



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

**Impacto ambiental por plaguicidas aplicados en la agricultura en la
microcuenca Ciénega Prieta de Yuriria Guanajuato.**

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Nicolás Ortega García

Dirigido por:

Dr. Miguel Ángel Domínguez Cortázar

Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza

Santiago de Querétaro Mayo del 2021



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Impacto ambiental por plaguicidas aplicados en la agricultura en la microcuenca Ciénega Prieta de Yuriria Guanajuato.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión Integrada de Cuencas

Presenta:

Nicolás Ortega García

Dirigido por:

Dr. Miguel Ángel Domínguez Cortázar

Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza

SINODALES

Dr. Miguel Ángel Domínguez Cortázar

Presidente

Firma

Dr. Enrique Arturo Cantoral Uriza

Secretario

Firma

Dra. Ma. Antonia Pérez Olvera

Vocal

Firma

Dr. Juan Pablo Ramírez Herrejón

Suplente

Firma

Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero

Suplente

Firma

Dra. Juana Elizabeth Elton Puentes
Director de la Facultad

Dra. Ma Guadalupe Flavia Loarca Piña
Director de Investigación y Posgrado

Campus UAQ- Aeropuerto

Querétaro, Qro.

Santiago de Querétaro Mayo del 2021

México

RESUMEN

Los sistemas de alta productividad agrícola son muy demandantes de insumos de origen químico, posicionando a la agricultura como la principal fuente de contaminación puntual. La contaminación del agua y el suelo favorecen a la contaminación de los alimentos que se generan en las microcuencas, y contribuyen en el deterioro del medio ambiente, afectando la salud humana con la proliferación de manera alarmante de enfermedades crónicas, que en ciertos casos concluyen con la muerte. Con el presente trabajo se logró Identificar las zonas agrícolas con mayor grado de contaminación en la microcuenca Ciénega Prieta del municipio de Yuriria Guanajuato, tomando como punto fundamental de dicha productividad, al asesoramiento para el correcto control de plagas de los cultivos más importantes en la zona. Para este fin, se realizó una revisión bibliográfica de recomendaciones dadas por instituciones de gobierno, entrevistas con asesores locales y talleres participativos con productores, obteniéndose de esta manera, el padrón más actual de plaguicidas usados en los cultivos de interés. Se empleó el método indirecto denominado Cociente de Impacto Ambiental (CIA) para conocer el grado de contaminación generado por cada tipo de asesoramiento en cuanto al cultivo establecido. Para ampliar los criterios del efecto contaminante, se modeló por medio del software QSWAT 1.0 la concentración de sedimentos, considerando aspectos morfométricos de la microcuenca y sus diferentes Unidades de escurrimiento (UE). Usando el software Qgis 3.4.1 se realizaron mapas de riesgo tomando en cuenta la superficie establecida de maíz y sorgo, por ser los de mayor CIA; y las zonas de concentración de sedimentos en las UE de la microcuenca; además, para mantener un proceso más certero de análisis, se buscó la relación de dichos parámetros de forma matemática, encontrando que la UE2 es la más contaminante. Por último, se constató que los plaguicidas recomendados por instituciones gubernamentales, contaminan más que los de los asesores locales y estos, más que los de los productores, encontrando plaguicidas clasificados actualmente por instituciones

internacionales, como altamente peligrosos, los que siguen siendo usados en todos los procesos productivos de la zona de estudio.

(Palabras clave: Cuenca, Agricultura, Contaminación, Impacto ambiental, Plaguicidas).

Summary

High agricultural productivity systems are very demanding of inputs from chemical origin, positioning agriculture as the main source of punctual pollution. The pollution of water and soil favors the contamination of food that is generated in the micro-watersheds, and contributes to the environment's deterioration, affecting human health with the alarming proliferation of chronic diseases, which in certain cases conclude with death. This research made possible to identify the agricultural areas with the highest degree of pollution in the Ciénega Prieta micro-watershed of the municipality of Yuriria Guanajuato, taking as an essential point of this productivity, the advice for the correct control of pests of the most important crops in the zone. In order to achieve this, a bibliographic review of recommendations given by government institutions, interviews with local advisers and participatory workshops with producers were carried out. The result of those was the most current list of pesticides used in the crops of interest. The indirect method called Environmental Impact Quotient (EIQ) was used to determine the degree of pollution generated by each type of advice regarding the established crop. To broaden the criteria for the polluting effect, the sediment concentration was modeled using the QSWAT 1.0 software, considering morphometric aspects of the micro-watershed and its different runoff Units (UE). Using the Qgis 3.4.1 software, risk maps were made considering the established area of corn and sorghum, as they are the ones with the highest EIQ; and the areas of sediment concentration in the micro-watershed UE; In addition, in order to maintain a more accurate analysis process, the relationship of those

parameters was sought in a mathematical way, finding that UE2 is the most polluting. Finally, it was found that the pesticides recommended by government institutions, pollute more than those of local advisers and these, more than those from the producers, finding pesticides currently classified by international institutions as highly dangerous, which continue to be used in all the productive processes of the area of study.

(Keywords: Watershed, Agriculture, Pollution, Environmental impact, Pesticides).

Dirección General de Bibliotecas de la UAG

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la vida por todo lo que me ha dado y que gracias a su incesante proceso de enseñanza me he forjado como un mejor ser humano

A mis padres por darme la oportunidad de conocer este mundo

A mi familia por darle sentido a mis momentos actuales

A mis amigos por el ánimo transmitido

A mis compañeros por la paciencia dada

A mis maestros por su conocimiento y experiencia brindada

A mis sinodales por su tiempo y sabiduría prestada

A la UAQ por el cobijo dado en este proceso

A la UACH, UG e ITESS por su formación y apoyo incondicional

Y a todos y cada uno de los que se vieron involucrados en el logro de este trabajo

¡Muchas gracias!

INDICE

RESUMEN.....	i
Summary	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INDICE.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE CUADROS.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	7
OBJETIVOS.....	8
General.....	8
Particulares.....	8
CAPITULO I. MARCO TEORICO	10
1. La cuenca, su gestión, seguridad alimentaria y efectos contaminantes en la salud causados por los modelos productivos dentro de la microcuenca	10
1.1 El concepto de cuenca.....	10
1.2 La gestión dentro de la cuenca.....	11
1.3 El manejo integral de cuencas.....	12
1.4 El enfoque Holístico en el manejo de cuencas.	13
1.5 Herramientas para el análisis integral de cuencas.	14
1.6 Nuevos enfoques en el Manejo Integrado de Cuencas.	19
1.7 La gestión del agua y la agricultura como prioridad en la seguridad alimentaria.	21
1.8 Definición de plaguicida.....	23
1.9 Clasificación de los plaguicidas.	24
1.10 Contaminación por plaguicidas.....	27
1.11 El uso de plaguicidas en la agricultura.....	29
1.12 Efecto de los plaguicidas en la salud del ser humano.	30

1.13 Dinámica ambiental y persistencia de los plaguicidas.	32
1.14 Evaluación del impacto ambiental de plaguicidas.	36
CAPITULO II. ANTECEDENTES	40
2. Importancia en el manejo racional de plaguicidas y técnicas indirectas de medición	40
2.1 Problemas de los plaguicidas en la salud humana.	40
2.2 Agricultura y sus consecuencias.	41
2.3 Regulación de aplicaciones de plaguicidas.	42
2.4 Uso de plaguicidas en la zona del Bajío Guanajuatense.	43
2.5 Técnicas que permiten determinar el impacto ambiental causado por plaguicidas.	46
CAPITULO III. MÉTODOS Y HERRAMIENTAS	49
3.1 Zona de estudio.	49
3.2 Obtención de los modelos productivos basados en el uso de plaguicidas.	55
3.3 Calculo del Cociente de Impacto Ambiental (CIA).	56
3.4 CIA teórico.	58
3.5 Valoración estadística de los CIA.	65
3.6 Calculo de arrastre de sedimentos.	66
3.7 Uso de la percepción remota para establecer las zonas de cultivo.	66
3.8 Ubicación de zonas más contaminantes.	67
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION	69
4. Delimitación del área de estudio	69
4.1 Obtención del paquete tecnológico oficial, de asesoría y de campo.	71
4.2 Cálculo del CIA de campo.	78
4.3 Calculo del CIA _{campo/cultivo}	84
4.4 Calculo del CIA _{total}	85
4.5 Análisis estadístico.	86
4.6 Calculo del arrastre de sedimentos.	88
4.7 Cálculo de la morfometría de la microcuenca y unidades de escurrimiento	91

4.8 Verificación de la zona de riego mediante visitas de campo.....	93
4.9 Elaboración del mapa de los cultivos establecidos en la zona de riego. ..	95
4.10 Delimitación de las áreas más contaminadas.....	95
5. Discusión	106
6. Conclusiones	114
7. Recomendaciones	116
LITERATURA CITADA	118

Dirección General de Bibliotecas de la UAG

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Herramientas para el análisis integral de cuencas	17
Figura 2. Área más representativa de la zona de estudio	53
Figura 3. Efecto negativo de los procesos altamente tecnificados.....	54
Figura 4. Esquema de metodología para el cálculo del CIA	58
Figura 5: Variables involucradas en el cálculo de los efectos sobre el trabajador agrícola.....	61
Figura 6. Variables involucradas en el cálculo de los efectos sobre el consumidor.	63
Figura 7. Variables involucradas en el cálculo de los efectos sobre el ambiente...64	
Figura 8. Proceso de elaboración de los mapas de riesgo.....	68
Figura 9. Delimitación del área de estudio	70
Figura 10. Análisis de significancia entre medias de los CIA campo/cultivo	87
Figura 11. Zonas de mayor acumulación por arrastre de sedimentos.	90
Figura 12. Verificación del área de riego de la microcuenca en estudio.	94
Figura 13. Mapa de los cultivos y usos del suelo en la zona de riego mediante el complemento SCP de Qgis.....	96
Figura 14. (Acercamiento) Mapa de los cultivos y usos del suelo en la zona de riego mediante el complemento SCP de Qgis.	97
Figura 15. Mapa de los cultivos establecidos en las unidades de producción y usos del suelo mediante visitas en campo.	98
Figura 16. Distribución de cultivos (maíz y sorgo) dentro de las zonas de acumulación de sedimentos anuales en la zona de riego.....	99
Figura 17. Superficies establecidas de maíz y sorgos en las diferentes UE y su rango de acumulación de sedimentos.	101
Figura 18. Parcelas establecidas de maíz en la UE1 y su rango de acumulación de sedimentos.....	102
Figura 19. Parcelas establecidas de maíz en la UE2 y su rango de acumulación de sedimentos.....	103
Figura 20. Parcelas establecidas de maíz en la UE3 y su rango de acumulación de sedimentos.....	104

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Datos climáticos	49
Cuadro 2. Destino de las tierras.....	50
Cuadro 3. Uso de las tierras.	51
Cuadro 4. Principales cultivos.....	51
Cuadro 5. Criterios de ponderación de las variables usadas en el cálculo del CIA teórico.....	59
Cuadro 6. Paquete tecnológico oficial.....	71
Cuadro 7. Paquete tecnológico de asesoría	73
Cuadro 8. Paquete tecnológico de campo	76
Cuadro 9. CIA _{ia} del paquete tecnológico oficial.....	78
Cuadro 10. CIA _{ia} del paquete tecnológico de asesoría	80
Cuadro 11. CIA _{ia} del paquete tecnológico de campo	82
Cuadro 12. CIA _{campo/cultivo} Paquetes tecnológicos.....	85
Cuadro 13. CIA _{total} Paquetes tecnológicos.....	85
Cuadro 14. Análisis de varianza y prueba de Tukey para los datos de CIA _{campo/cultivo}	86
Cuadro 15. Superficie y rangos de acumulación de sedimentos por unidad de escurrimiento (UE)	90
Cuadro 16. Morfometría de la microcuenca y sus unidades de escurrimiento.....	91
Cuadro 17. Rangos de acumulación de sedimentos, superficie establecida por cultivo en cada unidad de escurrimiento.....	100
Cuadro 18. Parámetros relevantes para el cálculo de las zonas más contaminantes dentro de las Unidades de Escurrimiento por cultivo establecido en el ciclo 2019.....	105
Cuadro 19. Clasificación de los plaguicidas por su (CIA _t) en comparación con los Altamente Peligrosos clasificados por PAN	108
Cuadro 20. Cálculo del Impacto Global por el Uso de Plaguicidas en el paquete tecnológico de campo en las Unidades de Escurrimiento.....	112
Cuadro 21. Cálculo del Impacto Global por la Acumulación de Sedimentos en las Unidades de Escurrimiento.....	112

INTRODUCCIÓN

En una región geográfica, los fenómenos humanos colectivos son complejos y difíciles de definir y aún más de delimitar, sus límites son convencionales y dependen en gran parte del criterio empleado, y cambian en el tiempo (Cotler, 2007). Asimismo, el análisis de gran parte de los fenómenos hidrológicos que ocurren sobre un determinado espacio geográfico suele tener como referencia a la unidad fisiográfica conocida como cuenca (Díaz et al., 1999).

Los avances en el perfeccionamiento de los sistemas agropecuarios y de las unidades de producción, están dirigidos a asegurar el alimento de las familias que habitan dentro y fuera de estas áreas fisiográficas; la prevención y el control de los organismos que atacan a sus sembradíos, se le atribuye al uso de plaguicidas. Estos organismos son llamados plagas y conceptualmente se les ha considerado como aquellas formas de vida vegetal o animal, o bien, agentes patógenos potencialmente dañinos o perjudiciales a los vegetales, animales y al ser humano (FAO, 2006 y DOF, 2017). En el mundo, así como en nuestro país, se ha recurrido al uso de estas sustancias químicas, que permiten remediar el efecto que las diferentes plagas causan en contra de los productos agrícolas de donde la sociedad local mantiene su seguridad alimentaria. En México se han adoptado conceptos para definir a los plaguicidas como un insumo fitosanitario, una sustancia o mezcla de sustancias que se destinan a prevenir, repeler, combatir, controlar y destruir cualquier organismo patogénico en cualquier ámbito de interés para el ser humano (FAO, 2006; DOF, 2017 y DOF, 2018).

El uso de estos químicos actualmente ha provocado una gran preocupación por el efecto que tienen en el ambiente, encontrándose en sus diferentes componentes (aire, agua y suelo), aun en diversas regiones geográficas muy remotas al sitio de aplicación (Gevao y Jones, 2002). En tal sentido, los plaguicidas

constituyen la principal fuente de contaminación difusa o no puntual del agua superficial y está condicionada por los escurrimientos que se encuentran en su camino hacia los cuerpos de almacenamiento o de conducción (canales, arroyos, ríos y lagos), ya sea de modo directo o a través de sistemas de drenaje. En cuanto a la contaminación del agua subterránea, este efecto se da debido a la lixiviación tanto de suelos agrícolas como de los no cultivados, situación que ocurre a nivel mundial por la necesidad de producir alimentos para la sociedad, a cambio de un elevado costo ambiental (Cerejeira et al., 2003; Pérez y Aguilar, 2012; Larsen et al., 2013).

El destino de los plaguicidas en el ambiente depende de un complejo proceso influenciado por sus propiedades fisicoquímicas, las prácticas de manejo, las condiciones climáticas, las propiedades del suelo y del agua (Spadotto et al., 2002).

Dado que en México no se tienen datos precisos de las afectaciones a la salud asociadas directa o indirectamente con plaguicidas, es necesario documentar los efectos a largo plazo en las poblaciones expuestas, por ejemplo, en los trabajadores agrícolas. De igual manera, se desconoce el riesgo asociado al consumo de productos que han estado expuestos a fumigaciones. Las poblaciones infantiles son particularmente vulnerables a los efectos de estos contaminantes, sin embargo, no existen instrumentos gubernamentales que regulen la exposición ambiental a dichos compuestos (Wigle et al., 2007; Cifuentes et al., 2010).

La metodología más utilizada para conocer el efecto en el ambiente de los plaguicidas se basa en realizar análisis químicos de laboratorio (Torres y Capote, 2005), pero existen otras técnicas que permiten estimarlo de manera indirecta, una de estas es a través del Cociente de Impacto Ambiental (CIA) desarrollado por Kovach et al. (1992). Este índice evalúa el efecto en el ambiente por parte de los plaguicidas, la magnitud del daño, y se proponen soluciones que permitan reducir o

eliminar el riesgo asociado con el uso de ciertas técnicas en la producción agrícola, o bien, sirve para concientizar a los productores de la importancia de reducir las aplicaciones de ciertos químicos que se acumulan en los productos finales, evitando la contaminación del agua, los daños a la salud de las personas e incrementar la conservación de los ecosistemas (IICA, 2017). Mediante los datos de consumo de dichas sustancias, dosis, frecuencia de aplicación y concentración de los ingredientes activos que se involucran en los diferentes procesos de cultivo, se determina el CIA de manera adimensional y se obtiene información que permite identificar al proceso de producción agrícola más contaminante (Kovach et al., 1992).

En México, a los procesos de producción agrícola o de cultivo se les denominan paquetes tecnológicos, cada uno de ellos usa diferentes cantidades de insumos de origen químico, lo cual representa un riesgo de contaminación al ambiente y a los seres vivos. Encontrar cuál es el que tiene un mayor riesgo para los habitantes en la cuenca, permite detectar las zonas contaminadas atribuibles a la acumulación de sedimentos, mismos que son transportados por el agua superficial, desde los puntos de aplicación, hacia las partes bajas de la cuenca. Esta particularidad hace posible la elaboración de mapas de riesgo con herramientas de geoposicionamiento y modelado geoespacial, a través de éstas se ubican áreas de mayor contaminación puntual atribuible a las actividades agrícolas. Esta metodología, permite generar una alternativa de análisis para el manejo adecuado de los productos químicos involucrados en los diferentes procesos de producción de cultivos en una cuenca, poniendo como prioridad los riesgos a la salud, la contaminación del suelo y del agua.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento de los rendimientos de las unidades de producción coadyuva al incremento de la producción agrícola, ya que al reducir los organismos que perjudican los cultivos, se pretende asegurar el éxito en la producción de alimentos. Un plaguicida en el suelo sigue varios procesos que determina su destino final; uno es que se incorpore a la fase líquida, donde se puede degradar física, química, microbiológicamente, o bien es transportado a horizontes más profundos; el segundo sería a la fase sólida, donde es retenido por la materia orgánica y las arcillas, llevado posteriormente por el viento o el agua de las partes altas a las bajas, contaminando cuerpos de almacenamiento; y por último a la gaseosa, donde es volatilizado hacia la atmósfera (Aparicio et al., 2015).

A nivel mundial la contaminación es un grave problema, por todas las implicaciones que ésta constituye en el ámbito de la salud humana. La alta producción de alimentos está condicionada al uso constante de insumos y tecnologías agrícolas cada vez más eficientes, sin embargo, éstas suelen derivar en conflictos entre medio ambiente y producción agrícola. Después de la primera y segunda guerra mundial, los avances tecnológicos dedicados a la industria bélica detonaron en una mejora en el uso de innovaciones en favor de la producción de alimentos. A partir de la década de los años cuarenta, el uso de plaguicidas aumentó de manera continua, por la intensa fabricación de agrotóxicos derivada como productos colaterales de una prominente industria químico-biológica asociada, la manufactura de armas de este tipo durante los conflictos sociales (Torres y Capote, 2005; Ceccon, 2008; Reyes et al., 2010).

En América Latina y el Caribe, el uso de plaguicidas se ha arraigado a partir del movimiento tecnológico denominado "Revolución Verde". No obstante, se tienen serios problemas de contaminación y de salud por la exposición en la aplicación de dichos productos, destacando en orden de importancia el uso de herbicidas, insecticidas, fungicidas y bactericidas. Países como Brasil, Colombia, Bolivia;

Ecuador, Chile y Guatemala son los más altos consumidores de estos agrotóxicos (Ceccon, 2008; Gómez et al., 2013).

En México hasta el 2005, según lo expresado por Albert (citado por Pérez et al., 2013), no se tenían datos fiables de la aplicación de plaguicidas, así mismo el CICLOPLAFEST, órgano que vigila el control y uso de este tipo de sustancias, manifiesta que en el 2008, el 9.23% del total de las marcas utilizadas en el país están prohibidas en otros lugares del mundo, el 5% restringidas, y que, en conjunto, son las principales causas de intoxicación al no tenerse el suficiente cuidado y control en su manejo (Pérez et al., 2013).

En la zona noreste y centro de nuestro país, encontramos Estados con vocación altamente productiva en diversos cultivos hortícolas de exportación y de granos, como Sinaloa, Sonora, Chihuahua, Baja California, Guanajuato y Estado de México, en estos lugares se consume una gran cantidad de productos químicos prevaleciendo la carencia de medidas de protección y asesoría técnica para su uso, o bien, éstas son insuficientes e inadecuadas (Albert, 2005).

El Bajío Guanajuatense es una zona muy productiva y mantiene un modelo de desarrollo agrícola con altos rendimientos y calidad de exportación, por lo tanto, es enormemente demandante en el uso de insumos de origen químico. El límite máximo de residuos permitidos es un indicador de calidad de los productos agrícolas, pero es considerado únicamente por aquellos productores que tienden a mantener una relación comercial con países de la Unión Europea y Estados Unidos de América, acción que se focaliza en los productores con un nivel de tecnificación mayor y que cuentan con mayores recursos económicos para la producción (Pérez et al., 2013; Pérez et al., 2017).

En Guanajuato existen zonas con potencial productivo para diferentes cultivos, y el sur del Estado no es la excepción, Municipios como Salvatierra,

Santiago Maravatio, Jaral del Progreso y Yuriria, por citar algunos, están considerados en esta clasificación (INIFAP, 2012).

El contexto geográfico de referencia para esta investigación es el municipio de Yuriria. En éste, la principal actividad es la agricultura, la cual puede ser de riego en la parte plana con menor pendiente y de temporal en las partes altas. La agricultura de riego tiene muy alta aptitud en más del 50% de la superficie, siguiéndole la agricultura de temporal con mediana aptitud y alta aptitud en la parte alta de la zona. Los suelos dominantes son vertisoles, dentro de los que encontramos en mayor proporción a los pelicos y en menor grado los crómicos; los principales cultivos son cereales dentro de los que destacan el sorgo y el maíz para la siembra de primavera-verano, en contraparte en el ciclo otoño-invierno predomina el trigo y la cebada. En el ámbito pecuario, el territorio está considerado con alto potencial para la ganadería intensiva, caso contrario para la ganadería extensiva que es en menor proporción (IPLANEG, 2018 y SEBIO-GTO, 2018).

Actualmente, es poco lo que se ha hecho para valorar el impacto ambiental o el grado de contaminación ocasionado por el uso intensivo de plaguicidas, siendo un problema que se debe de atacar de manera inmediata, buscando las consecuencias reales para la salud pública, los ecosistemas, la economía y la estabilidad social; haciendo énfasis y señalando las zonas con mayor problemática (Albert, 2005; Torres y Capote, 2005).

La zona de estudio está conformada en mayor proporción por áreas destinadas a la actividad agrícola tanto de riego como de temporal en cuanto al uso de suelo, la zona alta y media presenta áreas con vegetación secundaria de material arbustivo crasicaule, la parte baja está caracterizada por la agricultura de riego. En cuanto a relieve predomina principalmente la sierra volcánica de laderas tendidas con lomerío y en segundo orden la llanura de vaso lacustre, el clima sobresaliente es semicálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad. Dicha

microcuenca sobresale en el demás territorio por mantener una mayor zona agrícola y una mayor cantidad de áreas de asentamiento humano dentro de la misma, lo que permite tener una mejor percepción ante los posibles eventos que suelen presentarse en el manejo de los recursos naturales que son de importancia para sus habitantes, dando prioridad al recurso agua (INEGI, 2009).

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son los plaguicidas aplicados en los procesos de producción agrícola, que representan un mayor riesgo de contaminación para los habitantes de la zona de estudio?

¿En el ámbito de la microcuenca estudiada, cuáles son las zonas con mayor problema de contaminación de acuerdo al modelo de producción agrícola implementado por sus habitantes?

¿Cómo influye el arrastre de sedimentos sobre el tipo de agricultura que se practica en la zona de estudio?

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación busca identificar las zonas que presentan un mayor grado de contaminación ocasionado por el uso de plaguicidas en la actividad agrícola. Los resultados permitirán hacer propuestas de manejo alternativo en los procesos de producción, trayendo consigo una mejor calidad de los productos que consumen las comunidades rurales y urbanas que conforman las unidades fisiográficas conocidas como microcuencas. Asimismo, al estudiar dichos procesos se pretende reducir conjuntamente las aportaciones de productos químicos altamente peligrosos a los componentes del suelo, disminuyendo la cantidad de sedimentos contaminados que

son arrastrados por el agua de las partes altas a las bajas donde se almacenan, disminuyendo de esta manera el deterioro ambiental.

Así, la obtención de información sobre el comportamiento de los modelos de producción agrícola de acuerdo a su manejo y mediante técnicas indirectas, permitirá estimar el grado de contaminación ocasionado por la aplicación de productos químicos y aportará criterios que den mayor certeza en el diagnóstico de la situación real que guardan las actividades primarias en el abasto de alimentos.

OBJETIVOS

General

Identificar las zonas agrícolas con mayor grado de contaminación mediante el método indirecto llamado Cociente de Impacto Ambiental (CIA), en la microcuenca Ciénega Prieta del municipio de Yuriria Guanajuato, considerando los plaguicidas aplicados en los procesos de cultivo, el tipo de agricultura y la cantidad de sedimentos arrastrados.

Particulares

- 1) Obtener el inventario de superficies agrícolas tanto de riego como de temporal en la microcuenca Ciénega Prieta del municipio de Yuriria Guanajuato.
- 2) Obtener el padrón de plaguicidas aplicados en los diferentes procesos de producción agrícola en la microcuenca citada.

- 3) Aplicar la metodología del Cociente de Impacto Ambiental para identificar él o los procesos de producción agrícola más contaminantes dentro de la microcuenca de estudio.
- 4) Calcular el arrastre de sedimentos dentro de la microcuenca, mediante la modelación geoespacial y compararla con la actividad agrícola, identificando las zonas con mayor potencial de contaminación.
- 5) Elaborar una propuesta de manejo opcional en el ámbito agrícola que permita poner en práctica los conocimientos generados por el presente trabajo.

CAPITULO I. MARCO TEORICO

1. La cuenca, su gestión, seguridad alimentaria y efectos contaminantes en la salud causados por los modelos productivos dentro de la microcuenca

En este capítulo se abordará el concepto de cuenca y su evolución con enfoque de manejo integral y como una herramienta para el uso y gestión adecuada de los recursos naturales, así como el impacto social que se tiene en los habitantes de estas zonas. Es igualmente importante conocer el efecto que tiene la gestión del agua en la actividad agrícola, ya que ésta es el principal componente dentro de la seguridad alimentaria de los habitantes de un país, de sus estados, regiones y/o territorios. Por otro lado, la importancia de conocer los modelos agrícolas altamente productivos donde se consume y maneja un alto grado de insumos, dentro de los que destacan los plaguicidas, coadyuvará a entender la interacción entre éstos y los seres vivos, así como las consecuencias que trae consigo la aplicación desmedida e irracional en la agricultura.

1.1 El concepto de cuenca.

El concepto de cuenca ha ido evolucionando conforme a la necesidad cada vez mayor de alcanzar un manejo adecuado del territorio. Durante muchos años se consideró que la hidrología era la disciplina que aporta el concepto de cuenca, pero únicamente para fines de cuantificación y modelado hídrico. De acuerdo con este enfoque, una cuenca es aquella parte de la superficie terrestre tal que, si fuera impermeable, todas las gotas de lluvia que caen sobre ella serían drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Esta definición se asocia a una dinámica superficial sin tomar en cuenta la existencia de los escurrimientos subterráneos. De manera general y desde el punto de vista de la ubicación del punto de salida de los escurrimientos, existen cuencas endorreicas y exorreicas, entre

otras. En las primeras, el punto de salida está dentro de los límites de la misma y generalmente corresponde a un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y puede formar parte de otra corriente o tener como destino final el mar (Aparicio, 1999).

Breña y Jacobo en el 2006, mantienen el concepto de que la cuenca se refiere a aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano

En épocas más recientes el concepto de cuenca ha evolucionado en un enfoque más integral, dotándolo de elementos que incorporan la dimensión social y ambiental, lo que se traduce hoy en día en el manejo y gestión integrada de cuencas, siendo la cuenca hidrográfica el modelo adecuado de estudio (Caire, 2004).

1.2 La gestión dentro de la cuenca.

A partir del concepto de cuenca hidrológica, diferentes organismos federales encargados de la gestión del recurso agua en nuestro país, regionalizaron el territorio nacional con diferentes esquemas y criterios (Breña y Jacobo, 2006). El enfoque de gestión por cuencas se inició en su momento solo por la necesidad de gestionar el agua, en particular el uso múltiple de la misma y en controlar el efecto de los fenómenos hidrológicos extremos. Las cuencas inicialmente se tomaron como áreas de grandes inversiones en obras hidráulicas dirigidas a aumentar la oferta de agua, energía, navegabilidad y otros (Dourojeanni, 2006).

El manejo adecuado de los recursos naturales y no solo del agua, se comienza a dar al integrar a la cuenca hidrológica con los recursos bióticos y no bióticos, naciendo así unidades de gestión que incorporan los componentes social

y ambiental. En nuestro país, este enfoque se incorporó a la Ley de Aguas Nacionales en 1992. La adopción de dicha unidad de gestión obliga a la debida interrelación entre el recurso agua y los distintos componentes de una cuenca, esquema que requiere considerar no solo a los conceptos hidrológicos, sino a las dimensiones social y ambiental, aspectos que trascienden hacia un verdadero enfoque integrado de los recursos naturales existentes en un territorio.

Chávez en el 2007, hace un análisis a detalle sobre las características de las cuencas hidrográficas y de los aspectos de la gestión integral. Menciona que todas las cuencas están definidas por un parteaguas y que éste es una línea invisible que se cruza y se desvanece, lo mismo que se multiplica al capricho de la naturaleza y, por tanto, define a miles de territorios en cuencas de diferentes jerarquías.

1.3 El manejo integral de cuencas.

El Manejo Integral de Cuenca se basa en el entendimiento de la dinámica de la cuenca y de cada uno de sus componentes, así como en el conocimiento, voluntad, capacidad de gestión y participación de los actores que intervienen en la cuenca (Dourojeanni, 2006).

En estos espacios de gestión, los fenómenos humanos colectivos son complejos y difíciles de definir y aún más de delimitar, sus límites son convencionales y dependen en gran parte del criterio empleado, y cambian en el tiempo. Asimismo, el análisis de gran parte de los fenómenos hidrológicos que ocurren sobre un determinado espacio geográfico suele tener como referencia a la cuenca (Cotler, 2007).

La gestión integral de la cuenca es el manejo ordenado y coherente de todo lo que existe en un territorio articulado por un sistema hidrológico definido en sus

fronteras por el parteaguas. Por ello, cuando se habla de estos espacios territoriales, es pertinente precisar a qué tipo de cuenca o agrupamiento de ellas se refiere y qué se quiere obtener como resultado del proceso de gestión. El objeto de la gestión es regular las acciones de los seres humanos, tanto las individuales como las colectivas, ya sean realizadas por las empresas o por las organizaciones sociales. Estas acciones se ejecutan en relación con la presencia de los propios habitantes, el agua, los bosques, los suelos, la fauna o los ecosistemas, y se llevan a cabo en un espacio geográfico llamado región, estado, municipio, cuenca o acuífero; los objetivos del desarrollo son las definiciones que sirven para orientar las acciones de los múltiples actores que interactúan en la cuenca y que les dan razón y sentido a los procesos de gestión (Chávez, 2007).

Todo lo que existe sobre la cuenca debe ser tomado en cuenta, ya sea el agua, los bosques, los suelos, la biodiversidad y los ecosistemas, pero también la infraestructura y los servicios que el hombre ha creado para satisfacer sus necesidades de trabajo, habitación, transporte, sustento y recreación. Parte fundamental de las cuencas somos los seres humanos y las múltiples y complejas relaciones sociales, económicas y ambientales que establecemos entre nosotros y el medio natural (Chávez, 2007).

1.4 El enfoque Holístico en el manejo de cuencas.

Actualmente se busca mantener una visión holística donde la naturaleza debe ser considerada como un todo si se desea conocerla en detalle, donde la sinergia y el comportamiento colectivo, ordenado y organizado de los sistemas abiertos se tiene que describir con base en las leyes de autoorganización de sistemas. Así, los sistemas complejos como lo son las cuencas son más que el resultado de la suma de sus partes, ya que tienen sus propias leyes y su lógica interna. El continuo despliegue de la complejidad organizada del ecosistema, su intrínseca capacidad

de auto organizarse esporádicamente constituye una propiedad fundamental (IMTA, 2016).

