto plazo no representan un nivel de riesgo significativo para los organismos que habitan el ecosistema hipogeo. Para el caso de los organismos del ecosistema epigeo, las exposiciones cortas al plaguicida Tetradifon representa un riesgo a nivel medio.

Finalmente, se puede concluir que de acuerdo con los factores de uso y manejo de Tetradifon, en el cultivo de Espinaca bajo estudio, excepto para los organismos acuáticos, a corto plazo el plaguicida no representa un nivel de riesgo altamente significativo para los organismos del ecosistema hipogeo y epigeo. Sin embargo, las exposiciones a Tetradifon a largo plazo pueden inducir efectos adversos sobre los organismos animales de todos los ecosistemas implicados en el modelo. Por tanto, es recomendable dar inicio a actividades y procedimientos que permitan reducir y mitigar el nivel de riesgo existente.

Indicador del potencial de Lixiviación: Aplicación del Modelo GUS.

Como se consolidó en el Capítulo 6., el modelo GUS desarrollado por Gustaffson (1989) permite estimar el potencial de lixiviación de un plaguicida químico a través del suelo. Al aplicar este modelo para el plaguicida Tetradifon se estimó un alto potencial de lixiviación (**Tabla 72**). Los cálculos detallados para la estimación del potencial de lixiviación de Tetradifon en cultivo de Espinaca se presentan en el **Anexo 4**.

Se debe tener en cuenta que el modelo GUS es una herramienta básica en donde tan solo se considera algunas características y coeficientes del plaguicida (DT_{50} y Koc) más no se tienen en cuenta las características físico-químicas del suelo, los factores de aplicación de plaguicidas y las condiciones ambientales particulares del predio. Sin embargo, el modelo GUS no deja de ser útil, más bien permite estimaciones del riesgo de lixiviación como alertas tempranas que permitan realizar estudios a mayor profundidad.

Tabla 72. Potencial de lixiviación calculado para Tetradifon en un suelo de cultivo de Espinaca en el Municipio de Cota (Cundinamarca).

Cultivo	Plaguicida	DT50suelo	Koc	GUS	Potencial de Lixiviación
Espinaca	Tetradifon	112	100	4,1	Alto

Se debe resaltar que dentro de los indicadores o modelos revisados, se encontraron algunos que permiten estimar la lixiviación de una manera más acorde a la realidad del predio. Sin embargo, las limitantes para aplicar y validar estos modelos son la disponibilidad y consecución de información primaria para alimentar los programas o modelos. Parte de la información requerida implica la consolidación estudios experimentales que implican tiempo e inversión de capital.

Cálculo del Índice de Riesgo de Residuos (IRR) para Tetradifon en el Cultivo de Espinaca

Para el cálculo del índice se tomaron en cuenta las variables de uso y manejo de los plaguicidas y factores relacionados con las características físicas y químicas del plaguicida Tetradifon. Las estimaciones del IRR se presentan de manera detallada en el **Anexo 5**.

Los resultados obtenidos estiman el nivel medio de riesgo de residuos de Tetradifon en Espinaca cosechada (**Tabla 73**). Esta situación puede estar influenciada por factores de aplicación que favorecen una baja exposición del producto vegetal al plaguicida. Dentro de estos factores de aplicación se destacan un bajo número de aplicaciones (dos por ciclo) y un adecuado período de carencia (18 días). Además, el plaguicida posee una relativamente baja vida media de metabolismo en planta (28 días).

Tabla 73. Estimación del IRR de Tetradifon en cultivo de Espinaca en el Municipio de Cota.

Dosis (g i.a./ha)	t 1/2 en planta (días)	Carga Plaguicida (C)	Potencial de Concentración (PC)	Potencial de Residuos (PR)	Índice de Riesgo de Residuos (IRR)	Interpretación
160	28	0,00024	35867	9	3	Medio

A pesar de que la valoración realizada por este índice determina un riesgo medio, los resultados del análisis de laboratorio muestran que el contenido de Tetradifon en el producto vegetal supera el LMR en un factor de 3 (**Tabla 66**). Esta situación puede ser explicada por la presencia de Tetradifon en el suelo (**Tabla 66**) debido a que la historia del lote muestra que continuamente ha sido cultivado con

hortalizas de hoja haciendo que el plaguicida acumulado y disponible en el suelo (asociado a su alta persistencia en suelo, $DT_{50} = 112$ días) sea fácilmente traslocado a la planta.

NIVEL III

Luego de identificar los riesgos relevantes en el nivel II, en el nivel III se puede determinar cuáles son los que se requieren precisar en un nivel más exigente de evaluación. Para lograr una caracterización del riesgo en este nivel, se emplean aproximaciones más refinadas sobre el destino ambiental para el cálculo de la concentración ambiental, empleando datos adicionales o información obtenida mediante estudios específicos, los que se conducen en laboratorio simulando situaciones reales. Para la protocolización de estos estudios se recomienda seguir las pautas descritas por la metodología de la EPA. Entre otros se pueden considerar estudios de destino ambiental que busquen precisar el grado de exposición a Tetradifon de los organismos de los ecosistemas epigeos e hipogeos en condiciones de prolongada exposición y para organismos de aguas superficiales con exposiciones a corto y largo plazo.

Si los resultados de los estudios conducen a la conclusión de que un alto nivel de riesgo subsiste para ciertos organismos se recomienda pasar a un último nivel de evaluación.

NIVEL IV

El procedimiento a realizar en este nivel depende de los resultados de los estudios realizados en el nivel III. Si es el caso, en este nivel se busca precisar el perfil toxicológico y dilucidar dudas sobre el comportamiento ambiental de Tetradifon en condiciones reales mediante pruebas en campo, las que se han de protocolizar preferentemente siguiendo la metodología recomendada en el Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola (CAN, 2001).

De igual forma, se sugieren aproximaciones más sofisticadas mediante modelación de la exposición durante el ciclo de vida del Tetradifon, incorporando características ambientales de las áreas agrícolas y la fisiología del cultivo de la Espinaca (modelos cultivo-específicos). Estas aproximaciones permiten hacer seguimiento del nivel de riesgo de los plaguicidas de acuerdo con sus propiedades, los factores de aplicación y las características del sitio de cultivo.

De otro lado, la ANC y otras partes interesadas deben procurar por la evaluación más detallada de las actividades y procedimientos de manejo y reducción del riesgo, fundamentado en un mayor conocimiento del riesgo ambiental. De esta forma determinarán cuáles son las medidas de mitigación, control y monitoreo post-registro y/o post-aplicación apropiados para reducir la probabilidad de que un efecto adverso ocurra en el ecosistema (ya sea hipogeo, epigeo, agua superficial o agua subterránea). Si es el caso, se debe contemplar el desarrollo de un Plan de Manejo Ambiental para Tetradifon en el Cultivo de Espinaca en el Municipio de Cota.

8.1.2. FASE 3: CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO.

El nivel de riesgo para los humanos y para el ambiente está en función del grado de toxicidad del contaminante y de la intensidad de exposición al mismo. En este estudio de caso, principalmente la intensidad de la exposición al plaguicida es un factor determinante del nivel de riesgo. Como es sabido, Tetradifón es un plaguicida catalogado como categoría toxicológica IV (ligeramente tóxico). A pesar de esto, su relativamente alta vida media de degradación en suelo (DT50=112 días) hace que la aplicación del plaguicida - en condiciones del estudio de caso - represente un nivel de riesgo medio para los humanos (mediante el consumo de espinaca contaminada) y muy alto para organismos terrestres. Dentro de las condiciones que puede agravar esta situación se destaca la aplicación del plaguicida cerca de corrientes de agua, el uso de agua de fuentes posiblemente contaminadas, la inadecuada disposición de los envases vacíos, el uso continuo del producto químico cultivo tras cultivo en el mismo sitio y, la inadecuada calibración, preparación de la mezcla y aplicación de Tetradifón. Por tanto y teniendo en cuenta los anteriores aspectos, se precisa que la intensidad de exposición del ambiente y los humanos - debido a la persistencia de Tetradifon - se convierte en uno de los factores más indicativos del nivel de riesgo para los humanos y organismos del ambiente.

Los resultados obtenidos, más que constituirse en una alerta para la ANC, hace un llamado muy importante a realizar acciones que permitan prevenir y mitigar el nivel de riesgo de efectos adversos al que están expuestos los humanos y el ambiente, además de promover estudios de comportamiento ambiental y perfil toxicológico del plaguicida en condiciones de la Sabana de Bogotá. En otras palabras, a corto plazo se recomienda procurar una reducción de la intensidad de exposición del ambiente y los humanos al plaguicida Tetradifon mediante su uso racionalizado de acuerdo a un Plan de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (que implica la rotación de ingredientes activos, adecuada preparación de la mezcla y calibración, etc.). A largo plazo, se recomienda adelantar estudios de destino y comportamiento ambiental de Tetradifon, así como determinar el perfil toxicológico de este plaguicida bajo condiciones de la Sabana de Bogotá e implementar una estrategia de seguimiento que retroalimente la gestión del riesgo.

Se debe recalcar que la presente ERA opera de acuerdo con la disponibilidad de información en el país. En este caso, se utilizaron algunos datos que no son producto de evaluaciones realizadas bajo las condiciones ambientales de la Sabana de Bogotá o por lo menos del país, tal es el caso de los valores de vida media de degradación en suelo de los plaguicidas. Sin embargo y debido a que la propuesta tiende a ser conservativa, se utilizan los datos reportados en la literatura como aproximaciones acertadas para el estudio.

Otro punto a tener en cuenta, es que los indicadores de riesgo no contemplan algunas otras variables que pueden influir en el grado de exposición al plaguicida tales como las propiedades y características del suelo, la frecuencia de aplicación (excepto el IRR), las condiciones climáticas, el histórico de aplicaciones, entre otras. Sin embargo y a pesar de existir indicadores que permiten incluir estas variables, es probable que al tenerlas en cuenta la estimación del nivel de riesgo se torne

compleja y poco flexible para ser aplicada a los distintos cultivos hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá y por personas con baja capacitación. Es por tal razón, que en los últimos niveles de evaluación de la Fase 2 se propone el desarrollo o aplicación de metodologías o indicadores que permitan una mejor estimación del nivel de riesgo para los humanos y el ambiente.

8.2. ESTUDIO DE CASO 2: EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE CARBOFURAN EN UN CULTIVO DE FRESA EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ (CUND.)

8.2.1. FASE 1: FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Integración de la información primaria para la evaluación de la pertinencia de la ERA

En esta etapa se pretende evaluar la pertinencia de la ERA en el uso de Carbofuran en un cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá (Cundinamarca). Para tal hecho, mediante una entrevista en campo con el agricultor y el operario que realiza las aplicaciones plaguicidas se aplicó el cuestionario propuesto en la **Tabla 54**. Los resultados de este ejercicio se pueden observar en la **Tabla 74**.

De acuerdo con la **Tabla 74** se observa que para el caso de este estudio de caso, los resultados sugieren continuidad en el proceso de ERA debido a que más del 50% de las respuestas obtenidas reflejan e indican un alto grado de exposición a plaguicidas al que están siendo sometidos los compartimentos ambientales y los humanos. Tal grado de exposición se sustenta en las características del sitio de cultivo y en las condiciones de aplicación de los plaguicidas. El uso de productos plaguicidas con categoría toxicológica I y II, la inexistencia de un Plan de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades y la alta frecuencia de aplicación de los plaguicidas, son razones suficientes que impulsan el proceso de ERA en el Cultivo de Fresa.

Integración de la información para la aplicación de los indicadores de riesgo.

En la misma oportunidad, se realizó una encuesta al agricultor relacionada con la información requerida por los indicadores de riesgo a utilizar en la propuesta de ERA (**Tabla 75**). En la tabla se presenta información relacionada con la ubicación geográfica, el tamaño de la explotación, los rendimientos, además del registro de plaguicidas aplicados durante todo el ciclo de cultivo. La intensidad de aplicación de plaguicidas en este cultivo de Fresa se puede calificar como alta. Con mayor frecuencia se utilizaron seis productos plaguicidas, tres insecticidas y tres fungicidas, que reúnen un total de 66 aplicaciones distribuidas durante el ciclo del cultivo. Además, la mayoría de los plaguicidas usados no se encuentran registrados ante el ICA para ser utilizados en el cultivo de Fresa.

Tabla 74. Resultados del cuestionario aplicado mediante entrevista a productor de Fresa en el Municipio de Facatativá (Cundinamarca). Este cuestionario es un insumo importante en la decisión de seguir o no con el proceso de ERA.

