



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIONES Y  
ESTUDIOS SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

**DETERMINACIÓN DE HERBICIDAS EN LAS MATRICES  
AMBIENTALES: SUELO Y AGUA, EN PAPANTLA, VERACRUZ**

***TESIS***

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ESTUDIOS AMBIENTALES Y DE  
LA SUSTENTABILIDAD**

**PRESENTA**

**PAULINA ELIZABETH RANGEL GONZÁLEZ**

**DIRECTORES**

**DRA. MARÍA YOLANDA LEONOR ORDAZ GUILLÉN**

**DRA. NORA RUÍZ ORDAZ**



**CIUDAD DE MÉXICO, 2017**

# CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ACRÓNIMOS, SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	X
RESUMEN .....	XI
ABSTRACT .....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Plaguicidas.....</b>	<b>2</b>
1.1.1. Clasificación de los plaguicidas.....	3
1.1.2. Origen, transporte y destino .....	4
1.1.2.1. Propiedades de los plaguicidas .....	4
1.1.2.2. Destino ambiental de los plaguicidas .....	5
1.1.3. Daños a la salud por plaguicidas .....	6
<b>1.2. Medidas internacionales: Buenas Prácticas Agrícolas .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Herbicidas .....</b>	<b>10</b>
1.3.1. Clasificación de los herbicidas .....	11
1.3.2. Uso de herbicidas en México .....	12
1.3.3. Características de los herbicidas 2,4-diclorofenoxiacético, glifosato y picloram... 13	
1.3.3.1. Ácido 2,4-diclorofenoxiacético .....	13
1.3.3.2. Glifosato .....	15
1.3.3.3. Picloram .....	17
<b>1.4. Regiones Hidrológicas Prioritarias en México .....</b>	<b>19</b>
<b>1.5. Estudios previos.....</b>	<b>21</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
4.1. Objetivo general.....	24

4.2. Objetivos específicos .....	24
<b>5. HIPÓTESIS.....</b>	<b>24</b>
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>25</b>
<b>6.1. Zona de estudio.....</b>	<b>25</b>
6.1.1. Hidrografía .....	26
6.1.2. Clima .....	26
6.1.3. Vegetación .....	27
6.1.4. Actividades humanas.....	28
<b>6.2. Diseño de estudio.....</b>	<b>28</b>
6.2.1. Cuestionario .....	29
6.2.2. Recolección de muestras ambientales .....	31
6.2.2.1. Agua .....	31
6.2.2.2. Suelo .....	32
6.2.3. Caracterización .....	34
6.2.3.1. Agua .....	34
6.2.3.2. Suelo .....	34
6.2.4. Determinación de la concentración de herbicidas .....	35
6.2.4.1. Procedimiento de extracción .....	35
6.2.4.2. Fortificación de las muestras .....	37
6.2.4.3. Análisis HPLC .....	37
6.2.5. Análisis estadístico .....	38
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
<b>7.1. Características del suelo.....</b>	<b>39</b>
7.1.1. Textura .....	39
7.1.2. Materia orgánica y color .....	40
7.1.3. pH.....	42
<b>7.2. Concentraciones de los herbicidas 2,4-diclorofenoxiacético, glifosato y picloram en suelo.....</b>	<b>43</b>
7.2.1. 2,4-D .....	47
7.2.2. Glifosato y AMPA.....	49
7.2.3. Picloram .....	52
<b>7.3. Características de los cuerpos de agua .....</b>	<b>54</b>
<b>7.4. Concentraciones de los herbicidas 2,4-diclorofenoxiacético, glifosato y picloram en agua .....</b>	<b>57</b>
7.4.1. 2,4-D .....	57
7.4.2. Glifosato y AMPA.....	58

7.4.3. Picloram .....	60
<b>7.5. Prácticas agrícolas.....</b>	<b>62</b>
7.5.1. Grado de selectividad respecto al objetivo .....	62
7.5.2. Dosificación y mezclas .....	64
7.5.3. Indumentaria para la aplicación .....	65
7.5.4. Gestión de excedentes fitosanitarios y Equipos de aspersión .....	68
7.5.5. Folleto .....	71
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>9. CONSIDERACIONES FINALES .....</b>	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO I. CUESTIONARIO .....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO II. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO III. FORTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS .....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO IV: PRUEBAS ESTADÍSTICAS.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO V: FOLLETO .....</b>	<b>96</b>



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 10:00 horas del día 12 del mes de JUNIO del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIEMAD para examinar la tesis titulada:

"Determinación de herbicidas en las matrices ambientales: suelo y agua, en Papantla, Veracruz"

Presentada por el alumno:

RANGEL  
Apellido paterno

GONZÁLEZ  
Apellido materno

PAULINA ELIZABETH  
Nombre(s)

Con registro: 

B	1	5	0	5	5	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad


Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

  
DRA. MARÍA YOLANDA LEONOR ORDAZ GUILLÉN

  
DRA. NORA RUÍZ ORDAZ

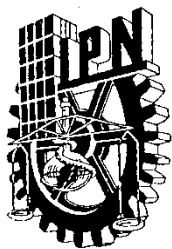
  
DRA. LAURA ARREOLA MENDOZA

  
M. EN C. MARÍA DE LA LUZ VALDERRÁBANO ALMEGUA

  
DRA. FORTUNATÁ SANTOYO TEPOLE

  
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CIEMAD DIRECCIÓN





# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

## **SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

### *CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México, D.F. el día 14 del mes de junio del año 2017, la que suscribe Paulina Elizabeth Rangel González alumna del Programa de Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad, con número de registro B150558, adscrita al Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, manifiesta que es la autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. María Yolanda Leonor Ordaz Guillén y de la Dra. Nora Ruiz Ordaz y cede los derechos del trabajo titulado Determinación de herbicidas en las matrices ambientales: suelo y agua, en Papantla, Veracruz, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de la autora y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones e liza\_re@hotmail.com; mordazg@ipn.mx y noraruizordaz@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Paulina', is written above a horizontal line.

Paulina Elizabeth Rangel González

## AGRADECIMIENTOS

*Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT) por la beca de posgrado otorgada durante el periodo agosto de 2016 a junio de 2017.*

*Al Laboratorio de Bioingeniería del Departamento de Ingeniería Bioquímica y a la Central de Instrumentación de Espectroscopía de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, por el uso de sus instalaciones y haberme permitido realizar el análisis en el Cromatógrafo de Líquidos.*

*Esta tesis forma parte de los proyectos de investigación:*

- *Determinación de los herbicidas 2,4-D, picloram y glifosato en suelo y cuerpos de agua de la Subcuenca Río Tecolutla, Veracruz (Municipios: Tecolutla y Gutiérrez Zamora).  
Clave SIP SIP20161863*
- *Estudio de los herbicidas de mayor uso en la Subcuenca Río Tecolutla, Veracruz (Municipio: Papantla)  
Clave SIP SIP20171357*

Agradezco a la Dra. Yolanda Ordaz Guillén y a la Dra. Nora Ruíz Ordaz por la oportunidad, la confianza y la independencia proporcionada durante el desarrollo de la investigación bajo su dirección.