Con este enfoque, la cuenca es un sistema complejo, dinámico, abierto y heterogéneo, y funciona como tal, por lo que se requiere caracterizar el medio biofísico delimitando unidades ambientales homogéneas, donde se pueda evaluar integralmente a cada componente natural, sin dejar de visualizar la heterogeneidad espacial. El área de la cuenca como ya se ha mencionado, es drenada por un río y sus tributarios, y sus componentes están definidos por las altitudes que definen al relieve. Destaca el agua como elemento controlador del funcionamiento del ecosistema y, al mismo tiempo, como elemento central en el desarrollo económico y social de las comunidades. La delimitación de la cuenca está dada por la organización de los cauces. En su territorio conviene definir aspectos altitudinales en función de los cambios en la precipitación y la temperatura, en los tipos de rocas y materiales superficiales, como el relieve, los suelos y su potencial de productividad, en los cambios en la riqueza y abundancia de la biota, en el uso del suelo y en los sistemas productivos y en la organización social y política para el manejo de los recursos (Cotler, 2007; Mass, 2007 y Bocco, 2007).

1.5 Herramientas para el análisis integral de cuencas.

Los recursos naturales, tales como el agua y sus cuencas, se distribuyen sobre espacios concretos; por lo tanto, son susceptibles de ser representados en mapas, una vez inventariados y clasificados. El inventario y clasificación de cuencas se basa en dos tipos de datos. Los obtenidos en el campo, y los derivados de la percepción remota, también verificados en campo. En la actualidad, la forma más conveniente de almacenar y analizar este conjunto de datos es mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que además permiten la elaboración y manipulación de mapas. Entonces, es posible relacionar en forma coherente y sistemática los datos de localización de los recursos hídricos, con sus características descriptivas

cuantitativas y cualitativas. Este hecho ofrece una visión integral y territorial del dato (en su localización geográfica y en sus características temáticas), lo cual permite mejorar las técnicas analíticas, incluyendo las estadísticas y las geoestadísticas (Bocco, 2007).

En general, para estudiar una cuenca hidrológica se requieren métodos cuantitativos y cualitativos. En el primer caso, es fundamental definir parámetros que representen algunas características particulares importantes, que pueden ofrecer una información relevante acerca de las variables y los procesos hidrológicos. Algunos de los parámetros característicos de mayor interés tomados de (Breña y Jacobo, 2006) se presentan a continuación:

Parteaguas. Línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa dos cuencas adyacentes.

Área de la cuenca. Es la proyección del parteaguas a un plano horizontal, caracterizándose así el tamaño de la cuenca. El valor del área se obtiene de los mapas topográficos a través del uso del planímetro o de otros métodos.

Corriente principal. Es la corriente de mayor longitud que pasa por la salida de la cuenca hidrológica.

Corrientes tributarias. Serie de corrientes con un diferente grado de bifurcación.

Orden de corrientes. Se determina a partir del grado de bifurcación de las corrientes tributarias. La corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones; Una corriente de orden 2 solo tiene corrientes de orden uno; y así sucesivamente dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 2 forman una de orden 3, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc.

Longitud del eje mayor de la cuenca. Es la máxima longitud que va desde el punto de la descarga o salida de la cuenca al punto más lejano de la cuenca. Este parámetro es importante, ya que da una idea de la forma de la cuenca. Los procesos

hidrológicos, por ejemplo, el escurrimiento superficial, responden de manera diferente en una cuenca alargada que a la que se aproxima a una forma circular.

Ancho de la cuenca. Es la longitud perpendicular a la longitud del eje mayor de la cuenca y para su estimación se miden las longitudes perpendiculares representativas de cada parte de la cuenca, tomando como referencia la recta que se ha trazado para la longitud del eje mayor.

Orientación de la cuenca. Es el ángulo de orientación a partir del norte geográfico y para su determinación se toma como punto de referencia la descarga o salida de la cuenca y utilizando la recta que representa a la longitud del eje mayor, se determina el ángulo de la orientación a partir del norte geográfico. Este parámetro es importante, ya que los sistemas de circulación atmosférica son fundamentales en lo que respecta al régimen pluviométrico de una cuenca.

Índice de forma. Es la relación del perímetro de la cuenca entre el perímetro que tendría un círculo con el mismo valor de área. Con este parámetro se determina cuanto se aleja la forma de la cuenca de un círculo.

Relación de alargamiento. Es la relación del diámetro de un círculo que tiene el mismo valor de área de la cuenca entre la longitud del eje mayor (Breña y Jacobo, 2006).

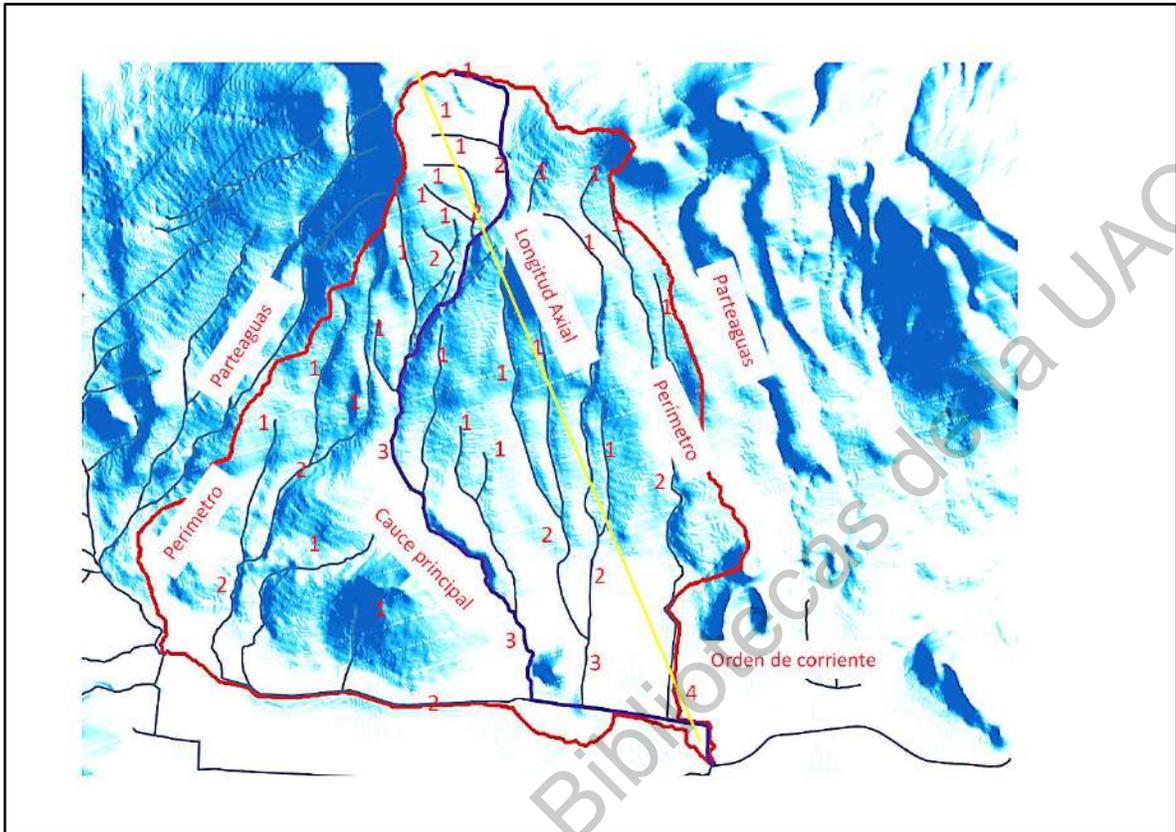


Figura 1. Herramientas para el análisis integral de cuencas

Fuente: Elaboración propia con el auxilio del programa Qgis 3.4.1 y datos del SEBIO-GTO, 2018 e IPLANEG, 2018.

Para cumplir con los objetivos de generación de información geográfica para el manejo de cuencas, los SIG ofrecen un conjunto de técnicas analíticas. Todas ellas suponen la conformación de bases de datos coherentes, validadas, y sujetas a la edición y actualización (Bocco, 2007).

En el caso de las cuencas, los SIG se han utilizado en forma sistemática desde hace más de 20 años. Las aplicaciones más frecuentes han sido en temas tales como modelamiento hidrológico, estimación del balance hídrico, análisis integrado, planes de manejo de cuencas, y definición de zonas prioritarias para la conservación del recurso (Bocco, 2007).

Los modelos digitales de terreno (MDT) son bases de datos geográficos que describen las diferencias en el relieve de una cuenca. Los MDT se elaboran en un SIG mediante interpolación de un conjunto de datos de altitud, de tal manera que, con una cierta resolución, cada porción de la cuenca recibe un cierto valor de altitud. De un MDT de una cuenca se puede derivar el trazado de cauces y parteaguas, procedimiento que comúnmente se realizaba en forma manual sobre mapas topográficos. Mediante procedimientos matemáticos relativamente sencillos, un MDT permite la construcción de mapas de pisos altitudinales, y mapas de inclinación, orientación y forma de la pendiente de las laderas, que son importantes en los modelos de escorrentía y erosión. También se calculan indicadores cuantitativos de forma de las cuencas, tales como la relación entre perímetro y área, o entre ancho y longitud máxima, que sirven para determinar probabilidad de concentración rápida de escorrentía en un punto (Bocco, 2007).

También se puede hacer uso de la percepción remota o teledetección, que consiste en un conjunto de técnicas que permiten obtener información de los objetos a partir del análisis de su respuesta espectral. En general, los sistemas de captura de datos están constituidos por sensores transportados por aeronaves o satélites, que son capaces de recibir y almacenar la respuesta espectral de los objetos en varias bandas del espectro electromagnético. La información así obtenida es plasmada bien en material fotográfico o en archivos digitales que pueden ser analizados mediante algoritmos de clasificación numérica o mediante análisis visual. Independientemente del método de interpretación que se utilice, las imágenes Aero satelitales, incluidas las fotografías, ofrecen la posibilidad de derivar mapas de cobertura del terreno, distribución de las formas del relieve, así como cartografiar fielmente de cauces, cuerpos de agua y otros elementos culturales del territorio (Bocco, 2007).

Los mapas y bases de datos derivados de la percepción remota pueden alimentar procesos de modelamiento hidrológico y análisis del paisaje en un SIG. A partir de la información secuencial de cobertura se puede establecer el cambio en el uso del suelo, el crecimiento de localidades urbanas, la pérdida de vegetación natural, así como el progreso de otros procesos de transformación o degradación que tienen impacto en el balance hidrológico. En síntesis, esta información, convenientemente procesada en los SIG, aporta elementos para determinar la oferta y la demanda del recurso hídrico (Bocco, 2007).

1.6 Nuevos enfoques en el Manejo Integrado de Cuencas.

La disponibilidad de nuevas y modernas herramientas de análisis espacial ha contribuido a poner en práctica el enfoque moderno del manejo de cuencas. Este último, requiere la comprensión sistémica de las interacciones entre el medio biofísico, los modos de apropiación del territorio (considerando economía, tecnología, organización social) y de las instituciones existentes. Para ello, es indispensable reconocer el anidamiento jerárquico de distintas unidades hidrográficas (cuenca, subcuenca, microcuenca), donde cada nivel requiere de un tipo de evaluación y de interacción con instituciones y usuarios. Finalmente, el agua constituye el eje integrador e indicador de las actividades productivas que se realizan en este territorio (Cloter. y Pineda, 2008).

Los nuevos enfoques utilizados para el manejo de cuencas consideran, por un lado, todas las actividades generadoras de contaminantes (fuentes puntuales y difusas) presentes en este espacio geográfico y por el otro, a los actores que los representan, cuyos objetivos, incentivos y necesidades son identificados. En ese sentido, el manejo de cuencas requiere la integración de los actores involucrados en una sola problemática, en lugar de atender varios problemas sectoriales dispersos. Uno de los aspectos fundamentales del manejo de recursos naturales en

cuencas es la identificación y reconocimiento de las interconexiones entre la parte alta y baja de la cuenca; y en ese sentido, debe de considerar las externalidades generadas por las actividades productivas (Cloter y Pineda, 2008).

En síntesis, el manejo integral de cuencas constituye un proceso adaptativo que alinea, coordina y construye programas hacia objetivos comunes, para lo cual requiere la sinergia, concurrencia, cooperación y colaboración de diversas instituciones bajo una visión común. Esta visión, requiere de una base sólida de conocimientos ambientales sobre la estructura y funcionamiento de la cuenca; la estructura incluye las bases para atender el origen y evolución de la cuenca basado en las características de sus componentes: aire, suelo, agua, biodiversidad (principalmente las características de la vegetación) y geomorfología. La función del ecosistema cuenca, requiere la inclusión del efecto y uso por el hombre considerándolo entonces un socio ecosistema y donde el funcionamiento natural de una cuenca es una relación entre la cantidad de agua que recibe y su efecto sobre el suelo y vegetación, este efecto varía entre las partes altas a las bajas de las cuencas. En estas diferencias altitudinales los procesos del ciclo hidrológico, del movimiento de los sedimentos y la función de la cubierta vegetal son distintos y únicos para cada cuenca. Para ello el manejo desde el nivel parcela hasta el nivel de la cuenca, debe considerar esta base estructural y funcional para que se logren los impactos deseados en la conservación de la oferta de los servicios ambientales que proveen las cuencas y el desarrollo del capital humano que las habita (Cloter y Pineda, 2008).

En el país, la mayoría de los esfuerzos en el manejo de cuencas se realizan a nivel microcuenca. El tamaño de esta unidad de gestión presenta diversas ventajas como la simplicidad de la administración, la coordinación y participación de los actores, la identificación de la problemática y su monitoreo, entre otros. Sin embargo, la elección de las microcuencas no siempre responde a la problemática de la cuenca, por lo cual las acciones que se realizan a nivel local no siempre

repercuten en una mejora del funcionamiento eco hidrológico de toda la cuenca (Cloter y Pineda, 2008).

Como se mencionó anteriormente, una de las características principales de la cuenca hidrográfica es su carácter jerárquico y anidado, que permite determinar áreas prioritarias de trabajo a partir del impacto que fuentes contaminantes u otras alteraciones puedan ejercer sobre la dinámica geohidrológica de la cuenca. En ese sentido, las acciones deben estar acordes con las condiciones de cada una de las jerarquías hidrográficas involucradas (Cloter y Pineda, 2008).

1.7 La gestión del agua y la agricultura como prioridad en la seguridad alimentaria.

El agua es indispensable para las diferentes formas de vida y para el desarrollo social y económico. La escasez y contaminación de este recurso y el incremento de la frecuencia de aparición de inundaciones y sequías, afecta a todos los países en menor o mayor grado. Entre los factores que ejercen mayor presión sobre los recursos hidráulicos, se encuentran los socioeconómicos y el cambio climático que resulta menos controlable. El crecimiento poblacional resulta un factor importante que de forma simultánea demanda mayor cantidad de agua y genera mayores volúmenes de aguas residuales y contaminación ambiental (Hassing et al., 2009).

Un manejo efectivo de los recursos hídricos requiere de la articulación de los diferentes usos de la tierra y el agua a través de las grandes cuencas de captación y de los acuíferos. El primer planteamiento sobre el Manejo Integral de los Recursos Hidráulicos (MIRH) se estableció en el Decenio Hidrológico Internacional (DHI), 1965-1974, promovido en la XIII Sesión de la Conferencia General de la UNESCO, con el fin de impulsar la cooperación internacional en los trabajos, investigaciones y formación de técnicos especialistas en el campo de la hidrología científica. Hasta los años ochenta el paradigma predominante para la

gestión del agua era la “misión hidráulica”, cuyo objetivo era satisfacer todas las demandas de agua de la sociedad, convencidos de poder superar los límites que la naturaleza dicta. Este paradigma no solucionó las dificultades en relación al recurso y gradualmente se empieza a considerar que la “crisis del agua” es en verdad la consecuencia de una mala gestión de los recursos hídricos y se comienzan a descubrir las dimensiones políticas de esta (Vogel, 2007).

La toma de decisiones en relación al agua puede ser compleja y controversial y el término Manejo Integral de Recursos Hidrográficos (MIRH) se relaciona con comunicar cómo deben ser manejados la complejidad y los conflictos. Este paradigma sostiene la promesa de que mediante un manejo holístico se puede hacer una gestión del agua más justa (Cherlet, 2012).

Es evidente que la agricultura de regadío es esencial para la seguridad alimentaria del planeta, pero a su vez tiene impactos sobre el ambiente (Cid et al., 2012) y en particular sobre las aguas. Sin embargo, el logro del manejo integral del agua en la agricultura requiere considerar otros aspectos, además de los puramente cuantitativos; la calidad es uno de ellos. El control de la calidad del agua de riego, tanto a nivel fuente (aguas de riego y su impacto interno sobre cultivos y suelos), como a nivel sumidero (retornos de riego y su impacto externo sobre la calidad de los sistemas receptores), es un aspecto fundamental (Aragüés, 2013).

Otro aspecto importante por considerar en la agricultura es la erosión que ocurre en las áreas de cultivos, la cual incrementa el arrastre de sedimentos por el agua, y con ello los procesos de sedimentación (Bento et al., 2012). La siembra a favor de la pendiente constituye otro factor que incrementa la erosión del suelo y la contaminación de las aguas de escorrentías con pesticidas, fertilizantes y partículas de suelo. El impacto de las lluvias intensas sobre un suelo descubierto o escasamente cubierto remueve un volumen de suelo muy superior a cuando está

cubierto, lo cual deteriora tanto la calidad del agua como del suelo (Blavet et al., 2009).

Los plaguicidas usados en los cultivos para el control de plagas y enfermedades son sustancias químicas poco biodegradables que persisten en el ambiente con afectaciones a la calidad del agua y del suelo (FAO, 2010). Tanto los plaguicidas usados como los compuestos químicos derivados de su descomposición pueden acumularse en el suelo y afectar su microbiota, generando una alteración de su equilibrio ecológico (Prado y Aioldi, 2000). Los plaguicidas que son lixiviados desde las áreas de riego hasta las aguas naturales contaminan las aguas para el abastecimiento público y causan enfermedades, entre ellas el cáncer (Williamson et al., 2008), lo cual afecta la calidad de vida y la sostenibilidad. Las sustancias disueltas y suspendidas en las aguas de retorno que escurren o percolan, generan contaminación de las aguas subterráneas y superficiales y provocan impactos ambientales negativos sobre los ecosistemas y en particular sobre las aguas interiores, lo cual encarece su uso (Aragüés y Tanji, 2003).

1.8 Definición de plaguicida.

Los plaguicidas son sustancias o mezcla de sustancias deliberadamente tóxicas, que carecen de selectividad al interferir en algún sistema biológico afectando simultáneamente a otras especies a las que son dirigidos, aportan beneficios a los humanos porque le permiten eliminar organismos cuya proliferación o contacto con las personas pueden constituir un riesgo a su salud; dichos organismos son en su mayoría vectores de enfermedades hasta los que ocasionan daños a las personas, incluso la muerte (Ramírez y Lacasaña, 2001; COFEPRIS, 2017). También se consideran plagas a las colonias de organismos, animales o vegetales que ocasionan un daño a los cultivos y a las plantas, pueden ser insectos, microorganismos como hongos y bacterias o bien otras plantas que limiten o impidan el adecuado crecimiento y desarrollo de un cultivo (COFEPRIS, 2017).

1.9 Clasificación de los plaguicidas.

Existen diferentes criterios para clasificar a los plaguicidas, los cuales pueden tener o no coincidencias. Los criterios han cambiado o se han adaptado a los avances en la investigación. A principios del presente siglo se consideraba razonable tener parámetros que definieran puntualmente su toxicidad aguda, la vida promedio, su estructura química y el uso (Ramírez y Lacasaña, 2001). México tiene, después de varias modificaciones y adecuaciones a la normatividad oficial, una clasificación que considera imprescindible mantener la importancia por su origen, su categoría toxicológica o nivel de riesgo y por su uso (COFEPRIS, 2017).

1.9.1 Toxicidad.

Todos los plaguicidas pueden ser tóxicos para el ser humano y los animales, pero lo son en distintos grados y la toxicidad aparece por encima de ciertos umbrales. La toxicidad se define como la capacidad intrínseca de una sustancia química de producir daño o incluso la muerte. Depende de los compuestos químicos incluidos en el plaguicida y del organismo expuesto a este. Sus factores cruciales son la dosis y el tiempo de exposición (Gámez y Ramírez, 2008; Bedmar, 2011).

Se habla de toxicidad aguda cuando los daños ocurren en horas o minutos de una única exposición a dosis relativamente elevadas. Estos daños, sin embargo, pueden ser reversibles. Por convención internacional, se llama dosis letal media, simbolizada por DL_{50} , a la cantidad de sustancia que causa la muerte del 50% de un grupo de organismos, generalmente ratas o conejos, expuestos a ella en condiciones controladas. En el caso del ingreso del plaguicida por las vías oral o dermal, la DL_{50} se expresa en miligramos de sustancia activa por kilogramos de peso del organismo. Cuando el ingreso es por inhalación, la medida equivalente de la toxicidad se conoce como concentración letal media (CL_{50}) y se expresa en

miligramos de la sustancia por litro de aire o agua, o como partes por millón (ppm) en esos medios, La segunda forma de expresar la toxicidad es comúnmente utilizada en estudios de organismos acuáticos o en ambientes cerrados (Gámez y Ramírez, 2008; Bedmar, 2011).

Según la World Health Organization & International Programme on Chemical Safety (2010), para clasificar los plaguicidas se toma en cuenta los siguientes criterios basados en el peligro de toxicidad aguda:

IA. Extremadamente peligroso con una DL_{50} oral menor a 5 mg/kg de peso y una DL_{50} dermal menor a 50 mg/kg de peso.

IB. Muy peligroso con una DL_{50} oral de 5 a 50 mg/kg de peso y una DL_{50} dermal de 50 a 200 mg/kg de peso.

II. Moderadamente peligroso con una DL_{50} oral de 50–2000 mg/kg de peso y una DL_{50} dermal de 200 a 2000 mg/kg de peso.

III. Ligeramente peligroso con una DL_{50} oral de más de 2000 mg/kg de peso y una DL_{50} dermal de más de 2000 mg/kg de peso.

U. Esta categoría es poco probable que presente un riesgo agudo con una DL_{50} oral y dermal de 5000 mg/kg de peso o más.

Según la COFEPRIS (2017), por su categoría toxicológica, es decir, por su nivel de riesgo la toxicidad se clasifica en:

- Categoría toxicológica 1: Extremadamente tóxico
- Categoría toxicológica 2: Altamente tóxico
- Categoría toxicológica 3: Moderadamente tóxico
- Categoría toxicológica 4: Ligeramente tóxico

1.9.2 Vida media.

Los plaguicidas pueden ser clasificados por su vida media, evidenciándose los que son permanentes, persistentes, moderadamente persistentes y no persistentes (Ramírez y Lacasaña, 2001).

1.9.3 Estructura química.

De acuerdo a su estructura química, los plaguicidas se clasifican en una gran variedad de grupos o familia de compuestos, que incluyen a los grupos de organoclorados, organofosforados, carbamatos, tiocarbamatos, piretroides, derivados bipiridilos, derivados del ácido fenoxiacético, derivados cloronitrofenólicos, derivados de triazinas, compuestos orgánicos del estaño y compuestos inorgánicos (Ramírez y Lacasaña, 2001; Bedmar, 2011).

1.9.4 Uso.

En cuanto a la clasificación por uso en diferentes sectores, los podemos encontrar en la industria (en el proceso de fabricación de productos de uso directo no comestible), en el sector agrícola (control de plagas de plantas de interés alimenticio, medicinal e industrial), doméstico (principalmente para uso directo en casas habitación), forestal, pecuario, urbano (predios baldíos y vías de comunicación), en jardinería, salud pública (control de vectores de enfermedades), cuidado de animales domésticos, tratamiento de estructuras (edificios públicos y privados, oficinas, hospitales, hoteles, cines, teatros, restaurantes, escuelas, supermercados, tiendas de departamentos, instalaciones deportivas, bodegas de almacenamiento de alimentos, en la industria ferroviaria, de navegación marítima y aérea), así como en el mantenimiento de reservas de agua (Ramírez y Lacasaña, 2001; COFEPRIS, 2017).

1.9.5 Origen.

Por su origen, hay plaguicidas de origen químico o bioquímico, como son las feromonas y aleloquímicos (sustancia química liberada por un organismo que ejerce efectos conductuales o fisiológicos, generalmente adversos, en otro organismo); microbiales, como son las bacterias, hongos, virus, nematodos y protozoarios, botánicos y misceláneo, que es el que no poseen propiedades fisicoquímicas y toxicológicas de un plaguicida, pero que presentan características que permiten el control de plagas (COFEPRIS, 2017).

1.10 Contaminación por plaguicidas.

La contaminación ambiental por plaguicidas ocurre fundamentalmente por aplicación directa en los cultivos agrícolas, lavado inadecuado de tanques contenedores, filtración en los depósitos de almacenamiento y residuos descargados y dispuestos en el suelo, derrames accidentales, el uso inadecuado de los mismos por parte de la población, que frecuentemente son empleados para contener agua y alimentos en los hogares ante el desconocimiento de los efectos adversos que provocan en la salud (Del Puerto et al., 2014). La unión de estos factores provoca su distribución en la naturaleza. Los restos de estos plaguicidas se dispersan en el ambiente y se convierten en contaminantes para los sistemas bióticos (animales y plantas principalmente) y abióticos (suelo, aire y agua), amenazando su estabilidad y representando un peligro de salud pública. La ruta que siguen los plaguicidas en el ambiente depende de factores tales como sus propiedades físicas y químicas, el clima, las condiciones geomorfológicas de los suelos y las condiciones hidrogeológicas y meteorológicas de las zonas (Del Puerto et al., 2014).

1.10.1 Contaminación del agua por plaguicidas.

Aunque el suelo agrícola es el receptor inicial de los plaguicidas aplicados en el ambiente, los cuerpos de agua adyacentes a las áreas agrícolas suelen ser el receptor final (Damalas y Eleftherohorinos, 2011).

El transporte de plaguicidas a través del agua puede ocurrir por escorrentía, por infiltración y por deposición húmeda, en donde el contaminante que está en el aire es captado por las gotas de lluvia o forma parte de los núcleos de condensación. Los plaguicidas pueden de esta forma encontrarse en acequias, redes de drenaje, canales de riego, desagües pluviales, ríos y aguas subterráneas (Gravilescu, 2005).

1.10.2 Contaminación del aire por plaguicidas.

Todos los plaguicidas, independientemente del medio en el cual se apliquen, pueden ser potencialmente transportados por el aire. Su emisión a la atmósfera ocurre desde el dosel de la planta y desde la superficie del suelo. Influyen en este proceso la presión de vapor atmosférico, el calor de vaporización del plaguicida, los flujos de aire y el método de aplicación del plaguicida (Gravilescu, 2005).

La contaminación del aire tiene importancia cuando se trata de aplicaciones por medios aéreos; la gran extensión que abarcan éstas y el pequeño tamaño de las partículas contribuyen a sus efectos, entre los que se cuenta el "arrastre" de partículas a las zonas vecinas, fuera del área de tratamiento. Este efecto tiene importancia si contamina zonas habitadas o con cultivos, y se hace muy evidente cuando se emplean herbicidas de contacto que llegan hasta cultivos que son muy sensibles a los mismos (Del Puerto et al., 2014).

1.10.3 Contaminación del suelo por plaguicidas.

La contaminación del suelo se debe tanto a tratamientos específicos sobre éste, como a contaminaciones provenientes del excedente de los plaguicidas en tratamientos que caen al mismo, o cuando las partículas depositadas en las plantas son arrastradas por las lluvias. En la acumulación de residuos de plaguicidas influye el tipo de suelo; los arcillosos y orgánicos retienen más residuos que los arenosos. La evaluación del grado de contaminación del suelo por plaguicidas es de gran importancia por la transferencia de ellos a los alimentos. En el caso de la ganadería, los residuos de plaguicidas pasan del suelo al forraje y finalmente a los animales, concentrándose en la grasa y, por consiguiente, incrementan la concentración de residuos persistentes en la carne y la leche (Del Puerto et al., 2014).

El destino de un plaguicida en el ambiente edáfico está gobernado por los procesos de retención, transporte, degradación y la interacción entre ellos. Estos procesos son en parte, responsables de la disminución de la cantidad original aplicada de plaguicida. La predominancia de un proceso sobre otro va a depender de las propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas y de las características del suelo. Una vez que ingresa al ambiente edáfico, el plaguicida se reparte entre la fase líquida, sólida y gaseosa (Aparicio et al., 2015).

El proceso de transporte de un plaguicida está relacionado con el coeficiente de partición octanol/agua ($\log K_{ow}$), las constantes de disociación ácida y básica (K_a y K_b), el coeficiente de partición carbono orgánico/agua ($\log K_{oc}$), el índice potencial de lixiviación y la presión de vapor de los plaguicidas. Estas propiedades, determinan el destino final de estas sustancias en el suelo, en el agua o en el sedimento (Jekel y Reemtsma, 2006).

1.11 El uso de plaguicidas en la agricultura.

El uso constante de diversos productos químicos en la producción agrícola para controlar las plagas y enfermedades, así como para disminuir los riesgos y pérdidas de los sistemas agrícolas, es un reto permanente (Sánchez, 2002).

El uso de plaguicidas en la agricultura ha conducido a una mejora significativa en el rendimiento de los cultivos por hectárea. Los estudios han establecido una posible correlación entre la cantidad de plaguicidas utilizados por hectárea y la cantidad de rendimiento de los cultivos (Hellar, 2002).

Pero la realidad es que las plagas desarrollan resistencia, obligando a los agricultores a incrementar las concentraciones y frecuencias de aplicación de los plaguicidas, a elaborar mezclas de principios activos y demandar la disponibilidad en el mercado de nuevos y más potentes biocidas sintéticos. Como consecuencia se tiene un uso indiscriminado de plaguicidas, que a su vez ocasiona la contaminación del ambiente y actúa negativamente sobre el ser humano y otros organismos del ecosistema, originando problemas de salud pública y deterioro ambiental (Plenge y Sierra, 2007).

La manipulación y aplicación de plaguicidas puede entrañar riesgos para el ser humano, ya sea como usuario o consumidor de vegetales, frutas y productos tratados. Los riesgos también se trasladan al propio cultivo y su entorno, al ganado, la fauna terrestre y acuícola, y en definitiva para al equilibrio ecológico (Sánchez, 2002 y Fenik et al., 2011).

1.12 Efecto de los plaguicidas en la salud del ser humano.

Se ha comprobado que la mayoría de los plaguicidas empleados en la agricultura moderna tienen acción teratogénica y afectan los sistemas nervioso, endocrino e inmunológico, considerándose generadores potenciales de enfermedades como cáncer, asma e infertilidad, entre los más importantes (Karam et al., 2004).

Actualmente los efectos de los plaguicidas en la salud humana están siendo tomados muy en cuenta por la comunidad científica y médica, la presencia en el ambiente de este grupo de sustancias ha sido catalogada como compuestos disruptores endocrinos (CDE). Este tipo de compuestos actúa en el organismo interfiriendo con las hormonas naturales, debido a que tienen una gran capacidad para enlazarse a los receptores de estrógenos y andrógenos, actuando en algunos casos como agonistas y en otros como antagonistas de estas hormonas (Frye et al., 2011; Mnif et al., 2011).

Miranda et al. (2005); Gómez et al. (2011); Mnif et al. (2011); y Miranda et al. (2013), han encontrado una estrecha relación entre la exposición a plaguicidas disruptores endócrinos (PDE) y ciertas patologías humanas ocasionadas por desequilibrios hormonales.

Adicionalmente, además de las ya conocidas neuropatías periféricas inducidas por plaguicidas, se ha demostrado en animales de laboratorio que principios activos como metamidofos, mancozeb y paraquat pueden ocasionar alteraciones en la liberación de neurotransmisores en el sistema nervioso central (Miranda et al., 2005; Benítez y Miranda, 2009; Noriega et al., 2011).

1.12.1 Vías de intoxicación.

Las vías de entrada de compuestos químicos al organismo pueden ser varias y simultáneas, siendo las más comunes la vía dérmica, la digestiva y la respiratoria. En el ámbito laboral la vía dérmica es la más importante, pues a través de ella y en función de la superficie de piel expuesta, se absorben cantidades significativas de diversos plaguicidas. Una vez absorbidos, los plaguicidas liposolubles se difunden a través de los componentes grasos de la piel y la sangre, mientras que aquellos

con moléculas hidrosolubles lo hacen mediante el material proteico intracelular (Ramírez y Lacasaña, 2001).

En la población en general la vía de absorción más importante es el aparato digestivo a partir de la ingestión de alimentos y agua contaminados. La ingestión deliberada o accidental es relativamente poco frecuente (Ramírez y Lacasaña, 2001).

En el ámbito laboral el uso de fumigantes en forma de gases, polvos, vapores y nebulizaciones, las pulverizaciones de productos líquidos o los espolvoreos de sólidos, colocan a la vía respiratoria como la segunda en importancia. La fineza y delgadez del epitelio alveolar favorece el intercambio de gases en el pulmón; sin embargo, también permite una rápida y eficiente absorción de plaguicidas, que por vía aérea son captados rápidamente hacia el torrente sanguíneo. En la población general la vía aérea es también otra importante ruta de absorción. La frecuente aplicación de plaguicidas en zonas de cultivo por vía aérea, su arrastre por el viento hacia zonas aledañas y el uso común en el hogar de productos en aerosol favorecen la presencia del producto en el ambiente de forma continua y en pequeñas cantidades (Ramírez y Lacasaña, 2001).