	Si	No	Observaciones para el entrevistador
En cuanto al plaguicida químico			
¿Usa productos plaguicidas con categoría toxicológica I y II?	1		Observación en campo.
En cuanto al uso y disposición del plaguicida químico			
¿Ha realizado actividades de entrenamiento y capacitación en manejo de plaguicidas?	0		
¿Ha realizado actividades de entrenamiento y capacitación en buenas prácticas agrícolas?		1	
¿Implementa buenas prácticas agrícolas en su finca?		1	
¿Posee un plan de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades?		1	
En cuanto a las condiciones de aplicación			
¿Realiza actividades de calibración de los equipos de aplicación del plaguicida?	0		
¿Los equipos de aplicación poseen una adecuada calibración?	0		En este caso, más que realizar la pregunta literalmente se debe profundizar en cómo se lleva a cabo la calibración de los equipos y, según la explicación dar respuesta a la pregunta.
¿Maneja elementos adecuados para medir, como baldes, jarras, balanzas, pipetas y probetas?	0		Observación en campo.
¿Usa agua (para la mezcla) posiblemente contaminada con plaguicidas?		0	Observación en campo.
¿Se realiza la aplicación de plaguicidas con alta frecuencia?	1		Aplicaciones semanales de forma consecutiva.
¿Las aplicaciones de plaguicidas están sujetas a la recomendación de un asistente técnico?		1	
¿Las aplicaciones de plaguicidas están sujetas a las instrucciones de la etiqueta del producto químico?		1	
¿La aplicación de los plaguicidas se realiza por recomendación de otros productores o de manera autónoma?	1		
En cuanto a las características del lote			
¿Realiza aplicaciones de plaguicidas cerca a fuentes de agua?		0	Observación en campo. Se deben respetar las franjas de seguridad de 10 m en aplicación terrestre y de 100 m en aplicación aérea con respecto a cuerpos de agua.
¿Realiza aplicaciones plaguicidas en presencia de vientos fuertes?	1		
¿El cultivo es establecido sobre suelos con bajos contenidos de materia orgánica?		0	Observación en campo, según experiencia técnica.
¿El cultivo es establecido sobre suelos arenosos ó franco-arenosos?	1		Observación en campo, según experiencia técnica.
¿El agua subterránea se encuentra cerca a la capa arable del suelo?		0	Es decir, a menos de 30 metros de profundidad.
Total (Cantidad de 1)	10		

De otro lado, existe información de contexto que resulta muy importante para la evaluación del riesgo. En este caso, se observó que el cultivo de Fresa fue establecido en un terreno relativamente plano y sin presencia de fuentes o corrientes de agua cercanas. En el lote se presentan fuertes vientos, los cuales no son tenidos en cuenta en la aplicación de plaguicidas. El agua para la preparación de la mezcla es tomada de pozo profundo (100 m de profundidad aproximadamente) y almacenada en un tanque de concreto. De otro lado, se observa una adecuada disposición de los productos plaguicidas una bodega, sin embargo, la disposición final de los envases no se efectúa según el procedimiento correcto, los cuales es común observarlos en las orillas de los lotes de cultivo.

En cuanto a la información secundaria, en la **Tabla 69** se presenta la lista de variables requeridas por los indicadores de riesgo. La información consultada en las base de datos está relacionada con las propiedades físicas y químicas, las características residuales, toxicológicas y ecotoxicológicas del insecticida Carbofuran.

8.2.2. FASE 2: EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

NIVEL I

En el nivel I se establece la relación entre la exposición y el grado de toxicidad del Carbofuran sobre organismos animales terrestres y acuáticos. Por medio de estos organismos indicadores se estima, considerando “el peor escenario”, el nivel de riesgo al que podrían estar expuestos los organismos de los compartimentos suelo, aire y agua superficial asociados al cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá. Para llevar a cabo la valoración, se hizo el cálculo de los RQ's para ratas y *Daphnia*, cuyos valores luego fueron comparados con los Niveles de Preocupación (LOC). Como se planteó en la metodología, solo si el RQ es mayor a los LOC se avanza en las siguientes fases la de evaluación del riesgo.

En la **Tabla 76** se presentan los resultados del cálculo de los RQ's para organismos animales terrestres y acuáticos debido al uso del plaguicida Carbofuran. El procedimiento detallado del cálculo del RQ para Carbofuran se muestra en el **Anexo 6**.

Tabla 76. Valores de RQ's para organismos animales terrestres y acuáticos y comparación con valores LOC, para el caso del plaguicida Carbofuran en el cultivo de Fresa.

Plaguicida	Organismos terrestres (Lombriz de tierra)						Organismo acuáticos (<i>Daphnia</i>)		
	RQ - Riesgo agudo alto	LOC	RQ>LOC	RQ- Riesgo crónico	LOC	RQ>LOC	RQ - Riesgo agudo alto	LOC	RQ>LOC
Carbofuran	0,0019	0,5	No	0,17	1	No	1404	0,5	Si

Tabla 75. Información primaria requerida por los indicadores de riesgo a utilizar en la ERA en el uso de Carbofuran en un cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá (Cundinamarca).

DATOS GENERALES											
Ubicación:	Departamento	Cundinamarca	Municipio	Facatativá	Vereda	4 esquinas	Finca	La carolina			
	Cultivo	Fresa	Lote	1	Altura		Productor	Jorge Arenas			
Fecha de siembra o trasplante:	Junio de 2009			Fecha de primer cosecha:			Septiembre de 2009				
Número de cosechas:											
Ciclo de producción (meses):	2 años			Producción por ciclo (Ton/lote):							
Tamaño del lote de cultivo (m ²):	10000										
Tratamiento poscosecha	Ninguno										
Densidad del suelo (gr/c.c.)	1,54										
DATOS DE APLICACIÓN DE PLAGUICIDAS											
Producto plaguicida	Dosis aplicada (Cant. P.C.*/Vol. agua/Área)	Primera aplicación (dds ó sds ó mdt ó sdt)**	Frecuencia de aplicación	Número de aplicaciones por ciclo de producción	Aplic. 1 (mdt)	Aplic. 2 (mdt)	Aplic. 3 (mdt)	Aplic. 4 (mdt)	Aplic. 5 (mdt)	Aplic. 6 (mdt)	Período de carencia
Bulldock 125 SC	200 cc/200 L de agua	4 mdt	15 días	5	4 mdt	4,5 mdt	5 mdt	5,5 mdt	6 mdt		
Monitor Proficol (Metamidofos)	100 c.c./200 L de agua	7 mdt	16 días	6	7 mdt	7,5 mdt	8 mdt	8,5 mdt	9 mdt	9,5 mdt	
Ortocide (Captan)	300 cc/200 L	2 mdt	17 días	10	2 mdt	2,5 mdt	3 mdt	3,5 mdt	4 mdt	4,5 mdt	
Iprodion 50 WP	200 gr/200 L de agua	8 mdt	18 días	5	8 mdt	8,5 mdt	9 mdt	9,5 mdt	10 mdt		
Carbendazim o Derosal 500 SC	1 L/200 L	10 mdt	15 días	20	10 mdt	10,5 mdt	11 mdt	11,5 mdt	12 mdt	12,5 mdt	1 día
Carbofuran 330 SC	1 L/200 L	10 mdt	15 días	20	10 mdt	10,5 mdt	11 mdt	11,5 mdt	12 mdt	12,5 mdt	1 día
* P.C. = Producto Comercial. **, sds = semanas después de la siembra, mdt = meses después del trasplante, sdt = semanas después del trasplante.											

Según la **Tabla 76** y teniendo en cuenta la regla de decisión, los resultados sugieren que en los siguientes niveles de la Fase 2 se debe avanzar en la estimación del nivel de riesgo para organismos animales acuáticos manejando los supuestos de riesgo agudo y crónico, es decir, se debe valorar el nivel de riesgo de efectos adversos para organismos acuáticos en el corto y largo plazo respectivamente.

Estos resultados guardan correlación con los coeficientes y características ecotoxicológicas de Carbofuran, puesto que a pesar de tener una toxicidad aguda relativamente media para organismos terrestres (LC50=224 mg/kg para Lombriz de tierra), la vida media (DT50=14 días) hace que el grado de exposición al plaguicida en el corto plazo sea bajo. Para el caso de toxicidad crónica (NOEC=0,84 para Lombriz de tierra), que se puede calificar como alta, el mismo hecho de que el plaguicida tenga un vida media degradación baja hace que el nivel de riesgo se reduzca debido al corto tiempo de exposición. En el caso de los organismos animales acuáticos se observa que en el corto plazo el plaguicida Carbofuran puede representar un alto nivel de riesgo, el cual esta asociado a los valores de toxicidad presentados para el bioindicador (EC50=0,0094 mg i.a./L para *Daphnia*). En este contexto, es inevitable las estimaciones del nivel de riesgo bajo los supuestos de riesgo agudo y crónico para los organismos acuáticos en los siguientes niveles de evaluación. De igual forma, se sugiere la valoración del nivel de riesgo para bioindicadores terrestres del ecosistema epigeo, en donde la exposición al plaguicida - mediada por los fuertes vientos presentados en el lote de cultivo - puede incrementar el nivel de riesgo de efectos adversos para los organismos de estos ecosistemas.

NIVEL II

Resultados de la estimación del riesgo utilizando el modelo RECAP

Los resultados de la evaluación realizada en el nivel I sugieren profundizar en la estimación del nivel de riesgo para los organismos animales acuáticos. Sin embargo y atendiendo a la anterior sugerencia, por medio del modelo RECAP se realiza la estimación del nivel de riesgo - a través de índices que integran distintos organismos bioindicadores - para el ecosistema hipogeo, epigeo y agua superficial. En la **Tabla 77** se sintetizan las estimaciones del riesgo ambiental realizadas a través del modelo RECAP. Los cálculos detallados para la estimación del riesgo ambiental causado por el uso de Carbofuran en el cultivo de Fresa se presentan en el **Anexo 7**.

Según la tabla anterior, Carbofuran representa desde niveles bajos hasta muy altos de riesgo para los ecosistemas en consideración. Los mayores niveles de riesgo (muy alto) estimados se presentan cuando se realiza la evaluación del riesgo sobre los ecosistemas hipogeo y epigeo que están sometidos a prolongadas exposiciones al plaguicida. Aunque en el cálculo de PRIHS-1 (Ecosistema hipogeo, bajo exposición aguda) y PRIHS-2 (Ecosistema hipogeo, bajo exposición crónica) se utilicen los mismo organismos indicadores (lombriz de tierra y ratones), en estos dos índices se obtuvieron distintos valores de riesgo (bajo y muy alto, respectivamente), lo que sugiere que la exposición

prolongada a Carbofuran constituye un riesgo importante para los organismos animales que habitan en el ecosistema hipogeo.

Tabla 77. Valores y calificación de los índices de riesgo ambiental causado por el uso de Carbofuran en un cultivo de Fresa en el municipio de Facatativá-Cundinamarca, usando el modelo RECAP.

Carbofuran en Cultivo de Fresa		
Índice	Valor	Riesgo
PRIHS-1	14,5	Bajo
PRIHS-2	50,0	Muy alto
PRIES-1	61,0	Alto
PRIES-2	74,2	Muy alto
PRISW-1	100,0	Muy alto

El valor de riesgo estimado para el ecosistema de aguas superficiales también es muy alto. Sin embargo, en la práctica este riesgo no representaría una señal de alarma, dado que el uso de estos plaguicidas ocurre en sistemas de cultivos (ecosistema terrestre) distantes de fuentes o corrientes de agua.

De igual forma, las estimaciones del riesgo para las especies que viven sobre la superficie del suelo (ecosistema epigeo) (**PRIES-1** y **PRIES-2**), tienen un comportamiento un poco similar al obtenido en el ecosistema hipogeo (alto y muy alto, respectivamente), en donde las diferencias en los valores de riesgo están en función del grado de exposición al que pueden estar dichas especies. Aunque los organismos indicadores utilizados en el cálculo de estos dos índices no incluyen diversidad de artrópodos, es probable que los efectos adversos se incrementen debido a las características insecticidas del compuesto plaguicida. Además, se debe considerar las condiciones del lote en cuanto a los fuertes vientos, los cuales pueden influenciar las condiciones de exposición de los organismos terrestres al plaguicida.

Finalmente se puede concluir que de acuerdo con la estimación realizada a través del modelo RECAP el compuesto plaguicida Carbofuran representa un nivel de riesgo muy alto para los ecosistemas de aguas superficiales y para los ecosistemas epigeos e hipogeos, principalmente cuando sus organismos están expuestos de manera prolongada. Esta exposición se incrementa cuando en el cultivo se presenta una alta frecuencia de aplicación de este producto plaguicida.

Indicador del potencial de Lixiviación: Aplicación del Modelo GUS.