A las integrantes de mi Comité Tutorial, M en C. María de la Luz Valderrábano Almegua, Dra. Fortunata Santoyo y Dra. Laura Arreola Mendoza por toda su guía académica, sus sugerencias y aportaciones durante el desarrollo de este trabajo.

A las autoridades del municipio de Papantla y del Clúster Politécnico Veracruz por su conocimiento, orientación y disposición brindada en cada visita de campo.

A los directivos, administrativos y personal de apoyo del CIIEMAD por haberme brindado la oportunidad de desarrollar la tesis profesional y por todo el soporte y facilidades que me fueron otorgadas.

A mi familia y amigos por sus conocimientos, orientación, apoyo, ayuda, paciencia, motivación y amistad, acompañándome en los momentos de crisis y de felicidad.



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Definición de las respectivas categorías de riesgo de toxicidad aguda y toxicidad aguda estimada. ....	3
Cuadro 2. Diferentes plaguicidas y su organismo objetivo. ....	4
Cuadro 3. Clasificación de herbicidas por su método de uso y momento de aplicación. ....	11
Cuadro 4. Clasificación de herbicidas por su estructura química y modo de acción.....	11
Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del 2,4-D, picloram, glifosato y AMPA. ....	19
Cuadro 6. Técnicas de extracción, limpieza y detección de herbicidas en muestras ambientales. ...	22
Cuadro 7. Descripción de las variables consideradas en el cuestionario aplicado a los agricultores. ....	30
Cuadro 8. Características para la determinación por HPLC. ....	37
Cuadro 9. Información de la curva de calibración obtenido a través de un análisis de regresión lineal. ....	38
Cuadro 10. Características generales de los sitios de muestreo de suelo y tipos de cultivo para la temporada de secas y lluvias. ....	43
Cuadro 11. Información de la dosis, tiempo y herbicidas aplicados en los sitios de muestreo. ....	45
Cuadro 12. Concentraciones de los herbicidas en suelos de cultivo en la temporada de secas y lluvias.....	48
Cuadro 13. Ubicación georreferenciada de las muestras en cuerpos de agua. ....	54
Cuadro 14. Concentraciones de los herbicidas en cuerpos de agua en la temporada de secas y lluvias.....	58
Cuadro 15. Disposición final de envases de plaguicidas.....	69
Cuadro 16. Cuestionario aplicado a los agricultores. ....	87
Cuadro 17. Características fisicoquímicas de los suelos de cultivo en la temporada de secas y lluvias. ....	89
Cuadro 18. Características fisicoquímicas de los cuerpos de agua en la temporada de secas y lluvias. ....	91
Cuadro 19. Resultados de las concentraciones de los herbicidas en las muestras fortificadas de suelo. ....	92
Cuadro 20. Prueba de correlación de Spearman para las muestras de suelo. ....	93
Cuadro 21. Prueba de Wilcoxon para los resultados de las concentraciones de los herbicidas en las muestras de suelo.....	94
Cuadro 22. Prueba de Wilcoxon para los resultados de las características fisicoquímicas de las muestras de suelo.....	94
Cuadro 23. Prueba de Wilcoxon para los resultados de las concentraciones de los herbicidas en las muestras de agua. ....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación geográfica de la Subcuenca Río Tecolutla y la zona de estudio. ....	25
Figura 2. Representación geográfica del uso de suelo en la zona de estudio. ....	27
Figura 3. Metodología general de la investigación. ....	29
Figura 4. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de los cuerpos de agua superficiales en Papantla, Veracruz.....	31
Figura 5. Fotografías del tramo navegable del Río Tecolutla durante la temporada de lluvias. ....	32
Figura 6. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de los suelos de cultivo en Papantla, Veracruz.....	33
Figura 7. Fotografías de los muestreos realizados en suelos de cultivo durante la temporada de secas. ....	34
Figura 8. Porcentajes de las clases texturales de los suelos muestreados. ....	39
Figura 9. Resultados del contenido de la materia orgánica en los suelos muestreados de la temporada.....	41
Figura 10. Resultados de los valores de pH en los suelos muestreados en la temporada de secas y lluvias.....	42
Figura 11. Fotografías de los cultivos. (a) Maizal; (b) Naranjal; (c) Pastizal .....	44
Figura 12. Ubicación de los sitios de muestreo con presencia de 2,4-D, AMPA, glifosato y picloram en suelos de cultivo durante la temporada de secas. ....	53
Figura 13. Ubicación de los sitios de muestreo con presencia de 2,4-D, AMPA, glifosato y picloram en cuerpos de agua durante la temporada de secas.....	59
Figura 14. Ubicación de los sitios de muestreo con presencia de 2,4-D, AMPA, glifosato y picloram en suelos de cultivo durante la temporada de lluvias. ....	61
Figura 15. Herbicidas utilizados por tipo de cultivo. ....	63
Figura 16. Dosis promedio aplicadas en el área de estudio por tipo de herbicida. ....	64
Figura 17. Equipo de protección personal usado durante la preparación de mezclas. ....	66
Figura 18. Equipo de protección personal usado durante la aplicación de herbicidas. ....	66
Figura 19 . Lugares reportados para el lavado del equipo de protección personal.....	68
Figura 20. Lugares de lavado de los equipos de aspersión.....	70
Figura 21. Cromatogramas de la determinación de 2,4-D de la muestra 14 de suelo antes y después de la fortificación. (a) Antes de la fortificación; (b) Después de la fortificación, (c) Blanco a 10 ppm. ....	92

## ACRÓNIMOS, SIGLAS Y ABREVIATURAS

2,4-D	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético
ACN	Acetonitrilo
AMPA	Ácido aminometilfosfónico
BPA	Buenas Prácticas Agrícolas
CCME	Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (Canadian Council of Ministers of the Environment)
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DO	Oxígeno disuelto (Dissolved Oxygen)
EPA	Agencia de Protección Ambiental (United States Environmental Protection Agency)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FMOC-CL	9-fluorenilmetil-cloroformiato
HPLC	Cromatografía líquida de alta eficacia (High Performance Liquid Chromatography)
IARC	Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (International Agency for Research on Cancer)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LC	Cromatografía líquida (Liquid Chromatography)
LC <sub>25</sub>	Concentración letal, 25% (Lethal Concentration, 25%)
LD <sub>50</sub>	Dosis letal, 50% (Lethal Dose, 50%)
LOD	Límite de detección (limit of quantitation)
LOQ	Límite de cuantificación (limit of detection)
LSE	Extracción líquido-sólido (Liquid-Solid Extraction)
MS	Espectrometría de masa (Mass spectrometry)
MTBE	Metil terbutil éter
NLM	Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos (National Library of Medicine)
NOM	Norma Oficial Mexicana
NPIC	Centro Nacional de Información de Pesticidas (National Pesticide Information Center)
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OMS	Organización Mundial de la Salud
PAHO	Organización Panamericana de la Salud (Pan American Health Organization)
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SE	Secretaría de Economía
SEFIPLAN	Secretaría de Finanzas y Planeación del Gobierno del Estado de Veracruz
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SFP	Secretaría de la Función Pública
SGA	Sistema Globalmente Armonizado
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
SPE	Extracción en fase sólida (Solid phase extraction)
SSA	Secretaría de Salud
STPS	Secretaría del Trabajo y Previsión Social
TDS	Sólidos totales disueltos (total dissolved solids)
UNA	Universidad Nacional de Costa Rica
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (United States Department of Agriculture)
WSDOT	Departamento de Transporte del Estado de Washington (Washington State Department of Transportation)