1.13 Dinámica ambiental y persistencia de los plaguicidas.

La persistencia de los plaguicidas en el ambiente está relacionada con la eficiencia de los procesos de transformación en condiciones naturales que incluyen la biodegradación, la fotodegradación y la hidrólisis química. Estas reacciones involucran la actividad enzimática de microorganismos, la luz ultravioleta y el pH del medio respectivamente. Por otro lado, el transporte está relacionado con las propiedades fisicoquímicas de estas sustancias. Así el coeficiente de partición octanol/agua (K_{ow}), el coeficiente de partición carbono orgánico/agua (K_{oc}), el índice de potencial de lixiviación y la presión de vapor de los plaguicidas, son medidas que

ayudan a determinar su destino en el suelo, en el agua o en el sedimento (Jekel y Reemtsma, 2006).

Considerando que los plaguicidas son los contaminantes de origen antrópico con mayor frecuencia de aplicación en los ambientes naturales. Una vez en el ambiente, factores naturales como la biodegradación y la hidrólisis química disminuye su persistencia y por lo tanto su ecotoxicidad. Sin embargo, algunos productos de transformación pueden tener mayor potencial de bioacumulación y de toxicidad que los compuestos parentales. Por lo anterior, el conocimiento de los procesos de degradación en el ambiente es determinante en los estudios de la dinámica de los plaguicidas en la fase ambiental y su impacto sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres (Narváez et al., 2012).

Por otro lado, Del Puerto et al. (2014) manifiesta que el grado de lixiviación (el movimiento de las sustancias a través de las fases del suelo) depende de la solubilidad del compuesto en agua, de su naturaleza química y del valor del pH del suelo, que se favorece por la capacidad de adsorción de este, esto varía principalmente por el porcentaje de arcillas, arenas y limos presentes en él, por las altas temperaturas y por la precipitación pluvial. Lo anterior también es decisivo para determinar la distribución del material en la biosfera, pues las plantas y los microorganismos no pueden recibir directamente los compuestos adsorbidos sobre las partículas del suelo. Este proceso está en equilibrio con la eliminación (desorción) del compuesto en la solución del suelo. La distribución de un plaguicida en la biofase (plantas y microorganismos) depende de la capacidad de absorción de esta y de la naturaleza del suelo. Un suelo con gran capacidad de absorción puede conducir a la inactividad total del plaguicida, ya que nunca penetrará en la plaga.

Por consecuencia, se requiere conocer la forma de actuar de los plaguicidas por sus diferentes propiedades fisicoquímicas para determinar su degradación, por

lo que Aparicio et al. (2015) hace referencia a un gran compendio de dichas propiedades intrínsecas que condicionan la dirección e intensidad de los procesos de disipación que ocurren en el suelo. Si se consideran de manera conjunta las propiedades fisicoquímicas de un plaguicida, podemos tener una primera aproximación del destino potencial de cada molécula en el ambiente. Todo dependerá de ciertas características particulares de los plaguicidas, destacando la estructura química que los mantiene clasificados en diferentes grupos y donde cada uno de ellos posee características muy particulares en su comportamiento en el suelo, aire, agua, y en el efecto en los seres vivos.

Su solubilidad en agua es una propiedad que representa la masa del plaguicida por el volumen de la solución acuosa (Kgm^{-3}). Este es uno de los parámetros a tener en cuenta para evaluar el potencial de disipación del plaguicida disuelto en agua, ya sea por lixiviación o escurrimiento (Aparicio et al., 2015).

Su lipofilicidad representa el balance entre la afinidad de un compuesto por la fase acuosa y la fase lipídica, esta propiedad se evalúa usando el Coeficiente de Partición octanol/agua (K_{ow}), que es la relación entre la concentración de un químico en octanol y la concentración del mismo en agua, donde el octanol es un subrogado de los tejidos grasos de la biota o de la materia orgánica del suelo/sedimento. De este modo, el K_{ow} es un indicador del potencial toxicológico que tiene un compuesto para adsorberse a suelos y sedimentos y a los tejidos grasos de los organismos vivos. Así, valores altos indican una alta afinidad con la fracción lipídica, fácil transporte a través de las membranas biológicas y por lo tanto alto potencial de bioacumulación (Narváez et al., 2012 y Aparicio et al., 2015).

La volatilización representa la tendencia de un plaguicida a pasar al estado gaseoso a una presión y temperatura determinadas desde el agua o suelo húmedo. Esta característica se mide a través de la Constante de Henry (H). Un valor alto de H, indica que un plaguicida tiene un potencial elevado para volatilizarse desde el

suelo húmedo a la atmósfera, un valor bajo predice un mayor potencial de lixiviación del plaguicida (Aparicio et al., 2015).

La presión de vapor es indicativa de la volatilidad de un compuesto en estado puro y es determinante en la velocidad de volatilización al aire desde el suelo, es decir del potencial de disipación hacia la atmósfera. La presión de vapor se mide en pascales (Pa) ó milímetros de Mercurio (mmHg) (Aparicio et al., 2015).

En cuanto a su persistencia se define como la capacidad del plaguicida de conservar sus características físicas, químicas y funcionales en el suelo, durante un período limitado de tiempo, luego de ser aplicado. La persistencia de un plaguicida se mide a través del tiempo de vida media ($t_{1/2}$), el cual representa el tiempo que tarda en alcanzar la mitad de la concentración inicial. La persistencia del compuesto está fuertemente ligada a procesos tales como foto descomposición, hidrólisis, degradación microbiana y oxido reducción. De este modo, los plaguicidas con mayor $t_{1/2}$ son altamente persistentes en el ambiente y con mayor potencial de lixiviación o de erosión hídrica (Aparicio et al., 2015).

La capacidad de adsorción a partículas del suelo se evalúa a través del Coeficiente de distribución (K_d). La determinación del K_d para cada plaguicida se realiza en experimentos denominados de batch, que se basan en la agitación de una disolución acuosa conteniendo el plaguicida, con una cantidad determinada de suelo. Luego, se calcula la relación entre la concentración del plaguicida en la fase acuosa y la concentración del plaguicida que ha sido adsorbido al suelo. Los valores de K_d determinados para cada plaguicida no son constantes y varían en función de las propiedades de los suelos. De esta manera, los K_d pueden ser normalizados en base al contenido de materia orgánica del suelo, obteniéndose así la constante de adsorción al carbono orgánico K_{oc} , aplicable a todo tipo de suelo. Ambos se expresan en unidades de volumen por masa (cm^3g^{-1}) y, mientras mayor es el K_d , mayor es la adsorción del plaguicida al suelo. Para el cálculo del K_d se considera

que la adsorción al suelo es proporcional a la concentración inicial del compuesto, sin embargo, cuando no se cumple esta relación lineal, se modifica el procedimiento para el cálculo de la adsorción, y el coeficiente se expresa como K_f . El K_{oc} y K_d , junto con el $t_{1/2}$ y solubilidad, son utilizados en la construcción de indicadores de potencial de disipación por flujo de agua. Los valores de K_d más bajos están relacionados a mayor potencial de pérdida por lixiviación o disuelto en el escurrimiento. Mientras que el potencial de pérdidas por erosión del suelo se asocia a valores altos de K_d . El K_{oc} es especialmente útil para plaguicidas no ionizables, que se adsorben directamente sobre la materia orgánica del suelo (Aparicio et al., 2015).

Su ionizabilidad o constante de disociación (pK_a) es una medida cuantitativa del potencial de un plaguicida de disociarse en compuestos iónicos al encontrarse en una solución. Esta medida se encuentra directamente relacionada con el pH del suelo, mientras más próximo sea el pH del suelo a la pK_a del plaguicida, éste se encontrará más protonado y presentará mayor capacidad de adsorción al suelo (Aparicio et al., 2015).

Valderrama et al. (2012) afirman que, como resultado de estos procesos de degradación natural, puede ocurrir que el metabolito resultante tenga mayor toxicidad que el compuesto inicial, este proceso se denomina biomagnificación. El conocimiento de las reacciones de transformación y el impacto de metabolitos sobre la biota y los seres humanos son aún incipientes. Hay que tener en cuenta que las condiciones del sistema tales como la estabilidad térmica, el pH, la conductividad eléctrica, el potencial de redox y la concentración de oxígeno alteran la interacción de los plaguicidas con el sedimento (Aparicio et al., 2015).

1.14 Evaluación del impacto ambiental de plaguicidas.

El impacto ambiental de una actividad significa efectos adversos sobre los ecosistemas, el clima y la sociedad. Con frecuencia se relaciona con la extracción

excesiva de recursos naturales, la disposición inadecuada de residuos, la emisión de contaminantes y el cambio de uso del suelo, entre otros. Se reconocen impactos directos e indirectos (por el efecto secundario de los anteriores), que poseen tres dimensiones comunes de magnitud, importancia y significancia (André et al., 2004).

La Evaluación del impacto ambiental (EIA) es la herramienta que sirve para identificar, predecir e interpretar el impacto ambiental, así como para prevenir las consecuencias negativas que determinadas acciones, planes, programas y proyectos, pueden tener en la salud humana, el bienestar de las comunidades y el equilibrio ecológico. (Vidal de los Santos y López, 2009). Es, por tanto, un instrumento indispensable para la toma de decisiones (Weston, 2000; Morgan, 2012 y Bond y Pope, 2012).

En el ámbito internacional, dentro del proceso de la EIA se detectan diversas limitantes de carácter político y práctico que impiden su mejor desarrollo, como la influencia política en ciertas decisiones gubernamentales, la no consideración de intereses de todos los actores involucrados, el desinterés y la falta de capacidad profesional de los tomadores de decisiones, la ausencia de la participación activa de la sociedad, la falta de transparencia y de investigaciones sobre el tema (Noteboom, 2007). Bond y Pope (2012) menciona que también debe considerarse la importancia a los efectos acumulados, la insuficiencia de recursos humanos para llevar con la calidad necesaria el proceso de evaluación, las pocas alternativas incluidas, y las fallas constantes en la comunicación entre los sectores.

La gran cantidad de datos de los ámbitos ambiental, social, económico, etc., que se utilizan en la EIA, es transformada en forma sintética en índices de evaluación. Tal transformación permite interpretar un fenómeno o un proceso en particular de forma más simple y sistémica (ONU-WWAP, 2003). Gracias a estas cualidades, los indicadores se reconocen como una necesidad fundamental para el desarrollo sustentable y en particular para las tareas de la EIA, por lo que su uso se

encuentra ampliamente difundido en las diversas instituciones nacionales e internacionales (André et al., 2004 y Donnelly, 2006).

Ramírez y Jacobo (2002), menciona que existen tres tipos de estudios de impacto ambiental: a) Los de muestreo y monitoreo, que permiten la caracterización de los recursos ambientales y las poblaciones bióticas evaluadas; sin embargo, los costos son demasiados altos y los resultados carecen de flexibilidad para la extrapolación; b) Los modelos de simulación, los cuales varían en su enfoque y complejidad y tienen una amplia variedad de usos (educación, regulación, investigación), por lo que se convierten en un esquema atractivo, sin embargo, su validez depende de la situación a evaluar. Un modelo empleado en una situación diferente a la que ha sido probada como aplicable, pasa a ser una hipótesis o parte de ésta en el estudio de impacto ambiental; y c) Índices de impacto, los cuales describen un sistema genérico de índices, en donde existen umbrales biológicos y ecológicos de una variable ambiental que se utilizan para definir categorías de impacto, su empleo es flexible y permite comparar impactos de opciones de control similares, como pesticidas, prácticas de manejo, huertos, sistemas de producción, entre otras.

El monitoreo ambiental implica la medición directa de los plaguicidas en distintos escenarios tales como aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas de drenaje, suelos, material particulado y alimentos. Presentan dificultades metodológicas, debido a la complejidad del sistema analizado, sumado a razones prácticas de costo y tiempo (Damalas y Eleftherohorinos, 2011). La detección y cuantificación de trazas de plaguicidas en las distintas matrices requieren de métodos analíticos altamente sensibles y específicos. Se usan técnicas cromatográficas líquida (CL) y gaseosa (CG), que requieren equipos costosos, personal altamente calificado y un previo tratamiento de las muestras. En la actualidad se acopla la espectrometría de masas con cromatografía líquida de ultra alta resolución, UHPLC (De Gerónimo et al., 2014). En la literatura existen

numerosos indicadores de riesgo basados en información toxicológica y en las características fisicoquímicas de los plaguicidas. Estos indicadores sirven de guía tanto para el uso de los agricultores, como para la implementación de políticas de desarrollo. Aunque existe incertidumbre en cuanto a su capacidad para estimar la toxicidad, proveen de forma rápida y sencilla información valiosa, cuando se los compara con los monitoreos, muestreos y análisis de plaguicidas en las distintas matrices ambientales (Muhammetoglu et al., 2010).

Dirección General de Bibliotecas de la UAG

CAPITULO II. ANTECEDENTES

2. Importancia en el manejo racional de plaguicidas y técnicas indirectas de medición

En este capítulo se expresa la problemática que se tiene por un mal manejo, la falta de conocimiento y la carencia de asesoría en la aplicación de plaguicidas usados en la agricultura, donde los productos finales de los procesos que ahí se obtienen son el sustento de los habitantes de las zonas agrícolas y de las urbes del país. Productos contaminados tienden a repercutir en la salud de los que se ven involucrados en estos procesos productivos. Es de vital importancia tener elementos que permitan encontrar de manera sencilla el efecto-o que estas sustancias químicas están causando en el ser humano y su entorno. Es igualmente urgente contar con reglamentación y adecuación de los procesos de producción a alternativas más sanas; para esto, debemos de contar con herramientas que así lo permitan.

2.1 Problemas de los plaguicidas en la salud humana.

Estudios epidemiológicos han identificado que la exposición a plaguicidas es un factor de riesgo para desarrollar diferentes tipos de padecimientos. La US EPA (Agencia de protección al Medio Ambiente de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés) menciona que los niveles máximos de contaminantes en agua potable para atrazina son de 0.003 mg/lit y que los posibles efectos sobre la salud son trastornos vasculares o del sistema reproductor. Para el caso del herbicida glifosato, los efectos son trastornos renales y dificultades para la reproducción (EPA, 2002).

Clapp et al. (2005) presentan un artículo para evidenciar las asociaciones causales entre la exposición ambiental y ocupacional en diferentes tipos de cáncer.

Señalan las tendencias en las tasas de incidencia y mortalidad de estas enfermedades crónicas; asimismo, abordan patrones de exposición involuntaria, como los que se observan en diferente áreas geográficas y demográficas, incluido el sector infantil. Los autores citan varios hallazgos notables, mencionando como el cáncer evoluciona desde una complicada combinación de exposiciones múltiples. En materia de interés agrícola citan que la exposición a plaguicidas está relacionada con cáncer del cerebro, tumor de Wilms, leucemia y linfoma no Hodgkin.

2.2 Agricultura y sus consecuencias.

En Culiacán, una región donde coexisten la agricultura y la acuicultura de camarón, se evaluó la contaminación debida al uso de agroquímicos y sus posibles interacciones negativas entre dichas actividades productivas. En este sentido, se valoró el grado de contaminación de granjas de camarón que se localizan en el valle de Culiacán. Se identificaron y cuantificaron plaguicidas organoclorados y organofosforados y BPC (bifenilos policlorados), en los sedimentos de nueve granjas en dos fechas, octubre de 2006 y marzo de 2007, coincidiendo con temporadas agrícolas diferenciadas en el uso de plaguicidas y con los ciclos de producción del camarón. En general se observó que la concentración, frecuencia y tipos de contaminantes reflejaron el uso de plaguicidas en cada uno de los ciclos agrícolas de la zona de influencia. Esto fue más evidente para el caso de los organofosforados, donde tanto las frecuencias como las concentraciones fueron claramente superiores en marzo 2007, respecto a octubre 2006. Los resultados sugieren que las altas concentraciones detectadas en marzo 2007 posiblemente son resultado de la aplicación del ciclo agrícola otoño-invierno (García et al., 2014).

En el valle agrícola de Maneadero, Baja California, México, se determinó la presencia de contaminantes en el suelo, y sus probables riesgos para la salud de los residentes del área. Se analizaron Bifenilos Policlorados (BPC), plaguicidas y arsénico, bario, cromo, níquel, plomo y vanadio por métodos cromatográficos y de

fluorescencia de rayos X. Los resultados detectaron la presencia de 22 plaguicidas, donde predomina el endosulfan. Los BPC ligeros son dominantes indicando un transporte de los contaminantes desde otras regiones. Entre los contaminantes inorgánicos el vanadio presenta concentraciones por encima de la norma NOM-147-Semarnat/SSA1- 2004. Aunque la mayoría de los elementos estudiados no superan el límite establecido por la norma, es necesario no desestimar el posible impacto acumulativo en la salud a largo plazo por las mezclas de compuestos (Zúñiga et al., 2015).

2.3 Regulación de aplicaciones de plaguicidas.

Durante la cuarta conferencia internacional sobre gestión de los productos químicos, el 18 de septiembre del 2015, veintidós organizaciones y veinticinco académicos de las principales universidades del país, piden al gobierno de México que se pronuncie a favor de formar una alianza global para la prohibición gradual de los plaguicidas altamente peligrosos, tal como lo propone la Red Internacional de Plaguicidas (PAN Internacional) y el IPEN (International POPs Elimination Network). La SEMARNAT, la Secretaría de Salud y la Secretaría de Relaciones Exteriores se pronuncian a favor. Sin embargo, la Secretaría de Economía y SAGARPA no apoyan tal iniciativa, lo que impide que el gobierno mexicano se pronuncie a favor. Asimismo, en una carta dirigida al gobierno mexicano se hace el exhorto a la prohibición gradual de plaguicidas altamente peligrosos y el apoyo a alternativas agroecológicas que puedan contribuir a la meta del 2020 del Convenio de Enfoque Estratégico para la Gestión de los Productos Químicos a Nivel Internacional (SAICM por sus siglas en ingles) de reducir de manera significativa los impactos a la salud y el ambiente en el uso de sustancias químicas. Un esfuerzo de sinergia para incorporar como indicador a uno de los 17 objetivos del desarrollo sustentable en la agenda del desarrollo para 2030. Mismo que plantea como segundo objetivo el "asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de

alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas" (Carta RAPAM-Mexico-ICCM4, 2015).

La discusión sobre los plaguicidas altamente peligrosos como una nueva categoría normativa internacional surge en dos acuerdos de las Naciones Unidas. Por un lado, el Enfoque Estratégico para la Gestión de los Productos Químicos a Nivel Internacional (SAICM), y por otro, el relacionado con el Código de Conducta sobre la Gestión de Plaguicidas, promovido por la FAO. En ambos acuerdos internacionales participan representantes de gobiernos, de instituciones de la ONU, de la industria de plaguicidas y otros grupos de interés público, identificados como las partes interesadas, aunque con posiciones diversas y encontradas. Los criterios establecidos por la reunión conjunta de expertos de la FAO y la OMS, La Red Internacional de Plaguicidas (PAN) ha propuesto un conjunto más amplio de indicadores de peligrosidad (Bejarano, 2017).

La PAN Internacional tomó la iniciativa de elaborar una lista sobre los plaguicidas altamente peligrosos basada en los criterios recomendados por la FAO y la OMS y añadió otros que consideró relevantes. Así, en 2009, la PAN Internacional publicó la primera versión de la lista de plaguicidas altamente peligrosos desarrollada por expertos de la PAN de Alemania. La lista se actualiza periódicamente y es traducida al español por RAPAM A.C., y la versión validada hasta este momento es la del 2016 e incluye a 297 ingredientes activos (Bejarano, 2017).

2.4 Uso de plaguicidas en la zona del Bajío Guanajuatense.

Bernal (2012), realiza un trabajo para mostrar los resultados de una encuesta relativa al uso de plaguicidas y contaminación del agua en el Distrito de Riego 011. Como parte de sus resultados se concluye que, a pesar de que México participa de manera activa en las diferentes instancias internacionales que regulan el uso y

comercio de plaguicidas, en el territorio nacional se siguen utilizando plaguicidas proscritos en la regulación. Asimismo, este autor pone en evidencia el resultado de la toma de muestras de agua de drenes y canales de seis módulos de riego que comprenden parte del Distrito de Riego 011, donde los plaguicidas encontrados con mayor presencia son el epóxido de heptacloro, 4-4-DDD, metoxiclor, 4-4-DDT, profán, cloroprofán, carbaril, baygon y simazina, prometrin, terbutrin y propazina.

Aguilar (2012) presenta un análisis sobre las percepciones de los agricultores en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, respecto a la contaminación agrícola, la disminución voluntaria de pesticidas, fertilizantes y el papel del gobierno en el cambio de las prácticas agrícolas. Las hipótesis a probar fue que: "El nivel educativo y el régimen de propiedad de la tierra son factores relevantes para determinar la percepción de los agricultores acerca de la contaminación agrícola, su disposición a disminuir el uso de plaguicidas y fertilizantes de manera voluntaria y sobre la intervención gubernamental en el cambio de prácticas agrícolas". Para poner a prueba esta hipótesis, se llevaron a cabo encuestas en campo dirigidas a los productores agrícolas. Los resultados indican que, en general, todos los productores niegan que la agricultura sea una causa importante de contaminación del río Lerma, pero aseguran que, para cambiar las prácticas agrícolas, éstas deben ser apoyadas con recursos provenientes del gobierno. Sin embargo, las percepciones intragrupalas difieren según el régimen de propiedad y el nivel de educación. Se recomienda enfatizar en los programas de capacitación de los productores sobre los impactos ambientales de la agricultura, así como disminuir los incentivos económicos, como son los subsidios al agua y a los fertilizantes, que evitan que los agricultores perciban a la contaminación agrícola del agua como un grave problema ambiental.

El Bajío de Guanajuato (BAG) y su modelo de desarrollo agrícola representan una paradoja de la agricultura convencional, aparentemente exitosa por sus elevados rendimientos y el valor de la producción. El uso de plaguicidas se

estima en aproximadamente 9,878 toneladas o miles de litros, sin considerar las aplicaciones extraordinarias en caso de presencia de plagas y enfermedades de difícil control como sucedió con el gusano cogollero en maíz en el año 2014, roya en maíz y pulgón amarillo en sorgo en el 2015, para las cuales se realizaron entre 3 y 6 aplicaciones durante el ciclo de cultivo para dicho 2015. En el Bajío Guanajuatense, los Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAP) más utilizados son clorpirifos etil, malatión, carbarilo y atrazina (Pérez et al., 2017).

Por su parte, el Consejo Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) de Moroleón – Ciénega Prieta A.C., en su boletín informativo "Efecto de los fertilizantes en la zona del acuífero Moroleón – Ciénega Prieta" del año 2014, manifiesta que la zona de mayor productividad agrícola, se da en los suelos que tienen mayor calidad, estos se encuentran en las zonas aledañas a la laguna de Yuriria como la denominada "Ciénega Prieta" del municipio de Yuriria y comunidades como Cupareo y San Nicolás de los Agustinos en el municipio de Salvatierra; todos ellos con características similares en los procesos de producción, con pendientes muy ligeras, ubicándose en los terrenos clasificados como planos. Asimismo, estos sitios por ser muy productivos también son los más involucrados en el uso indiscriminado de productos de origen químico, por lo que se hace una divulgación y capacitación constante por parte del COTAS, para disminuir el uso intensivo de aquellos que contaminan más (COTAS Moroleón – Ciénega Prieta, 2015).

Correa y Ortega (2017), manifiesta que el municipio de Yuririra, Guanajuato se encuentra inmerso en la aceleración de procesos propios de la sociedad capitalista. A pesar de que no es un municipio industrial, se observan los efectos que las actividades económicas causan en los bienes ecológicos, se mantienen características típicas en cuanto a su agricultura, la cual se encuentra en vías de industrialización, con la posibilidad de sustituir definitivamente los ciclos cerrados de energía y materiales, por la utilización masiva de insumos externos procedentes de energías no renovables, con lo que se cierran los ciclos de la modernización

agraria, donde la lógica de la naturaleza es sustituida por la razón industrial regida por el mercado y la obtención de lucro.

Los efectos negativos que la industria y la actividad agrícola han mantenido en la problemática de la laguna de Yuriria, son atribuibles a la complejidad de sus procesos, donde se han incorporado insumos y tecnologías cada vez más contaminantes, se sabe que las principales descargas de aguas contaminadas por efecto de la agricultura, provienen de la zona conocida como Ciénega Prieta (Correa y Ortega, 2017).

2.5 Técnicas que permiten determinar el impacto ambiental causado por plaguicidas

Dado que en México no se tienen datos precisos de las afectaciones a la salud, asociadas directa o indirectamente con plaguicidas, es necesario documentar los efectos a largo plazo en las poblaciones expuestas, por ejemplo, en los trabajadores jornaleros agrícolas. De igual manera, se desconoce el riesgo asociado al consumo de productos que han estado expuestos a fumigaciones. Las poblaciones infantiles son particularmente vulnerables a los efectos de estos contaminantes, sin embargo, no existen instrumentos gubernamentales que regulen la exposición ambiental a estos compuestos (Wigle et al., 2007 y Cifuentes et al., 2010).

El cociente de impacto ambiental (EIQ, por sus siglas en inglés) es una fórmula creada para proporcionar a los agricultores datos sobre los impactos ambientales y de salud, así como de sus opciones de pesticidas para que puedan tomar decisiones mejor informados con respecto a la selección de estos (Kovach et al., 1992).

Se desarrolló un trabajo en la provincia de La Rioja en Argentina, el cual se presentó en el V Congreso Internacional Latinoamericano de Agroecología de

SOCLA en la ciudad de la plata en Argentina en 2015, donde el cultivo en estudio fue el olivo. Se utilizó el EIQ desarrollado por Kovach et al., en 1992, el cual permite comparar el efecto de los plaguicidas, utilizados en diferentes estrategias de manejo. Los objetivos de este trabajo fueron cuantificar y comparar el impacto ambiental producido por estrategias fitosanitarias empleadas por productores olivícolas. Los resultados muestran que la estrategia que utiliza aceite mineral y azufre (A), es la que mayor impacto ambiental produce con un EIQ=432,91. La estrategia que utiliza aceite mineral, abacmetina y carbosulfan (B), es de menor impacto que la estrategia A con un EIQ= 311,48 (Leiva et al., 2015).

Un trabajo similar presentado en el mismo congreso del 2015 involucra la producción frutícola diversificada donde predomina el nogal acompañadas de otras especies ubicadas en zonas periurbanas o subrurales. La gran mayoría de los productores poseen menos de 5 ha. lo que les permite la subsistencia y en algunos casos beneficios económicos. En estas zonas se realiza un manejo compatible con la agroecología, con bajos insumos debido a su condición de escasez de recursos. Se pretendió estimar el EIQ (CIA por sus siglas en inglés) de las producciones diversificadas de la región de estudio; en especial los referidos al manejo sanitario contra la plaga clave gusano de la pera y la manzana (*Cydia pomonella*) que afecta al nogal, con ello se pretendía encontrar la forma de validar las estrategias de intervención que los productores desarrollan con el apoyo del estado y además de formular estrategias alternativas o complementarias que orienten a prácticas agroecológicas para mejorar la sustentabilidad tanto ecológica como económica y social de la zona. Todos los tratamientos aplicados utilizando el indicador EIQ dieron una noción de un relativo bajo impacto ambiental en los agroecosistemas, salvo en la estrategia donde se aplicó Metil Azinfos en una concentración de 0.1 l/Ha (en la que se aplicó un producto organofosforado). La estrategia de menor impacto resultó ser la de Lamdacialotrina a razón de 0.04 l/Ha más Bifendrin a 0.2 l/Ha, aunque en este caso cabe aclarar que el indicador no contempla la rotación de principios activos como algo que puede resultar negativo desde el punto de vista de la

resistencia. Por lo tanto, la estrategia de Cipermetrina 0.2 l/Ha más Metoxifenocida en dosis de 0.3 l/Ha, estaría más acorde con un manejo integrado de la plaga ya que tiene la ventaja de que contempla plaguicidas de diferentes mecanismos de acción y respeto de la fauna benéfica por lo menos de uno de los plaguicidas aplicados. Se concluye que más allá de las limitaciones que se plantean en el EIQ, éste resulta ser una herramienta útil para diseñar estrategias de manejo de plagas de bajo impacto en las que son necesarias intervenciones con plaguicidas. Concretamente, se pretende tener en cuenta el indicador EIQ como insumo para la realización de trabajos más integrales tales como los que se está realizando en la estimación de la sustentabilidad siguiendo el método propuesto por Sarandón en el 2002, que incluye al EIQ como indicador ecológico (Carrizo et al., 2015).

CAPITULO III. MÉTODOS Y HERRAMIENTAS

3.1 Zona de estudio.

El territorio que involucra a la zona de estudio se encuentra ubicada en la parte sur del estado de Guanajuato, en su mayor parte dentro del municipio de Yuriria y una pequeña porción en el municipio de Valle de Santiago; este lugar a su vez se localiza en la parte sureste de la provincia del Eje Neovolcánico, y pertenece a la subprovincia de Sierras y Bajíos Michoacanos. Los climas prevalecientes son el semicálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad y templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad; el rango de temperatura esta entre los 14° y 20° C, la precipitación oscila entre 700 y 900 milímetros anuales. En cuanto a suelos, predominan los Vertisoles, seguido de los Cambisoles, Pheaozem, Solonchack y Luvisol (INEGI, 2009).

Este lugar pertenece a la Región Hidrológica Lerma-Santiago y comparte una gran cantidad de territorio con las cuencas Lago de Pátzcuaro y Laguna de Yuriria, y en menor proporción con la cuenca Rio Lerma-Salamanca. Las subcuencas involucradas hacen referencia a la Laguna de Yuriria, Rio Salamanca-Rio Ángulo, Lago de Pátzcuaro y Rio Solís-Salamanca. Sus corrientes se clasifican como intermitentes y posee un cuerpo de agua perenne denominado Laguna de Yuriria (INEGI, 2009).

Dentro de esta zona se localizan varias estaciones climatológicas, que proporcionan información sobre condiciones prevalecientes actuales e históricas. Estos datos informativos se pueden apreciar de mejor forma en el Cuadro 1 (SMN, 2018).

Cuadro 1. Datos climáticos

Estación	Temperatura media Anual (°C)	Precipitación Media Anual (mm)
Santa María Yuriria	19.0	678.7
Cerano	18.3	701.7

Fuente: SMN, 2018

La vegetación predominante es matorral subtropical, el cual se encuentra restringido a suelos someros y pedregosos en las laderas de los cerros, siendo sustituidos en terrenos planos o poco inclinados, por suelos del tipo vertisol, donde la vegetación predominante es el matorral espinoso de tipo secundario o pastizal. En cuanto a fauna, los mamíferos sólo se encuentran como especies pequeñas y medianas. ya que el grado de disturbio, la presión del hombre por la cacería, construcción de caminos y carreteras, hacen poco probable la existencia o presencia de especies de talla grande. Entre los mamíferos comunes se tienen a las ratas y ratones silvestres, tuzas, ardillones y conejos, los cuales llegan a representar un problema para la agricultura. Otros mamíferos como el cacomixtle y la zorra son también un peligro para los animales de corral (Álvarez, 1991).

De acuerdo con los datos obtenidos del Programa de Certificación de Derechos Ejidales, PROCEDE (1992-1998), el municipio de Yuriria cuenta con 53 ejidos y 11,454 parcelas (INEGI, 1999) distribuidas como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Destino de las tierras.

Municipio	Sup. parcelada (ha)	Agrícola %	Ganadero %	Agropecuario %	Otros usos %
Yuriria	18,532.09	93.1	1.7	3.6	1.6

Fuente: PROCEDE 1992-1998 (INEGI, 1999).

Por lo que se refiere a la superficie parcelada de acuerdo con la clasificación del uso de la tierra (INEGI, 1999), se describen en el siguiente apartado (Cuadro 3).

Cuadro 3. Uso de las tierras.

Municipio	Sup. parcelada (ha)	Riego o humedad de primera %	Temporal %	Agostadero de buena calidad %	Monte o agostadero en terrenos áridos %
Yuriria	18,532.09	27.9	69.8	0.5	0.3

Fuente: PROCEDE 1992-1998 (INEGI, 1999).

La principal actividad en la zona es la agricultura, se establecen cultivos tanto de riego como de temporal, los principales cultivos se concentran en el sorgo, maíz, cebada, trigo, garbanzo blanco y frijol (Cuadro 4) (SIAP, 2018).

Cuadro 4. Principales cultivos

DDR	Municipio	Cultivo	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Obtenida (ton)	Rend./Ha (ton)
Cortázar	Yuriria	Avena forrajera en verde	25	25	455	18.20
		Brócoli	80	80	1,128	14.10
		Cebada grano	2,450	2,450	13,965	5.70
		Frijol	498	498	482	0.97
		Garbanzo grano	668	668	1,035	1.55
		Maíz grano	5,820	1,387	12,206	8.80
		Sorgo grano	6,273	0	0	0
		Trigo grano	850	850	5,780	6.80
Total Municipio Yuriria			16,664	5,958		

Fuente:SIAP, 2018.