Como se consolidó en el Capítulo 6., el modelo GUS desarrollado por Gustaffson (1989) permite estimar el potencial de lixiviación de un plaguicida químico a través del suelo. Al aplicar este modelo para el plaguicida Carbofuran se estimó un alto potencial de lixiviación (**Tabla 78**). Los cálculos detallados para la estimación del potencial de lixiviación de Carbofuran en cultivo de Fresa se presentan en el **Anexo 8**.

Se debe tener en cuenta que el modelo GUS es una herramienta básica en donde tan solo se considera algunas características y coeficientes del plaguicida (Koc y DT₅₀) más no se tienen en cuenta las características físico-químicas del suelo, los factores de aplicación de plaguicidas y las condiciones ambientales particulares del predio. Sin embargo, el modelo GUS no deja de ser útil, más bien permite estimaciones del riesgo de lixiviación como alertas tempranas que permitan realizar estudios a mayor profundidad.

Tabla 78. Potencial de lixiviación calculado para Carbofuran en un suelo de cultivo de Fresa en el Municipio de Facativá (Cundinamarca).

Plaguicida	DT50suelo	Koc	GUS	Potencial de Lixiviación
Carbofuran	14	28	2,9	Alto

A pesar que el acuífero se encuentra a más de 100 m de profundidad y del alto contenido de materia orgánica del suelo, el nivel de riesgo no deja de ser importante. Se debe tener en cuenta que la alta frecuencia de aplicación de Carbofuran, la textura del suelo (Francoarenoso) y el bajo valor de Koc del plaguicida son aspectos que tienden a incrementar el nivel de riesgo de lixiviación del Carbofuran hacia el agua subterránea.

Cálculo del Índice de Riesgo de Residuos (IRR) para Carbofuran en el Cultivo de Fresa

Para el cálculo del índice se tomaron en cuenta las variables de uso y manejo de los plaguicidas y factores relacionados con las características físicas y químicas del plaguicida Carbofuran. Las estimaciones del IRR se presentan de manera detallada en el **Anexo 9**.

Los resultados obtenidos estiman un alto nivel de riesgo de residuos de Carbofuran en Fresa cosechada (**Tabla 79**). A pesar de que Carbofuran posee una baja vida media de metabolismo en planta (4 días) existen factores de aplicación que favorecen una alta exposición del producto vegetal al plaguicida. Dentro de estos factores se destaca un alto número de aplicaciones (66 por ciclo) y un inadecuado período de carencia (1 día). Aquí se refleja la necesidad de fortalecer las estrategias que permitan el uso controlado y adecuado de los plaguicidas en los cultivos agrícolas.

La estimación del riesgo del potencial de residuos realizada mediante esta propuesta metodológica es corroborada por los resultados del análisis de residuos de plaguicidas llevado a cabo sobre el producto vegetal por FYTOLAB. Mediante Cromatografía Líquida de Masas se logró determinar 0,72 ppm (partes por millón) del ingrediente activo Carbofuran y sus metabolitos. Este valor al compararse con el Límite Máximo de Residuos (LMR) permitido por la Unión Europea (0,02 ppm), se observa que lo excede en más de 36 veces, reflejando contenidos de residuos de Carbofuran relativamente altos en comparación con los niveles permitidos.

Tabla 79. Estimación del IRR de Carbofuran en cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá.

Dosis (g i.a./ha)	t 1/2 en planta (días)	Carga Plaguicida (C)	Potencial de Concentración (PC)	Potencial de Residuos (PR)	Índice de Riesgo de Residuos (IRR)	Interpretación
330	4	0,08800	381	34	4	Alto

NIVEL III

Luego de identificar los riesgos relevantes en el nivel II, en el nivel III se puede determinar cuáles son los que se requieren precisar en un nivel más exigente de evaluación. Para lograr una caracterización del riesgo en este nivel, se emplean aproximaciones más refinadas sobre el destino ambiental para el cálculo de la concentración ambiental, empleando datos adicionales o información obtenida mediante estudios específicos, los que se conducen en laboratorio simulando situaciones reales. Para la protocolización de estos estudios se recomienda seguir las pautas descritas por la metodología de la EPA.

Entre otros estudios se pueden considerar estudios de destino ambiental que busquen precisar el grado de exposición a Carbofuran de los organismos del ecosistema epigeo, hipogeo, de agua superficial y de agua subterránea, con exposiciones a corto y largo plazo. Si los resultados de los estudios conducen a la conclusión de que un alto nivel de riesgo subsiste para ciertos organismos se recomienda pasar a un último nivel de evaluación.

NIVEL IV

El procedimiento a realizar en este nivel depende de los resultados de los estudios realizados en el nivel III. Si es el caso, en este nivel se busca precisar el perfil toxicológico y dilucidar dudas sobre el comportamiento ambiental de Carbofuran en condiciones reales mediante pruebas en campo, las que se han de protocolizar preferentemente siguiendo la metodología recomendada en el Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola (CAN, 2001).

De igual forma, se sugieren aproximaciones más sofisticadas mediante modelación de la exposición durante el ciclo de vida de Carbofuran, incorporando características ambientales de las áreas agrícolas y la fisiología del cultivo de Fresa (modelos cultivo-específicos). Estas aproximaciones permiten hacer seguimiento del nivel de riesgo de los plaguicidas de acuerdo con sus propiedades, los factores de aplicación y las características del sitio de cultivo.

Según los resultados del IRR, se recomienda avanzar en las medidas de regulación que permitan reducir el nivel de riesgo de residuos de Carbofuran en el producto agrícola cosechado (Fresa).

De otro lado, la ANC y otras partes interesadas deben procurar por la evaluación más detallada de las actividades y procedimientos de manejo y reducción del riesgo, fundamentado en un mayor conocimiento del riesgo ambiental. De esta forma determinarán cuáles son las medidas de mitigación,

control y monitoreo post-registro y/o post-aplicación apropiados para reducir la probabilidad de que un efecto adverso ocurra en el ecosistema. Además, se debe contemplar el desarrollo de un Plan de Manejo Ambiental para Carbofuran en el Cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá.

8.2.3. FASE 3: CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO.

El nivel de riesgo para los humanos y para el ambiente está en función del grado de toxicidad del contaminante y de la intensidad de la exposición al mismo. En este estudio de caso, de igual forma la intensidad de la exposición es un factor determinante del nivel de riesgo. El plaguicida Carbofuran es un insecticida de corta vida media (DT50= 14 días), sin embargo, su toxicidad alta (categoría I, extremadamente tóxico) hace que la aplicación del plaguicida - en condiciones del estudio de caso – represente un nivel de riesgo alto y muy alto para organismos terrestres y acuáticos especialmente cuando se presentan prolongadas exposiciones debido a una alta frecuencia de aplicación del plaguicida en el cultivo de fresa. Contrario al estudio de caso anterior, en donde la intensidad de exposición es representada por la persistencia del plaguicida, en este caso, es la alta frecuencia de aplicación la variable más influyente. Esta situación da sustento a iniciativas de promoción de políticas que velen por el cumplimiento de la normatividad relacionada con la adecuada aplicación de los plaguicidas químicos en sistemas agrícolas.

La alta frecuencia de aplicación del plaguicida (principal razón), la textura del suelo (franco arenoso), bajos valores del coeficiente de sorción a carbono del producto químico (a pesar de que el suelo tiene un alto contenido de materia orgánica) e incumplimiento del período de carencia posterior a la aplicación, son variables que influyen fuertemente en incrementar el nivel de riesgo de efectos adversos principalmente para el agua subterránea y los humanos (consumidores de fresa).

Los resultados obtenidos, más que constituirse en una alerta para la ANC, hace un llamado muy importante a realizar acciones que permitan prevenir y mitigar el nivel de riesgo de efectos adversos al que están expuestos los humanos y el ambiente, además de promover estudios de comportamiento ambiental y perfil toxicológico del plaguicida en condiciones de la Sabana de Bogotá. En otras palabras, a corto plazo se recomienda procurar una reducción de la intensidad de exposición del ambiente y los humanos al plaguicida Carbofuran mediante su uso racionalizado de acuerdo a un Plan de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (que implica la rotación de ingredientes activos, aplicación bajo recomendación técnica, etc.). A largo plazo, se recomienda adelantar estudios de destino y comportamiento ambiental de Carbofuran, así como determinar el perfil toxicológico de este plaguicida bajo condiciones de la Sabana de Bogotá y con énfasis en los humanos e implementar una estrategia de seguimiento que retroalimente la gestión del riesgo.

Se debe recalcar que la presente ERA opera de acuerdo con la disponibilidad de información en el país. En este caso, se utilizaron algunos datos que no son producto de evaluaciones realizadas bajo las condiciones ambientales de la Sabana de Bogotá o por lo menos del país, tal es el caso de los valores de vida media de degradación en suelo de los plaguicidas. Sin embargo y debido a que la

propuesta tiende a ser conservativa, se utilizan los datos reportados en la literatura como aproximaciones acertadas para el estudio.

Otro punto a tener en cuenta, es que los indicadores de riesgo no contemplan algunas otras variables que pueden influir en el grado de exposición al plaguicida tales como las propiedades y características del suelo, la frecuencia de aplicación (excepto el IRR), las condiciones climáticas, el histórico de aplicaciones, entre otras. Sin embargo y a pesar de existir metodologías e indicadores que permiten incluir estas variables, esto hace que la estimación del nivel de riesgo se torne compleja y poco flexible para ser aplicada a los distintos cultivos hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá y por personas con cierto grado de capacitación. Es por tal razón, que en los últimos niveles de evaluación de la Fase 2 se propone el desarrollo o aplicación de metodologías o indicadores que permitan una mejor estimación del nivel de riesgo para los humanos y el ambiente.

8.3. ESTUDIO DE CASO 3: EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL CAUSADO POR EL USO DE CARBENDAZIN EN UN CULTIVO DE FRESA EN EL MUNICIPIO DE FACATATIVÁ (CUND.)

8.3.1. FASE 1: FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Integración de la información primaria para la evaluación de la pertinencia de la ERA

En esta etapa se pretende evaluar la pertinencia de la ERA en el uso de Carbendazin en un cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá (Cundinamarca). Para tal hecho, mediante una entrevista en campo con el agricultor y el operario que realiza las aplicaciones plaguicidas se aplicó el cuestionario propuesto en la **Tabla 54**. Los resultados de este ejercicio se pueden observar en la **Tabla 74**.

De acuerdo con la **Tabla 74** se observa que para el caso de este estudio de caso, los resultados sugieren continuidad en el proceso de ERA debido a que más del 50% de las respuestas obtenidas reflejan e indican un alto grado de exposición a plaguicidas al que están siendo sometidos los compartimentos ambientales y los humanos. Tal grado de exposición se sustenta en las características del sitio de cultivo y en las condiciones de aplicación de los plaguicidas. El uso de productos plaguicidas con categoría toxicológica I y II, la inexistencia de un Plan de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades y la alta frecuencia de aplicación de los plaguicidas, son razones suficientes que impulsan el proceso de ERA en el Cultivo de Fresa.

Integración de la información para la aplicación de los indicadores de riesgo.

En la misma oportunidad, se realizó una encuesta al agricultor relacionada con la información requerida por los indicadores de riesgo a utilizar en la propuesta de ERA (**Tabla 75**). En la tabla se presenta información relacionada con la ubicación geográfica, el tamaño de la explotación, los rendimientos, además del registro de plaguicidas aplicados durante todo el ciclo de cultivo. La intensidad de aplicación de plaguicidas en este cultivo de Fresa se puede calificar como alta. Con mayor frecuencia se utilizaron seis productos plaguicidas, tres insecticidas y tres fungicidas, que

reúnen un total de 66 aplicaciones distribuidas durante el ciclo del cultivo. Además, la mayoría de los plaguicidas usados no se encuentran registrados ante el ICA para ser utilizados en el cultivo de Fresa.

De otro lado, existe información de contexto que resulta muy importante para la evaluación del riesgo. En este caso, se observó que el cultivo de Fresa fue establecido en un terreno relativamente plano y sin presencia de fuentes o corrientes de agua cercanas. En el lote se presentan fuertes vientos, los cuales no son tenidos en cuenta en la aplicación de plaguicidas. El agua para la preparación de la mezcla es tomada de pozo profundo (100 m de profundidad aproximadamente) y almacenada en un tanque de concreto. De otro lado, se observa una adecuada disposición de los productos plaguicidas una bodega, sin embargo, la disposición final de los envases no se efectúa según el procedimiento correcto, los cuales es común observarlos en las orillas de los lotes de cultivo.

En cuanto a la información secundaria, en la **Tabla 69** se presenta la lista de variables requeridas por los indicadores de riesgo. La información consultada en las base de datos está relacionada con las propiedades físicas y químicas, las características residuales, toxicológicas y ecotoxicológicas del fungicida Carbendazín.