## RESUMEN

La Subcuenca Río Tecolutla es un área designada como Región Hidrológica Prioritaria, donde se ha observado un creciente uso de herbicidas derivado de las actividades agropecuarias de la región. El objetivo del estudio fue evaluar la presencia de los herbicidas de mayor uso agrícola: 2,4-D, picloram, glifosato y, el producto de degradación, AMPA por cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) en muestras de suelos de cultivo y cuatro cuerpos de agua superficiales durante la temporada de secas y lluvias en la Subcuenca Río Tecolutla en el área correspondiente al municipio de Papantla, Veracruz. También se describieron y analizaron las prácticas agrícolas desarrolladas en la zona y su relación con la presencia de herbicidas en las matrices ambientales estudiadas; para la recolección de datos se elaboró un cuestionario que se aplicó mediante entrevista a 60 agricultores.

En los suelos de cultivo, concentraciones máximas de 2,4-D ( $520.65 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), glifosato ( $2\ 383.22 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) y AMPA ( $5\ 037.76 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) fueron encontradas durante la temporada de secas, las concentraciones de 2,4-D y AMPA fueron mayores a las reportadas dentro de la Subcuenca en los municipios de Gutiérrez Zamora y Tecolutla, área colindante a la zona de estudio. En los cuerpos de agua, se hallaron concentraciones traza de glifosato y una concentración máxima de AMPA de 45.45 ppb, durante ambas temporadas de muestreo y picloram en concentración traza en la época de lluvias sobre el Río Tecolutla; los valores de glifosato y picloram se encontraron por debajo del límite marcado en la Guía Canadiense para la Calidad del Agua para la Protección de la Vida Acuática. Las prácticas inadecuadas más frecuentes fueron, antes de la aplicación: protección personal incorrecta en la mezcla de los herbicidas; durante la aplicación: protección personal incorrecta; y después de la aplicación la inadecuada gestión de los envases vacíos de herbicidas: quema (38.71%), desecho en parcelas (27.42%), almacenamiento en las parcelas (17.71%), reúso para el transporte de agua (8.06%) y entierro (6.45%); la limpieza del equipo de aspersión y lavado del equipo de protección personal en cuerpos de agua.

## ABSTRACT

The Sub-basin Rio Tecolutla is an area designated as a Hydrological Priority Region, where there has been an increasing use of herbicides derived from agricultural activities in the region. The present study aim was to evaluate the presence of herbicides in greater agricultural use: 2,4-D, picloram, glyphosate, and the product's degradation, AMPA by liquid chromatography high efficiency (HPLC) in samples of field soils and four surface water bodies during the dry season and rainy season in the Tecolutla River Sub-basin in the corresponding area of Papantla municipally, Veracruz. They are also described and analysed agricultural practices developed in the area and its related with the presence of herbicides in environmental matrices studied; for the collection of data was elaborated a questionnaire which was applied through interview to 60 farmers.

In soil, maximum concentrations of 2,4-D ( $520.65 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), glyphosate ( $2\ 383.22 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) and AMPA ( $5\ 037.76 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) were found during the dry season, the concentrations of 2, 4-D and AMPA were higher than those reported within the Sub-basin in Gutiérrez Zamora and Tecolutla municipalities, area adjacent to the study area. Glyphosate concentrations were found in the bodies of water, (trace level) and AMPA (45.45 ppb) during both seasons of sampling and picloram (trace level) in the rainy season on the Tecolutla River; the values of glyphosate and picloram was found below the limit marked on the Canadian Guide to the water quality for the protection of aquatic life. The most common malpractices were, prior to application: incorrect personal protection in the mixture of herbicides; during the application: incorrect personal protection; and after the improper management of empty containers of herbicides application: burning (38.71%), waste in parcels (27.42%), storage in the plots (17.71%), reuse for water transportation (8.06%) and burying (6.45%); the cleaning equipment of spraying and washing in water bodies personal protective equipment.

## INTRODUCCIÓN

El uso de agroquímicos, en particular de plaguicidas, se ha intensificado en la última década por el incremento en la demanda de productos de campo a consecuencia del aumento poblacional mundial.

En el país existen diversos estudios acerca de la caracterización de los plaguicidas y sus concentraciones presentes en las diversas matrices ambientales; sin embargo, los estudios se centran principalmente en plaguicidas organoclorados.

La finalidad de este trabajo es evaluar la presencia de los herbicidas de mayor uso: 2,4-D, glifosato y picloram en la parte baja de la Subcuenca Río Tecolutla en el área correspondiente al municipio de Papantla en el estado de Veracruz; así como conocer el manejo de los herbicidas y las prácticas agrícolas.

La elección del análisis de herbicidas, se basa en dos argumentos: el primero es que constituyen el principal grupo de plaguicidas usados en las actividades agropecuarias para el control del crecimiento de la maleza y para disminuir las pérdidas en los sistemas agrícolas. Y el segundo es que estos compuestos químicos tienen potencial para contaminar, ya sea directa o indirectamente, los suelos, cuerpos de agua y productos agrícolas por lo que representan un riesgo para la salud humana y el ambiente.

México no permanece ajeno al aumento en el uso de los herbicidas, no obstante, la generación de conocimiento se ha centrado en esquemas de registro dejando de lado los estudios sobre los impactos que se tienen sobre la salud humana y la contaminación de los sistemas bióticos y abióticos.

Por lo demás, el estudio es una contribución a un conjunto de investigaciones interdisciplinarias emprendidas en el marco del análisis de diversos plaguicidas en matrices ambientales abarcando la Subcuenca Río Tecolutla.

# 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

## 1.1. PLAGUICIDAS

Los plaguicidas son compuestos que han sido de suma importancia en el progreso de la humanidad al influir en el desarrollo agrícola y ganadero, así como en el control de enfermedades transmisibles.

Existen diversos conceptos para este término, a nivel nacional se define dentro del Capítulo XII Artículo I de Ley General de Salud como “*cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destina a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores que transmiten las enfermedades humanas y de animales, las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal, así como las sustancias defoliantes y las desecantes*” (Congreso de la Unión, 1984).