Para llevar a cabo la presente investigación y dar paso al cumplimiento de los objetivos establecidos, se inició por obtener una superficie representativa de la zona. Se recurrió a las herramientas tecnológicas y se decidió usar el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) versión 3.2 del INEGI (INEGI, 2019) (disponible en http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#) donde por medio de los complementos y herramientas de dicho software, se calcularon los flujos de corrientes hacia arriba de un espacio geográfico, considerando importante que tuviera influencia en un sitio de descarga cercano a la laguna de Yuriria. Este cálculo concluyó en mostrar una zona con una superficie de un poco más de 49,000 hectáreas; paso posterior y auxiliándose con las herramientas de Qgis versión 3.4.1 (software libre, disponible en <https://www.qgis.org/es/site/>), se seleccionaron archivos vectoriales del Catálogo Geográfico SEIEG del Instituto de Planeación, Estadística y Geografía del Estado de Guanajuato (IPLANEG, 2018), donde se pretende obtener una superficie de este territorio, que incluya a la zona agrícola denominada Ciénega Prieta, con esta metodología se consiguió calcular una área de 18,820 hectáreas. Con los archivos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 serie VI (INEGI, 2016), se delimitó tanto el área agrícola de mayor importancia y el uso de suelo de las demás zonas del territorio anteriormente mencionado. Al hacerse cálculos con las herramientas del software Qgis 3.4.1, se observó que esta zona destinada a la agricultura 11,693 hectáreas, de las cuales 6,562 son de riego y 5,131 de temporal; complementando el destino del uso del suelo, la vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino participa con 940 hectáreas, 2,224 de vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, 3,000 de vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, 631 de pastizal inducido. 8 son cuerpos de agua y 324 pertenecen a zona urbana construida (Figura 2).

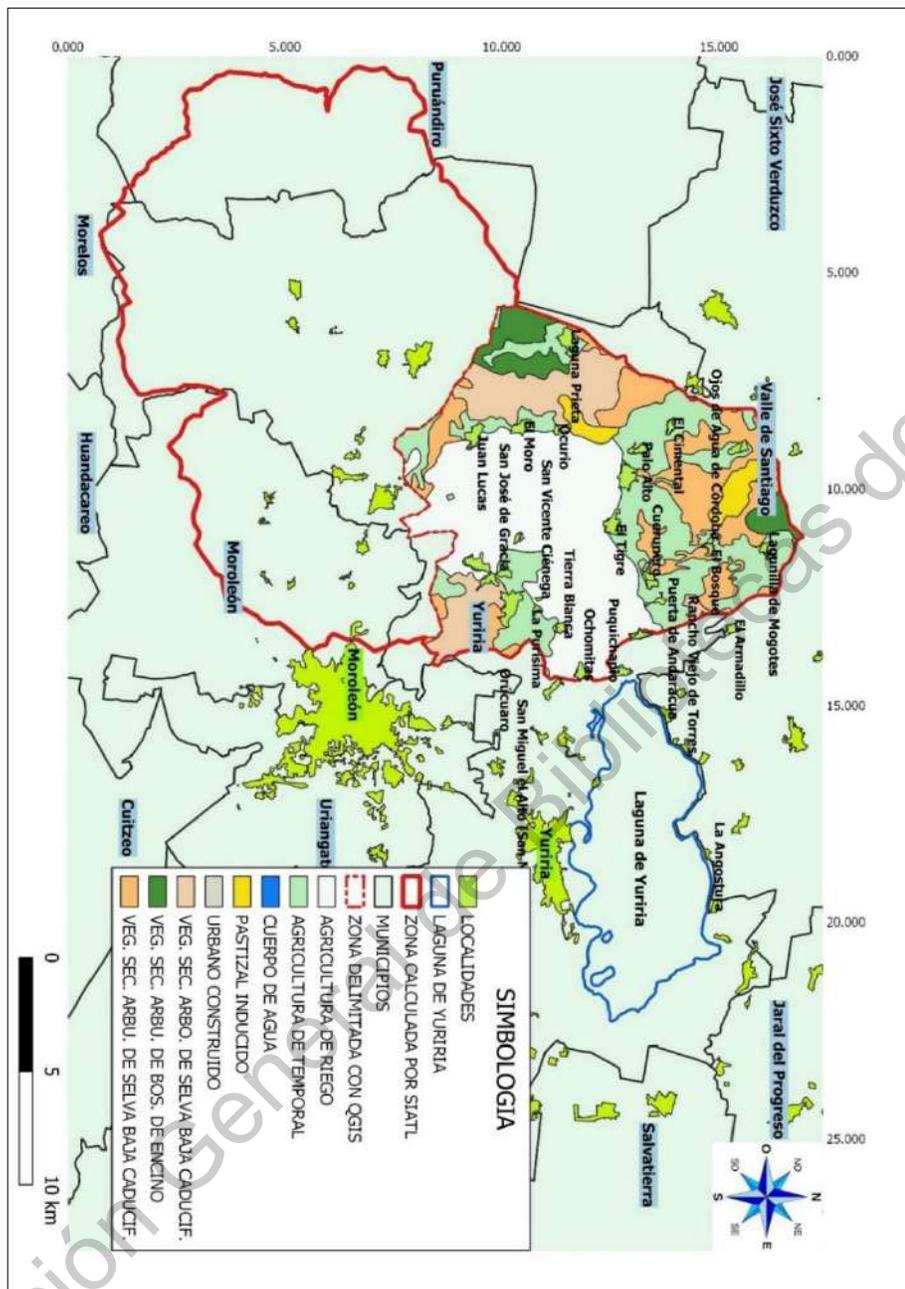


Figura 2. Área más representativa de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia con el auxilio del software SIATL 3.2 (INEGI, 2019) y Qgis 3.4.1, datos de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 serie VI (INEGI, 2016).

Por lo que toca a la delimitación de la microcuenca de estudio, se procedió a realizar un trabajo de gabinete, auxiliándose de las herramientas de los SIG

mediante el uso del software Qgis 3.4.1 y apoyarse de los complementos incluidos del programa Grass. Dicha delimitación se logra hacer partiendo de la incorporación de archivos tipo raster del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2016) y de archivos vectoriales tomados del Catálogo Geográfico SEIEG del Instituto de Planeación, Estadística y Geografía del Estado de Guanajuato (IPLANEG, 2018). Para lograr este fin, se considera incluir aspectos de importancia y de representatividad de los ya aquí mencionados, tales como el relieve de la zona, los rasgos fisiográficos, tenencia de la tierra, presencia de núcleos sociales, cercanía a la laguna de Yuriria y lo más importante, que la actividad primaria sea la agricultura de riego, lográndose con esto incluir sistemas de producción altamente productivos, que pueden ser considerados muy demandantes de plaguicidas dentro de su proceso de producción.

Los modelos Agrícolas altamente productivos siguen un patrón que permite determinar su efecto dentro del sistema. En la Figura 3, se muestra el efecto negativo que mantiene el modelo de producción de alimentos altamente tecnificado que provee a los habitantes de la zona de estudio.



Figura 3. Efecto negativo de los procesos altamente tecnificados

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Obtención de los modelos productivos basados en el uso de plaguicidas.

El presente trabajo se orienta a realizar un aporte de carácter técnico, en el marco de una investigación exploratoria y de carácter descriptivo, con el fin de comparar el impacto ambiental de los principales plaguicidas aplicados por los productores de la microcuenca Ciénega Prieta del municipio de Yuriria Guanajuato. Por tanto, para identificar los modelos productivos prevalecientes en la zona de estudio, se consideró, según los datos del SIAP (2018), a los cultivos de mayor importancia, los cuales fueron estimados por su superficie sembrada, disponibilidad de agua (riego) y temporalidad (primavera-verano y otoño-invierno). Encontrándose en orden de importancia al sorgo, maíz, cebada y trigo.

Los modelos productivos o paquetes tecnológicos son todas aquellas actividades, tecnologías y manejo de insumos, que interactuando en conjunto logran un desarrollo óptimo de los cultivos. Estos paquetes están caracterizados por criterios de recomendación y uso. Entre los primeros se tiene a los paquetes que se elaboran con base a las evaluaciones e investigaciones realizadas por la fuente oficial del gobierno en materia de agricultura. Dentro del mismo grupo, también se tiene al que involucra a los consultores o técnicos, los cuales han organizado un paquete tecnológico con los insumos que proveen, o bien, que se recomiendan al prestar un servicio de asesoría técnica. El paquete de uso está estructurado por el agricultor, que es el que pone en práctica las recomendaciones o las adecúa a sus necesidades y posibilidades.

Con la caracterización anterior, se tienen estructurados tres paquetes tecnológicos:

El primero corresponde a la fuente oficial que será el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de donde se tomarán

las recomendaciones para los cultivos de maíz, sorgo, trigo y cebada, incluidos en la agenda técnica agrícola para Guanajuato (INIFAP, 2017) y de la Guía para producir cebada maltera en surcos en el Bajío (INIFAP, 2008).

El segundo paquete, al cual se le llamara de asesoría, está compuesto por todos aquellos productos que recomiendan los proveedores de plaguicidas y los asesores-extensionistas, el cual se obtendrá por medio de entrevistas semiestructuradas directamente en campo.

El tercer paquete, que se llamara de campo, se refiere a los plaguicidas que utilizan los productores agrícolas y la recopilación de los datos se hará mediante entrevistas directas en sus núcleos de población y/o unidad de producción.

Cabe hacer mención que los paquetes tecnológicos en referencia contienen información únicamente en lo concerniente al control de plagas (considerando la definición manifestada en la revisión bibliográfica) y estos se adecuarán a todo aquello que los productores manifiesten como un problema fitosanitario al momento de la presente investigación.

3.3 Calculo del Cociente de Impacto Ambiental (CIA).

Una vez recopilada la información de cada uno de los paquetes tecnológicos y mediante un proceso de análisis alterno, se obtendrá información que podrá definir cuál es el más contaminante. Como primer paso se integra una base de datos con los elementos necesarios para el cálculo del Cociente de Impacto Ambiental total (CIA_{total}) por medio de la metodología implementada por Kovach et al., en la Universidad de Cornell dentro del programa Manejo Integrado de Plagas (Kovach et al., 1992). El primer paso es determinar el CIA de campo para un ingrediente activo y diferentes patrones de uso (CIA_{ia}). Este último se obtiene multiplicando el valor del CIA teórico (CIA_t) para un plaguicida específico por el porcentaje de

ingrediente activo (%IA) en la formulación, la dosis usada por hectárea (D) y la frecuencia de aplicación anual (FA) (Kovach et al., 1992). Su cálculo se expresa en la siguiente formula:

$$CIA_{ia} = (CIA_t)(\%IA)(D)(FA)$$

Para obtener el CIA de campo de cada cultivo, simplemente se realiza la sumatoria de los CIA de campo del ingrediente activo, desde el i-ésimo hasta el n-ésimo producto aplicado, es decir:

$$CIA_{campo/cultivo} = \sum [(CIA_{ia})_i + \dots (CIA_{ia})_n]$$

Por último, el resultado del CIA de cada modelo, también llamado CIA total (CIA_{total}) se obtiene sumando el CIA de campo de cada cultivo ($CIA_{campo/cultivo}$), desde el i-ésimo hasta el n-ésimo cultivo.

$$CIA_{total} = \sum [(CIA_{campo/cultivo})_i + \dots (CIA_{campo/cultivo})_n]$$

En consecuencia, el resultado de cada modelo se obtiene sumando el CIA de campo de cada cultivo, desde el i-ésimo hasta el n-ésimo cultivo.

La metodología empleada para el cálculo del CIA se resume en el esquema de la Figura 4.

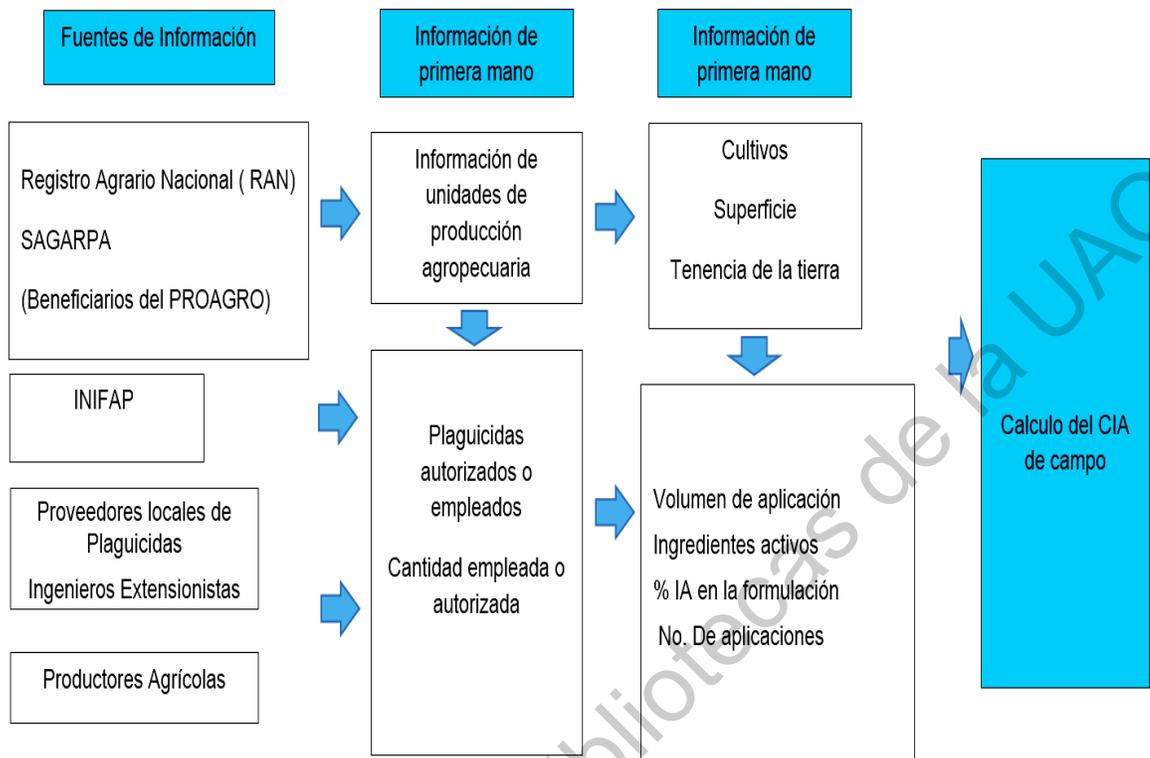


Figura 4. Esquema de metodología para el cálculo del CIA

Fuente: Elaboración propia.

3.4 CIA teórico.

El CIA teórico (CIA_t) es igual a la suma algebraica de tres ecuaciones, que evalúan el impacto en trabajadores agrícolas (ITA), consumidores (IC) y en la biota no humana (IB). A su vez, cada uno de estos tres componentes, están basados en una serie de conversiones de información fisicoquímica y toxicológica en escalas arbitrarias de 1,3 y 5, que constituyen los factores de ponderación en la ecuación del CIA teórico para cada ingrediente activo (Cuadro 5). Los valores de CIA teóricos actualmente se encuentran tabulados y publicados en la página web Integrated Pest management Program de la Universidad de Cornell (Eshenaur et al., 2019).

$$CIA_t = (ITA) + (IC) + (IB)$$

Cuadro 5. Criterios de ponderación de las variables usadas en el cálculo del CIA teórico.

Variables	Sigla	Criterios de ponderación		
		1	3	5
Toxicidad dermal aguda (DL50 dermal)	DT	> 2000 ppm	200-2000 ppm	0-200 ppm
Toxicidad crónica	C	Baja o nula	Posible	Definitiva
Sistematicidad	SY	No sistémico	Sistémico	
Toxicidad en peces (CL50 96 h)	F	>10 ppm	1-10 ppm	< 1 ppm
Toxicidad en aves (CL50 8 días)	D	>1000 ppm	100-1000 ppm	< 100 ppm
Toxicidad en abejas (Dosis a campo)	Z	Relativamente no Tóxico	Moderadamente Tóxico	Altamente Tóxico
Toxicidad en artrópodos Benéficos	B	Impacto bajo	Impacto moderado	Impacto Severo
Potencial de escorrentía	R	Bajo	Medio	Alto
Potencial de lixiviación	L	Bajo	Medio	Alto
Vida media en el suelo	S	< 30 días	30-100 días	>100 días
Vida media en la superficie de la planta	P	1-2 semanas	2-4 semanas	>4 semanas

Fuente: Kovach et al. (1992).

Para clasificar a los plaguicidas dentro de estos tres criterios de ponderación y calcular finalmente un índice sintético, Kovach y su equipo de la Universidad de Cornell usaron distintas bases de datos. La información toxicológica proviene principalmente de EXTOUNET, una red que reúne los efectos sobre la salud y el ambiente de más de 100 plaguicidas. La segunda fuente toxicológica fue el software

CHEM-NEWS, con más de 310 hojas de datos de plaguicidas de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Los valores de toxicidad crónica son el promedio de los resultados de varios ensayos de laboratorio aplicados en pequeños mamíferos. Los mismos están diseñados para determinar:

- Teratogénia (Deformaciones en el embrión).
- Mutagenia (Cambios permanentes en el material hereditario).
- Oncogénia (Desarrollo de tumores).
- Efectos sobre el potencial reproductivo (Habilidad para producir descendencia).

SELCTV fue la base de datos elegida por los investigadores de la Universidad de Cornell para determinar el impacto sobre artrópodos benéficos, mientras que el impacto sobre las abejas lo determinaron usando Tablas de Morse, en un experimento conducido por la Universidad de California. Los valores potenciales de lixiviación, de escorrentía y vida media en el suelo del plaguicida los obtuvieron de la base de datos de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y luego con el software GLEAMS, mediante simulación y aplicación de modelos estadísticos, clasificaron los plaguicidas de acuerdo al riesgo de lixiviación y escorrentía, en alto, medio y bajo (Kovach et al., 1992).

3.4.1 CIA trabajador agrícola.

Una regla consistente en todo el modelo es que el impacto potencial de un plaguicida específico sobre un factor ambiental es igual a la toxicidad multiplicada por el potencial de exposición o probabilidad de entrar en contacto con el plaguicida. El riesgo del trabajador agrícola es igual a la suma entre exposición del aplicador y

la exposición del cosechador, afectada por el producto de la toxicidad crónica (Figura 5).

$$CIA_{trabajador} = (C)\{[(DT)(5)] + [(DT)(P)]\}$$

Dónde:

C: Toxicidad crónica; DT: Toxicidad dermal aguda; P: Vida media en la superficie de la planta.

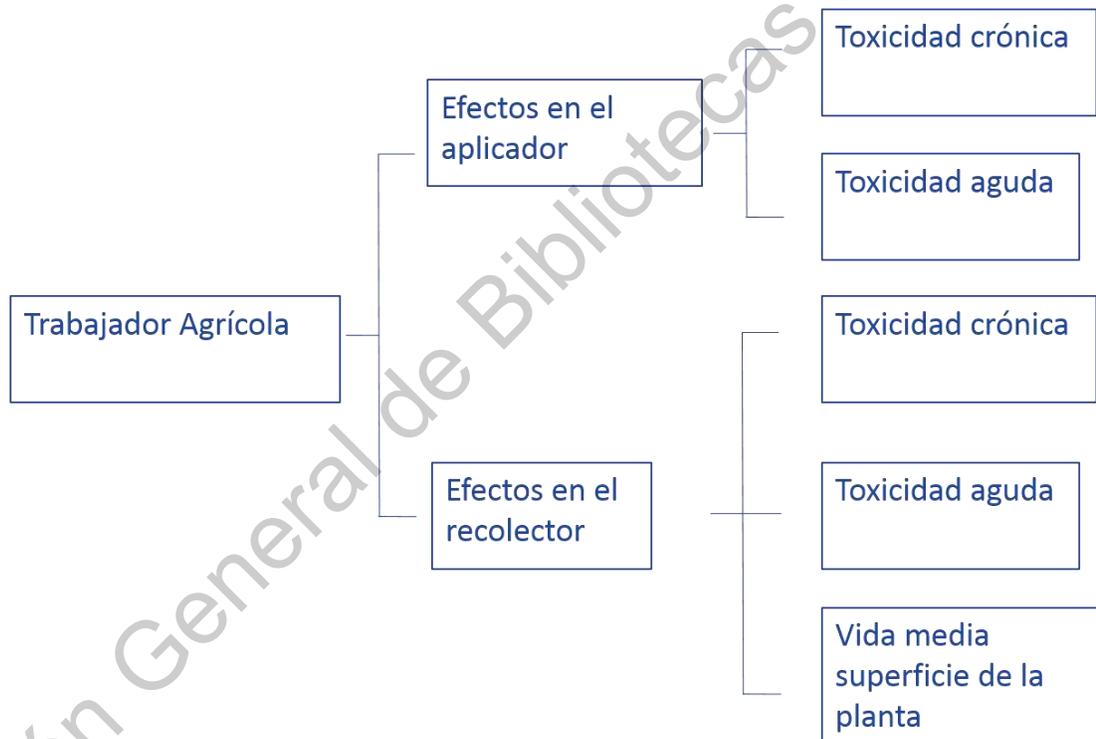


Figura 5: Variables involucradas en el cálculo de los efectos sobre el trabajador agrícola.

Fuente: Kovach et al., 1992.

3.4.2 CIA consumidor.

El riesgo del consumidor se calcula como el producto entre la toxicidad crónica, el promedio entre la vida media en el suelo y en la superficie de la planta (ya que las raíces y otras partes de la planta se consumen) y la sistematicidad (la facilidad con la que el plaguicida es absorbido por la planta) Figura 6.

$$CIA_{consumidor} = (C) \left[\left(\frac{S + P}{2} \right) (SY) \right] + L$$

Dónde:

C: Toxicidad crónica; S: Vida media en el suelo; P: Vida media en la superficie de la planta; SY: Sistematicidad; L: Potencial de lixiviación.

Los efectos sobre el agua subterránea se incluyen en el consumidor debido a la contaminación de los pozos de agua subterránea que luego se usan para riego.

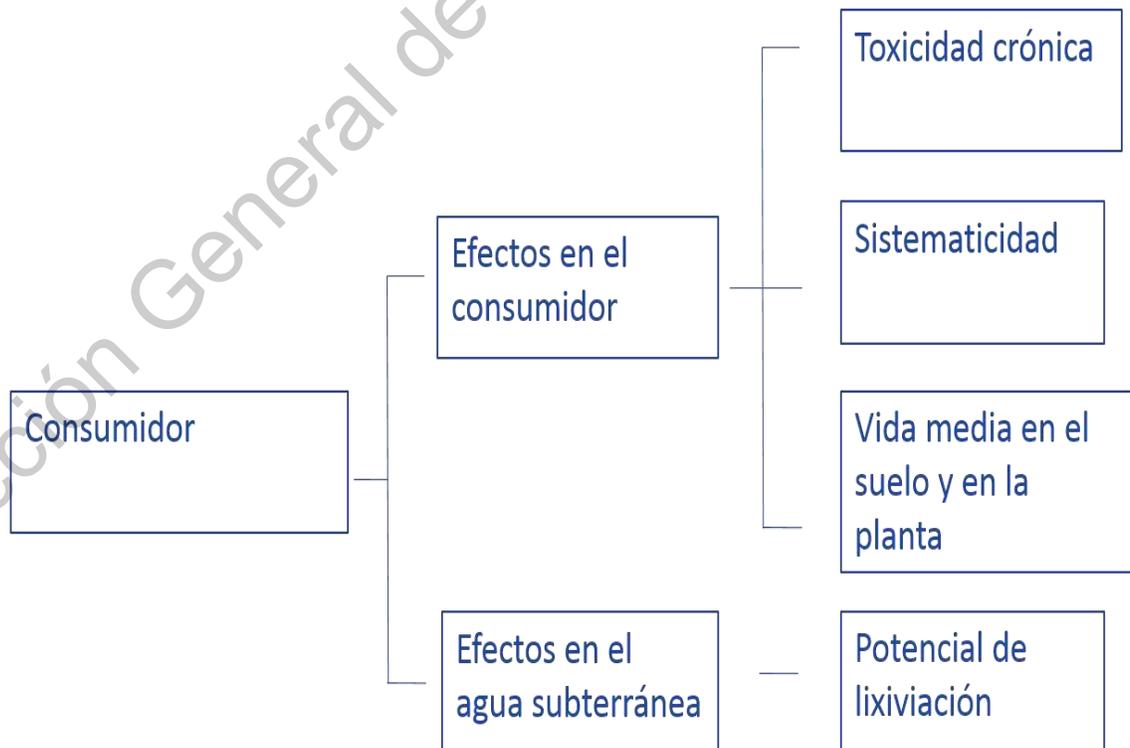


Figura 6. Variables involucradas en el cálculo de los efectos sobre el consumidor.

Fuente: Kovach et al., 1992.

3.4.3 CIA ecológico

El componente ecológico incluye efectos acuáticos y terrestres. Es la suma de los efectos de los químicos en peces, aves, abejas y artrópodos benéficos (Figura 7).

El impacto ambiental de los plaguicidas en sistemas acuáticos se determina multiplicando la toxicidad química en peces por el potencial de escorrentía del pesticida específico, que toma en cuenta la vida media en aguas superficiales.

$$CIA_{ecológico} = [(F)(R)] + \left[(D) \left(\frac{S+P}{2} \right) (3) \right] + [(Z)(P)(3)] + [(B)(P)(5)]$$

Dónde:

F: Toxicidad en peces; R: Potencial de escorrentía del plaguicida; D: Toxicidad en aves; S: Vida media en el suelo; P: Vida media en la superficie de la planta; Z: Letalidad en abejas; B: Efectos en artrópodos benéficos.

El impacto en ecosistemas terrestres está determinado por la suma de la toxicidad de los químicos en aves, abejas y artrópodos benéficos. Debido a que los organismos terrestres son más probables de encontrar en entornos agrícolas comerciales que los peces, la ponderación de este componente es mayor. Como los artrópodos benéficos pasan casi toda su vida en agroecosistemas, su exposición se considera mayor a la de aves y abejas, ponderando por 5.

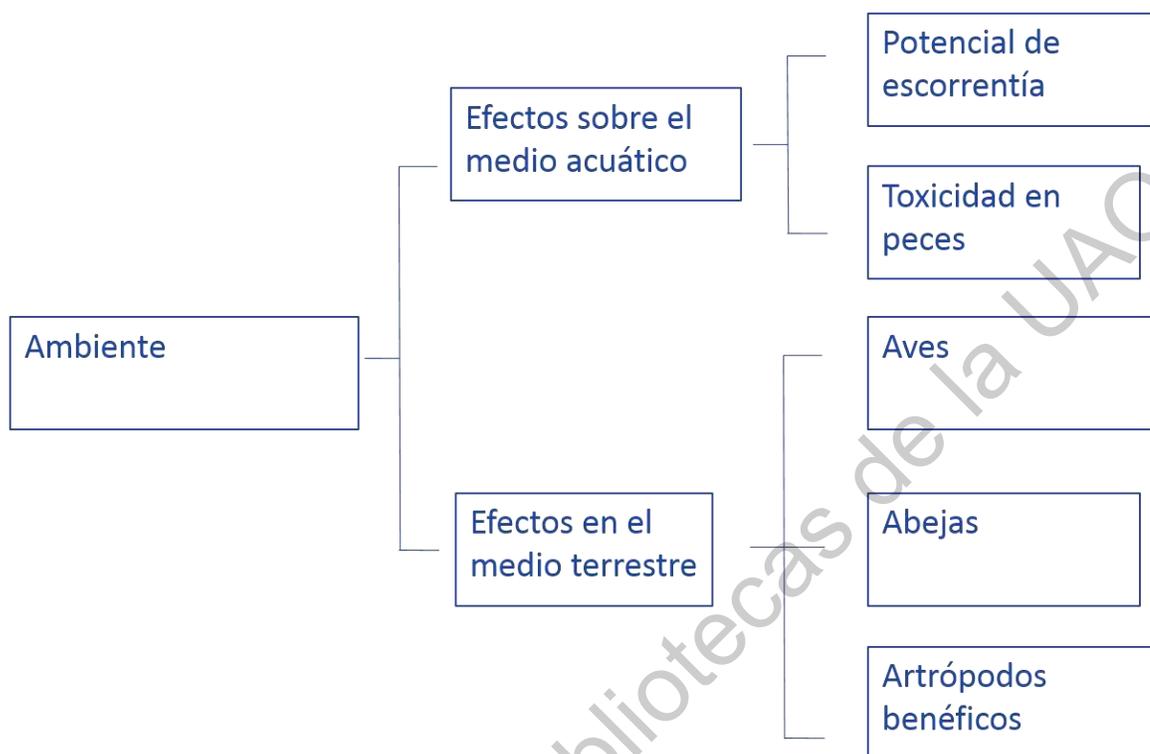


Figura 7. Variables involucradas en el cálculo de los efectos sobre el ambiente.

Fuente: Kovach et al., 1992.

Todos los plaguicidas son evaluados por el modelo con el mismo criterio, excepto por el modo de acción y la persistencia en la superficie de la planta de los herbicidas. Debido a que los herbicidas por lo general son sistémicos, se les coloca un valor de 1 en la persistencia en la superficie de la planta, lo que da un valor más realista en cuanto al impacto sobre los consumidores. Además, a los herbicidas postemergentes se les da un valor de 3 en la persistencia sobre la superficie de la planta y a los preemergentes se les da un valor de 1, ya que actúan sobre la raíz y no quedan adheridos a la superficie foliar.

Usando el CIA de campo los agricultores pueden incorporar los efectos ambientales junto con la eficacia del producto y los costos al proceso de toma de

decisiones. Dentro de lo que es el manejo integrado, se puede comparar el impacto ambiental de distintas estrategias (Kovach et al., 1992).

3.5 Valoración estadística de los CIA.

Para determinar si existe discrepancia entre los valores obtenidos del CIA de los paquetes tecnológicos, se procederá a realizar un análisis de varianza y prueba de medias, con el objetivo de verificar diferencias significativas entre los CIA de campo, todo ello a través del software InfoStat, (Di Rienzo et al., 2018). El análisis consistirá en el uso de la información concerniente entre los CIA de campo de cada cultivo ordenados en una tabla de Excel, donde la variable dependiente será el valor de CIA de cada cultivo, y la variable independiente el cultivo en cada paquete tecnológico. El valor del coeficiente de significancia alfa (α) será de 0.05; la hipótesis nula (H_0) estará basada en la siguiente aseveración:

(H_0): Los cultivos establecidos tienen el mismo efecto contaminante considerando el CIA campo/cultivo.

En contraparte de la hipótesis alternativa será:

(H_a): al menos un cultivo establecido tiene diferente efecto contaminante considerando el CIA campo/cultivo. Con una zona de rechazo para H_0 : ($p - \text{valor}$) $< \alpha$

Si la H_0 se rechaza quiere decir que existe al menos un cultivo con diferente efecto contaminante. Para verificar cuál de los cultivos tiene un efecto contaminante diferente, se procederá a realizar una prueba de medias de Tukey, donde los parámetros a verificar estarán dados en considerar, que valores de medias con letras en común no presentan diferencias significativas.

3.6 Calculo de arrastre de sedimentos.

El trabajo considera también la hipótesis que, en la microcuenca, las zonas con mayor potencial contaminante están relacionadas con el transporte y deposición de sedimentos. Esta hipótesis se evalúa a través de un análisis geoespacial que permite definir el comportamiento hidrodinámico del arrastre de sedimentos en la microcuenca. Se utilizará el modelo de código libre Swat incorporado como un complemento del SIG Qgis (Swat, 2016). El modelo opera a través de las llamadas Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU), las cuales pueden ser obtenidos a partir del modelo digital de elevación con resolución de 15 m, conseguido del portal del INEGI. El análisis hidrodinámico de los escurrimientos y los sedimentos requiere incorporar variables asociadas a las características topográficas, los usos del suelo y vegetación y la climatología de la microcuenca. Para los primeros, los archivos de datos necesarios, a escala 1:50,000, se obtendrán inicialmente de INEGI en formato vectorial y serán transformados a estructuras raster para su incorporación al modelo Qswat. Por su parte, los datos climáticos de la zona se refieren fundamentalmente a la precipitación y se consiguen del sitio web <https://globalweather.tamu.edu/>. La manipulación, manejo y alimentación de información estará de acuerdo a los parámetros requeridos e indicados en el manual de usuario disponible en <https://swat.tamu.edu/software/qswat/> (Swat, 2016).

3.7 Uso de la percepción remota para establecer las zonas de cultivo.

Para mantener una mejor certeza y precisión de la zona involucrada en el análisis del presente estudio, se procederá a verificar con visitas de campo el área correspondiente a la zona de riego delimitada por los diferentes softwares, ajustando de manera más precisa el polígono correspondiente. Con ayuda del complemento de Qgis 3.4.1 denominado SCP (Clasificación Semi-Automática), el cual funciona como una herramienta de teledetección, que define rasgos específicos en la superficie terrestre usando las bandas del espectro electromagnético, y que además permite hacer

combinaciones de las mismas y por medio de un proceso detallado, se obtiene un mapa de uso de suelo, donde puede ser posible diferenciar la superficie establecida por cada cultivo en un periodo de tiempo específico. El complemento SCP se alimentara con las imágenes satelitales del proyecto Sentinel-2 de la fecha más cercana a donde se da la diferencia física entre los cultivos establecidos, considerando que estas plantas se clasifican botánicamente dentro de la misma familia, por lo que sus características en las primeras etapas de desarrollo son similares, y el período para diferenciarlas adecuadamente, se facilita en el momento de la etapa reproductiva en donde se generan las partes de interés comercial (mazorca o panoja). Posterior a obtener el mapa de uso de suelo de la zona de riego, con las visitas de campo se ajustará a la realidad, mejorando este proceso de teledetección.