8.3.2. FASE 2: EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

NIVEL I

En el nivel I se establece la relación entre la exposición y el grado de toxicidad del Carbendazín sobre organismos animales terrestres y acuáticos. Por medio de estos organismos indicadores se estima, considerando “el peor escenario”, el nivel de riesgo al que podrían estar expuestos los organismos de los compartimentos suelo, aire y agua superficial asociados al cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá. Para llevar a cabo la valoración, se hizo el cálculo de los RQ's para ratas y *Daphnia*, cuyos valores luego fueron comparados con los Niveles de Preocupación (LOC). Como se planteó en la metodología, solo si el RQ es mayor a los LOC se avanza en las siguientes fases la de evaluación del riesgo.

En la **Tabla 80** se presentan los resultados del cálculo de los RQ's para organismos animales terrestres y acuáticos debido al uso del plaguicida Carbendazín. El procedimiento detallado del cálculo del RQ para Carbendazín se muestra en el **Anexo 10**.

Según la **Tabla 80** y teniendo en cuenta la regla de decisión, los resultados sugieren que en los siguientes niveles de la Fase 2 se debe avanzar en la estimación del nivel de riesgo para organismos animales acuáticos manejando los supuestos de riesgo agudo y crónico, es decir, se debe valorar el nivel de riesgo de efectos adversos para organismos acuáticos en el corto y largo plazo respectivamente.

Tabla 80. Valores de RQ's para organismos animales terrestres y acuáticos y comparación con valores LOC, para el caso del fungicida Carbendazín en el Cultivo de Fresa.

Plaguicida	Organismos terrestres (Lombriz de tierra)						Organismo acuáticos (<i>Daphnia</i>)		
	RQ - Riesgo agudo alto	LOC	RQ>LOC	RQ- Riesgo crónico	LOC	RQ>LOC	RQ - Riesgo agudo alto	LOC	RQ>LOC
Carbendazín	0,12	0,5	No	0,54	1	No	133	0,5	Si

Estos resultados guardan correlación con los coeficientes y características ecotoxicológicas de Carbendazín, puesto que a pesar de tener una toxicidad aguda alta para organismos terrestres (LC50=5,4 mg/kg para Lombriz de tierra), la corta vida media (DT50=22 días) hace que el grado de exposición al plaguicida en el corto plazo sea bajo. Para el caso de toxicidad crónica (NOEC=1,0 ppm para Lombriz de tierra), que se puede calificar relativamente baja, el mismo hecho de que el plaguicida tenga una baja vida media degradación hace que el nivel de riesgo se reduzca debido al corto tiempo de exposición. En el caso de los organismos animales acuáticos se observa que en el corto plazo el plaguicida Carbendazín puede representar un alto nivel de riesgo, el cual está asociado a los valores de toxicidad presentados para el bioindicador (EC50=0,15 mg i.a./L para *Daphnia*). En este contexto, es inevitable las estimaciones del nivel de riesgo bajo los supuestos de riesgo agudo y crónico para los organismos acuáticos en los siguientes niveles de evaluación. De igual forma, se sugiere la valoración del nivel de riesgo para bioindicadores terrestres del ecosistema epigeo, en donde la exposición al plaguicida - mediada por los fuertes vientos presentados en el lote de cultivo - puede incrementar el nivel de riesgo de efectos adversos para los organismos de estos ecosistemas.

NIVEL II

Resultados de la estimación del riesgo utilizando el modelo RECAP

Los resultados de la evaluación realizada en el nivel I sugieren profundizar en la estimación del nivel de riesgo para los organismos animales acuáticos. Sin embargo y atendiendo a la anterior sugerencia, por medio del modelo RECAP se realiza la estimación del nivel de riesgo - a través de índices que integran distintos organismos bioindicadores - para el ecosistema hipogeo, epigeo y agua superficial. En la **Tabla 81** se sintetizan las estimaciones del riesgo ambiental realizadas a través del modelo RECAP. Los cálculos detallados para la estimación del riesgo ambiental causado por el uso de Carbendazín en el cultivo de Fresa se presentan en el **Anexo 11**.

Según la **Tabla 81**, Carbendazín representa desde niveles de riesgo medios hasta muy altos para los ecosistemas en consideración. Los mayores niveles de riesgo (muy alto) estimados se presentan cuando se realiza la evaluación del riesgo sobre los ecosistemas de agua superficial que están sometidos a cortas exposiciones al plaguicida. Sin embargo, en la práctica este riesgo no

representaría una señal de alarma, dado que el uso de estos plaguicidas ocurre en sistemas de cultivos (ecosistema terrestre) distantes de fuentes o corrientes de agua.

En el cálculo de PRIHS-1 y PRIHS-2 se obtuvieron altos niveles de riesgo, lo que sugiere que la exposición a corto y largo plazo a Carbendazin constituye un riesgo importante para los organismos animales que habitan el ecosistema hipogeo. De otro lado, las estimaciones del riesgo para las especies que viven sobre la superficie del suelo (ecosistema epigeo) (PRIES-1 y PRIES-2) sugieren un nivel de riesgo medio.

Tabla 81. Valores y calificación de los índices de riesgo ambiental causado por el uso de Carbendazin en un cultivo de Fresa en el municipio de Facatativá-Cundinamarca, usando el modelo RECAP.

Carbendazin en Cultivo de Fresa		
Índice	Valor	Riesgo
PRIHS-1	42,0	Alto
PRIHS-2	44,0	Alto
PRIES-1	16,0	Medio
PRIES-2	37,5	Medio
PRISW-1	100,0	Muy alto

Finalmente se puede concluir que de acuerdo con la estimación realizada a través del modelo RECAP el compuesto plaguicida Carbendazin representa un nivel de riesgo alto principalmente para el ecosistema hipogeo y de agua superficial. Esta exposición es agravada por alta frecuencia de aplicación de Carbendazin en el Cultivo de Fresa.

Indicador del potencial de Lixiviación: Aplicación del Modelo GUS.

Como se consolidó en el Capítulo 6., el modelo GUS desarrollado por Gustaffson (1989) permite estimar el potencial de lixiviación de un plaguicida químico a través del suelo. Al aplicar este modelo para el plaguicida Carbendazin se estimó un potencial de lixiviación moderado (**Tabla 82**). Los cálculos detallados para la estimación del potencial de lixiviación de Carbendazin en el cultivo de Fresa se presentan en el **Anexo 12**.

Se debe tener en cuenta que el modelo GUS es una herramienta básica en donde tan solo se considera algunas características y coeficientes del plaguicida (Koc y DT_{50}) más no se tienen en cuenta las características físico-químicas del suelo, los factores de aplicación de plaguicidas y las condiciones ambientales particulares del predio. Sin embargo, el modelo GUS no deja de ser útil, más bien permite estimaciones del riesgo de lixiviación como alertas tempranas que permitan realizar estudios a mayor profundidad.

Tabla 82. Potencial de lixiviación calculado para Carbendazin en un suelo de cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá (Cundinamarca).

Plaguicida	DT50suelo	Koc	GUS	Potencial de Lixiviación
Carbendazin	22	223	2,2	Moderado

En términos prácticos, el moderado potencial de lixiviación calculado no representa un riesgo significativo de contaminación de las aguas subterráneas. Esto se justifica por la profundidad del acuífero (más de 100 m), el alto contenido de materia orgánica y el alto valor de Koc del fungicida Carbendazin que pueden obstaculizar la lixiviación del plaguicida a través del perfil del suelo.

Cálculo del Índice de Riesgo de Residuos (IRR) para Carbofuran en el Cultivo de Fresa

Para el cálculo del índice se tomaron en cuenta las variables de uso y manejo de los plaguicidas y factores relacionados con las características físicas y químicas del plaguicida Carbendazin. Las estimaciones del IRR se presentan de manera detallada en el **Anexo 13**.

Los resultados obtenidos estiman un alto nivel de riesgo de residuos de Carbendazin en Fresa cosechada (**Tabla 83**). A pesar de que Carbendazin posee una baja vida media de metabolismo en planta (6 días) existen factores de aplicación que favorecen una alta exposición del producto vegetal al plaguicida. Dentro de estos factores se destaca un alto número de aplicaciones (66 por ciclo) y un inadecuado período de carencia (1 día). Aquí se refleja la necesidad de fortalecer las estrategias que permitan el uso controlado y adecuado de los plaguicidas en los cultivos agrícolas.

La estimación del riesgo del potencial de residuos realizada mediante esta propuesta metodológica es corroborada por los resultados del análisis de residuos de plaguicidas llevado a cabo sobre el producto vegetal por FYTOLAB. Mediante Cromatografía Líquida de Masas se logró determinar 0,046 ppm (partes por millón) del ingrediente activo Carbendazin. Este valor al compararse con el Límite Máximo de Residuos (LMR) permitido por la Unión Europea (0,1 ppm), se observa que lo excede en más de 2 veces, reflejando contenidos de residuos de Carbendazin relativamente significativos en comparación con los niveles permitidos.

Tabla 83. Estimación del IRR de Carbendazin en cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá.

Dosis (g i.a./ha)	t 1/2 en planta (días)	Carga Plaguicida (C)	Potencial de Concentración (PC)	Potencial de Residuos (PR)	Índice de Riesgo de Residuos (IRR)	Interpretación
500	6	0,13333	287	38	4	Alto

NIVEL III

Luego de identificar los riesgos relevantes en el nivel II, en el nivel III se puede determinar cuáles son los que se requieren precisar en un nivel más exigente de evaluación. Para lograr una caracterización del riesgo en este nivel, se emplean aproximaciones más refinadas sobre el destino ambiental para el cálculo de la concentración ambiental, empleando datos adicionales o información obtenida mediante estudios específicos, los que se conducen a nivel de laboratorio simulando situaciones reales. Para la protocolización de estos estudios se recomienda seguir las pautas descritas por la metodología de la EPA.

Entre otros estudios principalmente se pueden considerar estudios de destino ambiental que busquen precisar el grado de exposición a Carbendazin de los organismos del ecosistema hipogeo y de agua superficial con exposiciones a corto y largo plazo. Si los resultados de los estudios conducen a la conclusión de que un alto nivel de riesgo subsiste para ciertos organismos se recomienda pasar a un último nivel de evaluación.

NIVEL IV

El procedimiento a realizar en este nivel depende de los resultados de los estudios realizados en el nivel III. Si es el caso, en este nivel se busca precisar el perfil toxicológico y dilucidar dudas sobre el comportamiento ambiental de Carbendazin en condiciones reales mediante pruebas en campo, las que se han de protocolizar preferentemente siguiendo la metodología recomendada en el Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola (CAN, 2001).

De igual forma, se sugieren aproximaciones más sofisticadas mediante modelación de la exposición durante el ciclo de vida de Carbendazin, incorporando características ambientales de las áreas agrícolas y la fisiología del cultivo de Fresa (modelos cultivo-específicos). Estas aproximaciones permiten hacer seguimiento del nivel de riesgo de los plaguicidas de acuerdo con sus propiedades, los factores de aplicación y las características del sitio de cultivo.

Según los resultados del IRR, se recomienda avanzar en las medidas de regulación del uso del plaguicida que permitan reducir el nivel de riesgo de residuos de Carbendazin en el producto agrícola cosechado (Fresa).

De otro lado, la ANC y otras partes interesadas deben procurar por la evaluación más detallada de las actividades y procedimientos de manejo y reducción del riesgo, fundamentado en un mayor conocimiento del riesgo ambiental. De esta forma determinarán cuáles son las medidas de mitigación, control y monitoreo post-registro y/o post-aplicación apropiados para reducir la probabilidad de que un efecto adverso ocurra en el ecosistema. Además, se debe contemplar el desarrollo de un Plan de Manejo Ambiental para Carbendazin en el Cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá.

8.3.3. FASE 3: CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO.

El nivel de riesgo para los humanos y para el ambiente está en función del grado de toxicidad del contaminante y de la intensidad de la exposición al mismo. En este estudio de caso, de igual forma la intensidad de la exposición es un factor determinante del nivel de riesgo. En este caso, se tiene un plaguicida (Carbendazín) de corta vida media (22 días), categoría toxicológica IV y alta frecuencia de aplicación en el cultivo de fresa, esta situación hace que su aplicación represente un nivel de riesgo para los humanos y para el ambiente que se puede catalogar como medio. A pesar que se presenta una alta frecuencia de aplicación de Carbendazín, su corta vida media y su baja toxicidad hacen que el nivel de riesgo sea medio. Sin embargo, se sugiere realizar acciones que permitan reducir el nivel de riesgo de efectos adversos, principalmente orientadas a racionalizar el uso del plaguicida en el sistema agrícola respetando el período de carencia. Además, se recomienda implementar una estrategia de seguimiento que retroalimente la gestión del riesgo.