La agencia internacional responsable de la definición y las guías sobre el uso de los plaguicidas en el mundo es la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), describe a un plaguicida como “*cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies de plantas o animales indeseables que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos*” (FAO, 2012a).

Uno de los aspectos en los que difieren ambos conceptos es el de puntualizar las actividades donde la aplicación de plaguicidas tiene lugar, en la segunda definición se especifica el empleo de estas sustancias en las diversas etapas de la cadena productiva.

De acuerdo a la definición brindada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por su siglas en inglés) se considera a un plaguicida como “*cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier plaga, o es un regulador, defoliante, desecante vegetal, o estabilizador de nitrógeno*” (EPA, 2016a).

Al igual que la definición dada por la FAO, en esta última se indica el uso de los plaguicidas como un método de prevención para la proliferación de las plagas, información que es omitida por la legislación mexicana.

Por otra parte, Singh (2012) describe a un plaguicida como la “sustancia o mezcla de sustancias utilizadas para prevenir, repeler, mitigar o destruir cualquier plaga. Un plaguicida puede ser una sustancia agroquímica, o un organismo (tal como una bacteria y un hongo), que se usa contra las plagas. Las plagas incluyen insectos, ácaros, nematodos, moluscos, aves, mamíferos, patógenos de plantas, malezas y microorganismo, que compiten con los seres humanos por alimentos, productos agrícolas, refugio, actúan como vector y causan molestias”.

Este autor brinda un concepto más amplio ya que aborda el uso de microorganismos como plaguicidas, de igual forma describe una mayor variedad de organismos objetivo.

#### 1.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS PLAGUICIDAS

Los plaguicidas presentan múltiples clasificaciones en función de sus principales características, estas categorizaciones proporcionan información sobre su estructura química, el modo de acción, el organismo objetivo, la toxicidad, presentación comercial y comportamiento ambiental.

La clasificación según los criterios de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se realiza de acuerdo al Sistema Globalmente Armonizado (SGA) de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos para la toxicidad de los plaguicidas (OMS, 2010). México adoptó dicha categorización la cual se establece en el Anexo Normativo 1 de la NOM-232-SSA1-2009 en materia de embalaje de plaguicidas (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Definición de las respectivas categorías de riesgo de toxicidad aguda y toxicidad aguda estimada.**

Vía de exposición	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
<b>Oral (mg/kg)</b>	5	50	300	2,000	5,000
<b>Dérmica (mg/kg)</b>	50	200	1,000	2,000	
<b>Inhalatoria Gases (ppmV)</b>	100	500	2,500	5,000	
<b>Inhalatoria Vapores (mg/l)</b>	0.5	2	10	20	
<b>Inhalatoria Polvos y nieblas (mg/l)</b>	0.05	0.5	1.0	5	

Fuente: Modificada de SE (Secretaría de Economía), 2010.



Conforme a su estructura química se dividen en organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides y neonicotinoide (Eldridge, 2008), por lo tanto esta categorización brinda información sobre la función del plaguicida y su funcionamiento sobre la plaga.

También se clasifican de acuerdo a su acción sobre los organismos objetivo, esta sistematización es una de las más utilizadas por contar con un mayor número de categorías (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Diferentes plaguicidas y su organismo objetivo.**

<b>Plaguicida</b>	<b>Organismo objetivos</b>
Acaricida	Ácaros o garrapatas
Algucida	Algas
Avicida	Pájaros
Bactericida	Bacterias
Bioplaguicida	Control biológico de plagas
Fungicida	Hongos
Herbicida	Maleza
Herpecida	Reptiles
Insecticida	Insectos
Larvicida,	Larvas de insectos
Molusquicida	Caracol y babosas
Micocida	Hongos
Nematicida	Nematodos
Ovicida	Huevos
Piscicida	Peces
Rodenticida	Roedores
Virucida	Virus

**Fuente: Modificada de Singh, 2012.**

### 1.1.2. ORIGEN, TRANSPORTE Y DESTINO

Cuando se aplica un plaguicida diversos factores influyen en su destino ambiental: (1) factores físico-químicos y biológicos del suelo (contenido de materia orgánica, la humedad, la biota, la porosidad y el pH), las propiedades hidrológicas y características morfológicas de la zona; (2) factores antrópicos relacionados con las prácticas agrícolas del uso de suelo (sistema de labranza) y la forma de aplicación de los plaguicidas; (3) factores climáticos, particularmente la precipitación pluvial y la temperatura y (4) las propiedades intrínsecas de los plaguicidas como: la adsorción, la solubilidad, la volatilidad y la persistencia; al igual que su formulación (Holland, 2004; Lin *et al.*, 1999; Okada *et al.*, 2016).

#### 1.1.2.1. Propiedades de los plaguicidas

Adsorción: Propiedad que retarda el transporte de los plaguicidas disueltos en el suelo, sin embargo, esta característica puede mejorar el transporte de partículas o de formas

coloidales asociadas si la lluvia o el riego provocan la descarga de la materia en suspensión (Tang *et al.*, 2012).

**Solubilidad:** Es la tendencia de un plaguicida de disolverse en agua y afecta a su potencial de lixiviación. A medida que el agua se filtra a través del suelo, lleva consigo las sustancias químicas solubles, este proceso se le denomina lixiviación. Los plaguicidas altamente solubles tienen una tendencia a ser transportados en la escorrentía superficial y como lixiviado del suelo al agua subterránea. Los plaguicidas poco solubles aplicados al suelo que no fueron incorporados tienen un alto potencial de movilidad a través de la escorrentía o la erosión (Geyikçi, 2011).

**Persistencia:** Esta se define como el tiempo que permanece un plaguicida en el suelo manteniendo su actividad biológica, dependiendo de la toxicidad del plaguicida y de su biodisponibilidad (Sánchez y Sánchez, 1985). La persistencia de un plaguicida se mide en términos de vida media; es decir, el tiempo en días requerido para que un plaguicida se degrade a la mitad de la cantidad original (Bedmar *et al.*, 2013; Buttler *et al.*, 1998).

**Volatilidad:** Propiedad que representa la tendencia del plaguicida a pasar a la fase gaseosa, el mecanismo consiste en que el flujo del compuesto se transfiere hacia la fase aire (Morell y Candela, 1998). Si el plaguicida es altamente volátil y no es muy soluble en agua, es probable que se transfiera a la atmósfera y disminuye la disponibilidad para la lixiviación a las aguas subterráneas. Para la mayoría de los plaguicidas, la pérdida por volatilización es insignificante en comparación con las pérdidas por lixiviación o por escorrentía en la superficie. Las condiciones ambientales tales como la temperatura, humedad y velocidad del viento afectan a las pérdidas por volatilización (Geyikçi, 2011).