3.8 Ubicación de zonas más contaminantes.

Con el cálculo del CIA $CIA_{\text{campo/cultivo}}$ y CIA_{total} , se tendrán herramientas válidas para ubicar geo-espacialmente dentro de la microcuenca las áreas con mayor contaminación por el uso de plaguicidas, considerando la presencia de cultivos y la periodicidad de estos.

Los mapas de riesgos se preparan con la información generada y manipulada en el programa Qgis 3.4.1, a partir de la superposición de capas vectoriales para hacer una comparación de los cultivos establecidos del momento actual (ciclo primavera- verano 2019) con los parámetros ya calculados en los procesos descritos con anterioridad, tal y como lo maneja Bocco (2007). Haciendo uso de esta información, se establecerán las zonas con mayor presión de contaminación de acuerdo al valor del CIA de campo obtenido, así mismo, el modelamiento del arrastre de sedimentos mostrara el lugar de mayor concentración, siendo otra área potencial de contaminación al incorporar a los plaguicidas en la dinámica de adsorción de los componentes del suelo, los cuales serán arrastrado por efecto del agua hacia las partes más bajas de la microcuenca y sus unidades

de escurrimiento (UE). Con ello se logra detectar las zonas que deben ser atendidas de manera prioritaria, estableciendo un plan de concientización entre los agricultores, sugiriendo el manejo de productos menos peligrosos para la salud humana y el medio ambiente (Figura 8).

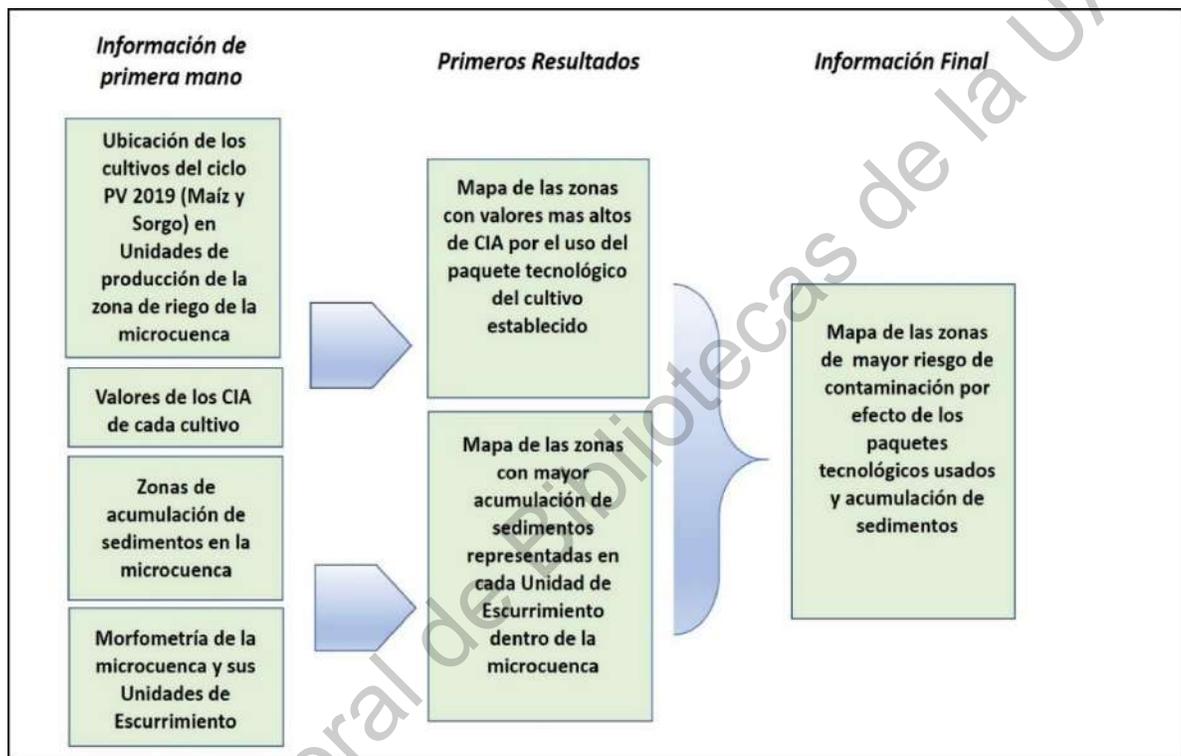


Figura 8. Proceso de elaboración de los mapas de riesgo.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4. Delimitación del área de estudio

A partir de los datos en formato raster del INEGI y vectoriales del SEBIO-GTO (2018) e IPLANEG (2018) indicados en el capítulo anterior y considerando las herramientas del programa Qgis 3.4.1, se delimito la zona de estudio. Al definir el parteaguas de la microcuenca en cuestión, se observa el involucramiento de 12 comunidades y 8 núcleos ejidales, de los datos de estos archivos también se obtuvo información precisa donde se percibe que en este lugar conviven alrededor de 3,904 personas, de los cuales el 70.72% tienen una edad entre 15 y más de 65 años; en cuanto a las viviendas, se tiene que un 39% están deshabitadas y casi la totalidad poseen servicios de agua, drenaje y luz eléctrica. Entre los datos climáticos se observa que los meses más calurosos son abril, mayo y junio, no llegando a superar en promedio los 24°C.; en el ámbito de disponibilidad de agua por el temporal, los meses más lluviosos son junio, julio, agosto y septiembre. Por otro lado, la superficie agrícola es de 2,872.5 hectáreas, de las cuales 669.89 son de agricultura de riego, 2,202.61 de agricultura de temporal; existen 73.67 hectáreas de vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, 51.16 de vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, 1,092.12 de vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, 78.77 de pastizal inducido y de área urbano-construida 165.21, sumando una superficie total de la microcuenca de 4,336 hectáreas. En el ámbito de la conformación de su red hídrica, se observa que la microcuenca, posee tres unidades de escurrimiento (UE) en su interior (Figura 9).

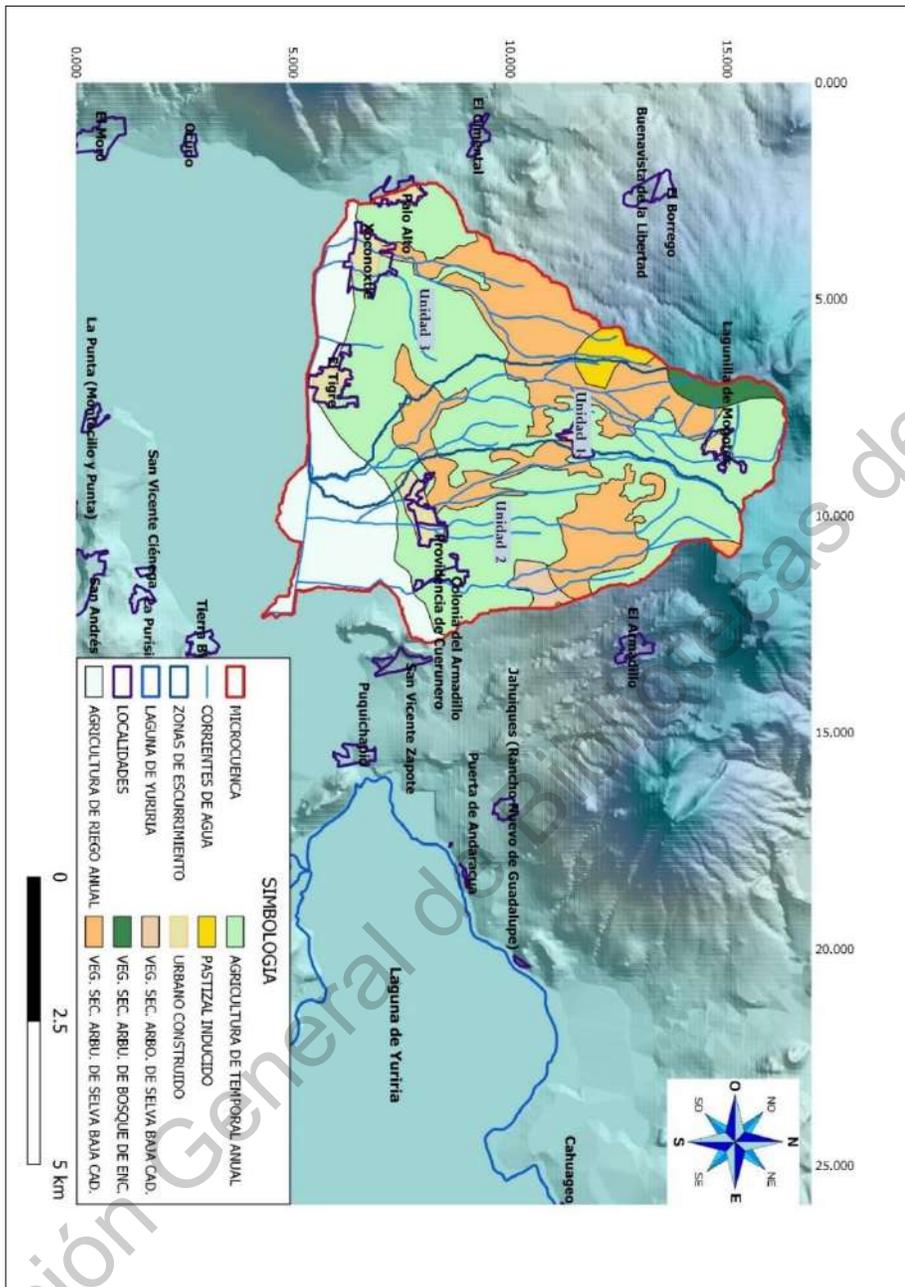


Figura 9. Delimitación del área de estudio

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI, 2016 e IPLANEG, 2018.

4.1 Obtención del paquete tecnológico oficial, de asesoría y de campo.

Se obtuvo el paquete tecnológico para los cultivos de sorgo, maíz, cebada y trigo, propuesto por la fuente oficial (INIFAP, 2008; INIFAP, 2017), la información está disponible para uso público en el sitio web del INIFAP (https://vun.inifap.gob.mx/BibliotecaWeb/_Content?//=AT). Los datos se concentraron en el cuadro 6, mostrando en cada campo: cultivo, plaga, ingrediente activo, unidad, cantidad aplicada por hectárea (D), número total de eventos (FA) y formulación del ingrediente activo (% IA). Este último se obtuvo consultando, tanto en la literatura como en los sitios web de las compañías formuladoras y las etiquetas de los productos autorizados por la fuente oficial.

Cuadro 6. Paquete tecnológico oficial

CULTIVO	PLAGA	INGREDIENTE ACTIVO	UNIDAD	DOSIS /HA	TOTAL DE EVENTOS	FORMULACION DE IA
MAIZ	Trips	Malatión	Lt	1	1	1
	Trips	Carbaril 80%	Kg	1.5	1	0.8
	Trips	Diazinon	Lt	1	1	0.23
	Gusano Cogollero	Carbaril 6.5%	Kg	10	1	0.065
	Gusano Cogollero	Clorpirifos 2%	Kg	12	1	0.02
	Malezas de hoja ancha	Atrazina 90%	Kg	4	1	0.9
	Malezas de hoja ancha	Atrazina 50%	Lt	1	1	0.5
		2,4D Amina	Lt	1	1	0.48
	Malezas de hoja angosta	Nicosulfuron	Lt	1.5	1	0.06
	Malezas de hoja ancha y angosta	Atrazina	Lt	2	1	0.25
		Terbutrina	Lt	2	1	0.25
	Malezas de hoja ancha y angosta	Atrazina 50%	Lt	3	1	0.5
		Prometrina	Lt	1	1	0.48
	Malezas de hoja ancha y angosta	Atrazina	Lt	3	1	0.374
Metolaclor		Lt	3	1	0.29	
SORGO	Gusano Cogollero	Carbaril 5%	Kg	12	1	0.05

	Pulgón amarillo	Imadacloprid	Lt	0.2	1	0.35
	Malezas de hoja ancha	2,4 D Amina	Lt	2	1	0.48
	Malezas de hoja ancha	Atrazina 50%	Lt	2	1	0.5
		2,4 D Amina	Lt	1	1	0.48
	Malezas de hoja angosta	Nicosulfuron	Lt	1	1	0.06
	Malezas de hoja ancha y angosta	Atrazina	Lt	3	1	0.374
		Metoalaclor	Lt	3	1	0.29
	Malezas de hoja ancha y angosta	Atrazina 50%	Lt	3	1	0.5
TRIGO	Pulgón	Paratión metílico 50%	Lt	1	1	0.45
	Pulgón	Malatión	Lt	1	1	1
	Roya lineal amarilla	Propiconazol	Lt	0.5	1	0.25
	Roya lineal amarilla	Tebuconazole	Lt	0.5	1	0.25
	Malezas de hoja ancha	2,4 D Amina	Lt	1.5	1	0.48
	Malezas de hoja ancha y angosta	Mesosulfuron metil	Lt	1	1	0.01
Iodosulfuron metil		Lt	1	1	0.002	
CEBADA	Pulgón	Oxidemeton Metil	Lt	1	1	0.25
	Pulgón	Ometoato*	Lt	1	1	0.7
	Pulgón	Cipermetrina	Lt	0.25	1	0.2
	Pulgón	Malatión	Lt	1	1	1
	Pulgón	Pirimicarb	Lt	0.25	1	0.5
	Roya lineal amarilla	Propiconazol	Lt	0.5	1	0.25
	Roya lineal amarilla	Tebuconazole	Lt	0.5	1	0.25
	Malezas de hoja ancha	2,4 D Amina	Lt	1.5	1	0.48
	Malezas de hoja angosta	Tralkoxidim	Lt	1.5	1	0.4

Fuente: Elaboración propia con datos del INIFAP (2008) y INIFAP (2017).

El paquete tecnológico de asesoría involucra a los distribuidores y los asesores-extensionistas, buscando mantener un acercamiento constante y directo con los productores agrícolas. Los datos se obtuvieron aplicando entrevistas semiestructuradas en los meses de octubre a diciembre de 2018 y de enero a marzo

de 2019. Se incluyeron las preguntas básicas para obtener los datos de manera similar al caso anterior, es decir: el cultivo, plaga, ingrediente activo, unidad, cantidad aplicada por hectárea (D) y el número total de eventos por temporada (FA). De manera simultánea, consultando las etiquetas de los productos comerciales se obtuvo la formulación del ingrediente activo (% de IA). La información se concentró en el cuadro 7.

Cuadro 7. Paquete tecnológico de asesoría

CULTIVO	PLAGA	PRODUCTOS COMERCIALES	INGREDIENTE ACTIVO	UNIDAD	DOSIS/HA	TOTAL DE EVENTOS	FORMULACION DE IA	
MAIZ	Trips	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	1	0.141	
			Lamda cihalotrin	Lt	0.2	1	0.106	
		Derribe 40	Dimetoato	Lt	1	1	0.4	
		Foley 2%	Paration metílico	Kg	20	1	0.02	
	Gusano Cogollero	Denim +karate	Benzoato de emamectina	Lt	0.1	2	0.0192	
			Lamda cihalotrin	Lt	0.25	2	0.051	
		Palgus	Spinoteram	Lt	0.075	1	0.06	
		Ampligo	Lamda cihalotrin	Lt	0.15	1	0.05	
			Clorantraniliprol	Lt	0.15	1	0.1	
		Karate + Lannate	Lamda cihalotrin	Lt	0.25	1	0.051	
			Metomilo	Kg	0.1	1	0.9	
		Ambush + Lannate	Permetrina	Lt	0.25	1	0.5	
			Metomilo	Kg	0.1	1	0.9	
		Coragen	Clorantraniliprol	Lt	0.1	2	0.2	
		Malezas de hoja ancha	Calibre 90 + Bambel	Atrazina	Kg	1	1	0.9
				Dicamba	Lt	0.5	1	0.12
	2,4 D amina			Lt	0.5	1	0.24	
	Malezas de hoja	Laudis + atrazina	Temboatrione	Lt	0.3	1	0.415	

	ancha y angosta	Elumis + atrazina	Atrazina	Kg	1	1	0.9	
			Mesotrione	Kg	1	1	0.075	
			Nicosulfuron	Kg	1	1	0.03	
			Atrazina	Kg	1	1	0.9	
	Control Total de maleza no selectivo	Gramocil	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	
			Diuron	Lt	1.8	1	0.1	
		Gramoxone	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	
		Finale ultra	Glufosinato de amonio	Lt	1	1	0.28	
	SORGO	Gusano Cogollero	Denim +karate	Benzoato de emamectina	Lt	0.1	2	0.0192
				Lamda cihalotrin	Lt	0.25	2	0.051
			Palgus	Spinoteram	Lt	0.075	1	0.058
			Ampligo	Lamda cihalotrin	Lt	0.15	1	0.05
				Clorantraniliprol	Lt	0.15	1	0.1
Coragen			Clorantraniliprol	Lt	0.1	2	0.2	
Pulgón amarillo		Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	2	0.141	
			Lamda cihalotrin	Lt	0.2	2	0.106	
		Imidacloprid 350	Imidacloprid	Lt	0.3	1	0.35	
Malezas de hoja ancha		Calibre 90 + Bambel	Atrazina	Kg	1	1	0.9	
			Dicamba	Lt	0.5	1	0.12	
			2,4 D amina	Lt	0.5	1	0.24	
Malezas de hoja ancha y angosta		Gesaprim Combi	Terbutrina	Lt	3	1	0.25	
	Atrazina		Lt	3	1	0.25		
	Gesaprim combi+Gesaprim calibre 90 + Gesagard+Fullmina	Terbutrina	Lt	1	1	0.25		
		Atrazina	Lt	1	1	0.25		
		Atrazina	Kg	1	1	0.9		
		Prometrina	Lt	0.25	1	0.48		
		2,4 D amina	Lt	0.5	1	0.255		
Control Total de	Gramocil	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2		
		Diuron	Lt	1.8	1	0.1		

	maleza no selectivo	Gramoxone	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2
		Finale ultra	Glufosinato de amonio	Lt	1	1	0.28
TRIGO	Pulgón	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	1	0.141
			Lamda cihalotrin	Lt	0.2	1	0.106
		Imidacloprid 350	Imidacloprid	Lt	0.3	1	0.35
		Pirimor	Pirimicarb	Lt	0.2	1	0.5
	Roya lineal amarilla	Quilt	Propiconazole	Lt	0.8	1	0.125
			Azoxystrobin	Lt	0.8	1	0.075
		Folicur	Tebuconazol	Lt	0.5	1	0.25
		Tilt	Propiconazole	Lt	0.5	1	0.25
	Malezas de hoja ancha	Peak + Bambel	Prosulfuron	Lt	0.35	1	0.57
			Dicamba	Lt	1	1	0.12
			2,4 D amina	Lt	1	1	0.24
	Malezas de hoja ancha y angosta	Sigma forte	Mesosulfuron metil	Lt	1	1	0.01
			Iodosulfuron metil sodio	Lt	1	1	0.002
	CEBADA	Pulgón	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	1
Lamda cihalotrin				Lt	0.2	1	0.106
Roya lineal amarilla		Quilt	Propiconazole	Lt	0.8	1	0.125
			Azoxystrobin	Lt	0.8	1	0.075
		Folicur	Tebuconazol	Lt	0.5	1	0.25
		Tilt	Propiconazole	Lt	0.5	1	0.25
Malezas de hoja ancha		Peak + Bambel	Prosulfuron	Lt	0.35	1	0.57
			Dicamba	Lt	1	1	0.12
			2,4 D amina	Lt	1	1	0.24
Malezas de hoja ancha y angosta		Axial (Grasp)*+ Peak	Tralkoxidim* Pinoxadem	Lt	1	1	0.25
			Prosulfuron	Kg	0.01	1	0.57

Fuente: Elaboración propia con datos de entrevistas semiestructuradas de los años 2018 y 2019.

El paquete tecnológico de campo que usan los productores agrícolas se obtuvo (para el 2019) directamente de las comunidades involucradas en el área de estudio. Se contactó a las autoridades y se convocó a reunión con los productores. A través de un pequeño taller participativo se recabó el uso de plaguicidas en la actividad agrícola. Se consideró únicamente al área de riego por ser la que mantiene una mayor presión en la aplicación de estos productos químicos. La información se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Paquete tecnológico de campo

CULTIVO	PLAGA	PRODUCTOS COMERCIALES	INGREDIENTE ACTIVO	UNIDAD	DOSIS/HA	TOTAL DE EVENTOS	FORMULACION DE IA
MAIZ	Trips	Controla + karate + cipermetrina 200	Clorpirifos etil	lt	0.5	3	0.1262
			Lamda cihalotrin	lt	0.25	3	0.051
			Cipermetrina	lt	0.25	3	0.2
		Derribe 40	Dimetoato	lt	1	2	0.4
		Engeo	Tiametoxam	lt	0.2	2	0.141
			Lamda cihalotrin	lt	0.2	2	0.106
		Latigo	Clorpirifos etil	lt	1.5	2	0.3
			Lamda cihalotrin	lt	1.5	2	0.0154
		Lucamda 7 + velfos 600	Lamda cihalotrin	lt	0.25	1	0.07
			Metamidofos	lt	1	1	0.6
	Gusano Cogollero	Denim +karate	Benzoato de emamectina	lt	0.1	2	0.0192
			Lamda cihalotrin	lt	0.25	2	0.051
		Lasser 300	Fenvalerato	lt	0.25	2	0.3
		Ampligo	Lamda cihalotrin	lt	0.15	1	0.05
			Clorrantraniliprol	lt	0.15	1	0.1
		Karate zeon	Lamda cihalotrin	lt	0.25	1	0.051
		Lucamda 7	Lamda cihalotrin	lt	0.25	1	0.07

	Malezas de hoja ancha	Fullmina	2,4 D amina	lt	1	1	0.48
	Malezas de hoja ancha y angosta	Laudis + atrazina	Tembotrione	lt	0.3	1	0.415
			Atrazina	kg	1	1	0.9
	Control total de maleza no selectivo	Gramocil	Paraquat	lt	1.8	1	0.2
			Diuron	lt	1.8	1	0.1
		Gramoxone	Paraquat	lt	1.8	1	0.2
		Heat	Saflufenacil	kg	0.1	1	0.7
Finale ultra	Glufosinato de amonio	lt	1	1	0.28		
SORGO	Gusano Cogollero	Denim +karate	Benzoato de emamectina	lt	0.1	2	0.0192
			Lamda cihalotrin	lt	0.25	2	0.051
		Lasser 300	Fenvalerato	lt	0.25	2	0.3
		Coragen	Clorantraniliprol	Lt	0.1	2	0.2
	Pulgón amarillo	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	2	0.141
			Lamda cihalotrin	Lt	0.2	2	0.106
		Target 1.5%	Clorpirifos etil	Lt	20	1	0.015
	Imidacloprid 350	Imidacloprid	Lt	0.3	1	0.35	
	Malezas de hoja ancha	Calibre 90 + Fullmina	Atrazina	Kg	1	1	0.9
			2,4 D amina	Lt	0.5	1	0.48
	Malezas de hoja ancha y angosta	Gesaprim Combi	Terbutrina	Lt	1	1	0.25
			Atrazina	Lt	1	1	0.25
		Gesaprim combi+Gesaprim calibre 90 + Gesagard+2,4D amina	Terbutrina	Lt	0.25	1	0.25
			Atrazina	Lt	0.25	1	0.25
			Atrazina	Kg	1	1	0.9
			Prometrina	Lt	0.25	1	0.48
			2,4 D amina	Lt	0.5	1	0.48
Control total de maleza no selectivo	Gramocil	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	
		Diuron	Lt	1.8	1	0.1	
	Heat	Saflufenacil	Kg	0.1	1	0.7	
	Gramoxone	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	
	Finale ultra	Glufosinato de amonio	Lt	1	1	0.28	
TRIGO	Pulgón	Imidacloprid 350	Imidacloprid	Lt	0.25	1	0.35
		Tirano	Cipermetrina	Kg	20	1	0.0003
		Foley 2%	paration metílico	Kg	20	1	0.02
		Folicur	Tebuconazol	Lt	0.5	1	0.25

	Roya lineal amarilla	Tilt	Propiconazole	Lt	0.5	1	0.25
	Malezas de hoja ancha	Fullmina	2,4 D amina	Lt	1	1	0.48
	Malezas de hoja ancha y angosta	Sigma forte	Mesosulfuron metil	Lt	1	1	0.01
			Iodosulfuron metil sodio	Lt	1	1	0.002
CEBADA	Pulgón	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	2	0.141
			Lamda cihalotrin	Lt	0.2	2	0.106
	Roya lineal amarilla	Folicur	Tebuconazol	Lt	0.5	1	0.25
		Tilt	Propiconazole	Lt	0.5	1	0.25
	Malezas de hoja ancha y angosta	Axial (Grasp)*+ Peak	Tralkoxidim*	Lt	1	1	0.25
			Prosulfuron	Lt	0.01	1	0.57

Fuente: Elaboración propia con datos de campo (año 2019).

4.2 Cálculo del CIA de campo.

Para el cálculo de este parámetro, se requirió del CIA teórico (CIA_t) de cada ingrediente activo involucrado en los diferentes paquetes tecnológicos, el cual se obtuvo de las tablas publicadas por la Universidad de Cornell (Eshenaur et al., 2019). Se usó la fórmula propuesta:

$$CIA_{ia} = (CIA_t)(\%IA)(D)(FA)$$

Con ella y con los datos recabados en las entrevistas, se obtuvo el CIA de campo en cada ingrediente activo (CIA_{ia}) y para cada cultivo. Los resultados para cada paquete tecnológico se muestran en los cuadros 9, 10 y 11.

Cuadro 9. CIA_{ia} del paquete tecnológico oficial

CULTIVO	PLAGA	INGREDIENTE ACTIVO	UNIDAD	DOSIS /HA	TOTAL DE EVENTOS	FORMULACION DE IA	CIA_t	CIA_{ia}
MAIZ	Trips	Malatión	Lt	1	1	1	23.83	23.83
	Trips	Carbaril 80%	Kg	1.5	1	0.8	22.73	27.276

	Trips	Diazinon	Lt	1	1	0.23	44.03	10.126
	Gusano Cogollero	Carbaril 6.5%	Kg	10	1	0.065	22.73	14.7745
	Gusano Cogollero	Clorpirifos 2%	Kg	12	1	0.02	26.9	6.456
	Malezas de hoja ancha	Atrazina 90%	Kg	4	1	0.9	22.85	82.26
	Malezas de hoja ancha	Atrazina 50%	Lt	1	1	0.5	22.85	11.425
		2,4D Amina	Lt	1	1	0.48	20.67	9.9216
	Malezas de hoja angosta	Nicosulfuron	Lt	1.5	1	0.06	19.52	1.7568
	Malezas de hoja ancha y angosta	Atrazina	Lt	2	1	0.25	22.85	11.425
		Terbutrina	Lt	2	1	0.25	20.69	10.345
	Malezas de hoja ancha y angosta	Atrazina 50%	Lt	3	1	0.5	22.85	34.275
		Prometrina	Lt	1	1	0.48	15.37	7.3776
	Malezas de hoja ancha y angosta	Atrazina	Lt	3	1	0.374	22.85	25.6377
		Metolaclor	Lt	3	1	0.29	22	19.14
SORGO	Gusano Cogollero	Carbaril 5%	Kg	12	1	0.05	22.73	13.638
	Pulgón amarillo	Imadacloprid	Lt	0.2	1	0.35	36.71	2.5697
	Malezas de hoja ancha	2,4 D Amina	Lt	2	1	0.48	20.67	19.8432
	Malezas de hoja ancha	Atrazina 50%	Lt	2	1	0.5	22.85	22.85
		2,4 D Amina	Lt	1	1	0.48	20.67	9.9216
	Malezas de hoja angosta	Nicosulfuron	Lt	1	1	0.06	19.52	1.1712
	Malezas de hoja ancha y angosta	Atrazina	Lt	3	1	0.374	22.85	25.6377
		Metolaclor	Lt	3	1	0.29	22	19.14
	Malezas de hoja ancha y angosta	Atrazina 50%	Lt	3	1	0.5	22.85	34.275
TRIGO	Pulgón	Paratión metílico 50%	Lt	1	1	0.45	25.97	11.6865
	Pulgón	Malatión	lt	1	1	1	23.83	23.83
	Roya lineal amarilla	Propiconazol	lt	0.5	1	0.25	31.63	3.95375
	Roya lineal amarilla	Tebuconazole	lt	0.5	1	0.25	40.33	5.04125
	Malezas de hoja ancha	2,4 D Amina	lt	1.5	1	0.48	20.67	14.8824
	Malezas de hoja ancha y angosta	Mesosulfuron metil	Lt	1	1	0.01	22.67	0.2267
		Iodosulfuron metil	Lt	1	1	0.002	15.33	0.03066
CEBADA	Pulgón	Oxidemeton Metil	lt	1	1	0.25	75.03	18.7575

	Pulgón	Ometoato*	lt	1	1	0.7	33.49	23.443
	Pulgón	Cipermetrina	lt	0.25	1	0.2	36.35	1.8175
	Pulgón	Malatión	lt	1	1	1	23.83	23.83
	Pulgón	Pirimicarb	lt	0.25	1	0.5	16	2
	Roya lineal amarilla	Propiconazol	lt	0.5	1	0.25	31.63	3.95375
	Roya lineal amarilla	Tebuconazole	lt	0.5	1	0.25	40.33	5.04125
	Malezas de hoja ancha	2,4 D Amina	lt	1.5	1	0.48	20.67	14.8824
	Malezas de hoja angosta	Tralkoxidim	lt	1.5	1	0.4	22	13.2

Fuente: Elaboración propia con datos del INIFAP (2017) y INIFAP (2008).