De otro lado, el alto contenido de materia orgánica del suelo y la corta vida media y el alto coeficiente de sorción a carbono del plaguicida, hace que el potencial de lixiviación de Carbendazín hacia aguas subterráneas sea moderado. En cuanto al IRR, se estimó un alto nivel de riesgo de residuos de Carbendazín en el producto de cosecha. Este resultado se puede explicar por la alta frecuencia de aplicación del plaguicida y el incumplimiento del período de carencia.

Se debe recalcar que la presente ERA opera de acuerdo con la disponibilidad de información en el país. En este caso, se utilizaron algunos datos que no son producto de evaluaciones realizadas bajo las condiciones ambientales de la Sabana de Bogotá o por lo menos del país, tal es el caso de los valores de vida media de degradación en suelo de los plaguicidas. Sin embargo y debido a que la propuesta tiende a ser conservativa, se utilizan los datos reportados en la literatura como aproximaciones acertadas para el estudio.

Otro punto a tener en cuenta, es que los indicadores de riesgo no contemplan algunas otras variables que pueden influir en el grado de exposición al plaguicida tales como las propiedades y características del suelo, la frecuencia de aplicación (excepto el IRR), las condiciones climáticas, el histórico de aplicaciones, entre otras. Sin embargo y a pesar de existir metodologías e indicadores que permiten incluir estas variables, esto hace que la estimación del nivel de riesgo se torne compleja y poco flexible para ser aplicada a los distintos cultivos hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá y por personas con cierto grado de capacitación. Es por tal razón, que en los últimos niveles de evaluación de la Fase 2 se propone el desarrollo o aplicación de metodologías o indicadores que permitan una mejor estimación del nivel de riesgo para los humanos y el ambiente.

9. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo de investigación se desarrolló y valoró una propuesta metodológica para la evaluación del riesgo ambiental producto de la aplicación de plaguicidas de síntesis química en sistemas de cultivo hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá. Esta propuesta, se constituye una herramienta que permite la valoración del nivel de riesgo al que se encuentran expuestos los compartimentos ambientales, teniendo en cuenta las características de la exposición a los plaguicidas y las propiedades físicas, químicas, toxicológicas y ecotoxicológicas de los mismos. Además, la propuesta incluyó la valoración del nivel de riesgo de residuos plaguicidas al que podrían estar expuestos los humanos al consumir producto vegetal cosechado posterior a una aplicación del agroquímico.

De igual forma, se revisaron y caracterizaron de manera exhaustiva 17 metodologías de evaluación del riesgo ambiental desarrolladas en el mundo. Esta caracterización, además de permitir la priorización de los indicadores incluidos en esta propuesta de ERA, puede ser utilizada por instituciones gubernamentales y de investigación para identificar las metodologías que podrían ser utilizadas para profundizar en el cálculo de la concentración ambiental el nivel III de la fase II de la propuesta de ERA.

Teniendo en cuenta los indicadores priorizados, se estructuró una metodología para la valoración del nivel de riesgo que representa la aplicación de plaguicidas para los distintos compartimentos ambientales y para los humanos (por consumo de vegetales posiblemente contaminados a niveles no aceptables). Mediante tres estudios de caso se aplicó y valoró la ERA que se presenta en este estudio. Esta metodología mantiene un balance entre complejidad y aplicabilidad, lo que la hace muy práctica, económica y flexible, por lo que puede ser fácilmente adaptada a otros cultivos hortofrutícolas, incluso ubicados en otras zonas geográficas del país. Además, puede ser fácilmente usada para determinar el ingrediente activo ambientalmente más amigable bajo ciertas condiciones de aplicación, permitiendo mejorar la toma de decisiones en el uso de plaguicidas.

La propuesta metodológica integra indicadores dirigidos a valorar el nivel de riesgo de las aplicaciones plaguicidas para los distintos compartimentos ambientales y para los humanos. El primer indicador utilizado es el Cociente de Riesgo (RQ), que considerando el “peor escenario”, establece la relación existente entre la concentración del plaguicida que causa efecto sobre determinados organismos sensibles y la Concentración (de plaguicida) Ambiental Estimada (CAE) en el compartimento ambiental. En segundo lugar, el indicador RECAP contribuye a la evaluación del riesgo por plaguicidas para los compartimentos ambientales suelo, agua y aire. Además, permite la evaluación de distintas estrategias de aplicación de plaguicidas en la producción agrícola en busca del menor impacto para el ambiente.

De otro lado, se adopta el Índice de Riesgo de Residuos (IRR) y el modelo GUS. El IRR es un indicador que estima el nivel de riesgo de residuos de plaguicidas sobre el producto vegetal como una alerta temprana para indicar el nivel de riesgo potencial para el consumidor. El índice GUS es un indicador básico y elemental del potencial de lixiviación de un plaguicida de acuerdo con sus propiedades físico-químicas y su vida media en el suelo. Estos dos indicadores junto con el RQ y el modelo RECAP permiten la valoración de los efectos adversos sobre cuatro compartimentos del ambiente (suelo, aire, agua superficial y subterránea) y la estimación del nivel de riesgo de residuos para el consumidor del producto vegetal.

Si se establece una relación comparativa entre los resultados obtenidos en este trabajo y algunas características de los plaguicidas evaluados, se observa que los compuestos con: 1) mayor persistencia en el suelo 2), categoría toxicológica I ó II y 3), alta frecuencia o alta dosis de aplicación, representan niveles de riesgo más elevados en comparación con los demás productos (tal es el caso del insecticida Carbofuran). Esta estrecha relación refleja la capacidad que tiene el indicador RECAP para estimar el nivel de riesgo de cada ingrediente activo para los compartimentos ambientales según los factores de aplicación y las características propias de los plaguicidas.

El indicador GUS es una alerta temprana para detectar situaciones que ameriten realizar estudios a mayor profundidad. Aunque este indicador no tiene en cuenta las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para determinar el potencial de lixiviación, si utiliza variables como la vida media de degradación en el suelo (DT50) y el valor de coeficiente de sorción (Koc) del plaguicida. Estas dos variables, que por lo general se encuentran registradas en el reporte técnico de cada plaguicida, permiten valorar el nivel de riesgo de lixiviación al que es sometido un plaguicida luego de su aplicación en campo. Según los estudios de campo, se observó que los ingredientes activos con bajos coeficientes de sorción y prolongada vida media poseen un mayor potencial de lixiviación que los restantes plaguicidas. Como se puede ver, el indicador GUS se constituye en una herramienta práctica y económica de alerta temprana sobre el riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas por plaguicidas en sistemas hortofrutícolas.

Los resultados obtenidos estiman la presencia de residuos de los tres plaguicidas en espinaca y fresa a niveles medio y alto. Esta situación puede estar fuertemente influenciada por factores de aplicación que favorecen una alta exposición del producto vegetal al plaguicida. Dentro de estos factores de aplicación se destacan el elevado número de aplicaciones, las dosis altas y el corto período de carencia existente, principalmente en el cultivo de la fresa en el Municipio de Facatativá. A pesar que la valoración realizada por este indicador determina niveles intermedios de riesgo, los resultados del análisis de laboratorio muestran que el contenido de tetradifon en espinaca supera el LMR en un factor de 3 y en 36 para el caso de carbofuran en fresa. Esta situación puede ser explicada por la presencia de estos plaguicidas en el suelo debido a que la historia del lote muestra que continuamente ha sido cultivado con hortalizas de hoja y frutales haciendo que el plaguicida posiblemente se encuentre acumulado y disponible en el suelo para ser traslocado a la planta.

En general y analizando de manera conjunta las variables usadas por los indicadores de riesgo, se observa que las variables que más influyen en la estimación del nivel de riesgo son: la persistencia del plaguicida, la frecuencia de aplicación y la categoría toxicológica del plaguicida. La persistencia y la frecuencia de aplicación son variables que afectan el grado de exposición al plaguicida. Según los resultados y bajo las condiciones del estudio, se puede sugerir que plaguicidas ya sea con alta persistencia en suelo ó con alta frecuencia de aplicación – sin importar la categoría toxicológica- representan un nivel de riesgo significativo para los humanos y el ambiente. Se puede ver que la frecuencia de aplicación se constituye en la principal vía de entrada del plaguicida al ambiente y la persistencia, en una variable que dicta el período de tiempo en el cuál el plaguicida puede causar efectos adversos sobre el ambiente y los humanos. Estas tres variables pueden ser clave a tener en cuenta, puesto que pueden ser muy orientativas en la toma de la decisión de adelantar o no la evaluación del riesgo ambiental en sus fases más avanzadas.

De esta forma, la propuesta de ERA se constituye en una metodología piloto para la evaluación del riesgo por la aplicación de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas de la Sabana de Bogotá. Las características relevantes de la metodología es que mantiene un balance entre complejidad y aplicabilidad lo que la hace muy práctica, económica y flexible al momento de querer profundizar en la estimación del riesgo en un compartimento determinado. Además, brinda valores de riesgo para cada diferente compartimento ambiental, está en consonancia con el procedimiento de registro de plaguicidas guardando consistencia con la legislación actual, ha sido verificada y se encuentra inmersa en un sistema de toma de decisiones dirigido por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. No obstante, se recomienda iniciar estudios que permitan profundizar y refinar la propuesta de ERA, en particular en los niveles III y IV de la Fase 2, esto con la finalidad de avanzar en el cálculo de la concentración ambiental de los plaguicidas bajo estudio de tal manera que se precise el nivel de riesgo de efectos adversos sobre los organismos acuáticos y terrestres presentes en los compartimentos ambientales. Este último punto no se adelantó en esta investigación por limitaciones de tiempo y de financiación, puesto que se requieren estudios a largo plazo y de alto costo.

El análisis comparativo entre los valores de riesgo estimados a través de la ERA que se propone y los resultados de los análisis de laboratorio adelantados, permitió la verificación de esta metodología, la cual puede ser fácilmente adaptada a otros cultivos incluso, ubicados en otras zonas geográficas del país, siempre y cuando se tenga en cuenta cada uno de los puntos establecidos en las tres fases de ERA. Además, la metodología descrita puede ser fácilmente usada para determinar -bajo ciertas condiciones -el ingrediente activo ambientalmente más amigable antes de su aplicación, permitiendo mejorar la toma de decisiones en el uso de plaguicidas. Por todo esto, la ERA propuesta es recomendada como una herramienta práctica para estimar, valorar y categorizar el nivel de riesgo relativo de los plaguicidas antes o después de su aplicación.