#### **1.1.2.2. Destino ambiental de los plaguicidas**

Si bien los plaguicidas ayudan a controlar con eficacia las principales plagas de los cultivos, sus efectos colaterales suelen ser perjudiciales para la salud humana y de manera más general a la biodiversidad (Pedlowski *et al.*, 2012; Reichenberger *et al.*, 2007).

Los plaguicidas se degradan a diferentes velocidades por la acción metabólica de los microorganismos, reacciones químicas y radiación solar que conducen a una disminución en las concentraciones en diversas matrices ambientales.

Cuando estos compuestos son aplicados en el suelo los microorganismos utilizan las moléculas de plaguicidas como fuente de nutrientes degradándolos en metabolitos de descomposición que puede ser más tóxicas que el compuesto original, así como en moléculas inocuas como dióxido de carbono y agua; se ha reportado que el proceso de descomposición se produce principalmente en la zona de las raíces (Buttler *et al.*, 1998; Le Bellec *et al.*, 2015).

Los plaguicidas utilizados sobre los cultivos pueden ser lavados por el agua de lluvia y riego para luego ser transportadas hacia aguas subterráneas por lixiviación y a aguas superficiales por escorrentía, fenómeno que está influenciado por la pendiente del terreno, el volumen de agua y la topografía de la zona donde se desarrollan los cultivos, éstos son los factores que juegan un papel importante en el riesgo de contaminación de los recursos hídricos por plaguicidas. (Duffner *et al.*, 2010; Leistra y Boesten, 2010).

La contaminación ambiental por plaguicidas está dada fundamentalmente por aplicaciones directas en los cultivos agrícolas, residuos descargados y dispuestos en el suelo, derrames accidentales, el mal uso de los mismos por parte de la población, lavado inadecuado de tanques contenedores 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).

### 1.1.3. DAÑOS A LA SALUD POR PLAGUICIDAS

Por su uso extendido cualquier persona está en riesgo de entrar en contacto con residuos de plaguicidas, ya sea por la ingesta directa de alimentos, debido a que se ha reportado que una parte de los plaguicidas aplicados en los cultivos o en el suelo, pueden estar presentes en la parte cosechada del cultivo, o por ingesta indirecta a través de productos animales y agua (Issa *et al.*, 2010; Kudsk y Streibig, 2003).

Aunque la población en general está expuesta a este tipo de compuestos los agricultores constituyen el principal grupo en riesgo pues están expuestos al manejar los plaguicidas durante la aplicación, al limpiar el equipo de aspersión, al eliminar los recipientes y manipular la ropa de trabajo (Fait *et al.*, 2004).

En todo caso, la exposición a plaguicidas de forma general causa daño en ojos, piel, mucosas y pulmones; la exposición crónica puede ocasionar neuritis, trastornos hepatorenales, problemas neurológicos, inmunológicos, metabólicos y endócrinos, daños en el sistema nervioso central, infertilidad y cáncer, así como efectos genotóxicos y teratogénicos (Larrea *et al.*, 2010; Villarroel *et al.*, 2014).

## 1.2. MEDIDAS INTERNACIONALES: BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

Debido a las problemáticas a nivel mundial que se han registrado por el uso inadecuado de los plaguicidas se realizó un conceso entre la industria alimentaria, organizaciones de productores, los gobiernos y organizaciones no gubernamentales liderado por la FAO con el objeto de desarrollar códigos, normas y reglamentos sobre Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).

Se codificaron las prácticas de una gran cantidad de productos a nivel de explotación agrícola enmarcando el cumplimiento de las exigencias de regulación del comercio y gobiernos particulares (en materia de inocuidad y calidad de alimentos), así como exigencias más específicas de especialidades o nichos de mercado (FAO, 2008).

El término de BPA se conceptualiza dentro del documento nombrado “Elaboración de un marco para las Buenas Prácticas Agrícolas” redactado por el Comité de Agricultura en el año 2003, donde se definieron como las *"prácticas orientadas a la sostenibilidad ambiental, económica y social para los procesos productivos de la explotación agrícola que garantizan la calidad e inocuidad de los alimentos y de los productos no alimenticios"* (Comité de Agricultura, 2003).

En materia de plaguicidas, las BPA plantean un manejo integrado de plagas para lo cual se detallan diversas consideraciones con el fin de generar productos que sean compatibles con una estrategia de producción que evite riesgos a la salud y el ambiente. A continuación, se especifican las prácticas recomendadas para el manejo integrado de los cultivos (Arias *et al.*, 2007).

**Grado de selectividad respecto al objetivo:** Hace referencia al uso de plaguicidas selectivos los cuales se dirigen a un organismo que se requiere controlar. Estos plaguicidas

tienen un impacto mínimo en los organismos que no son los objetivos del plaguicida. Se debe evitar el uso de plaguicidas de amplio espectro.

**Modo de acción:** Es la respuesta bioquímica y fisiológica de los organismos que está asociada con la acción del plaguicida. En general, el modo de acción puede ser de contacto y sistémicos, no es aconsejable utilizar el plaguicida en forma continua, y es preferible utilizarlos en rotación.

**Residualidad:** Esta característica de los plaguicidas varía de acuerdo a los mecanismos de degradación en el ambiente. Es preferible el uso de plaguicidas con baja residualidad y que se degradan rápidamente con el fin de reducir el riesgo de que los productos agrícolas contengan residuos del plaguicida o algún producto de degradación.

**Formulación:** Existen diferentes formulaciones para un mismo ingrediente activo, haciendo que el comportamiento del plaguicida sea diferente; sin embargo, se busca que la formulación no se degrade rápidamente con el fin de que el ingrediente activo alcance su objetivo, pero al mismo tiempo que tenga un tiempo de vida media corto para evitar efectos residuales negativos en el ambiente.

**Periodo de seguridad:** Tiempo mínimo que debe transcurrir entre el momento de realizar una aplicación del plaguicida y la entrada de las personas al lugar donde se hizo la aplicación, sin que se corra el riesgo de una intoxicación a causa de los residuos del agroquímico que permanecen en el ambiente.

**Periodo de carencia:** Es el tiempo mínimo que debe transcurrir entre la última aplicación de un plaguicida y la cosecha del producto, para garantizar que el plaguicida aplicado se haya degradado y sus residuos en el producto cosechado no superen los límites máximos permisibles.

**Equipos de aspersión:** El equipo de aplicación debe funcionar bien, para lo cual es necesario cuidarlo y hacerle el mantenimiento adecuado cada vez que se use. Es necesario conocer bien el equipo, las partes que lo conforman, su funcionamiento y las posibles fallas.

**Dosificación:** Cada producto trae la recomendación específica sobre la dosis o cantidad del ingrediente activo o producto comercial, está dada en unidades de volumen y masa. En la práctica se utilizan unidades por litro de agua, el cual es poco preciso si se tiene en cuenta que el volumen de agua es muy variable en cada aplicación, cuando las dosis se dan en estas unidades se debiera especificar además el volumen de agua que se debe aplicar por hectárea.