Cuadro 10. CIA_{ia} del paquete tecnológico de asesoría

CULTIVO	PLAGA	PRODUCTOS COMERCIALES	INGREDIENTE ACTIVO	UNIDAD	DOSIS/HA	TOTAL DE EVENTOS	FORMULACION DE IA	CIA _t	CIA _{ia}
MAIZ	Trips	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	1	0.141	33.3	0.93906
			Lamda cihalotrin	Lt	0.2	1	0.106	44.17	0.936404
		Derribe 40	Dimetoato	Lt	1	1	0.4	33.49	13.396
		Foley 2%	Paratión metílico	Kg	20	1	0.02	25.97	10.388
	Gusano Cogollero	Denim +karate	Benzoato de emamectina	Lt	0.1	2	0.0192	26.28	0.1009152
			Lamda cihalotrin	Lt	0.25	2	0.051	44.17	1.126335
		Palgus	Spinoteram	Lt	0.075	1	0.06	27.78	0.12501
		Ampligo	Lamda cihalotrin	Lt	0.15	1	0.05	44.17	0.331275
			Clorantraniliprol	Lt	0.15	1	0.1	18.34	0.2751
		Karate + Lannate	Lamda cihalotrin	Lt	0.25	1	0.051	44.17	0.5631675
			Metomilo	Kg	0.1	1	0.9	22	1.98
		Ambush + Lannate	Permetrina	Lt	0.25	1	0.5	29.33	3.66625
			Metomilo	Kg	0.1	1	0.9	22	1.98
		Coragen	Clorantraniliprol	Lt	0.1	2	0.2	18.34	0.7336
	Malezas de hoja ancha	Calibre 90 + Bambel	Atrazina	Kg	1	1	0.9	22.85	20.565
			Dicamba	Lt	0.5	1	0.12	26.33	1.5798

			2,4 D amina	Lt	0.5	1	0.24	20.67	2.4804
	Malezas de hoja ancha y angosta	Laudis + atrazina	Tembotrione	Lt	0.3	1	0.415	45.78	5.69961
Atrazina			Kg	1	1	0.9	22.85	20.565	
Elumis + atrazina		Mesotrione	Kg	1	1	0.075	18.67	1.40025	
		Nicosulfuron	Kg	1	1	0.03	19.52	0.5856	
		Atrazina	Kg	1	1	0.9	22.85	20.565	
Control Total de maleza no selectivo	Gramocil	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	24.73	8.9028	
		Diuron	Lt	1.8	1	0.1	26.47	4.7646	
	Gramoxone	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	24.73	8.9028	
	Finale ultra	Glufosinato de amonio	Lt	1	1	0.28	20.2	5.656	
SORGO	Gusano Cogollero	Denim +karate	Benzoato de emamectina	Lt	0.1	2	0.0192	26.28	0.1009152
			Lamda cihalotrin	Lt	0.25	2	0.051	44.17	1.126335
		Palgus	Spinoteram	Lt	0.075	1	0.058	27.78	0.120843
		Ampligo	Lamda cihalotrin	Lt	0.15	1	0.05	44.17	0.331275
			Clorraniliprol	Lt	0.15	1	0.1	18.34	0.2751
		Coragen	Clorraniliprol	Lt	0.1	2	0.2	18.34	0.7336
	Pulgón amarillo	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	2	0.141	33.3	1.87812
			Lamda cihalotrin	Lt	0.2	2	0.106	44.17	1.872808
		Imidacloprid 350	Imidacloprid	Lt	0.3	1	0.35	36.71	3.85455
	Malezas de hoja ancha	Calibre 90 + Babel	Atrazina	Kg	1	1	0.9	22.85	20.565
			Dicamba	Lt	0.5	1	0.12	26.33	1.5798
			2,4 D amina	Lt	0.5	1	0.24	20.67	2.4804
	Malezas de hoja ancha y angosta	Gesaprim Combi	Terbutrina	Lt	3	1	0.25	20.69	15.5175
			Atrazina	Lt	3	1	0.25	22.85	17.1375
		Gesaprim combi+Gesaprim calibre 90 + Gesagard+Fullmina	Terbutrina	Lt	1	1	0.25	20.69	5.1725
			Atrazina	Lt	1	1	0.25	22.85	5.7125
			Atrazina	Kg	1	1	0.9	22.85	20.565
			Prometrina	Lt	0.25	1	0.48	15.37	1.8444
			2,4 D amina	Lt	0.5	1	0.255	20.67	2.635425
	Control Total de maleza no selectivo	Gramocil	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	24.73	8.9028
Diuron			Lt	1.8	1	0.1	26.47	4.7646	
Gramoxone		Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	24.73	8.9028	
Finale ultra		Glufosinato de amonio	Lt	1	1	0.28	20.2	5.656	
TRIGO	Pulgón	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	1	0.141	33.3	0.93906

			Lamda cihalotrin	Lt	0.2	1	0.106	44.17	0.936404	
		Imidacloprid 350	Imidacloprid	Lt	0.3	1	0.35	36.71	3.85455	
		Pirimor	Pirimicarb	Lt	0.2	1	0.5	16	1.6	
	Roya lineal amarilla	Quilt	Propiconazole	Lt	0.8	1	0.125	31.63	3.163	
			Azoxystrobin	Lt	0.8	1	0.075	26.92	1.6152	
		Folicur	Tebuconazol	Lt	0.5	1	0.25	40.33	5.04125	
		Tilt	Propiconazole	Lt	0.5	1	0.25	31.63	3.95375	
	Malezas de hoja ancha	Peak + Bambel	Prosulfuron	Lt	0.35	1	0.57	19.87	3.964065	
			Dicamba	Lt	1	1	0.12	26.33	3.1596	
			2,4 D amina	Lt	1	1	0.24	20.67	4.9608	
	Malezas de hoja ancha y angosta	Sigma forte	Mesosulfuron metil	Lt	1	1	0.01	22.67	0.2267	
			Iodosulfuron metil sodio	Lt	1	1	0.002	15.33	0.03066	
	CEBADA	Pulgón	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	1	0.141	33.3	0.93906
				Lamda cihalotrin	Lt	0.2	1	0.106	44.17	0.936404
		Roya lineal amarilla	Quilt	Propiconazole	Lt	0.8	1	0.125	31.63	3.163
Azoxystrobin				Lt	0.8	1	0.075	26.92	1.6152	
Folicur			Tebuconazol	Lt	0.5	1	0.25	40.33	5.04125	
		Tilt	Propiconazole	Lt	0.5	1	0.25	31.63	3.95375	
Malezas de hoja ancha		Peak + Bambel	Prosulfuron	Lt	0.35	1	0.57	19.87	3.964065	
			Dicamba	Lt	1	1	0.12	26.33	3.1596	
			2,4 D amina	Lt	1	1	0.24	20.67	4.9608	
Malezas de hoja ancha y angosta		Axial (Grasp)*+ Peak	Tralkoxidim* Pinoxadem	Lt	1	1	0.25	22	5.5	
			Prosulfuron	Kg	0.01	1	0.57	19.87	0.113259	

Fuente: Elaboración propia con datos de entrevistas semiestructuradas de los años 2018 y 2019.

Cuadro 11. CIA_{ia} del paquete tecnológico de campo

CULTIVO	PLAGA	PRODUCTOS COMERCIALES	INGREDIENTE ACTIVO	UNIDAD	DOSIS/HA	TOTAL DE EVENTOS	FORMULACION DE IA	CIA _t	CIA _{ia}
MAIZ	Trips	Controla + karate + cipermetrina 200	Clorpirifos etil	Lt	0.5	3	0.1262	26.9	5.09217
			Lamda cihalotrin	Lt	0.25	3	0.051	44.17	1.6895025
			Cipermetrina	Lt	0.25	3	0.2	36.35	5.4525

		Derribe 40	Dimetoato	Lt	1	2	0.4	33.49	26.792
		Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	2	0.141	33.3	1.87812
			Lamda cihalotrin	Lt	0.2	2	0.106	44.17	1.872808
		Latigo	Clorpirifos etil	Lt	1.5	2	0.3	26.9	24.21
			Lamda cihalotrin	Lt	1.5	2	0.0154	44.17	2.040654
		Lucamda 7 + velfos 600	Lamda cihalotrin	Lt	0.25	1	0.07	44.17	0.772975
			Metamidofos	Lt	1	1	0.6	36.83	22.098
	Gusano Cogollero	Denim +karate	Benzoato de emamectina	Lt	0.1	2	0.0192	26.28	0.1009152
			Lamda cihalotrin	Lt	0.25	2	0.051	44.17	1.126335
		Lasser 300	Fenvalerato	Lt	0.25	2	0.3	39.57	5.9355
		Ampligo	Lamda cihalotrin	Lt	0.15	1	0.05	44.17	0.331275
			Clorantraniliprol	Lt	0.15	1	0.1	18.34	0.2751
		Karate zeon	Lamda cihalotrin	Lt	0.25	1	0.051	44.17	0.5631675
		Lucamda 7	Lamda cihalotrin	Lt	0.25	1	0.07	44.17	0.772975
	Malezas de hoja ancha	Fullmina	2,4 D amina	Lt	1	1	0.48	20.67	9.9216
	Malezas de hoja ancha y angosta	Laudis + atrazina	Tembotrione	Lt	0.3	1	0.415	45.78	5.69961
			Atrazina	Kg	1	1	0.9	22.85	20.565
	Control total de maleza no selectivo	Gramocil	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	24.73	8.9028
			Diuron	Lt	1.8	1	0.1	26.47	4.7646
		Gramoxone	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	24.73	8.9028
		Heat	Saflufenacil	Kg	0.1	1	0.7	22.29	1.5603
		Finale ultra	Glufosinato de amonio	Lt	1	1	0.28	20.2	5.656
SORGO	Gusano Cogollero	Denim +karate	Benzoato de emamectina	Lt	0.1	2	0.0192	26.28	0.1009152
			Lamda cihalotrin	Lt	0.25	2	0.051	44.17	1.126335
		Lasser 300	Fenvalerato	Lt	0.25	2	0.3	39.57	5.9355
		Coragen	Clorantraniliprol	Lt	0.1	2	0.2	18.34	0.7336
	Pulgón amarillo	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	2	0.141	33.3	1.87812
			Lamda cihalotrin	Lt	0.2	2	0.106	44.17	1.872808
		Target 1.5%	Clorpirifos etil	Lt	20	1	0.015	26.9	8.07
		Imidacloprid 350	Imidacloprid	Lt	0.3	1	0.35	36.71	3.85455
			Atrazina	Kg	1	1	0.9	22.85	20.565

	Malezas de hoja ancha	Calibre 90 + Fullmina	2,4 D amina	Lt	0.5	1	0.48	20.67	4.9608	
	Malezas de hoja ancha y angosta	Gesaprim Combi	Terbutrina	Lt	1	1	0.25	20.69	5.1725	
			Atrazina	Lt	1	1	0.25	22.85	5.7125	
		Gesaprim combi+Gesaprim calibre 90 + Gesagard+2,4D amina	Terbutrina	Lt	0.25	1	0.25	20.69	1.293125	
			Atrazina	Lt	0.25	1	0.25	22.85	1.428125	
			Atrazina	Kg	1	1	0.9	22.85	20.565	
			Prometrina	Lt	0.25	1	0.48	15.37	1.8444	
		Control total de maleza no selectivo	Gramocil	Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	24.73	8.9028
	Diuron			Lt	1.8	1	0.1	26.47	4.7646	
	Heat		Saflufenacil	Kg	0.1	1	0.7	22.29	1.5603	
	Gramoxone		Paraquat	Lt	1.8	1	0.2	24.73	8.9028	
	Finale ultra		Glufosinato de amonio	Lt	1	1	0.28	20.2	5.656	
	TRIGO	Pulgón	Imidacloprid 350	Imidacloprid	Lt	0.25	1	0.35	36.71	3.212125
			Tirano	Cipermetrina	Kg	20	1	0.0003	36.35	0.2181
			Foley 2%	Paratión metílico	Kg	20	1	0.02	25.97	10.388
Roya lineal amarilla		Folicur	Tebuconazol	Lt	0.5	1	0.25	40.33	5.04125	
		Tilt	Propiconazole	Lt	0.5	1	0.25	31.63	3.95375	
Malezas de hoja ancha		Fullmina	2,4 D amina	Lt	1	1	0.48	20.67	9.9216	
Malezas de hoja ancha y angosta		Sigma forte	Mesosulfuron metil	Lt	1	1	0.01	22.67	0.2267	
			Iodosulfuron metil sodio	Lt	1	1	0.002	15.33	0.03066	
CEBADA		Pulgón	Engeo	Tiametoxam	Lt	0.2	2	0.141	33.3	1.87812
				Lamda cihalotrin	Lt	0.2	2	0.106	44.17	1.872808
	Roya lineal amarilla	Folicur	Tebuconazol	Lt	0.5	1	0.25	40.33	5.04125	
		Tilt	Propiconazole	Lt	0.5	1	0.25	31.63	3.95375	
	Malezas de hoja ancha y angosta	Axial (Grasp)*+ Peak	Tralkoxidim*	Lt	1	1	0.25	22	5.5	
			Prosulfuron	Lt	0.01	1	0.57	19.87	0.113259	

Fuente: Elaboración propia con datos de campo (año 2019).

4.3 Calculo del CIA campo/cultivo.

Se aplicó la fórmula correspondiente $CIA_{campo/cultivo} = \sum[(CIA_{ia})_i + \dots (CIA_{ia})_n]$ para el cálculo de cociente de impacto ambiental de campo por cultivo (cuadro 12) obteniéndose los resultados siguientes:

Cuadro 12. $CIA_{campo/cultivo}$ Paquetes tecnológicos

Paquete Tecnológico	Cultivo	$CIA_{campo/cultivo}$
Oficial	Maíz	296.02
	Sorgo	149.04
	Trigo	59.65
	Cebada	106.92
De asesoría	Maíz	138.20
	Sorgo	131.72
	Trigo	33.44
	Cebada	33.34
De campo	Maíz	166.97
	Sorgo	119.86
	Trigo	32.99
	Cebada	18.35

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Cálculo del CIA_{total} .

Al aplicar la fórmula $CIA_{total} = \sum[(CIA_{campo/cultivo})_i + \dots (CIA_{campo/cultivo})_n]$ para el cálculo de cociente de impacto ambiental total o por paquete tecnológico, se obtuvo el resultado mostrado en el cuadro 13.

Cuadro 13. CIA_{total} Paquetes tecnológicos

Paquete Tecnológico	Cultivo	$CIA_{campo/cultivo}$	CIA_{total}
---------------------	---------	-----------------------	---------------

Oficial	Maíz	296.02	445.07
	Sorgo	149.04	
	Trigo	59.65	166.57
	Cebada	106.92	
De asesoría	Maíz	138.20	269.93
	Sorgo	131.72	
	Trigo	33.44	66.79
	Cebada	33.34	
De campo	Maíz	166.97	286.83
	Sorgo	119.86	
	Trigo	32.99	51.35
	Cebada	18.35	

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Análisis estadístico.

Al someter los datos del CIA campo/cultivo al proceso de análisis estadístico mediante el software InfoStat, (Di Rienzo et al., 2018) (Cuadro 14 y Figura 10) se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 14. Análisis de varianza y prueba de Tukey para los datos de CIA_{campo/cultivo}

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
CIA _{campo/cultivo}	12	0.72	0.61	40.07	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	49737.74	3	16579.25	6.79	0.0137
Cultivo	49737.74	3	16579.25	6.79	0.0137
Error	19520.4	8	2440.05		
Total	69258.14	11			

		Test:Tukey			
Alfa=0.05		DMS=129.15846			
Error: 2440.0506		gl: 8			
Cultivo	Medias	n	E.E.		
Maíz	200.4	3	28.52	A	
Sorgo	133.55	3	28.52	A	B
Cebada	52.88	3	28.52		B
Trigo	42.03	3	28.52		B
<i>Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)</i>					

Fuente: Elaboración propia con ayuda de infostat (2018).

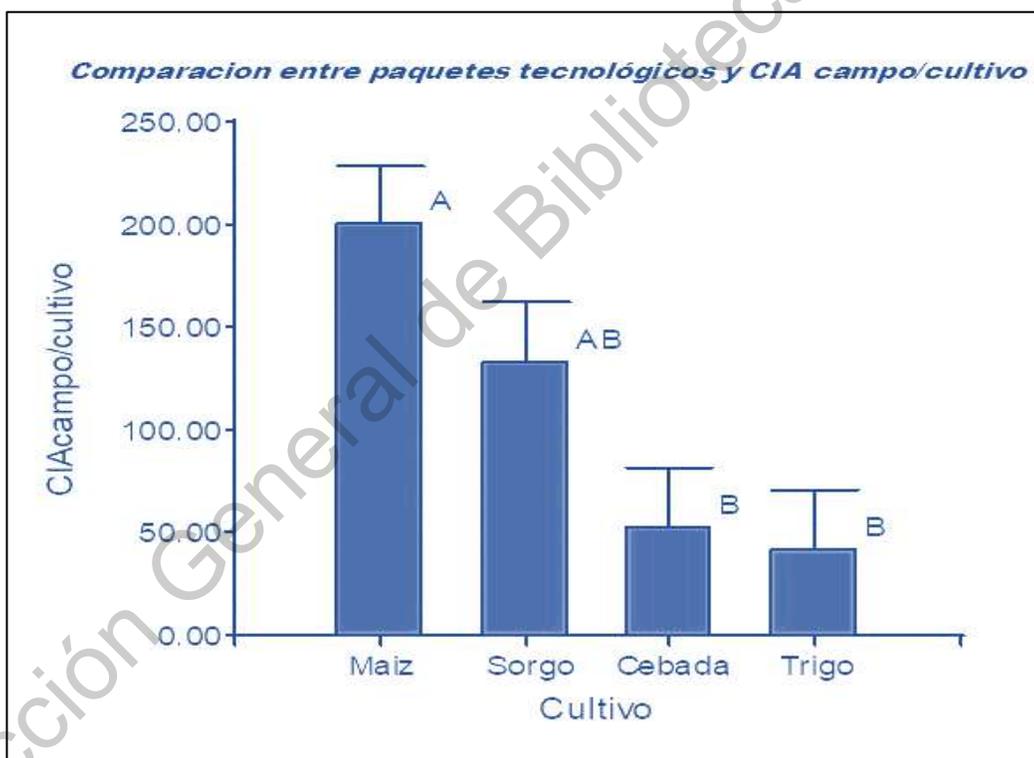


Figura 10. Análisis de significancia entre medias de los CIA campo/cultivo

Fuente: Infostat (2018).

Al someter a los valores de CIA _{campo/cultivo} al proceso estadístico anteriormente mencionado, se observa claramente que el valor del coeficiente de significancia (α) fue de 0.05 y considerando que la zona de rechazo para la hipótesis nula ó Ho, es que $(p - \text{valor}) < \alpha$; entonces para este caso el valor de $(p - \text{valor})$ observado en los resultados en el cuadro 14, es menor que el valor del coeficiente de significancia 0.05, por lo tanto, se rechaza la Ho. Dándole validez a la hipótesis alternativa ó Ha, concluyendo que “al menos un cultivo establecido tiene diferente efecto contaminante considerando el CIA _{campo/cultivo}“. Con estos resultados, el paso siguiente consiste en determinar cuál o cuáles de los CIA _{campo/cultivo} tiene o tienen un efecto diferente; esto se logró mediante una comparación de medias por la prueba de Tukey, donde si se observa el cuadro ya mencionado, los resultados muestran que existe diferencias significativas entre el trigo y el maíz, la cebada y el maíz por tener letras diferentes entre ellos, pero para el caso de la comparación del sorgo y maíz no existe diferencia significativa y este último mantiene un valor relativo mayor que todos.

4.6 Calculo del arrastre de sedimentos.

Mediante las herramientas del programa Qswat 1.0 se corrobora la delimitación de la microcuenca, las UE respectivas, parámetros de la morfometría de la cuenca y la acumulación de sedimentos en una escala de tiempo anual. Al delimitar la microcuenca Ciénega Prieta se observa que posee tres UE; es pertinente mencionar que esta característica es un parámetro de interés en el manejo de la información de la presente investigación, obteniendo en forma más específica cuál de estas tres unidades es la más contaminante.

Derivado de este argumento se puede observar en la Figura 11, el resultado de la modelación por Qswat 1,0 y la sobreposición en Qgis 3.4.1 del archivo con formato vectorial generado, se puede observar que el área con un mayor valor en cuanto al rango de acumulación de sedimentos se encuentra en la zona de temporal

cercana a la comunidad de El tigre, este asentamiento humano se localiza dentro de la Unidad de Escurrimiento número 3.

Al usar las herramientas de la calculadora de campos del Qgis 3.4.1 y cuantificar la superficie de cultivo establecida por Unidad de escurrimiento en los diferentes rangos de acumulación de sedimentos, se puede observar que la Unidad de Escurrimiento 3 es la que posee la zona con un mayor aporte de estas partículas considerando los parámetros mayores en cuanto a superficie y rango de acumulación, como se muestra en el cuadro 15 y en la Figura 11.

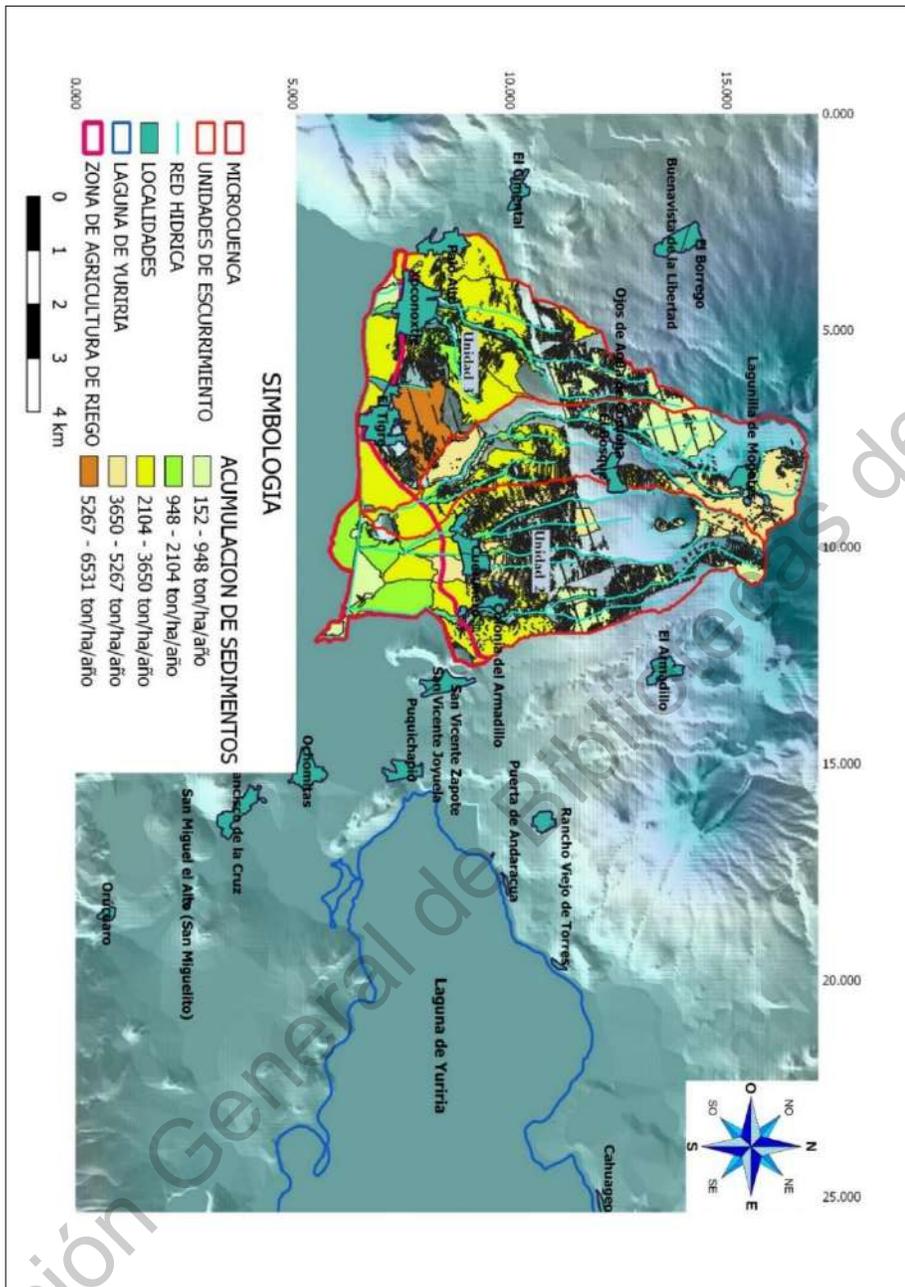


Figura 11. Zonas de mayor acumulación por arrastre de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software Qswat 1.0 y Qgis 3.4 , con datos del INEGI, 2016 e IPLANEG, 2018.

Cuadro 15. Superficie y rangos de acumulación de sedimentos por unidad de escurrimiento (UE)

RANGO ACUM_SED	SUPERFICIE INVOLUCRADA UE 1 (HA)	SUPERFICIE INVOLUCRADA UE 2 (HA)	SUPERFICIE INVOLUCRADA UE 3 (HA)
152 A 948	143.503	208.534	159.306
948 A 2104	29.588	224.186	104.044
2104 A 3650	227.225	341.106	679.919
3650 A 5267	233.726	259.665	0
5267 A 6531	0	0	120.959
SUMA	634.042	1033.491	1064.228

Fuente: Elaboración propia con apoyo del programa Qswat 1.0 y Qgis 3.4.1.

4.7 Cálculo de la morfometría de la microcuenca y unidades de escurrimiento

El análisis morfométrico de la microcuenca es una herramienta más en la explicación de los diferentes fenómenos que se dan dentro del territorio de estudio y se obtuvo con los parámetros generados en el proceso de análisis por medio del Qswat 1.0 y fueron complementados con el uso de herramientas del programa Qgis 3.4.1, y para mantener una mayor certeza en la posible explicación de dichos fenómenos, se realizó el cálculo dentro de las UE que conforman a la microcuenca; los parámetros morfométricos de estas Unidades se obtuvieron únicamente con las herramientas del Qgis 3.4.1, estos datos se clasificaron y concentraron en el cuadro 16.

Cuadro 16. Morfometría de la microcuenca y sus unidades de escurrimiento

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES

Parámetro	Símbolo	Valor Microcuenca	Valor UE1	Valor UE2	Valor UE3
Perímetro (km)	P	38.90	26.42	29.93	24.88
Área (km ²)	A	43.36	11.55	17.27	14.52

Longitud máxima (km)	LM	8.97	8.04	8.45	5.57
Longitud cause principal (km)	LCP	13.15	10.26	9.97	10.82
Ancho de la cuenca	AC	4.83	1.12	1.73	1.34
Desnivel altitudinal (m)	DA	688	683	628	522

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DEL RELIEVE

Parámetro	Símbolo	Valor Microcuenca	Valor UE1	Valor UE2	Valor UE3
Cota máxima (msnm)	Cmax	2416	2416	2356	2250
Cota mínima (msnm)	Cmin	1728	1733	1728	1728
Altitud media (msnm)	Am	1922.96	2042.27	1915.04	1837.55
Altitud más frecuente (msnm)	Af	1751	2211	1749	1745
Altitud mayor del cauce	Amc	2281	2281	2269	2180
Altitud menor del cauce	Amec	1728	1733	1731	1728
Pendiente promedio de la cuenca (%)	Smed	5.23	6.65	6.3	4.82

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA

Parámetro	Símbolo	Valor Microcuenca	Valor UE1	Valor UE2	Valor UE3
Factor forma	FF	0.54	0.18	0.24	0.47
Coefficiente de compacidad	Kc	1.95	2.18	2.01	1.82
Coefficiente de circularidad	CC	0.36	0.21	0.24	0.29

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJE

Parámetro	Símbolo	Valor Microcuenca	Valor UE1	Valor UE2	Valor UE3
Orden de la cuenca	Oc	4	3	3	2
Longitud total de drenaje (km)	Lt	78.25	25.63	32.96	19.62
Densidad de drenaje	D	1.80	2.22	1.90	1.35
Frecuencia de drenaje	F	0.58	1.12	0.46	0.34
No. De drenajes orden 1	Od	25	13	8	5

Coefficiente de torrencialidad	Ct	0.58	1.12	0.46	0.34
Pendiente del cauce	Sc	4.2	5.34	5.39	4.17
Tiempo de concentración (horas)	TC	1.50	1.13	1.13	1.33

Fuente: Elaboración propia con apoyo del programa Qswat 1.0 y Qgis 3.4.1.

El cuadro anterior muestra una gran similitud en la mayoría de los parámetros morfométricos al analizar la microcuenca y cada unidad de escurrimiento por separado, donde para el caso de la microcuenca Ciénega Prieta, se tiene una superficie total de 43.3 km² y un perímetro de 38.9 km, por lo que está categorizada como una microcuenca de tamaño pequeño, la pendiente media la define como una zona con relieve accidentado medio, su factor de forma nos dice que es una microcuenca ligeramente ensanchada, su coeficiente de circularidad la mantiene como una microcuenca alargada, su densidad de drenaje es moderada y su tiempo de concentración es de 1.38 horas. Considerando estos datos, se tiene una microcuenca con buena respuesta hidrológica y con una forma alargada, por lo que no se prevé que genere eventos torrenciales que pongan en riesgo de inundación a la zona.

4.8 Verificación de la zona de riego mediante visitas de campo.

Se procedió a verificar en campo las unidades de producción que fueron delimitadas con ayuda de la información de los archivos vectoriales mediante el software Qgis 3.4.1, con el objeto de hacer un análisis más certero de lo que sucede en el área de estudio. Recordando que la superficie involucrada es la zona de riego, donde los paquetes tecnológicos con mayor demanda de plaguicidas son los que predominan y que por tal razón se podrá definir los sitios donde se tiene el mayor grado de contaminación por el uso de estos productos. El resultado tuvo pequeñas variantes a lo expresado en los mapas que se generaron con la información pertinente como se muestra en la Figura 12.

4.9 Elaboración del mapa de los cultivos establecidos en la zona de riego.

Como se expuso en el capítulo III, se usó el complemento SCP de Qgis y por medio del procesamiento de una imagen satelital de Sentinel-2 descargada de su plataforma, la cual corresponde al día 27 de septiembre del Año 2019 fecha donde se considera que se ha llevado a cabo la diferenciación floral tanto para el sorgo como para el maíz y la presencia de nubosidad con un 30%. Se manipulo de acuerdo con la normatividad sugerida en el manual del usuario publicado en la página <https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/es/latest/index.html#> (Congedo, 2012). De esta manera se obtuvo un mapa de cultivos y usos de suelo, Figura 13 y 14; posterior a ello y dentro de las visitas de campo se procedió al ajuste y verificación de los cultivos establecidos, constatando la veracidad de los resultados obtenidos al usar la herramienta SCP (Figura 15).

4.10 Delimitación de las áreas más contaminadas.

A partir de la delimitación de la zona de riego y posteriormente constatada con visitas de campo, fue posible ajustar a la realidad actual la zona de estudio (Figura 15). Se comprobó que los cultivos que están establecidos en las unidades de producción corresponden a la siembra de maíz, sorgo y alfalfa, tal cual como se generó con la herramienta SCP de Qgis. De acuerdo con el tipo de cultivo establecido en cada unidad de producción verificada se generó un nuevo archivo de cultivos con el programa Qgis 4.3.1; con la sobreposición de este archivo de tipo vectorial, se pudo tener con mayor certeza la realidad prevaleciente en el territorio estudiado. En este contexto, se obtuvo el área o áreas con mayor acumulación de sedimentos en la zona de regadío. Dentro del mapeo que se consiguió, se observan las zonas con mayor acumulación de sedimentos categorizados con valores anualizados, involucrando a su vez, las parcelas ya mencionadas sembradas con maíz y sorgo durante el ciclo 2019 (Figura 16).

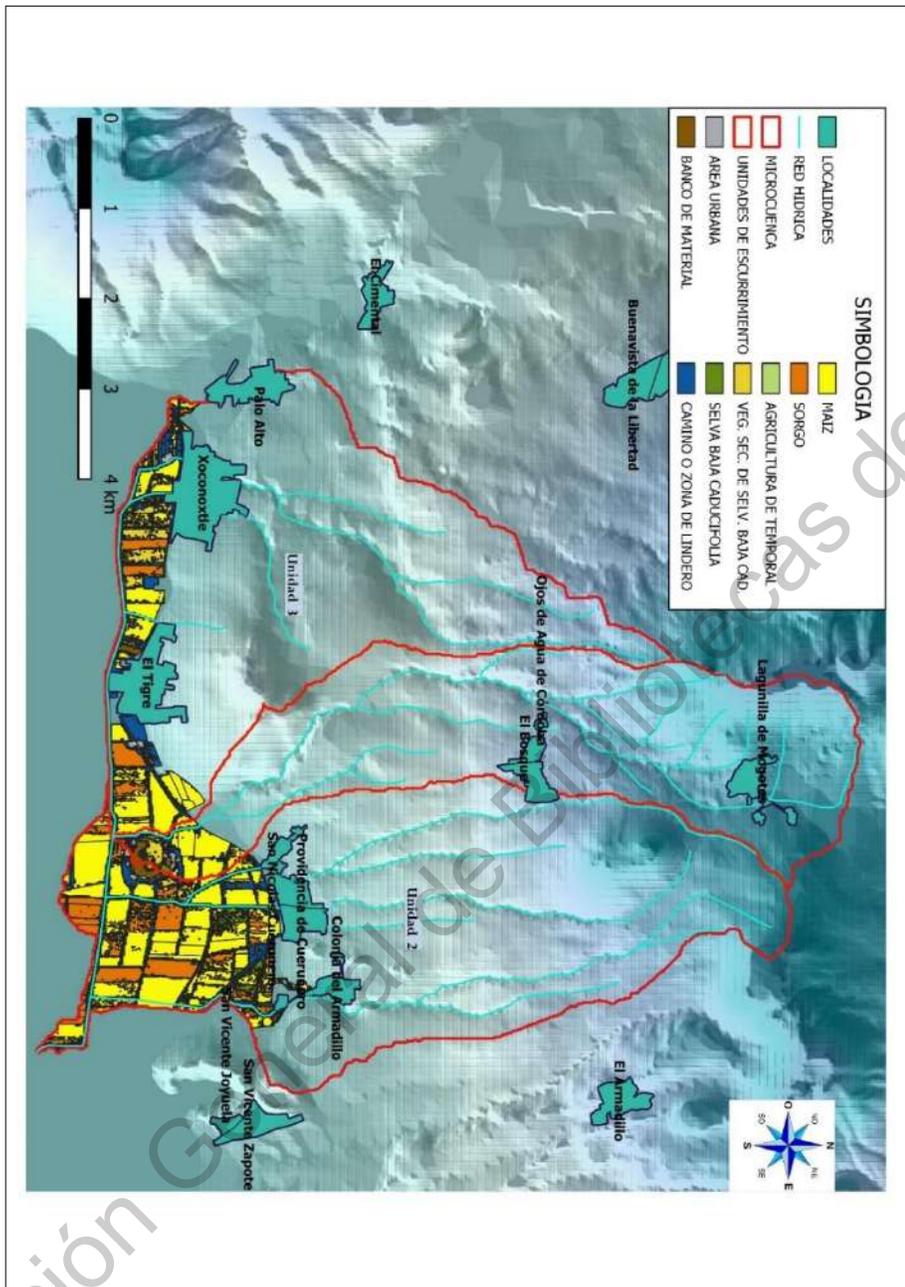


Figura 13. Mapa de los cultivos y usos del suelo en la zona de riego mediante el complemento SCP de Qgis.

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software Qgis 3.4.1 y visitas de campo en el ciclo primavera-verano 2019.