10. LITERATURA CITADA

1. Acevedo, B. B. 1999. Evaluación de la residualidad y efecto de la temperatura y humedad en la degradación de atrazina en un suelo de Saldaña, Tolima. Tesis (Químico) Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. Facultad de Ciencias. Carrera de Química. Bogotá.
2. Acosta, P. 2003. Evaluación del riesgo de residuos de plaguicidas en tejido vegetal de cebolla larga (*Allium fistulosum* L.), producida en el municipio de Aquitania, Boyacá. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. 45 pág.
3. ANDI – Cámara de la Industria para la protección de Cultivos y MADVT – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2003. Guía ambiental para el subsector de plaguicidas. Almacenamiento, transporte, aplicación aérea y terrestre y manejo de envases y residuos. Dirección de Desarrollo Sostenible. Produmedios. Bogotá, D.C. 104 p.
4. Beltran, T. 1995. Los requisitos de la normalización e inspección exigidos por mercados internacionales. En: Simposio internacional de manejo postcosecha y perspectivas de comercialización de frutas y hortalizas. Programa de postcosecha del departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia y RITEP. Bogotá.
5. Beulke, S. y C. Brown, 2001. Evaluation of methods to derive pesticide degradation parameters for regulatory modelling. *Biology and Fertility of Soils*. Vol. 33: 558-564.
6. Blanco, Z. L. 1997. Susceptibilidad de *Pilea microphylla* L. a C - atrazina y degradación de la atrazina en agua y suelo usando técnicas de bioensayo con *lactuca sativa* como especie indicadora. Tesis (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. Facultad de Agronomía. Bogotá.
7. CAN – Comunidad Andina. 1998. Decisión 436, Norma Andina para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola. Nonagésimocuarto período extraordinario de sesiones de la comisión. Lima, Perú. 34 p.
8. CAN – Comunidad Andina. 2001. Resolución 532, Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola. Secretaría General de la Comunidad Andina. Lima, Perú. 166 p.
9. Carter, L. W. 2003. Manual de Evaluación de impacto ambiental. MacGraw-Hill. Editorial Nomos. Bogotá.
10. California Environmental Protection Agency. 1999. Residues monitorin reports 1987 - 1996. Departament of Pesticide Regulation. U.S
11. Cobo de Martínez, L. S. 1985. Residuos de diazinón en repollo y propuesta de limite máximo para Colombia. Tesis (M. Sc.) Programa Universidad Nacional de Colombia - ICA, Bogotá.
12. CWQG. 1999. Canadian Water Quality Guidelines (and updates). Ottawa, ON: Task Force on Water Quality Guidelines of the Canadian Council of Resource and Environment Ministers. WWW.EC.GC.CA/CEQG-RCQE/WATER/HTM#TABL
13. De Smet, B. y W. Steurbaut. 2002. Verfijning van de SEQ indicator voor de evaluatie van het bestrijdingsmiddelengebruik in Vlanderen. Gent Universiteit.
14. De Smet, B., S. Claeys, B. Vagenende, S. Overloop, W. Steurbaut y M. Van Steertegem. 2005. The sum of spread equivalents: a pesticide risk index used in environmental policy in Flanders, Belgium. *Crop Protection* 24 (4): 363-374.
15. Dubus I.G. y Surdyk N. (2006). State-of-the-art review on pesticide fate models and environmental indicators. Report DL#4 of the FP6 EU-funded FOOTPRINT project [www.eu-footprint.org], 39p.
16. ECOFRAM, 1999. ECOFRAM Aquatic Report. 450 p.
17. EFSA (European Food Safety Authority), 2009. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance Carbufuran. EFSA Scientific Report 310. 132 p.
18. EPA – Environmental Protection Agency of United States, 2004. Overview of the ecological risk assessment process in the office of pesticide programs. Endangered and threatened species effects determinations. Office of prevention, Pesticides and Toxic Substances. Washington, D.C. 92 p.
19. EPA – Environmental Protection Agency of United States, 1998. Guidelines for Ecological Risk Assessment. Risk Assessment Forum. Washington D.C. Federal Register 63 (93): 26846-26924. 188 p.
20. EPA – Environmental Protection Agency of United States, 1992. Framework for Ecological Risk Assessment. Risk Assessment Forum. Washington, DC 20460. 57 p.
21. Farias, D.M., Guerrero, J.A., Lozano, A. y W. Piedrahita. 2004. Estudio de residuos de permetrina en un cultivo de tomate. *Agronomía colombiana* 22 (1). pp. 74-80.

22. Finizio, A., Calliera, M, y M. Vighi. 2001. Rating Systems for Pesticide Risk Classification on Different Ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 49: 262-274.
23. Finizio, A.; Villa, S. 2001. Environmental risk assessment for pesticides, a tool for decision making», *Environmental impact assessment review*, núm. 22 (2002), pp. 235-248.
24. Gallego, G. 1973. Residuos de pesticidas organoclorados en productos agrícolas para consumo humano en Cali. Trabajo de grado. Departamento de ingeniería sanitaria, Universidad del Valle, Cali. 48 p.
25. Ganzelmeyer, H., D. Rautmann, R. Strelake, M. Herrmann, H. J. Wenzelburger, H. F. Walter. 1995. Studies on the spray drift of plant protection products. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, Berlin, Heft 305, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin (GE). Ganzelmeier, H. 1997. Abtrieb und Bodenbelastung beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln. *Mitt. Biol. Bundesanstalt Land - u. Forstwirtschaft*, Berlin-Dahlem.
26. García, O. L. y Gordillo, R. 1983. Estudio preliminar y propuesta del límite máximo de residuo para el insecticida dimetoato en tomate. Tesis. Departamento de Farmacia, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
27. García, C. J. y Restrepo, R. J. 1996. Determinación de residuos de plaguicidas organoclorados, organofosforados y carbamatos en tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado en los municipios de Manizales, Chinchiná y Palestina del departamento de Caldas. Tesis, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía. Manizales.
28. Gómez, G. A. de J. 1975. El uso de insecticidas en tomate y su influencia en los niveles de residuos tóxicos. Tesis (Mag. Sc) programa Universidad Nacional de Colombia / ICA. Bogotá.
29. Gómez, A. y C. Cardona. 1978. El uso de insecticidas en tomate y su influencia en los niveles de residuos tóxicos. Memorias del seminario sobre manejo de plaguicidas y protección del ambiente. Bogotá. pp. 199-203.
30. Gustaffson, D.I. 1989. Groundwater Ubiquity Score: A simple method for assessing pesticide leachability environmental toxicology and Chemistry. Vol. 8: 339-357.
31. Gutsche, V., Rossberg, D. 1999. Synoptisches bewertungsmodell für pflanzenschutzmittel (SYNOPS). In J. Reus, P. Leendertse, C. Bockstaller, I. Fomsgaard, V. Gutsche, K. Lewis, C. Nilsson, L. Pussemier, M. Trevisan, H. van der Werf, F. Alfarroba, S. Blümel, J. Isart, D. McGrath, T. Seppälä (eds), *Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides: Results of the European CAPER Project*. Utrecht, The Netherlands: Centre for Agriculture and the Environment. 69-82.
32. Halfon, E., S. Galassi, R. Brüggemann y A. Provini. 1996. Selection of priority properties to assess environmental hazard of pesticides. *Chemosphere* 33:1543-1562.
33. Hernández, C. y Sanchez, A. L. 1998. Detección de residuos biodisponibles de atrazina bajo condiciones de campo mediante técnicas de bioensayos con plantas indicadoras, en Saldaña, Tolima. Tesis (Ingeniero Agrónomo) Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, Bogotá.
34. ICA . - Instituto Colombiano Agropecuario,. 2000. Registro de plaguicidas. División de Insumos Agrícolas. Información interna.
35. ICA- Instituto Colombiano Agropecuario, 2001. Resolución 384 "Por la cual se dictan las disposiciones para el uso adecuado de los plaguicidas químicos en sistemas agrícolas". Bogotá, D.C.
36. Isensee, Allan, R. 1991. Bioaccumulation and food chain accumul
37. Jerez. J. Peralta, J. M.; Tapia, F., Mejías, J., Jerez, A. y Encina, F. 2006. Estudio de metodologías para la evaluación de riesgo ambiental de la aplicación de plaguicidas. Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile.
www.sag.gob.cl/pls/portal/url/ITEM/22D806E64B866190E040A8C0100117AB
38. Juraske, R., Antón, A., Castells, F. y M. Huijbregts. 2007. PestScreen: a screening approach for scoring and ranking pesticides by their environmental and toxicological concern. *Environment International* 33, 886-893.
39. Klein, M. 1995. Pesticide Leaching Model (PELMO), User manual version 2.01. Fraunhofer- Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie, D57392
40. Kookana, R. S., Correll, R. L. and Simpson, B. W. 199-. Assessing risk at catchment or regional level through Pesticide Impac Ranking Index (PIRI). Pre-publication copy.
41. Kovach, J., C. Petzoldt, J. Degni y J. Tette. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin* No. 139. Cornell University, Ithaca, NY, 8pp.

42. Krohon, J. 1997. Propiedades físico químicas (conferencia). En: Las ciencias relacionadas con el registro de productos para la protección de cultivos. Seminario taller. FESANDIA - LACPA, Bogotá.
43. Leeuwen, van C. J. y J. L. M. Hermens (eds.). 1995. Risk assessment of chemicals: An Introduction. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 361 p.
44. Levitan, L. 1997. An overview of pesticide impact and risk assessment systems. En: OECD Workshop on pesticide risk indicators, Copenhagen.
45. Lutz, W. 1984. Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen. Mittlg. Inst. Hydrologie Wasserwirtschaft, Univ. Karlsruhe.
46. Maniak, U. 1992. Regionalisierung von Parametern für Hochwasserabflugganglinien. In: Regionalisierung Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, Sede Bogotá.
47. McCormick, A. 1973. Residuos de plaguicidas en productos agrícolas. Memorias del seminario curso de fruticultura. Tunja. pp. 156-165.
48. Muñoz, H. 1992. Situación y perspectivas de la horticultura en Colombia. En: Primer curso de horticultura de clima frío. Conferencia. Instituto Colombiano Agropecuario, Tibaitata. Mosquera.
49. Nicholls, P. H. 1997. A decision-support system for pesticide environmental preregistration assessment. En : Environment behaviour of crop protection chemicals. Internacional Atomic Energy Agency. Vienna.
50. Nilsson, C. 1999. PERIder Hydrologie (H.B. Kleeberg), DFG, Mittlg. Senatskomm. für Wasserf. 11, S. 325-332.
51. Neusa, O. 2005. Diagnóstico de patrones de uso en plaguicidas y construcción de un índice de riesgo de residuos en fresa (*Fragaria sp.*) y uchuva (*Physalis peruviana L.*). Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Agrónomo.
52. Olarte, I. 1999. Determinación de Residuos de atrazina y sus metabolitos en el suelo y agua de drenaje de una parcela comercial de maíz en Saldaña, Tolima, usando cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Tesis de Químico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Bogotá.
53. Ongley, E. D. 1999. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio FAO : Riego y drenaje. FAO. Roma.
54. Pesticide Safety Directorate (PSD) 1995. Annual report of Working Party on Pesticide Residues 1994. HMSO. London.
55. Pérez, L. E. 2000. Sorción, degradación y movilidad de C-atrazina en un suelo de Saldaña, Tolima. Tesis de Químico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Bogotá.
56. Pimentel, D. 1997. Techniques for reducing pesticide use. Economic and environmental benefits. John Wiley and sons Ltd. England
57. Pussemier, L. 1999. A system for predicting the environmental impact of pesticides in Belgium. In J. Reus, P. Leendertse, C. Bockstaller, I. Fomsgaard, V. Gutsche, K. Lewis, C. Nilsson, L. Pussemier, M. Trevisan, H. van der Werf, F. Alfarroba, S. Blümel, J. Isart, D. McGrath, T. Seppälä (eds), Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides: Results of the European CAPER Project. Utrecht, The Netherlands: Centre for Agriculture and the Environment.
58. Restrepo, G. C. E. y Jaramillo, P. J. J. 1975. Residuos de insecticidas clorados en cuatro hortalizas en Villamaría, Caldas (Colombia). Tesis (Ingeniero Agrónomo) Universidad de Caldas. Manizales.
59. Reus, J., Leendertse, P. 1999. The environmental yardstick for pesticides (field crops). In J. Reus, P. Leendertse, C. Bockstaller, I. Fomsgaard, V. Gutsche, K. Lewis, C. Nilsson, L. Pussemier, M. Trevisan, H. van der Werf, F. Alfarroba, S. Blümel, J. Isart, D. McGrath, T. Seppälä (eds), Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides: Results of the European CAPER Project. Utrecht, The Netherlands: Centre for Agriculture and the Environment. 59-68.
60. Reus, J., Leendertse, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., van der Werf, H., Alfarroba, F., Blumel, S., Isart, J., McGrath, D., Seppala, T. 2002. Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. Agriculture, Ecosystems, and Environment 90, 177-187.
61. Santiago, J. 2001. Diagnóstico del uso y manejo de plaguicidas en tres cultivos hortalizas en la Sabana de Bogotá y propuesta de un índice de predicción de residuos de plaguicidas. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. 40 pág.
62. Scheaffer, R. L., Mendenhall, W. y Ott, L. 1987. Elementos de Muestreo. Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C.V. México, D.F.