**Mezclas:** Es necesario conocer el grado de compatibilidad de los productos para su aplicación en mezclas, a fin de lograr la eficiencia esperada en las aplicaciones. Se deben evitar mezclas de productos de acción similar, ya que no se logra mejorar la eficiencia de los productos aplicados. Usualmente, no son compatibles mezclas de productos con presentaciones diferentes, por ejemplo, polvos con líquidos.

**Indumentaria adecuada para la aplicación:** Los plaguicidas son productos tóxicos, su mezcla y aplicación, en general su manipulación, se debe realizar utilizando el equipo de protección personal adecuado, de forma básica consta de: overol de manga larga impermeable, botas, guantes, careta con respirador y sombrero; sin embargo, se debe usar el equipo de protección indicado en la etiqueta del producto.

**Gestión de excedentes fitosanitarios:** El procedimiento a seguir para la eliminación de envases es realizar el triple lavado cuando se termine de usar el contenido de un plaguicida, se perfora el envase y se deposita en un lugar adecuado para evitar el riesgo de contaminación de personas, animales y el ambiente.

**Transporte:** Los plaguicidas nunca se deben llevar en el mismo vehículo en que se transportan alimentos, bebidas, medicamentos, ropa y otros elementos. El transporte de los plaguicidas en el vehículo deberá tener el embalaje adecuado, de manera que se cuente con la protección necesaria para su manipulación. La disposición de la carga en el vehículo deberá hacerse de forma que se mantenga estable durante el viaje para evitar golpes y caídas.

**Almacenamiento:** Debe existir un lugar especial para el almacenamiento de los plaguicidas. Lo más recomendable es una bodega separada del lugar de habitación, la cual debe permanecer cerrada con llave para evitar el acceso de personas ajenas al uso de

éstos. Los plaguicidas deben almacenarse en sus envases originales para evitar confusiones al utilizarlos.

### 1.3. HERBICIDAS

El control de la maleza o mala hierba, es uno de los mayores obstáculos en la producción agropecuaria del mundo, debido a ello los herbicidas son el principal grupo de plaguicidas consumidos en la agricultura.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) define a los herbicidas como *“el control químico de la maleza, productos que inhiben o interrumpen el crecimiento y desarrollo de una planta”* (Rosales y Sánchez, 2006).

El concepto manejado en la legislación e instituciones mexicanas queda lejos de abarcar los elementos esenciales del concepto, al no integrar el objetivo de la aplicación de los herbicidas, esto es, que se utilizan para prevenir, destruir o controlar la maleza.

Por otro lado, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) dentro de su Glosario de Términos Estadísticos indica que un herbicida es *“una sustancia utilizada para controlar las malas hierbas o el crecimiento de pasto o plantas indeseables”* (OCDE, 2001).

Con relación a la definición anterior, ésta es más específica sobre el objetivo del uso de los herbicidas, sin embargo, al igual que la primera definición excluye el empleo de estos compuestos sobre la maleza acuática.

En relación a dicho concepto la EPA enmarca a los herbicidas como *“productos químicos utilizados para manipular o controlar la vegetación indeseable [...] se aplican antes o durante la siembra para maximizar la productividad del cultivo al minimizar la vegetación. Los herbicidas se aplican a cuerpos de agua para controlar las malezas acuáticas que impiden la toma para riego o interfieren con los usos recreativos e industriales del agua”* (EPA, 2016b).

La definición anterior brinda una descripción más amplia del significado de un herbicida, al integrar el momento de aplicación, así como un objetivo para el uso de estos compuestos. Así mismo enfatiza la aplicación de los herbicidas en cuerpos de agua.

### 1.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS HERBICIDAS

Existen muchos compuestos registrados como herbicidas que se pueden clasificar de diversas formas incluyendo el método de uso y momento de aplicación (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Clasificación de herbicidas por su método de uso y momento de aplicación.**

Clasificación	Descripción
<b>Método de uso</b>	<i>Contacto</i> : se aplican al follaje y afectan solamente la parte tratada.
	<i>Sistémicos</i> : se trasladan del punto de aplicación a otros lugares de la planta.
<b>Momento de aplicación</b>	<i>Pre-plantación</i> : se refiere a herbicidas activos en el suelo, aplicados antes de la plantación del cultivo y de la emergencia de las malezas.
	<i>Pre-emergencia</i> : se emplea después de la siembra, antes de que emerja la maleza y el cultivo. Requieren de riego o precipitación pluvial para su incorporación en el suelo.
	<i>Post-emergencia</i> : se utilizan después que el cultivo y (generalmente) las malezas han emergido, pero en cultivos trasplantados puede aplicarse antes de la emergencia de las malezas.

Fuente: Elaboración propia con datos de Arias *et al.*, 2008; Labrada *et al.*, 1996; Rosales y Sánchez, 2006.

Otros criterios de clasificación de los herbicidas se relacionan con su estructura química y según su mecanismo de acción (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Clasificación de herbicidas por su estructura química y modo de acción.**

Grupo	Modo de acción	Estructura química	Principio activo
A	Inhibición del acetil coenzima carboxilasa (ACCase)	Aryloxfenoxipropionatos	clodinafop-propargil, butil-cihalofop, metil-diclofop, etil-p-fenoxaprop
		Ciclohexanodionas	clatodim, cloxidim, tralkoxidim
		Sulfanilureas	amidosulfuron, azimsulfuron, metil-bensulfuron, clorsulfuron
B	Inhibición de la acetolactato sintetasa (ALS)	Imidazolinonas	metil-imazametabenz, imazamox, imazaquin
		Triazolpirimidinas	metil-cloransulam, diclosulam, flumetsulam, metosulam
		Pirimidinil, tiobenzoatos	bispiribac, piribenzoxim, perithiobac-na, metil-priminobac
		Triazinas	ametrina, atrazina, cianazina, desmetrina, prometrina
C	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Triazonas	hexazinona, metamitrona, metribuzina
		Uracilos	ienacilo, terbacilo
		Piridazinona	pirazona = cloridazona
		Fenil-carbamatos	desmedifam, fenmedifam
D	Desviación del flujo electrónico en el fotosistema	Bipiridilos	dicuat, paracuat
E	Inhibición de la protoporfirinógeno oxidasa (PPO)	Difeniléteres	acifluorfen, aclonifen, bifenox, etil-fluoroglicofen, fomesafen, oxifluorfen
		N-fenil-italimidias	flumioxazin
		Tiadiazoles	tiazimidina
		Oxadiazol	oxadiazon
		Triazolinona	carfentrazona, sufentrazona
F1	Decoloración: inhibición de la síntesis de los carotenoides a nivel de la fitoeno desaturasa (PDS)	Nicotiananlida	diflufenican
		Otros	fluridona, flurocloridona, flurtamone