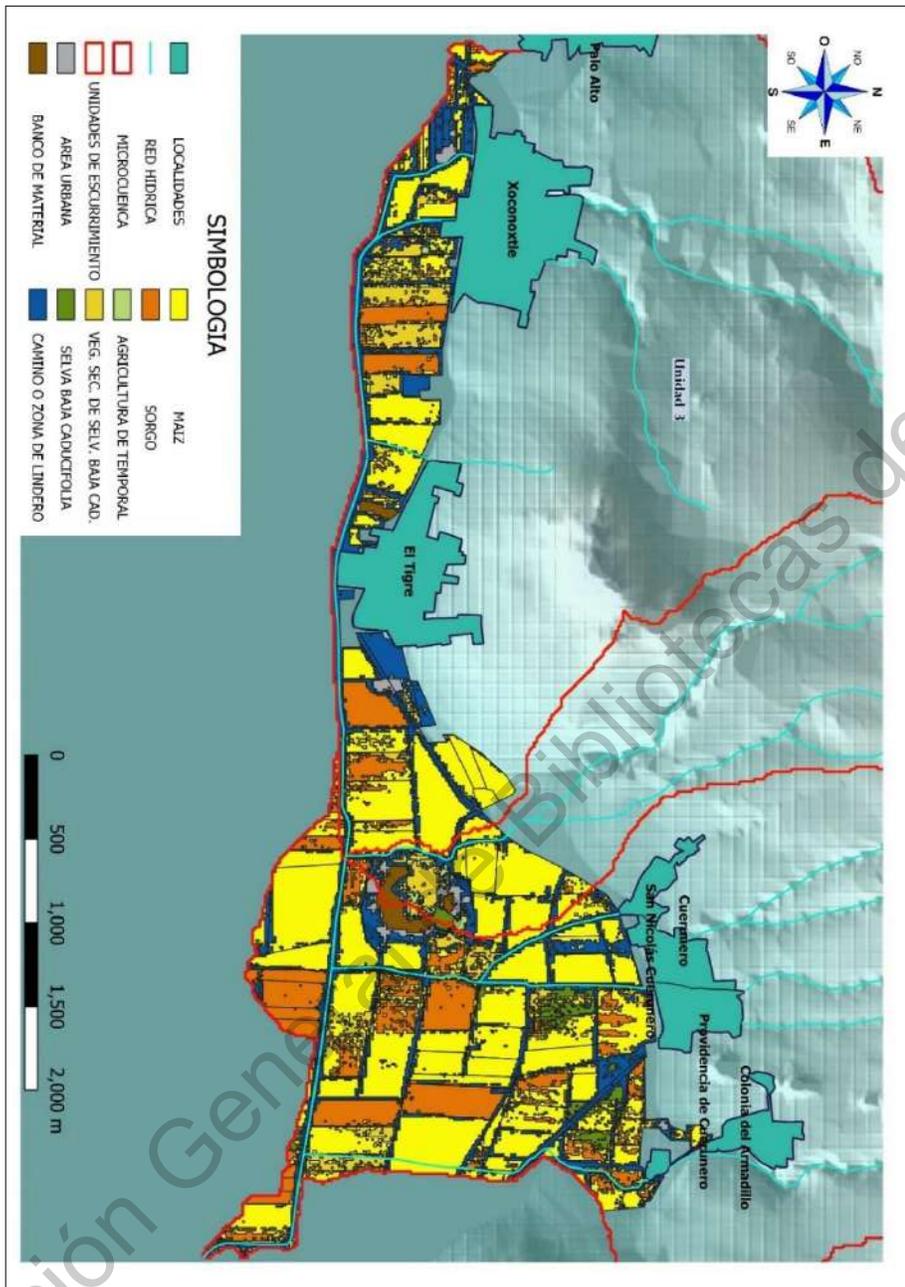


Figura 14. (Acercamiento) Mapa de los cultivos y usos del suelo en la zona de riego mediante el complemento SCP de Qgis.

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software Qgis 3.4.1 y visitas de campo en el ciclo primavera-verano 2019.

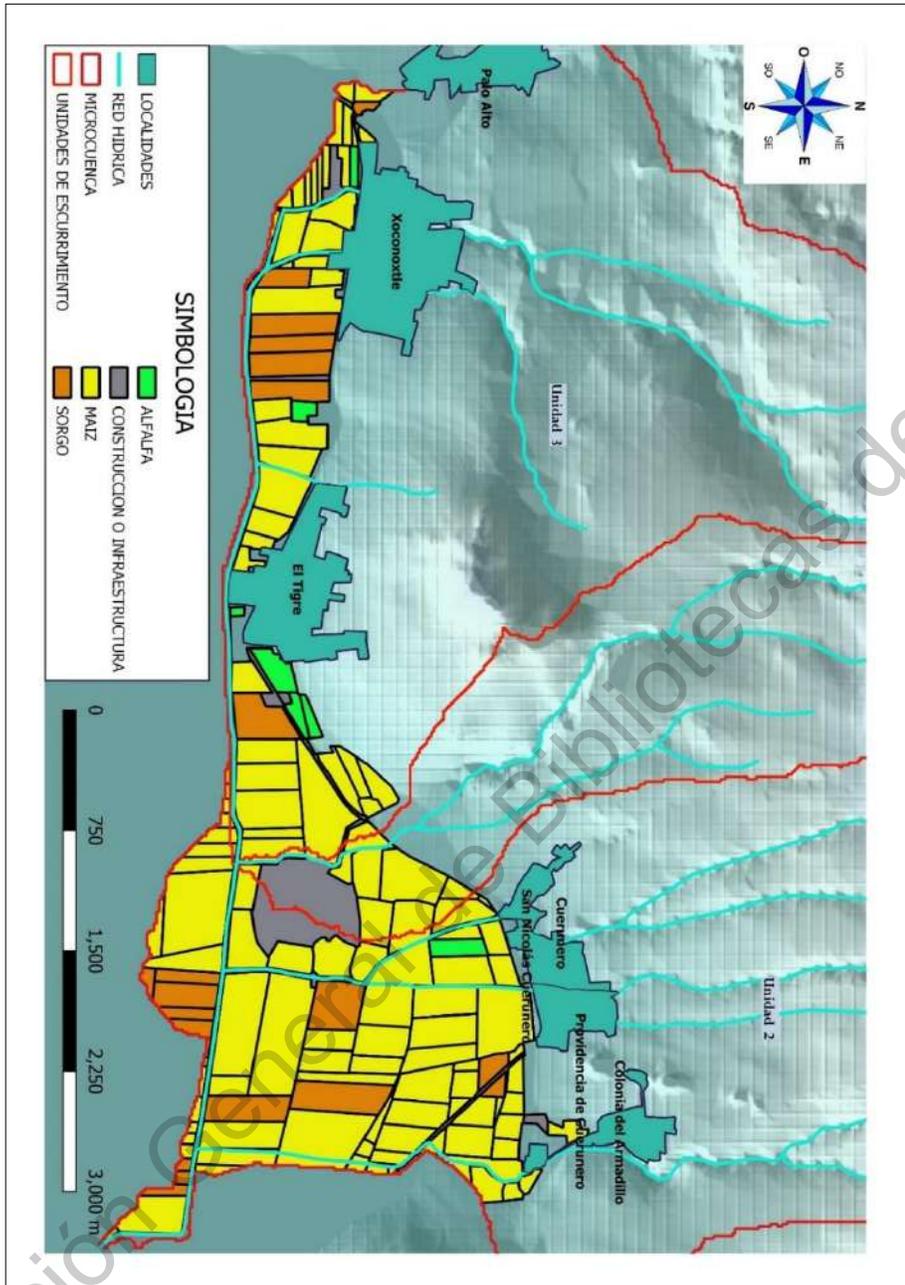


Figura 15. Mapa de los cultivos establecidos en las unidades de producción y usos del suelo mediante visitas en campo.

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software Qgis 3.4.1 y visitas de campo en el ciclo primavera-verano 2019.

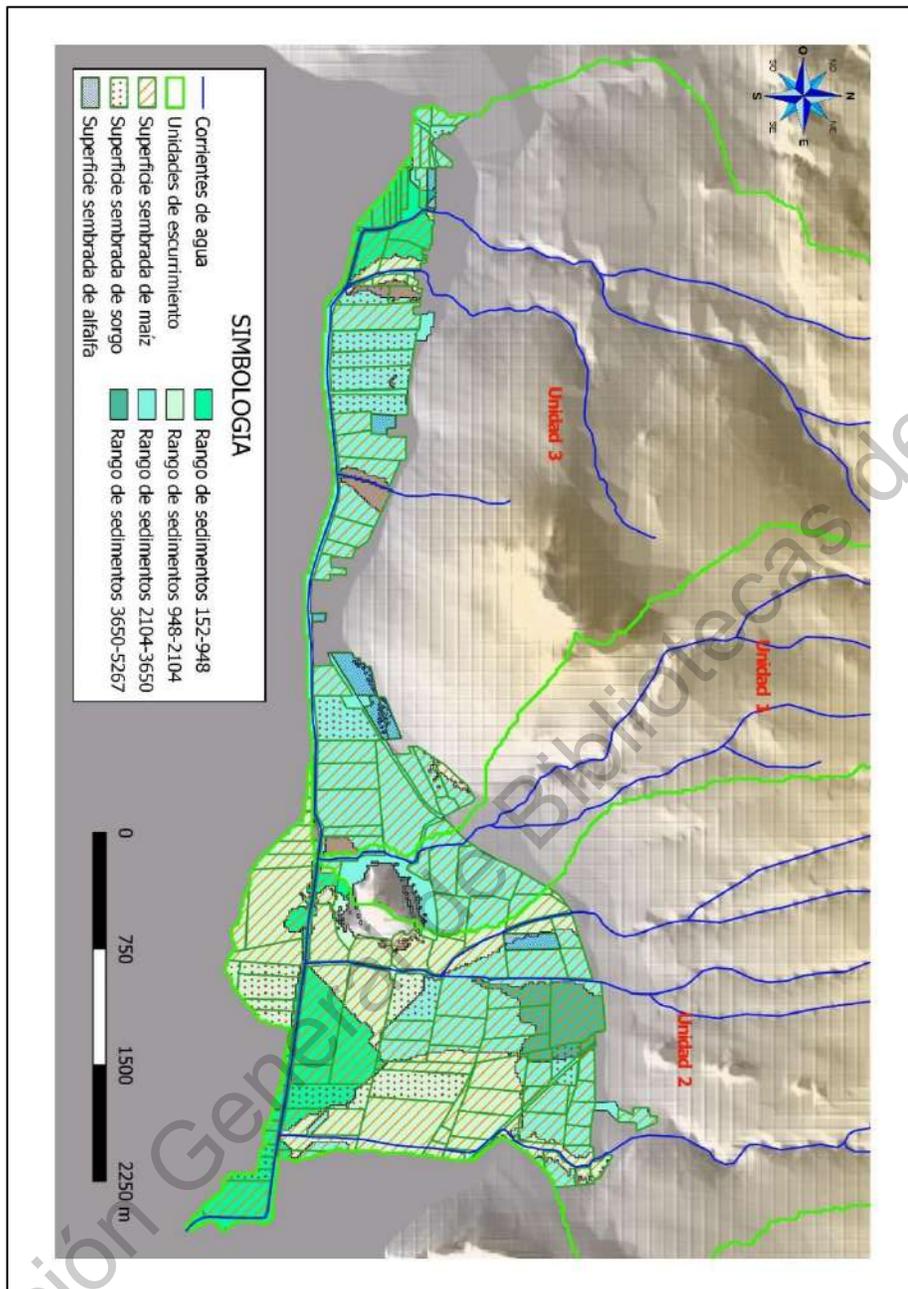


Figura 16. Distribución de cultivos (maíz y sorgo) dentro de las zonas de acumulación de sedimentos anuales en la zona de riego

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software Qgis 3.4.1 y datos obtenidos de Qswat 1.0.

Al hacer la sobreposición de los mapas de las áreas establecidas con cultivos, sobre los sitios donde se da la acumulación de sedimentos, se obtuvo un mapa de riesgo por unidad de escurrimiento (como se puede apreciar en las Figura 18, 19 y 20). Los sitios están delimitados claramente considerando los rangos de acumulación de sedimentos con valores anuales por hectárea y la superficie establecida con maíz y sorgo. En estos mapas se observan que las UE con mayor número de parcelas de maíz se encuentran situadas en la UE2 y UE3, el rango que comparten las tres UE es de 2104 a 3650 ton/ha/año, y debemos de recordar que se considera al maíz ser el más contaminante según el valor del CIA, El resumen de las características específicas por UE y rango de acumulación se presentan en el cuadro 17.

Cuadro 17. Rangos de acumulación de sedimentos, superficie establecida por cultivo en cada unidad de escurrimiento.

Cultivo	Rango de acumulación de sedimentos (ton/Ha/año)	Superficie establecida en la UE1 en la zona de riego (Ha)	Superficie establecida en la UE2 en la zona de riego (Ha)	Superficie establecida en la UE3 en la zona de riego (Ha)
Maíz	[152,948]	0	47.231	18.699
Sorgo	[152,948]	0	10.79	0
Maíz	(948,2104]	0	147.897	5.357
Sorgo	(948,2104]	0	31.507	0.146
Maíz	(2104,3650]	37.142	83.967	102.412
Sorgo	(2104,3650]	0	6.952	38.264
Maíz	(3650,5267]	0	22.815	0
Sorgo	(3650,5267]	0	1.578	0
Maíz	(5267,6531]	0	0	0
Sorgo	(3650,5267]	0	0	0

Fuente: Elaboración propia con apoyo del programa Qswat 1.0 y Qgis 3.4.1.

Al graficar estos valores para organizar a más detalle los datos, se logra observar, que las zonas con mayor acumulación de sedimentos corresponden a la Unidad de Escurrimiento número 2 (Figura 17).

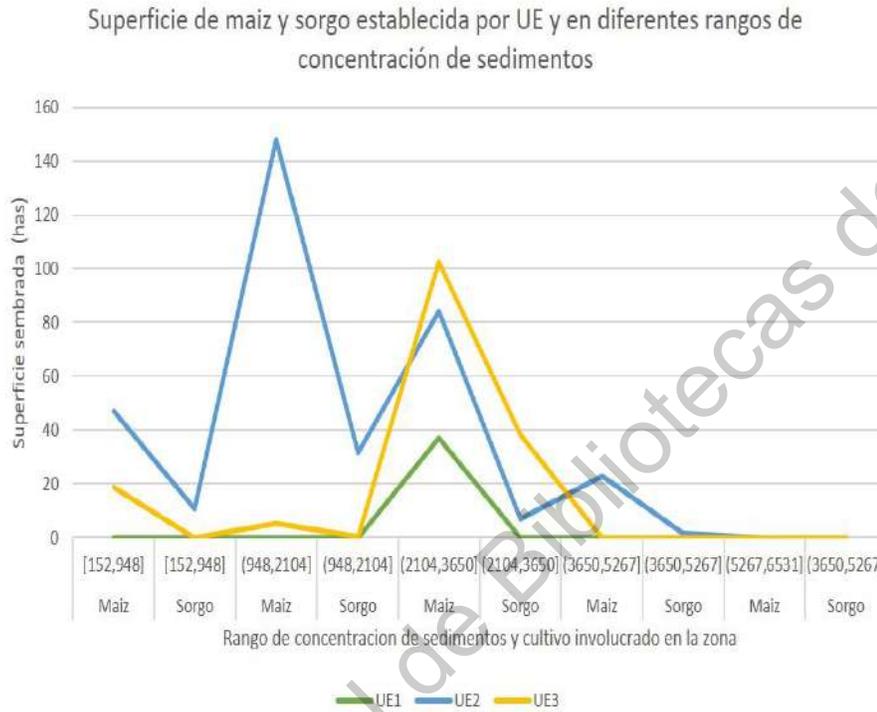


Figura 17. Superficies establecidas de maíz y sorgos en las diferentes UE y su rango de acumulación de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software Qgis 3.4.1 y datos obtenidos de Qswat 1.0.

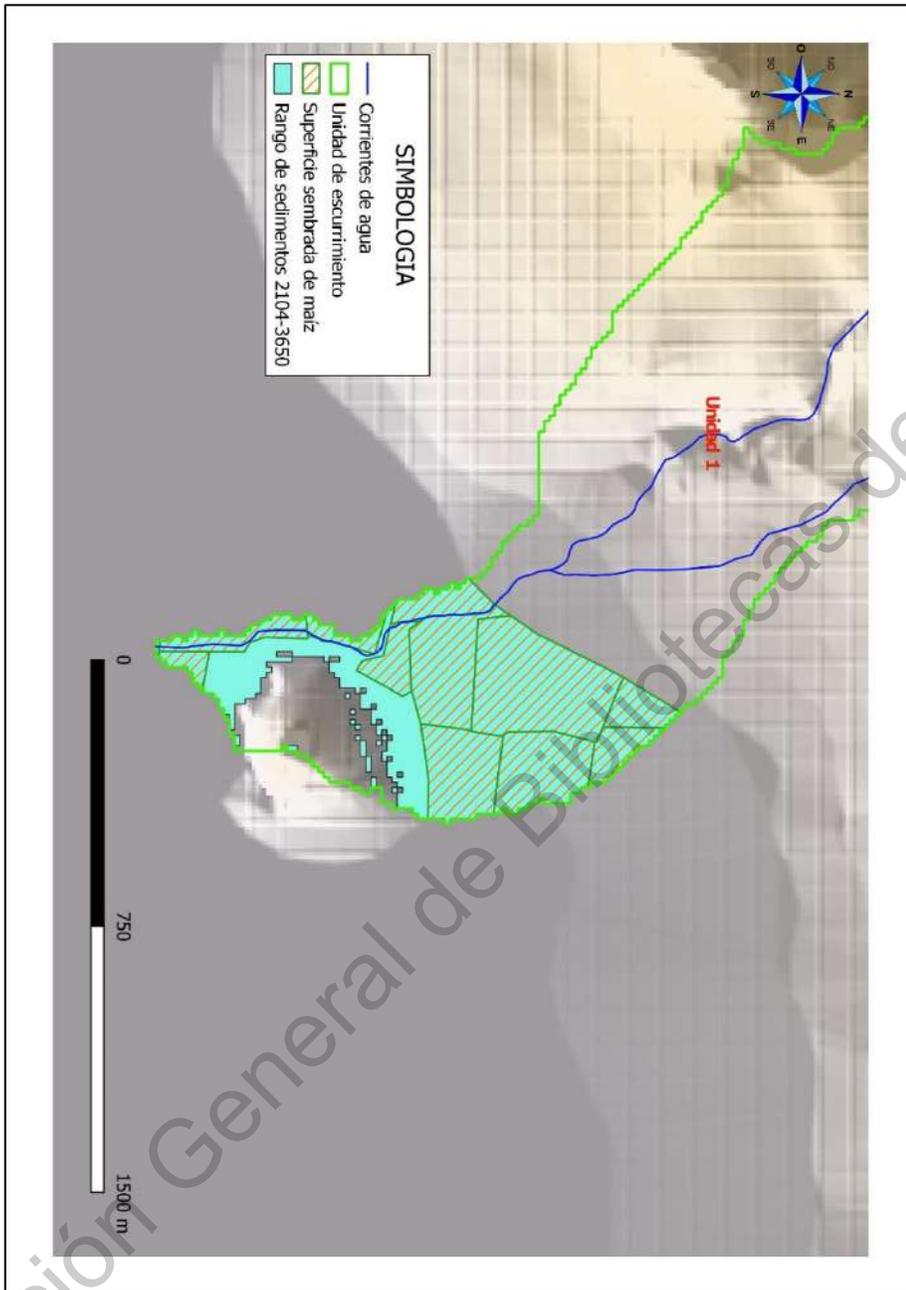


Figura 18. Parcelas establecidas de maíz en la UE1 y su rango de acumulación de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software Qgis 3.4.1 y datos obtenidos de Qswat 1.0.

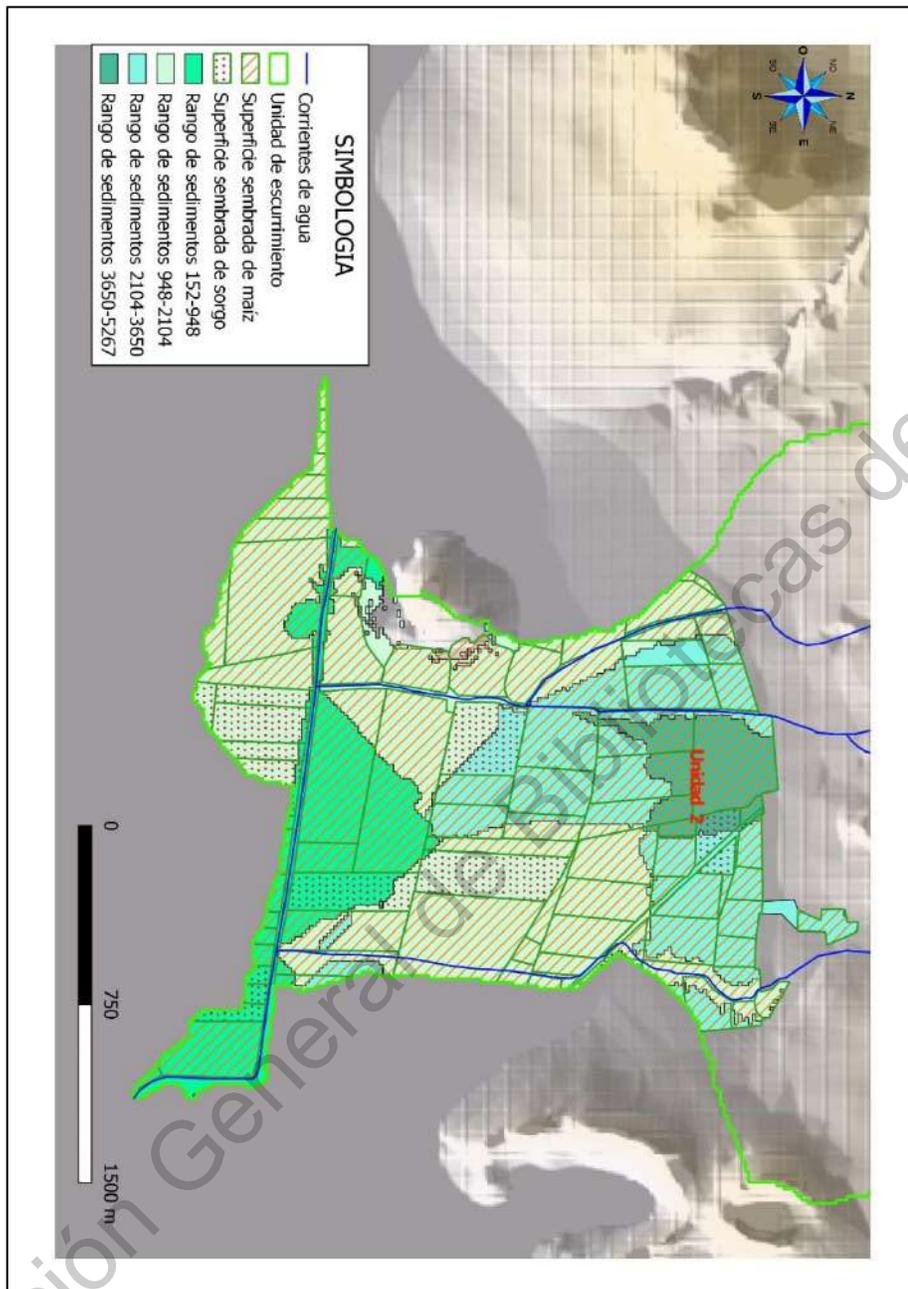


Figura 19. Parcelas establecidas de maíz en la UE2 y su rango de acumulación de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software Qgis 3.4.1 y datos obtenidos de Qswat 1.0.

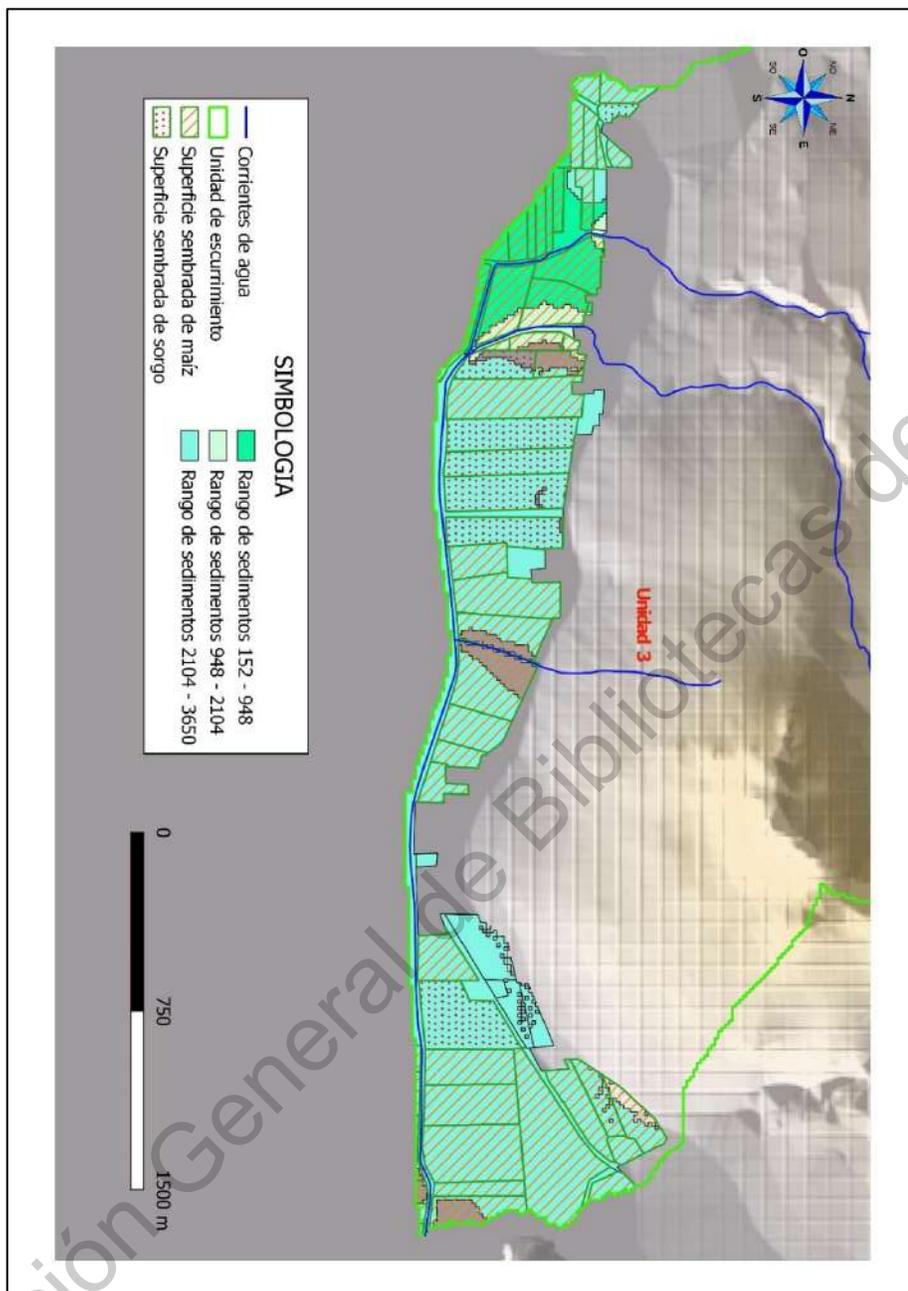


Figura 20. Parcelas establecidas de maíz en la UE3 y su rango de acumulación de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software Qgis 3.4.1 y datos obtenidos de Qswat 1.0.

Para hacer un análisis más detallado a nivel UE y contar con elementos más sólidos para hacer aseveraciones, se concentró la información y se clasificó, lo cual se puede observar en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Parámetros relevantes para el cálculo de las zonas más contaminantes dentro de las Unidades de Escurrimiento por cultivo establecido en el ciclo 2019.

Unidad de escurrimiento *(UE)	CIA campo/cultivo más contaminante (maíz)	Área que ocupa el cultivo en la zona de riego de la UE (Ha)	Área de la unidad de escurrimiento dentro de la zona de riego (Ha)	Área que ocupa la acumulación de sedimentos en la zona de riego (Ha)
1	166.9	37.1	56.71	46.47
2	166.9	301.91	385.05	375.51
3	166.9	126.46	215.83	203.22

Unidad de Escurrimiento (UE)	CIA campo/cultivo segundo más contaminante (sorgo)	Área que ocupa el cultivo en la zona de riego de la UE (Ha)	Área de la unidad de escurrimiento dentro de la zona de riego (Ha)	Área que ocupa la acumulación de sedimentos en la zona de riego (Ha)
1	119.8	0	56.71	46.47
2	119.8	50.8	385.05	375.51
3	119.8	38.4	215.83	203.22

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por medio del software Qgis 3.4.1 y metodología propuesta para el cálculo del CIA según Kovach et al.,(1992).

5. Discusión

A manera de discusión podemos comentar que la zona de estudio, después de haber sido involucrada en los procesos de análisis por los diferentes softwares, se posiciona como de gran importancia para el municipio de Yuriria Guanajuato, sobresale por la proveeduría de alimentos sobre todo de aquellos que son considerados como productos básicos, donde el maíz y trigo son esenciales para la alimentación del ser humano, mientras que el sorgo y la cebada son útiles para el ganado, o como insumos dentro de algún proceso industrial. Es importante destacar que estos modelos productivos, en cuanto a superficie y rendimiento, son los más representativos dentro de la microcuenca; siendo modelos que mantienen una alta relación entre la cantidad de plaguicidas utilizados por hectárea y la cantidad de rendimiento de los cultivos, tal como lo manifiesta Hellar en el 2002.

Dentro de estos procesos de producción agrícola, el tipo de plaguicida usado está dirigido al control de un problema fitosanitario en específico y a la posible resistencia al ingrediente activo que lo acompaña, la cual se ha generado por diferentes factores dentro de los organismos considerados plagas (Plenge y Sierra, 2007). La cantidad de plaguicidas, la frecuencia de aplicación está dada intrínsecamente en los paquetes tecnológicos recabados en la presente investigación. Se destacan características importantes en el paquete denominado oficial, se observa el empleo de productos químicos que han mantenido una tradición en su uso, ya sea por dar un buen control contra problemas fitosanitarios prevalecientes o por el precio dado al consumidor final, pero la mayoría de estos, son productos con un mayor tiempo de vida en el mercado. El paquete definido como de asesoría, mantiene dentro de su estructura, moléculas más actuales y con buen efecto hacia los organismos que dañan a los cultivos; y en cuanto a lo referente al paquete de campo, se observa una variada gama de plaguicidas tanto de los que se han mantenido un mayor tiempo en el mercado como de los que se han generado en tiempos más actuales o bien son de reciente introducción.

El cálculo del CIA_{total} al ser una estimación adimensional muestra valores más altos para el paquete tecnológico oficial en los dos modelos involucrados en este trabajo (cultivos de primavera-verano y de otoño-invierno), seguido del de asesoría, y por último del paquete de campo. Estos valores revelan una mayor contaminación en las recomendaciones dadas por la dependencia gubernamental, atribuible al tipo de producto químico y su toxicidad.

Con los datos de CIA_{total} se pueden comparar los modelos de los cultivos por la temporalidad, encontrando que los cultivos del modelo maíz – sorgo son los más contaminantes en contraparte de los modelos trigo – cebada, esto corroborado en los tres escenarios diferentes (paquetes tecnológicos oficial, de asesoría y de campo). El modelo más contaminante es el maíz – sorgo y en sus recomendaciones el que viene de la fuente oficial.

Al analizar los resultados más a detalle podemos ver que los productos encontrados con valores más altos en la clasificación del CIA teórico (CIA_t) según Kovach et al., en 1992, en cuanto al paquete tecnológico oficial, son el Oxidemeton metil, Tebuconazole, Cipermetrina, Dimetoato, Ometoato, Propiconazol, Dicamba, Malation, Atrazina y Carbarilo. Para el caso del paquete tecnológico de asesoría, se tienen productos químicos en dicha categoría como el Tembotrione, Lamda cihalotrin, Tebuconazole, Imidacloprid, Dimetoato, Tiametoxam, Propiconazole, Permetrina, Spinoteram, y Azoxistrobin. Por último, para el paquete tecnológico de campo tenemos al Tembotrione, Lamda cihalotrin, Fenvalerato, Metamidofos, imidacloprid, Cipermetrina, Dimetoato, Tiametoxam, Propiconazole y Clorpirifos etil.

Si consideramos a los plaguicidas mencionados en los resultados y contraponiéndolos con la información que se ha generado por los diferentes organismos que hacen el proceso de divulgación de la peligrosidad de los plaguicidas, como es el caso de PAN Internacional, la cual, para dar cumplimiento

a este objetivo, permite tener acceso y consultar de manera gratuita su lista publicada en el 2018 dentro del sitio web http://www.pan-germany.org/download/PAN_HHP_List.pdf. Donde se constató, que están incluidos dentro de la misma, ciertos plaguicidas de los recomendados o usados en los paquetes tecnológicos del presente trabajo de investigación. Dichos plaguicidas son: Oxidemeton metil, Cipermetrina, Dimetoato, Ometoato, Malation, Atrazina, Carbarilo, Lamda cihalotrin, Imidacloprid, Tiametoxam, Permetrina, Spinoteram, Fenvalerato, Metamidofos y Clorpirifos etil.