63. Scientific Committee on Plants - Agenda. 1999. Monitoring for pesticide residues in products of plant origin, in the European Union and Norway - Report 1997. The European commission. Food Safety
64. Solomon, K.R. 2009. Ecotoxicological Risk Assessment. SETAC short course. University of Guelph. Guelph, Canadá. 62 p.
65. Suter, G.W., Barnhouse, L.W., Bartell, S.M., Mill, T., Mackay, D., Patterson, S. 1993. Ecological Risk Assessment. Boca Raton, F.L.: Lewis Publishers, 538 p.
66. Swanson, M., Davis, G., Kincaid, L., Schultz, T., Bartmess, J., Jones, S., George, E., 1997. A screening method for ranking and scoring chemicals by potential human health and environmental impacts. Environmental Toxicology and Chemistry 16 (2), 372-383.
67. Tarazona, J.V. 2007. Valoración y gestión del riesgo asociado a los contaminantes orgánicos persistentes (COP's). Taller nacional sobre valoración y gestión del riesgo asociado a los contaminantes orgánicos persistentes en Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial. Acuerdo de donación gef tf 051529 – proyecto col/03/04. Bogotá, Environment.
68. Tomlin. C. 1995. The pesticide manual. Incorporating the agrochemicals handbook. Tenth Edition. Crop Protection Publications.
69. Torrado, P.A. 1994. Residuos de Plaguicidas en productos de exportación. En: Memorias XV congreso de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines. Ascolfi, Bogotá.
70. Trevisan, M., Errera, G., Capri, E., Padovani, L., y A.A.M. Del Re. 1999. Environmental 21-24 de noviembre de 2006.
71. Tiktak, A., van den Berg, F., Boesten, J., van Kraalingen, D., Leistra, M., van der Linden, A. 2000. Manual of FOCUS PEARL version 1.1.1. RIVM report 711401008 / Alterra report 28. Bilthoven, The Netherlands: National Institute of Public Health and the potential risk indicator for pesticides.
72. Urban, D.J. y Cook, N.J. 1986. Standard Evaluation Procedure for Ecological Risk Assessment. Washington, D.C.: Hazard Evaluation Division, Office of Pesticide Programs, United States Environmental Protection Agency. No. EPA/540/09-86/167.
73. Urrego, M. C. J. y Cachique, H. J. A. 1986. Cuantificación de residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en el cultivo de tomate en zonas de Cundinamarca y Boyacá. Tesis (Agrólogo) Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Agrología. Bogotá.
74. U.S. FDA (Food and Drug Administration). 1998. Pesticide Program : Residue Monitoring 1997. Center for Food Safety and Applied Nutrition. U.S.
75. U.S. FDA (Food and Drug Administration). 1990. Listings of pesticide, industrial chemicals and metals data by fiscal year, origin, sample flag and industry/product code 1985 - 1990 : Pyrethroids Database search
76. Vallejo, C y A. Franco. 1994. Características generales de los cultivos hortícolas en Colombia. Revista Acta Agronómica, 44 (1 / 4):9 – 10.
77. van der Werf, H. y C. Zimmer. 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. Chemosphere. 36(10):2225-49.
78. Walker, A., Allen, R., Bailey, S. W., Blair, A. M., Brown, C. D., Gunther, P., Leake, C. R. and Nicholls, P. H. 1995. Pesticide movement to water. Monograph. No 62. FUAMA, BCPC. UK.

11. ANEXOS

ANEXO 2.

Cálculo de los Cocientes de Riesgo (RQ's) para organismos bioindicadores terrestres y acuáticos expuestos al acaricida Tetradifón en un Cultivo de Espinaca en el Municipio de Cota (Cund.)

RIESGO AGUDO PARA ORGANISMOS ANIMALES TERRESTRES						
				LOC		RQ>LOC
				0,5	Si	
					No	X
Datos y ecuaciones						
Variable	Unidades	Valor				
Cociente de Riesgo RQ		0,00008312				
	$RQ = \frac{CAE}{LC50 \text{ (Lombriz de tierra)}}$					
Concentración Ambiental Estimada CAE		0,41558442				
	$CAE = \frac{\text{Dosis } (\frac{g \text{ de i. a.}}{ha})}{500 \times \text{Densidad aparente suelo } (\frac{g}{cc})}$					
Dosis	g de i.a./ha	160				
Densidad aparente	g/cc	0,77				
LC50 (Lombriz de tierra)	mg/kg suelo	5000				

RIESGO CRÓNICO PARA ORGANISMOS ANIMALES TERRESTRES						
				LOC		RQ>LOC
				1,0	Si	X
					No	
Datos y ecuaciones						
Variable	Unidades	Valor				
Cociente de Riesgo RQ		3,98089493				
	$RQ = \frac{CAEC}{NOEC \text{ (Lombriz de tierra)}}$					
Concentración Ambiental Estimada Crónica CAEC		0,39808949				
	$CAEC = \frac{CAE \times (1 - e^{-k \times t})}{k \times t}$					
CAE		0,41558442				
k		0,00618881				
	$-k = \frac{\ln 2}{DT50_{suelo} \text{ (días)}}$					
ln2		0,69314718				
DT50suelo	Días	112				
t	Días	14				
kt		0,0866434				

ANEXO 3.

Valoración del nivel de riesgo mediante el modelo RECAP en el uso del acaricida Tetradifon en un cultivo de Espinaca en el Municipio de Cota (Cundinamarca).

1. PRIHS-1					A PRIHS-2					B PRIHS-2		Nivel de riesgo
Dosis	Dap	500*Dap	CAE	LC50 aguda oral	$LC_{50} \text{ aguda oral} / CAE$	Puntaje	LD50 aguda oral	$LD_{50} \text{ aguda oral} / CAE$	Puntaje			
g i.a/Ha	g/cm3		mg/Kg	Lombrices (mg/Kg suelo)	Lombrices	Lombrices	Ratas (mg/Kg peso)	Ratas	Ratas	PRIHS-1		
160	0,77	385	0,416	5000,0	12031,25	0	14700	35371,875	0	0		Nulo
2. PRIHS-2												
Toxicidad crónica lombrices												
-kt	Kt	t	e	ln2	DT50 (días)	K	e^{-kt}	$(1-e^{-kt})$	$(1-e^{-kt})/kt$	CAEC : $CAE * (1 - e^{-kt}) / kt$		
-0,09	0,09	14	2,718	0,693	112	0,006	0,917	0,083	0,958	0,398		
Toxicidad crónica mamíferos												
NOEC	NOEC/CAEC	A PRIHS-2										
ppm	Lombrices	Puntaje										
		Lombrices										
0,1	0,251	8										
Toxicidad crónica mamíferos												
-kt	Kt	t	e	ln2	DT50	K	e^{-kt}	$(1-e^{-kt})$	$(1-e^{-kt})/kt$	CAEC : $CAE * (1 - e^{-kt}) / kt$		
-4,332	4,332	700	2,718	0,693	112	0,006	0,013	0,987	0,228	0,095		
Toxicidad crónica mamíferos												
NOEL (Reproducción)	NOEL/CAEC	A PRIHS-2	PRIHS-2									
Ppm	Mamíferos	Puntaje										
		Mamíferos										

200	2112,61	0	88								Muy alto
3. PRIES-1											
	RQ Abejas	A	Aves	TDI Aves	Aves	B	LD50 (mg/Kg)	TDI Mamíferos	Mamíferos	C	PRIES-1
LD ₅₀ (µg/kg) Abejas	15	Puntaje Abejas	LD50 (ppm)	mg/kg peso/día	LD ₅₀ /TDI	Puntaje Aves	Mamíferos	mg/kg peso/día	LD ₅₀ /TDI	Puntaje Mamíferos	
11		2	5000	12,5	400	1	14700	12,50	1176,00	0	16
											Medio
4. PRIES-2											
DMA (dosis al suelo)*	Puntaje	(P) DT50 suelo	Puntaje	T ₁	Puntaje	T ₂	Puntaje	T ₃	Puntaje		PRIES-2
g i.a./Ha	DMA	Días	P	NOEL Abejas	T ₁	NOEL Aves (ppm)	T ₂	NOEL Mamíferos (ppm)	T ₃		
160	2	112	4	0,022	4	Entre 1 y 10	2	200	0,1		77,46
											Muy alto
5. PRISW-1											
DMA (dosis de aplicación)	D _f	Q _D (CAE)	Algas	Algas	(A) Algas	Daphnia	Daphnia	(B) Daphnia	Peces	Peces	(C) Peces
g i.a./Ha			EC ₅₀	EC50 /CAE	Puntaje	EC ₅₀	EC50 /CAE	Puntaje	LC50	LC ₅₀ /CAE	Puntaje
			mg i.a./l			mg i.a./l			mg i.a./l		
160	0,04	6,4	100	15,6	4	2	0,3125	8	880	138	2
PRISW-1											
											Alto
55											
Resumen											
	Valor	Riesgo									
PRIHS-1	0	Nulo									
PRIHS-2	88	Muy alto									
PRIES-1	16	Medio									
PRIES-2	77,46	Muy alto									
PRISW-1	55	Alto									

ANEXO 4.

Cálculo del potencial de lixiviación del acaricida Tetradifon en un Cultivo de Espinaca en el Municipio de Cota (Cundinamarca)

DATOS		GUS=	4,09843605	PUNTAJE		
				GUS	Potencial de Lixiviación	Resultado
DT50 suelo	112			≥ 2,8	Alto	Alto
Log DT50 suelo	2,04921802			1,8 - 2,8	Moderado	
Koc	100			≤ 1,8	No lixivía	
Log Koc	2					
GUS=Log10(DT50suelo)*(4-Log10(Koc))						

ANEXO 5

Aplicación del Índice de Riesgo de Residuos (IRR) en la estimación del nivel de riesgo de residuos de Tetradifon en Espinaca.

DATOS GENERALES							DATOS						
Ingr. Activo:	Tetradifon						Variable	Valor	Unidades				
Producto:	Tedion ® V-18												
Localidad	Municipio de Cota (Cund), Hacienda Alcalá						t1/2 (suelo)	112	Días				
Fecha	Semestre B del 2009						t1/2 (metabolismo en planta)	28	Días				
Cultivo:	Espinaca						Log Kow	4,61	--				
							PBCP	276,11	--				
							Log PBCP	3,32	--				
							PBCL	1004,84	--				
							Log PBCL	4,61	--				
							Dosis	160	g i.a./ha				
CALCULOS													
d	Na	ia	si	sf	sc	ma	F	P	C= d*f / (p)	PC	PR	IRR	Interpretación
0,0016	2	10	4	6	8	1,25	3	18,0	0,00024444	35866,532	8,8	3	Medio
mg/cm*cm	Aplicaciones	Días			Semanas		Aplicaciones/dia	Días					

RIESGO CRÓNICO PARA ORGANISMOS ANIMALES TERRESTRES						
				LOC		RQ>LOC
				1,0	Si	
					No	X
Datos y ecuaciones						
Variable	Unidades	Valor				
Cociente de Riesgo RQ		0,17251615				
	$RQ = \frac{CAEC}{NOEC \text{ (Lombriz de tierra)}}$					
Concentración Ambiental Estimada Crónica CAEC		0,14491356				
	$CAEC = \frac{CAE \times (1 - e^{-k \times T})}{k \times t}$					
CAE		0,42857143				
K		0,04951051				
	$k = \frac{\ln 2}{DT50_{suelo} \text{ (días)}}$					
ln2		0,69314718				
DT50suelo	Días	14				
T	Días	56				
Kt		2,77258872				
-kt		-2,77258872				

E		2,71828183				
e ^{-kt}		0,0625				
(1-e ^{-kt})		0,9375				
NOEC (Lombriz de tierra)	Ppm	0,84				

RIESGO AGUDO PARA ORGANISMOS ANIMALES ACUÁTICOS						
Cálculo del RQ para organismos acuáticos (Daphnia, algas o peces)						
Riesgo Agudo						
				LOC		RQ>LOC
				0,5	Si	X
					No	
Datos y ecuaciones						
Variable	Unidades	Valor				
Cociente de Riesgo RQ para Daphnia		1404,25532				

$$RQ = \frac{CAE}{EC50 (Daphnia)}$$

EC50 (Daphnia)	mg i.a./l	0,0094				
Cociente de Riesgo RQ para Algas		2,03076923				

$$RQ = \frac{CAE}{EC50 (Algas)}$$

EC50 (Algas)	mg i.a./l	6,5				
--------------	-----------	-----	--	--	--	--

Cociente de Riesgo RQ para Peces		73,3333333					
	$RQ = \frac{CAE}{LC50 \text{ (peces)}}$						
LC50 (Peces)	mg i.a./l	0,18					
Concentración Ambiental Estimada CAE		13,2					
	$CAE = Dosis \left(\frac{g \text{ de i. a.}}{ha} \right) \times D_f$						
Dosis	g de i.a./ha	330					
Fracción de deriva por viento D_f	Decimales	0,04					

ANEXO 7.

Valoración del nivel de riesgo mediante el modelo RECAP en el uso del insecticida Carbofuran en un cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá (Cundinamarca).