Grupo	Modo de acción	Estructura química	Principio activo
F2	Decoloración: inhibición de la 4- hidroxifenil-piruvato-dioxigenasa (4-HPPD)	Triketona	sulcotriona
		Isoxazol	Isoxaflutol
		Pirazol	pirazolinato, pirazoxifen
F3	Decoloración: inhibición de la síntesis de los carotenoides (punto desconocido)	Isoxazolidiona	clomazona
		Urea	fluometuron
		Triazol	amitrol
G	Inhibición de la EPSP sintetasa	Glicinas	flosato, sulfosato
H	Inhibición de la glutamino sintetasa	Ácido fosfórico	flufosinato-amonio, bialafos = bilanafos
I	Inhibición del dihidropteroatosintetasa	Carbamatos	asulam
K1	Inhibición de la unión de los microtúbulos en la mitosis	Dinitroanilinas	benefin=benfluralina, etalfluralina, pendimetalina
		Fosforoamidatos	amiprofos metil
		Piridazdina	ditiopir, tiazopir
		Acido benzoico	DCPA = clortal
K2	Inhibición de la mitosis	Carbamatos	clorprofam
		Cloroacetamidas	acetacloro, atacloro, butacloro
K3	Inhibición de la división celular.	Carbamato	carbetamida
		Acetamida	napropamida
		Benzamida	propizamida = pronamida
		Benzonitrilos	diclobenil, clortiamida
L	Inhibición de la síntesis de la pared celular (celulosa)	Benzamida	isoxaben
		Tiocarbamatos	molinato, prosulfocarb, tiobencarb=benticarb, trialato
N	Inhibición de la síntesis de los lípidos (no ACCasa)	Benzofurano	etofumesato
		Ácidos fenoxicarboxílicos	2,4-D, 2,4-DB, diclorprop, 2,4-DP, MCPA
		Ácido benzoico	dicamba
		Ácidos picolinico	clopiralida, fluroxipir, picloram
O	Auxinas sintéticas (como la acción del ácido indolacético AIA)	Ácidos quinolin carboxílicos	quinclorac, quinmerac
		Ftalamato diflufenzopir	naptalam
P	Inhibición del AIA	Ftalamato diflufenzopir	naptalam

Fuente: Modificada de Nikoloff, 2013.

### 1.3.2. USO DE HERBICIDAS EN MÉXICO

En el documento titulado la “Situación en México de las existencias de plaguicidas sujetos al Convenio de Estocolmo” la autora Cristina Cortinas de Nava describe las zonas o estados con mayor uso de plaguicidas en el país durante el año 2000; en orden descendente éstos fueron: Sinaloa, Chiapas, Veracruz, Jalisco-Nayarit-Colima, Sonora-Baja California, Tamaulipas, Michoacán, Tabasco, estado de México, y Puebla-Oaxaca; alrededor de 70% de los plaguicidas se consumieron en las primeras seis entidades (Cortinas de Nava, 2008).

Albert reportó que los plaguicidas de mayor uso en México fueron los herbicidas, seguidos de insecticidas y fungicidas, aunque esto varió según el cultivo. Los herbicidas ocuparon los lugares uno, dos, cuatro y siete de los nueve plaguicidas de mayor venta en el país; entre ellos, destacaban el paraquat y glifosato (Albert, 2005).

Por otro lado, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) reporta que en el año 2007 a nivel nacional se aplicaron herbicidas a 18.5% de la superficie agrícola, así mismo, Tlaxcala, Morelos, Guanajuato, Baja California y Jalisco fueron las entidades que más usaron esta tecnología. El estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, se ubicó por debajo de las diez principales entidades con mayor empleo de herbicidas para el manejo de los cultivos con 12.8 %, dato inferior al nacional en 5.7 puntos porcentuales (INEGI, 2013).

Por su parte, en un estudio realizado por Carrillo (2016) en la zona de la Subcuenca del Río Tecolutla correspondiente al estado de Veracruz, en el año 2015 se encontró que los principales herbicidas utilizados en el municipio de Papantla son el 2,4-D con glifosato en mezcla, seguido por el glifosato, el 2,4-D, paraquat (aplicados de forma independiente) y el 2,4-D con picloram en mezcla tanto en cultivos de cítricos y como de maíz.

### 1.3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS HERBICIDAS 2,4-DICLOROFENOXIACÉTICO, GLIFOSATO Y PICLORAM

#### 1.3.3.1. **Ácido 2,4-diclorofenoxiacético**

##### Características generales

El ácido 2,4-diclorofenoxiacético, 2,4-D, es un herbicida sistémico ampliamente utilizado en pre y post emergencia, se clasifica dentro del grupo de los fenoxiacéticos o clorofenoxi (Liu *et al.*, 2012). Su función principal es imitar a la hormona natural auxina causando el crecimiento incontrolado y desorganizado de la planta provocándole la muerte (Ruiz de Arcaute *et al.*, 2016)

Este herbicida fue desarrollado por primera vez durante la Segunda Guerra Mundial y se hizo famoso como un componente del Agente Naranja usado durante la Guerra de Vietnam (Tayeb *et al.*, 2011; Tu *et al.*, 2001). El 2,4-D es considerado uno de los primeros herbicidas selectivos al controlar la maleza de hoja ancha, anual y perenne, incluyendo las adyacentes al agua, así como la maleza acuática de hoja ancha (González *et al.*, 2012).

##### Propiedades fisicoquímicas

En su forma pura el 2,4-D es un polvo blanco a amarillo pálido a temperatura ambiente, caracterizado por una baja presión de vapor y solubilidad en agua moderada lo que le confiere una baja volatilidad y lo hace adecuado para su uso en malezas acuáticas. Las

principales propiedades físicas y químicas del herbicida en su forma ácida se resumen en el Cuadro 5.

El 2,4-D tiende a permanecer inmóvil en el suelo, diversos autores reportan que la vida media de este herbicida oscila entre 4 a 7 días en la mayoría de los tipos de suelo y puede permanecer hasta 6 semanas en suelos ácidos. Con excepción de las formulaciones de ésteres altamente volátiles, la pequeña cantidad de 2,4-D que se volatiliza en el aire está sujeta a fotooxidación con una vida media estimada de 1 día. En ambientes acuáticos los residuos se disipan rápidamente en aguas en movimiento, la vida media va de una a varias semanas bajo condiciones aerobias y puede exceder los 312 días en condiciones anaeróbicas (Harikrishan y Usha, 2007; OMS, 2003; Peterson *et al.*, 2016; Tayeb *et al.*, 2011; Walters, 1999).

#### Toxicidad

Los herbicidas fenoxiacéticos, grupo al que pertenece el 2,4-D, son altamente tóxicos, algunos metabolitos clorados derivados de su degradación son especialmente tóxicos para los organismos acuáticos y para humanos. Puede causar daño a hígado, riñones y glándulas suprarrenales, así como al sistema nervioso (Pirsaheb *et al.*, 2013).