Con esta información y usando los mayores valores del CIA teórico (CIA_t) dados por la Universidad de Cornell, se ordenaron en una matriz de datos, para hacer un análisis más a detalle, donde se puede constatar que los plaguicidas que están coincidiendo dentro de estas dos clasificaciones son: Oxidemeton metil, Lamda cihalotrin, Fenvalerato, Metamidofos, Imidacloprid, Cipermetrina, Dimetoato, Ometoato, Tiametoxam, Permetrina, Spinoteram, Clorpirifos etil, Malation y Carbarilo todos ellos considerados como insecticidas y para los herbicidas, tenemos únicamente a la Atrazina (Cuadro 19). Cabe destacar que se encuentra similitud con lo manifestado por Perez et al., en el 2017, donde se menciona que los plaguicidas altamente peligrosos más usados en el Bajío son Clorpirifos etil, Malation, Carbarilo y Atrazina.

Cuadro 19. Clasificación de los plaguicidas por su (CIA_t) en comparación con los Altamente Peligrosos clasificados por PAN

Plaguicida	Uso	Clasificación PAN internacional (Altamente peligrosos)	CIA teórico (CIA_t) (Adimensional)
Oxidemeton Metil	Insecticida	X	75.03
Lamda Cihalotrin	Insecticida	X	44.17

Fenvalerato	Insecticida	X	39.57
Metamidofos	Insecticida	X	36.83
Imidacloprid	Insecticida	X	36.71
Cipermetrina	Insecticida	X	36.35
Dimetoato	Insecticida	X	33.49
Ometoato	Insecticida	X	33.49
Tiametoxam	Insecticida	X	33.3
Permetrina	Insecticida	X	29.33
Spinoteram	Insecticida	X	27.78
Clorpirifos etil	Insecticida	X	26.9
Malatión	Insecticida	X	23.83
Carbarilo	Insecticida	X	22.73
Tebuconazole	Fungicida		40.33
Propiconazol	Fungicida		31.63
Azoxistrobin	Fungicida		26.92
Tembotrione	Herbicida		45.78
Dicamba	Herbicida		26.33
Atrazina	Herbicida	X	22.85

Fuente: Elaboración propia.

Aparicio et al. (2015) hace mención que el conocer los sitios donde se da la acumulación de sedimentos ayuda a fortalecer el diagnóstico sobre la posible contaminación del suelo por plaguicidas, los cuales son retenidos por las partículas de materia orgánica y arcillas, donde posteriormente, son llevados por el viento o el agua de las partes altas a las bajas, contaminando los cuerpos de almacenamiento. Pero es muy importante recordar que los plaguicidas constituyen la principal fuente de contaminación difusa o no puntual del agua superficial y que está condicionada por los escurrimientos que se encuentran en su camino hacia los cuerpos de almacenamiento o de conducción, ya sean canales, arroyos, ríos y/o lagos, pudiendo ser de modo directo o a través de sistemas de drenaje (Cerejeira et al.,

2003, Pérez y Aguilar, 2012, Larsen et al., 2013). Bajo estos argumentos y después de ver la modelación de acumulación de sedimentos hecha por el software Qswat 1.0 se puede mencionar que las zonas de riego de la microcuenca en cuestión, se encuentra en un rango medio de sedimentos acumulados, posiblemente contaminados por efecto de la actividad agrícola, representando un peligro potencial en el demerito de la calidad de agua almacenada en la Laguna de Yuriria y de los ríos subterráneos, a causa de la lixiviación de los plaguicidas que fueron agregados en su momento a partículas del suelo.

Tratando de usar los criterios morfométricos a nivel de unidad de escurrimiento, para explicar algún fenómeno que permita dar mayor solides a lo expresado en el párrafo anterior, se puede decir que la erosión es un claro factor de transporte de partículas que contaminan los cuerpos de agua, así que al considerar la densidad de drenaje como un parámetro morfométrico, para el caso de las UE2 y UE3 se observa que se encuentra en un estatus de clasificación media, lo que permite aseverar que se tiene una mediana predisposición a la erosión y una coberturas de vegetación en el mismo rango; caso diferente para la UE1, en la cual se observa un valor alto de densidad de drenaje, lo que permite aseverar una mayor disposición a la erosión de los suelos y menor cobertura vegetal, atribuyéndosele a que es la zona con mayor pendiente. En cuanto al número de corrientes se observa que se tienen varios tributarios en cuanto a la corriente principal, manteniendo una salida y conducción del agua de manera fluida por si se presentara un evento de lluvia torrencial, esto se pudo constatar por poseer un valor mayor a 1 del coeficiente de compacidad, el cual es explicado, que donde hay mayor volumen de concentración de agua, se tienen valores más cercanos a 1.

Para poder hacer conjeturas ciertas, se requiere tener métodos que validen de manera científica dichas aseveraciones, el uso de algunos criterios matemáticos que permitan ver la relación entre las variables calculadas para el presente trabajo (CIA, superficie establecida de cada cultivo y zonas de mayor acumulación de

sedimentos) son valiosas. Asumiendo que el $CIA_{\text{campo/cultivo}}$ es un parámetro adimensional que representa el grado de contaminación ocasionada por el uso de los plaguicidas en el cultivo y que, al combinar este dato con la superficie establecida del mismo en el campo y relacionarlo con la zona que ocupa el área de estudio, se tienen elementos de manera precisa para definir el área potencialmente más contaminante; todo esto se puede explicar de manera matemática con el uso de la siguiente fórmula:

$$IG1_{UE} = \sum \left(\frac{CIA_{\text{cultivo}} \cdot \text{Área}_{\text{cultivo}}}{\text{Área}_{UE}} \right)$$

De donde:

$IG1_{UE}$ es el Impacto global por el uso de plaguicidas.

CIA_{cultivo} el valor del Cociente de Impacto Ambiental campo cultivo ($CIA_{\text{campo/cultivo}}$) del cultivo más contaminante.

$\text{Área}_{\text{cultivo}}$, la superficie ocupada por el cultivo más contaminante dentro de la zona de estudio.

Área_{UE} el área total de la Unidad de Escurrimiento dentro de la zona de estudio.

Para verificar el comportamiento que se tiene por la acumulación de sedimentos dentro de cada unidad de escurrimiento, se puede usar una expresión matemática que permita ver la relación que existe entre área que posee la zona con acumulación de sedimentos y la superficie total del área de estudio por lo que se usara la siguiente fórmula:

$$IG2_{UE} = \frac{\text{Área}_{SED}}{\text{Área}_{UE}}$$

De donde:

IG2 UE corresponde al Impacto Global por el Efecto de la Acumulación de Sedimentos.

Área SED corresponde al área de acumulación de sedimentos en la zona de estudio.

Área UE es el área total de la Unidad de Escurrimiento dentro de la zona de estudio.

Los resultados de estos cálculos se pueden observar en los cuadros 20 y 21.

Cuadro 20. Cálculo del Impacto Global por el Uso de Plaguicidas en el paquete tecnológico de campo en las Unidades de Escurrimiento

Unidad de Escurrimiento (UE)	Impacto global por el uso de plaguicidas	Impacto global por el uso de plaguicidas	Impacto global por el uso de plaguicidas
	(IG1 UE) maíz	(IG1 UE) sorgo	(IG1 UE)
1	109.17	0	109.17
2	130.86	15.80	146.66
3	97.78	21.31	119.10

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21. Cálculo del Impacto Global por la Acumulación de Sedimentos en las Unidades de Escurrimiento

Unidad de Escurrimiento (UE)	Área de la Unidad de Escurrimiento dentro de la zona de riego (Ha)	Área que ocupa la Acumulación de Sedimentos dentro de la zona de riego (Ha)	Impacto Global por el Efecto de la Acumulación de Sedimentos (IG2 UE).
1	56.71	46.47	0.81
2	385.05	375.51	0.97

3	215.83	203.22	0.94
---	--------	--------	------

Fuente: Elaboración propia.

Los valores encontrados nos permiten verificar que la unidad de escurrimiento más contaminante es la número 2 ya que posee el mayor valor de Impacto Global por el uso de plaguicidas y el Impacto Global por Acumulación de Sedimentos.

Dirección General de Bibliotecas de la UFR

6. Conclusiones

La información obtenida por el presente trabajo de investigación nos permite concluir en diferentes aspectos:

- 1) El manejo irracional de plaguicidas sin el correcto asesoramiento por personal capacitado causa un incremento en el efecto contaminante para el medio ambiente y para el ser humano.
- 2) Falta difusión a metodologías alternas a los métodos tradicionales que permitan verificar el grado de contaminación a causa de los plaguicidas usados en la agricultura.
- 3) Los procesos de producción agrícola más productivos en la zona de estudio, como son el maíz y sorgo, son los más demandantes en el uso de plaguicidas.
- 4) El modelo productivo maíz – sorgo es el más contaminante, por lo que el ciclo primavera - verano es la época con mayor aporte de productos peligrosos para los habitantes de la microcuenca Ciénega Prieta y su área de influencia.
- 5) El maíz que se establece en las zonas de regadío en el municipio de Yuriria Guanajuato es un cultivo altamente productivo debido al potencial genético que posee, y debido a ello, es el que mantiene un mayor grado de contaminación hacia el medio ambiente y de manera indirecta hacia los seres humanos.

- 6) El análisis a nivel de cuenca, en la zona de la Ciénega Prieta, es una herramienta útil para dar una mayor visión de los acontecimientos que se generan en materia de contaminación por plaguicidas usados en la agricultura.
- 7) El uso y actualización de las herramientas tecnológicas especializadas para la modelación y análisis de la cuenca; aunado a ello, el emplear una mayor cantidad de criterios para comprobar el efecto contaminante de la actividad agrícola (zonas con mayor acumulación de sedimentos, el Cociente de Impacto Ambiental y la superficie establecida del cultivo más contaminante) es una metodología nueva que permite hacer un mapeo de riesgos sobre el efecto negativo de los plaguicidas en un territorio de interés.
- 8) Es urgente sustituir a los plaguicidas más viejos dentro de los paquetes tecnológicos de campo que ostentan un alto valor en CIA, por productos menos contaminantes y desarrollar a su vez, los mapas de riesgo por zona agrícola que poseen un alto grado de productividad.
- 9) El uso de la teledetección es una herramienta muy importante para la eficiencia del trabajo de campo, ya que permite obtener superficie del cultivo de manera más certera.

7. Recomendaciones

Se debe de involucrar a los diferentes actores del proceso de producción agrícola en cuidar el manejo irracional de plaguicidas con el correcto asesoramiento por personal capacitado que conozca el efecto contaminante para el medio ambiente y los daños colaterales que se dan para el ser humano, considerándolos como factores cruciales para autorizar o proponer métodos de producción en el ámbito agrícola del país, donde las autoridades que regulan estos procesos deben de reflexionar ampliamente ante estos aspectos para la formulación de normas, reglas o leyes que realmente se apliquen hacia el bienestar de todos.

Es muy importante verificar el grado de contaminación a causa de los plaguicidas usados en la agricultura, y los análisis de laboratorio son los más precisos, pero hace falta apoyar al desarrollo de metodologías de fácil acceso y comprensión por los productores agrícolas y asesores, donde se puedan basar acciones para aminorar el efecto dañino a la salud del ser humano y del deterioro de nuestro entorno, por el uso, consumo y manejo de productos del campo producidos inadecuadamente.

Se requiere que las instituciones que forman consultores y/o asesores en el ámbito agropecuario, preparen profesionales que tengan conocimientos amplios en el manejo de técnicas indirectas para calcular el efecto contaminante causados por el uso de plaguicidas, brindando con ello, asesoría técnica de calidad.

El maíz por ser el cultivo de mayor importancia para la dieta de los habitantes del país debe ser manejado en procesos de producción menos riesgosos en el deterioro de la salud de todos los mexicanos, y es de importancia que se adecuen los paquetes tecnológicos para este fin y que las instituciones de gobierno pongan el ejemplo en la mejora de sus recomendaciones dadas para su producción.

Lograr detectar la problemática dentro de un territorio y buscar las alternativas de solución con los diferentes actores involucrados para ello, requiere de un trabajo arduo y es conveniente que los que puedan tomar decisiones apoyen y motiven a todos los que de una u otra manera tratan de poner su experiencia y conocimiento al servicio de una vida mejor para los habitantes del medio urbano y rural, así mismo lo hagan pensando en que algún día y en algún momento verán retribuido su colaboración en un mundo mejor al que hoy conocen.

El presente trabajo, deja como punto trascendental un diagnóstico general para identificar las zonas agrícolas con mayor grado de contaminación dentro de la microcuenca Ciénega Prieta en el municipio de Yuriria Guanajuato, lo que permite tener un padrón adecuado de los plaguicidas con un mayor uso en la agricultura de acuerdo al modelo de producción más imperante para los productores del municipio antes mencionado; esto debe de dar pie para considerar el inicio de un proceso de intervención que involucre a los encargados en materia de uso y reglamentación local u regional sobre los productos de origen químico manejados en la producción de alimentos. El modelo productivo de la zona de estudio implica estar a la vanguardia en los conocimientos del impacto ambiental que causa el mal uso y las malas recomendaciones de los plaguicidas que se comercializan en un mercado poco vigilado. Los padecimientos de salud de la población pueden ser analizados de acuerdo con los mapas de riesgos de acumulación y uso de plaguicidas, lo que permite hacer planes de mejora en el ordenamiento de las zonas destinadas al asentamiento humano o de la calidad de los productos alimenticios que se obtienen de la agricultura, auxiliándose de la gestión integral para el mejor manejo de los recursos ambientales en beneficio de los seres humanos.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, A. (2012). Percepción de los productores Agrícolas sobre la calidad y gestión del agua, en *Agricultura y Contaminación del Agua*. Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Albert, L. (2005). Panorama de los plaguicidas en México. *Revista de Toxicología*. Disponible en: <http://www.sertox.com.ar/retel/n08/01.pdf>
- André, P., Delisle, C., & Revéret, J. (2004). Environmental Assessment for Sustainable Development: Processes, Actors and Practice, Montreal. *Presses Internationales Polytechniques*, pp.52,54,157.
- Aparicio, F.J. 1999. *Fundamentos de hidrología de superficie*. Octava reimpresión. Editorial Limusa. Grupo Noriega Editores. México D.F.
- Aparicio, V., De Gerónimo, E., Hernández, K., Pérez, D., Portocarrero, R., & Vidal, C. (2015). *Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA Buenos Aires, Argentina.
- Aragüés, R. y Tanji, K.K. (2003). Water Quality of Irrigation Return Flows. En Stewart B.A. & Howell T.A. (Eds.) *Encyclopedia of water science* (pp. 502-506). New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Aragüés, R. (2013). El reto de la calidad del agua. En *Jornada Innovar la Gobernanza del Agua. Partenariado Agua del Ebro*, Zaragoza, España.
- Bedmar, F. (2011). Informe especial sobre plaguicidas agrícolas. *Revista Ciencia Hoy*, 21, pp.4-5.
- Bejarano, F. (Coordinador y editor). (2017). *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*. Red de acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México A.C. (RAPAM), CIAD, UAEMEX, INIFAP, UCCS, IPEN, PNUD. México.

- Benítez, D.P., y Miranda, C. (2009). Efectos de la exposición prenatal a paraquat sobre el desarrollo de la transmisión sináptica aminoacídica en la corteza cerebral parietal del ratón. *Investigación Clínica*, 50, pp.465-478.
- Bento, A., Vieira, A., Úbeda, X. & Martin, D. (2012). Fire and soils: key concepts and recent advances. *Geoderma*, 191, 3-13.
- Bernal, M. (2012). Contaminación del agua por plaguicidas, en Agricultura y Contaminación del Agua. Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Blavet, D., et al.,(2009). Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. *Soil Tillage Research*, 106(1),124-136.
- Bocco,G. (2007). La cartografía y los sistemas de información geográfica en el manejo integrado de cuencas. En El manejo integral de cuencas en México, Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. Segunda edición. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología. México
- Bond, A., & Pope, J. (2012). The State of the Art of Impact Assessment in 2012. *Impact Assessment and Project Appraisal*, pp.1-4.
- Breña, A., Jacobo, M. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Universidad Autonoma Metropolotana. Mexico D.F.
- Caire,M. (2004). Implicaciones del marcoinstitucional y de la organización gubernamental para la gestion ambiental por cuencas. El caso de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta ecológica* 71: 56-78. INE, SEMARNAT, Mexico
- Carrizo, A., Carrasco, F., Aybar, S., Leiva, S., y Matías, A. (2015). Estimación del Coeficiente de Impacto Ambiental (EIQ) en diferentes estrategias fitosanitarias en sistemas de pequeños productores de Nogal, como una herramienta hacia

la transición agroecológica en Catamarca, Argentina. *Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología*, La Plata, Argentina, Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Congreso Latinoamericano de agroecología Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/52154>

Carta RAPAM-Mexico-ICCM4, (2015), Disponible en: <http://www.rapam.org/>

Ceccon, E. (2008). La revolución verde: tragedia en dos actos. Agosto 28, 2018, de *Revista Ciencias* Disponible en: <http://www.revistaciencias.unam.mx/pt/44-revistas/revista-ciencias-91/235-la-revolucion-verde-tragedia-en-dos-actos.html>

Cerejeira, M., Viana, P., Batista, S., Pereira, T., Silva, E., Valerio, M., Silva, A., Ferreira, M., & Silva, A. (2003). Pesticides in Portuguese Surface and Ground Waters. *Water Research*, pp. 1055-1063.

Cherlet, J. (2012). Tracing the Emergence and Deployment of the 'Integrated Water Resources Management' Paradigm. In 12th EASA Biennial Conference, Proceedings. Ghent University, Department of Third world studies, Ghent, Belgium.

Cid, G., Herrera, J., López, T., & González, F. (2012). Algunas consideraciones para lograr una agricultura de regadío sostenible. *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(1), 3-11

Cifuentes, E., Trasande, L., Ramírez, M., & Landrigan, P. (2010). A qualitative analysis of environmental policy and children's health in Mexico. *Environ Health*, pp.9-14.

Clapp, R., Howe, G., & Lefevre, M. (2005). Environmental and Occupational Causes of Cancer, a review of recent scientific literature, Lowell Center for Sustainable Production, Massachusetts, United State. University of Massachusetts Lowell

Disponible en:
[https://www.researchgate.net/publication/237528725 Environmental and Occupational Causes of Cancer](https://www.researchgate.net/publication/237528725_Environmental_and_Occupational_Causes_of_Cancer)

Cloter, H. y Pineda, R. (2008). Manejo integral de cuencas en México ¿Hacia donde vamos?. *Boletín del Archivo Histórico del Agua*, No.39, pp.19-20. 2019, diciembre 16, Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/43601174 Manejo integral de cuencas en Mexico hacia donde vamos/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/43601174_Manejo_integral_de_cuencas_en_Mexico_hacia_donde_vamos/citation/download).

COFEPRIS. (2017). *Revista COFEPRIS Protección y Salud*, 10, pp.28-29.

Congedo, L. (2012). documentación de Semi-Automatic Classification Plugin - 5.3.6.1. recuperado de <https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/es/latest/index.html>

Correa, R. y Ortega, A., (2017). Aprovechamiento del lirio acuático en la laguna de Yuriria para la elaboración y comercialización de productos sustitutos de la tierra de monte; en *Estudios y aplicaciones para el desarrollo*. Universidad de Guanajuato, campus Celaya- Salvatierra. México

COTAS Moreleon- Ciénega Prieta, (Consejo Técnico de Aguas de Moreleón-Ciénega Prieta A.C.). (2015). *Efecto de los fertilizantes en la zona de acuífero Moreleón-Ciénega Prieta*. México.

Damalas, C., y Eleftherohorinos, I. (2011). Pesticide Exposure, Safety Issues, and Risk Assessment Indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Greece, 8, pp.1402-1419. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3108117/pdf/ijerph-08-01402.pdf>

De Gerónimo, E., Aparicio V.C., Bárbaro S., Portocarrero R., Jaime S., & Costa J.L. (2014). Presence of pesticides in surface water from four sub-basins in

Argentina. Chemosphere Disponible en:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653514001052>

- Del Puerto, R., Suárez, T., & Palacio, E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM). La Habana, Cuba.
- Díaz, C., Mamadou, K., Iturbe, A., Esteller, M. &, Reyna, F. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 6 (2),. [Fecha de Consulta 1 de agosto de 2019]. ISSN: 1405-0269. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=104/10401504>
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2017). *Ley Federal de Sanidad Vegetal*. Última reforma 26 de diciembre de 2017.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2018). *Ley General de Salud*. Última reforma 12 Julio de 2018.
- Donnelly, A., Jones, M., O'Mahony, T., & Byrne, G. (2006). Selecting Environmental Indicators for Use in Strategic Environmental Assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, pp.161-175.
- Dourojeanni, A. 2006. Conceptos y Definiciones sobre Gestión Integrada de Cuencas (Borrador). Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), Sistema Nacional de Gestión Integrada de Cuencas, Santiago de Chile. 26 p. Disponible en:

[https://www.academia.edu/5271320/CONAMA_CHILE_GESTION_INTEGRA
DA_DE_CUENCAS](https://www.academia.edu/5271320/CONAMA_CHILE_GESTION_INTEGRA_DA_DE_CUENCAS)

- EPA (Environmental Protection Agency). (2002). Drinking Water Contaminants. National Primary Drinking Water Regulations: Cincinnati, OH. Noviembre, 2018, de Federal register Disponible en: www.epa.gov/safewater/mcl.html
- Eshenaur, B., Grant, J., Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., and Tette, J. (2019). www.nysipm.cornell.edu/publications/EIQ. Environmental Impact Quotient: "A Method to Measure the Environmental Impact of Pesticides." New York State Integrated Pest Management Program, Cornell Cooperative Extension, Cornell University. 1992 – 2019.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2006). *Código Internacional de Conducta para la distribución y utilización de plaguicidas*. Disponible en: [ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0220s/a0220s00.pdf](http://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0220s/a0220s00.pdf).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2010). The wealth of waste: The economics of wastewater use in agriculture. *FAO water reports* 35. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf>
- Fenik, J., Tankiewicz, M., & Biziuk, M. (2011). Properties and determination of pesticides in fruits and vegetables. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 30, 814-826.
- Frye, C., et al.,(2011). Endocrine disruptors: a review of some sources, effects, and mechanisms of actions on behaviour and neuroendocrine system. *J. Neuroendocrinol*, 30, pp.144-159.
- Gámez, R., y Ramírez, R. (2008). Determinación de la concentración letal media (CL50-48) del herbicida Roundup 747 sobre ecosistemas acuáticos mediante

pruebas toxicológicas con *Daphnia magna*. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria Bogotá D.C.

García, P., González, V., Cervantes, M., Aguilar, P., Bastidas, B., & Betancourt, L. (2014). Plaguicidas y PBC en sedimentos de granjas camaronícolas en un sistema costero de Sinaloa, México. *Pacífico Mexicano. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, pp.57-72. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280924708_Plaguicidas_y_pcb_en_sedimentos_de_granjas_camaronicolas_en_un_sistema_costero_de_Sinaloa_Mexico

Gevao, B., & Jones, K. (2002). Pesticides and Persistent Organic Pollutants. En *Agriculture, Hydrology and Water Quality*. pp. 83-106. Oxon, United Kingdom: CAB International.

Gómez, R., Rojas, G., Miranda, L., Cruz, I., Berrueta, L., Salmen, S., Contreras, A., Balza, A., Zabala, L., Colmenares, M., Barreto, S., Morales, Y., & Osuna, J. (2011). Efectos de la Exposición Ocupacional a Plaguicidas Sobre la Integridad de la Cromatina Espermática. *Revista Venezol. Endocrinol. Metab*, pp.67-78.

Gómez, A., Martínez, V., Carbajal, L., Martínez, A., Calderón, S., Villalobos, P., y Waliszewski, S. (2013). Riesgo genotóxico por la exposición ocupacional a plaguicidas en América Latina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 159-180. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/42197/38396>

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2016) González, R. y Banderas A. Editores. Aproximación holística en el manejo integrado de las cuencas, para la conservación y recuperación de cuerpos de agua superficiales (Caso de estudio). Morelos, México.

- Gravilescu, M. (2005). Fate of Pesticides in the Environment and Its Bioremediation . *In Engineering in Life Science*, 5, pp.497-526. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/229697866_Fate_of_pesticides_in_the_Environment_and_Its_Bioremediation.
- Hassing, J., Ipsen, N., Clausen, T.J., Larsen, L., & Lindgaard-Jørgensen, P. (2009). Integrated Water Resources Management in Action. United Nations Educational, World Water Development Report 3. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001818/181891E.pdf>
- Hellar, H. (2002). Pesticides Residues in Sugarcane Plantations and Environs After LongTerm Use; The Case of TPC Ltd, Kilimanjaro Region, Tanzania.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2017). Sistematización de metodologías para evaluar efectos ambientales de tecnologías agrícolas con enfoque en sistemas de producción de agricultura familiar. *Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola*. Disponible en: <http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/6005/1/BVE17099233e.pdf>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).(1999). Guanajuato. Tabulados Básicos Ejidales por Municipio. Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares Urbanos, PROCEDE 1992 – 1998. Aguascalientes. México,
- INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Yuriria Guanajuato, clave geoestadística 11046. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/11/11046.pdf
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VI (continuo nacional). *Catálogo de*

metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Recuperado de http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s6gw.html#_stdor der

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2019). *Simulador de flujos de agua de cuencas hidrográficas* 3.2. http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/ (Consultada el 11 de julio de 2019).

INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2008). Guía para producir cebada maltera en surcos en el Bajío. *Desplegable para productores Núm. 8*. Centro de Investigación Regional del Centro, campo experimental Bajío, Celaya Gto. Recuperado de <http://www.inifap.gob.mx/circe/Documents/publigto/GUIA%20PARA%20CEBADA.pdf>.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2012). Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. *Publicación especial No. 8*.

INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2017). *Agenda técnica agrícola Guanajuato*. Recuperado de https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/media/agendas/4129_4826_Agenda_T%c3%a9cnica_Guanajuato_2017.pdf

IPLANEG (Instituto de Planeación, Estadística y Geografía De Guanajuato). (2018). Catálogo Geográfico SEIEG, Guanajuato, México. 2018. Disponible en: <http://geoinfo.iplaneg.net/>

Jekel, M., y Reemtsma, T.. (2006). Organic Pollutants in the Water Cycle, in Properties, Occurrence, *Analysis and Environmental Relevance of Polar Compounds*. Berlín: W. C. Society

- Karam, M., Ramírez, G., Bustamante, L., & Galvan, J. . (2004). Plaguicidas y salud de la población. *Ciencia Ergo*, 11, pp.246-254.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., & Tette, J.. (1992). A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences*, 139, pp.1-8.
- Larsen, M.C., Hamilton, P.A., Werkheiser, W.H. (2013). Water quality status and trends in the United States. *En Monitoring Water Quality*. pp.19-57. United States: Elsevier.
- Leiva, S., Carrizo, A., Carrasco, F., Aybar, S., & Matías, A. (2015). Estimación del coeficiente de impacto ambiental (EIQ) en diferentes estrategias fitosanitarias en productores minifundistas olivícolas, en La Rioja, *Congreso Latinoamericano de agroecología, Argentina. 2018, de Memorias del V Congreso Latinoamericano de Agroecología*, La Plata, Argentina, Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales Congreso Latinoamericano de agroecología Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/52154>
- Mass, J. (2007). La investigación de procesos ecológicos y el manejo integrado de cuencas hidrográficas: un análisis del problema de escala. En *El manejo integral de cuencas en México, Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. Segunda edición. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología. México.
- Miranda, L., Dávila, R., Benítez, P., Peña, Z., & Palacios E. (2005). Effects of prenatal paraquat and mancozeb exposure on amino acid synaptic transmission in developing mouse cerebellar cortex. *Developmental Brain Research*, 160, pp.19-27.
- Miranda, L., Gómez, R., Rojas, G., Cruz, I., Berrueta, L., Salem, S., Colmenares, M., Barreto, S., Balza, A., Zavala, L., Morales, Y., Molina, Y., Valeri, L., Contreras,

C.A., & Osuna, J.A.. (2013). Occupational exposure to organophosphate and carbamate pesticides affects sperm chromatin integrity and reproductive hormone levels among Venezuelan farm workers. *Journal Occupational Health*, 55, pp.195-203.

Mnif, W., Hadj, H., Bouaziz, A., Bartegi, A., Thomas, O., & Roig, B . (2011). Effect of Endocrine Disruptor Pesticides: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8, pp.2265-2303.

Morgan, R. K. (2012). Environmental impact assessment: The state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30, pp.5-14.

Muhammetoglu, A., Durmaz, S., Uslu, B. (2010). Evaluation of the Environmental Impact of Pesticides by Application of Three Risk Indicators. *Environmental Forensics Journal*. Turkey, 11, pp.179-186.

Narváez, F., Palacio, A., & Molina, J. (2012). Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural. *Gestión y Ambiente*, 15, pp.27-37.

Noriega, B., Armienta, E., Cervantes, J. A., Hernández, E., Chaparro, V., Bravo, A., & Beas, Z. C. (2011). GABA and Dopamine Release from Different Brain Regions in Mice with Chronic Exposure to Organophosphate Methamidophos. *Journal of Toxicologic Pathology*, 24, pp.163-168.

ONU-WWAP. (2003). Primer Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para todos, agua para la vida. París, Nueva York y Oxford: UNESCO/Berghahn Books.

Pérez, R. & Aguilar, A. (2012). *Agricultura y contaminación del agua*. Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Autónoma de México. p.27 México D.F.

- Pérez, M., Navarro, H., & Miranda, E. (2013). Residuos de plaguicidas en hortalizas: Problemática y riesgo en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, pp.45-64.
- Pérez M., Navarro, H., Flores D., Ortega N. y Tristán, E., (2017). Plaguicidas altamente peligrosos utilizados en el Bajío de Guanajuato, en *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México*, Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México, A. C. (RAPAM), México
- Plenge, F., y Sierra, J. (2007). Riesgos a la salud humana causados por plaguicidas. *Tecnociencia Chihuahua*, 1, pp.4-6.
- Prado, A.G. & Airoidi, C. (2000). Effect of the pesticide 2,4-D on microbial activity of the soil monitored by microcalorimetry. *Thermochimica Acta*, 349(1-2), 17-22.
- Ramírez, J.A., & Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. Octubre 18, 2013, de Arch Prev Riesgos Labor Disponible en: http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-05-01_11-59-0899004.pdf
- Ramírez, M.R., Jacobo, J. L. (2002), Impacto Ambiental del Uso de Plaguicidas en Huertos de Manzano del Noroeste de Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 20, pp.168-173 Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61220206>
- Reyes, G., Chaparro, A., y Ávila, K. (2010). Efecto ambiental de agroquímicos y maquinaria agrícola en cultivos transgénicos y convencionales de algodón. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 12, pp.151-162. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/18556/38209>
- Sánchez, A. J. (2002). Plaguicidas y fitosanitarios. *Memorias. XIII Congreso Nacional Farmacéutico*. Granada, España.

- SEBIO-GTO (Subsistema Estatal de Información de Biodiversidad y Recursos Naturales del Estado de Guanajuato). (2018). Guanajuato, Gto., México: Instituto de Ecología del estado de Guanajuato. Recuperado de <http://mapas.ecologia.guanajuato.gob.mx>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).(2018). Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php
- SMN (Sistema Meteorológico Nacional). (2018), Comisión Nacional del Agua. Información de estaciones climatológicas. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Spadotto, C., Gomes, M., Hornsby, A. (2002). Pesticide leaching potential assessment in multilayered soils. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicol e Meio Ambiente*, Curitiba, 12, pp.1-12.
- Swat. (2016). Soil & wáter Assessment Tool. Recuperado de <https://swat.tamu.edu/>
- Torres, D., & Capote, T. (2005). Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. Septiembre 2, 2018, de *Revista Ecosistemas, Norteamérica* Disponible en: <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/201>
- Valderrama, J.F., Palacio, J.A., & Molina, F.J. (2012). Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad. *Revista Gestión y Ambiente*, 15, pp.27-37.
- Vidal de los Santos, E., y López, J. (2009). Impacto ambiental: Una herramienta para el desarrollo sustentable. México: AGT Editor.
- Vogel, M. (2007). La utilidad de aproximaciones globales para la solución de la “crisis del agua”: El ejemplo del Perú. *Barcelona: CIDOB edicions*.
- Weston, J. (2000). EIA, decision-making theory and screening and scoping in UK practice. *Journal of Environmental Planning and Management*, 43, pp.185-203.

- Wigle, D.T., Arbuckle, T.E., Walker, M., Wade, M.G., Liu, S.L., & Krewski, D. (2007). Environmental Hazards: Evidence for Effects on Child Health. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 10, pp.3-39.
- Williamson, C.E., Dodds, W., Kratz, T.K., & Palmer, M. (2008). Lakes and streams as sentinels of environmental change in terrestrial and atmospheric processes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(5), 247- 254
- World Health Organization & International Programme on Chemical Safety. (2010). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2009. World Health Organization. Disponible en: <http://www.who.int/iris/handle/10665/44271>
- Zúñiga, V., Walter, D., Camarena, O., Gutiérrez, G., & Arellano, G. (2015). Distribución de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el valle agrícola de Maneadero, Baja California, México. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 7, pp.13-23. Disponible en: <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/download/242/225>.