1. PRIHS-1						A PRIHS-2				B PRIHS-2		Nivel de riesgo
Dosis	Dap	500*Dap	CAE	LC50 aguda oral	LC ₅₀ aguda oral/CAE	Puntaje	LD50 aguda oral	LD ₅₀ aguda oral/CAE	Puntaje			
g i.a/Ha	g/cm3		mg/Kg	Lombrices (mg/Kg suelo)	Lombrices	Lombrices	Ratas (mg/Kg peso)	Ratas	Ratas	PRIHS-1		
330	1,54	770	0,429	224,0	522,67	1	7	16	2	14,5	Bajo	
2. PRIHS-2												
Toxicidad crónica lombrices												
-kt	Kt	t	e	ln2	DT50 (días)	K	e ^{-kt}	(1-e ^{-kt})	(1-e ^{-kt})/kt	CAEC : CAE*(1-e ^{-kt})/kt		
-2,83	2,83	56	2,718	0,693	14	0,051	0,059	0,941	0,333	0,143		
NOEC												
ppm	NOEC/CAEC	A PRIHS-2										
	Lombrices	Puntaje										
		Lombrices										
0,84	6	4										
Toxicidad crónica mamíferos												
-kt	Kt	t	e	ln2	DT50	K	e ^{-kt}	(1-e ^{-kt})	(1-e ^{-kt})/kt	CAEC : CAE*(1-e ^{-kt})/kt		
-3,031	3,031	60	2,718	0,693	14	0,051	0,048	0,952	0,314	0,135		
NOEL (Reproducción)												
ppm	NOEL/CAE	B PRIHS-2	PRIHS-2									
	Mamíferos	Puntaje										
		Mamíferos										
0,2	1,49	4	50								Muy Alto	
3. PRIHS-1												

	RQ Abejas	A	Aves	TDI Aves	Aves	B	LD50 (mg/Kg)	TDI Mamíferos	Mamíferos	C	PRIES-1
LD ₅₀ (µg/kg) Abejas	6600	Puntaje Abejas	LD50 (ppm)	mg/kg peso/día	LD ₅₀ /TDI	Puntaje Aves	Mamíferos	mg/kg peso/día	LD ₅₀ /TDI	Puntaje Mamíferos	
0,05		4	0,71	1,6	0,4438	8	7,0	0,10	70,00	2	61
											Alto
4. PRIES-2											
DMA (dosis al suelo)*	Puntaje	(P) DT50 suelo	Puntaje	T ₁	Puntaje	T ₂	Puntaje	T ₃	Puntaje		PRIES-2
g i.a./Ha	DMA	Días	P	NOEL Abejas	T ₁	NOEL Aves (ppm)	T ₂	NOEL Mamíferos (ppm)	T ₃		
330	3	14	2	0,001	4	0,64	3	0,2	3		74,16
											Muy alto
5. PRISW-1											
DMA (dosis de aplicación)	<i>D_f</i>	<i>Q_D (CAE)</i>	Algas	Algas	(A) Algas	<i>Daphnia</i>	<i>Daphnia</i>	(B) <i>Daphnia</i>	Peces	Peces	(C) Peces
g i.a./Ha			EC ₅₀	EC50 /CAE	Puntaje	EC ₅₀	EC50 /CAE	Puntaje	LC50	LC ₅₀ /CAE	Puntaje
			mg i.a./l			mg i.a./l			mg i.a./l		
330	0,04	13,2	6,5	0,49242	8	0,0094	0,0007	8	0,18	0,0136	8
PRISW-1											
100											
	Resumen										
	Valor	Riesgo									
PRIHS-1	14,5	Bajo									
PRIHS-2	50	Muy alto									
PRIES-1	61	Alto									
PRIES-2	74,16	Muy alto									
PRISW-1	100	Muy alto									

ANEXO 8.

Cálculo del potencial de lixiviación del insecticida Carbofuran en un Cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá (Cundinamarca)

DATOS		GUS=	2,92588375	PUNTAJE		
				GUS	Potencial de Lixiviación	Resultado
DT50 suelo	14			$\geq 2,8$	Alto	Alto
Log DT50 suelo	1,14612804			1,8 - 2,8	Moderado	
Koc	28			$\leq 1,8$	No lixivía	
Log Koc	1,44715803					
GUS= $\text{Log}_{10}(\text{DT50suelo}) \cdot (4 - \text{Log}_{10}(\text{Koc}))$						

ANEXO 9

Aplicación del Índice de Riesgo de Residuos (IRR) en la estimación del nivel de riesgo de residuos de Carbofuran en Fresa.

DATOS GENERALES							DATOS						
Ingr. Activo:	Carbofuran						Variable	Valor	Unidades				
Producto:	Carbofuran 330 SC												
Localidad	Facatativá (Cundinamarca) Finca La Carolina						t1/2 (suelo)	14	días				
Fecha	Semestre B del 2009						t1/2 (metabolismo en planta)	4	días				
Cultivo:	Fresa						Log Kow	1,80	--				
							PBCP	48,36	--				
							Log PBCP	1,58	--				
							PBCL	60,50	--				
							Log PBCL	1,80	--				
							Dosis	330	g i.a./ha				
CALCULOS													
d	Na	ia	si	sf	sc	ma	F	p	C= d*f / (p)	PC	PR	IRR	Interpretación
0,0033	20	15	40	80	96	1,25	27	1,0	0,088	380,983	33,526	4	Alto
mg/cm*cm	Aplicaciones	Días			Semanas		Aplicaciones/día	Días					

ANEXO 10.

Cálculo de los Cocientes de Riesgo (RQ's) para organismos bioindicadores terrestres y acuáticos expuestos al fungicida Carbendazin en un Cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá (Cund.)

RIESGO AGUDO PARA ORGANISMOS ANIMALES TERRESTRES						
				LOC		RQ>LOC
				0,5	Si	
					No	X
Datos y ecuaciones						
Variable	Unidades	Valor				
Cociente de Riesgo RQ		0,12345679				
	$RQ = \frac{CAE}{LC50 \text{ (Lombriz de tierra)}}$					
Concentración Ambiental Estimada CAE		0,66666667				
	$CAE = \frac{\text{Dosis } (\frac{g \text{ de i. a.}}{ha})}{500 \times \text{Densidad aparente suelo } (\frac{g}{cc})}$					
Dosis	g de i.a./ha	500				
Densidad aparente	g/cc	1,5				
LC50 (Lombriz de tierra)	mg/kg suelo	5,4				

RIESGO CRÓNICO PARA ORGANISMOS ANIMALES TERRESTRES						
				LOC		RQ>LOC
				1,0	Si	
					No	X
Datos y ecuaciones						
Variable	Unidades	Valor				
Cociente de Riesgo RQ		0,53906548				
	$RQ = \frac{CAEC}{NOEC \text{ (Lombriz de tierra)}}$					
Concentración Ambiental Estimada Crónica CAEC		0,53906548				
	$CAEC = \frac{CAE \times (1 - e^{-k \times t})}{k \times t}$					
CAE		0,66666667				
k		0,03150669				
	$k = \frac{\ln 2}{DT50_{suelo} \text{ (días)}}$					
ln2		0,69314718				
DT50suelo	Días	22				
t	Días	14				
kt		0,44109366				
-kt		-0,44109366				
e		2,71828183				

e ^{-kt}		0,64333245				
(1-e ^{-kt})		0,35666755				
NOEC (Lombriz de tierra)	ppm	1				

RIESGO AGUDO PARA ORGANISMO ACUÁTICOS						
				LOC		RQ>LOC
				0,5	Si	X
					No	
Datos y ecuaciones						
Variable	Unidades	Valor				
Cociente de Riesgo RQ para Daphnia		133,333333				

$$RQ = \frac{CAE}{EC50 (Daphnia)}$$

EC50 (Daphnia)	mg i.a./l	0,15				
Cociente de Riesgo RQ para Algas		2,5				

$$RQ = \frac{CAE}{EC50 (Algas)}$$

EC50 (Algas)	mg i.a./l	8				
Cociente de Riesgo RQ para Peces		45,4545455				

$$RQ = \frac{CAE}{LC50 (peces)}$$

LC50 (Peces)	mg i.a./l	0,44					
Concentración Ambiental Estimada CAE			20				
	$CAE = Dosis \left(\frac{g \text{ de i. a.}}{ha} \right) \times D_f$						
Dosis	g de i.a./ha	500					
Fracción de deriva por viento Df	Decimales	0,04					

ANEXO 11.

Valoración del nivel de riesgo mediante el modelo RECAP en el uso del fungicida Carbendazin en un cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá (Cundinamarca).

1. PRIHS-1						A PRIHS-2			B PRIHS-2		Nivel de riesgo
Dosis	Dap	500*Dap	CAE	LC50 aguda oral	$LC_{50 \text{ aguda oral}}/CAE$	Puntaje	LD50 aguda oral	$LD_{50 \text{ aguda oral}}/CAE$	Puntaje		
g i.a/Ha	g/cm3		mg/Kg	Lombrices (mg/Kg suelo)	Lombrices	Lombrices	Ratas (mg/Kg peso)	Ratas	Ratas	PRIHS-1	
500	1,5	750	0,667	5,4	8,10	4	10000	15000	0	42	Alto
2. PRIHS-2											
Toxicidad crónica lombrices											
-kt	Kt	t	e	ln2	DT50 (días)	K	e^{-kt}	$(1-e^{-kt})$	$(1-e^{-kt})/kt$	$CAEC : CAE*(1-e^{-kt})/kt$	
-0,44	0,44	14	2,718	0,693	22	0,032	0,643	0,357	0,809	0,539	
NOEC	NOEC/CAEC	A PRIHS-2									
ppm	Lombrices	Puntaje									
		Lombrices									
1	1,9	4									
Toxicidad crónica mamíferos											
-kt	Kt	t	e	ln2	DT50	K	e^{-kt}	$(1-e^{-kt})$	$(1-e^{-kt})/kt$	$CAEC : CAE*(1-e^{-kt})/kt$	
-23,000	23,000	730	2,718	0,693	22	0,032	0,000	1,000	0,043	0,029	
NOEL (Reproducción)	NOEL/CAEC	A PRIHS-2	PRIHS-2								
ppm	Mamíferos	Puntaje									
		Mamíferos									
500	17249,91	0	44								Alto

3. PRIES-1											
	HQ Abejas	A	Aves	TDI Aves	Aves	B	LD50 (mg/Kg)	TDI Mamíferos	Mamíferos	C	PRIES-1
LD ₅₀ (µg/kg) Abejas	0,66	Puntaje Abejas	LD50 (ppm)	mg/kg peso/día	LD ₅₀ /TDI	Puntaje Aves	Mamíferos	mg/kg peso/día	LD ₅₀ /TDI	Puntaje Mamíferos	
756		0	2250	615	4	4	10000	0,02	500000	0	16
											Medio
4.PRIES-2											
DMA (dosis al suelo)*	Puntaje	(P) DT50 suelo	Puntaje	T ₁	Puntaje	T ₂	Puntaje	T ₃	Puntaje		PRIES-2
g i.a./Ha	DMA	Días	P	NOEL Abejas	T ₁	NOEL Aves (ppm)	T ₂	NOAEL Mamíferos (ppm)	T ₃		
500	3	22	2	1,512	2	212	0,1	100	1		37,49
											Medio
5. PRISW-1											
DMA (dosis de aplicación)	D _f	Q _D /CAE	Algas	Algas	(A) Algas	Daphnia	Daphnia	(B) Daphnia	Peces	Peces	(C) Peces
g i.a./Ha			EC ₅₀	EC50 /CAE	Puntaje	EC ₅₀	EC50 /CAE	Puntaje	LC50	LC ₅₀ /CAE	Puntaje
			mg i.a./l			mg i.a./l			mg i.a./l		
500	0,04	20,0	8	0,4	8	0,15	0,0075	8	0,44	0,0220	8
PRISW-1											
100											Muy alto
Resumen											
	Valor	Riesgo									
PRIHS-1	42	Alto									
PRIHS-2	44	Alto									
PRIES-1	16	Medio									
PRIES-2	37,49	Medio									
PRISW-1	100	Muy alto									

ANEXO 12.

Cálculo del potencial de lixiviación del fungicida Carbendazín en un Cultivo de Fresa en el Municipio de Facatativá (Cundinamarca)

DATOS		GUS=	2,21727301	PUNTAJE		
				GUS	Potencial de Lixiviación	Resultado
DT50 suelo	22			≥ 2,8	Alto	Moderado
Log DT50 suelo	1,34242268			1,8 - 2,8	Moderado	
Koc	223			≤ 1,8	No lixivia	
Log Koc	2,34830486					
GUS=Log10(DT50suelo)*(4-Log10(Koc))						

ANEXO 13

Aplicación del Índice de Riesgo de Residuos (IRR) en la estimación del nivel de riesgo de residuos de Carbendazin en Fresa.

DATOS GENERALES							DATOS						
Ingr. Activo:	Carbendazin						Variable	Valor	Unidades				
Producto:	Derosal 500 SC												
Localidad	Facatativá (Cundinamarca) Finca La Carolina						t1/2 (suelo)	22	días				
Fecha	Semestre B del 2009						t1/2 (metabolismo en planta)	6	días				
Cultivo:	Fresa						Log Kow	0,90	--				
							PBCP	27,68	--				
							Log PBCP	1,02	--				
							PBCL	24,60	--				
							Log PBCL	0,90	--				
							Dosis	500	g i.a./ha				
CALCULOS													
d	Na	ia	si	sf	sc	ma	f	p	C= d*f / (p)	PC	PR	IRR	Interpretación
0,0050	20	15	40	80	96	1,25	27	1,0	0,133	287,499	38,333	4	Alto
mg/cm*cm	Aplicaciones	Días			Semanas		Aplicaciones/día	Días					