De acuerdo a la clasificación de la OMS el 2,4-D se ubicaba dentro de la Categoría 4: “nocivo si se ingiere” con un valor LD<sub>50</sub> (oral, rata) de 375 mg/kg (OMS, 2010). Aunque es moderadamente tóxico, se considera altamente tóxico cuando entra en contacto con la piel y los ojos en trabajadores agrícolas (Harikrishan y Usha, 2007). Además, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) lo ubica dentro del Grupo 2B como un agente posiblemente carcinógeno para los humanos (IARC, 2016a).

#### Ecotoxicidad

Ciertas formulaciones de 2,4-D son tóxicas para los peces e invertebrados. De acuerdo a lo reportado es genotóxico y también citotóxico para el pez neotropical *Cnesterodon decemmaculatus*, ya que causa rupturas del ADN (Ruiz de Arcaute *et al.*, 2016). Los datos de los estudios de laboratorio indican que el riesgo para los microorganismos en suelo por el uso de 2,4-D se da en concentraciones entre 7.5 a 18.75 kg de 2,4-D/ha, que son más altas que los índices máximos de aplicación recomendada. (FAO y OMS, 1998; Poll *et al.*, 2010).

Este herbicida tiene toxicidad aguda para las lombrices de tierra (el 2,4-diclorofenol, producto de la descomposición del 2,4-D, es 15 veces más tóxico para las lombrices que el propio 2,4-D) y daña a insectos benéficos como las abejas y los insectos depredadores. Cuando se alimentó a abejas melíferas con dosis moderadas de 2,4-D, se redujo gravemente la producción de camadas; sin embargo, a niveles menores de exposición, vivieron significativamente más que los controles. La LD<sub>50</sub> de la abeja melífera es 11.5 microgramos/abeja (Extension Toxicology Network, 2008; Tu *et al.*, 2001).

Se han realizado estudios sobre aves y sus huevos a dosis mayores de las que se podrían esperar en campo. Los valores de LD<sub>50</sub> oral aguda y de la dieta a corto plazo indican una baja toxicidad del 2,4-D para las aves, los valores de LD<sub>50</sub> oscilan entre 472 mg/kg para la exposición oral aguda en faisanes, a 668 mg/kg en palomas y codornices japonesas, a más de 1 000 mg/kg en los patos silvestres (OMS, 1989; Tomlin, 2006).

### **1.3.3.2. Glifosato**

#### Características generales

El glifosato (N-(fosfometil) glicina) es un herbicida no selectivo, sistémico de aplicación postemergente y acción foliar. Su mecanismo de acción consiste en la inhibición de la ruta de biosíntesis del ácido shikímico lo que conduce a trastornos metabólicos generales en las plantas (Struger *et al.*, 2008; Vera, 2011). Puede utilizarse para eliminar la vegetación de varias plantaciones y huertos frutales, así como árboles de hoja caduca, arbustos y vegetación de bosques de coníferas (CCME, 2012; Tu *et al.*, 2001).

El glifosato es el agroquímico más vendido y de mayor crecimiento en el mundo, debido su sistematicidad y habilidad para controlar malezas perennes (Bakry *et al.*, 2015; Baylis, 2000). En 1970, se descubrió la actividad como herbicida del glifosato, pero fue comercializado por primera vez en 1974 por Monsanto. La patente expiró en el año 2000, a partir de entonces, la producción se expandió a otros grandes fabricantes de productos alimenticios en los Estados Unidos, Europa, Australia y otros lugares (Annett *et al.*, 2014; López *et al.*, 2012; Székács y Darvas, 2012).

### Propiedades fisicoquímicas

Respecto a la degradación del glifosato, este tiende a descomponerse con rapidez. Su principal producto de degradación en suelo, agua y en plantas es el ácido aminometilfosfónico (AMPA), cuya adsorción es mayor en suelos, partículas y sedimentos que el glifosato (Islas, 2013; Struger *et al.*, 2008).

En su forma pura el glifosato es un sólido cristalino incoloro e inodoro, en el Cuadro 5 se presenta la información sobre las propiedades físicas y químicas del glifosato en su forma ácida, así como la del AMPA (IARC, 2016b).

Una vez que el glifosato entra en contacto con el suelo, se une rápidamente a las partículas del suelo haciéndolo esencialmente inmóvil, la vida media de este herbicida en el suelo oscila entre 2 a 197 días con una media de 47 días. Los residuos adsorbidos en las partículas en suspensión se precipitan en los sedimentos del fondo donde pueden persistir entre 12 días y 10 semanas, en agua varía de dos días a 91 días. Por otra parte, se ha observado que el glifosato es estable en el aire (NLM, 2014; NPIC, 2014; OMS, 2004).

### Toxicidad

Se ha reportado que el glifosato puro es bajo en toxicidad, pero algunos productos comerciales que lo contienen pueden aumentar su toxicidad debido a otras sustancias en ellos. En el año 2015, la IARC cambió la clasificación del glifosato de *probablemente cancerígenos para los seres humanos* (Grupo C) a *probablemente cancerígenos para los seres humanos* (Grupo 2A), el cambio se basó en evidencia dada por estudios de exposición en humano, en su mayoría agricultores, en Estados Unidos, Canadá y Suecia, publicados desde 2001. Se considera que el AMPA no tiene mayor preocupación toxicológica que la del propio glifosato (IARC, 2015; Stella y Ryan, 2004; Struger *et al.*, 2008).

Asimismo, la ingestión, inhalación y exposición cutánea a los productos que contienen glifosato como las soluciones concentradas pueden causar aumento de saliva, quemaduras en la boca y garganta, náuseas, vómitos y diarrea. Por otra parte, varios estudios mostraron sus posibles efectos adversos para la salud de los seres humanos, ya que puede ser un disruptor endocrino, consigue alterar la estructura del ADN, su fórmula comercial Roundup

puede provocar toxicidad *in vivo* en células humanas, así como la muerte celular en el hígado (Gasnier *et al.*, 2010; Monroy *et al.*, 2005; NPIC, 2014; Richard *et al.*, 2005).

La toxicidad aguda reportada LD<sub>50</sub> (oral, rata) de 5 600 mg/kg y 1 760 mg/kg; por inhalación tiene un valor de 48 mg/L (ratas), dérmico (ratas):2 000 mg/kg; dérmico (conejos):>5000 mg/kg (UNA, 2015a).

#### Ecotoxicidad

Los animales expuestos a herbicidas formulados con glifosato han mostrado anorexia, letargia, hipersalivación, vómitos y diarrea. Se registró que los síntomas persistieron durante 2 a 24 horas después de la exposición. Se cree que los tensoactivos en los productos formulados son responsables de los signos clínicos (Welch, 2004).

El glifosato presenta una toxicidad relativamente baja para los organismos marinos no objetivo, se reportó un LC<sub>50</sub> del glifosato entre el intervalo de 10-1 000 mg L<sup>-1</sup> (Mercurio *et al.*, 2014). Por otra parte, la exposición del caracol *Bulinus truncatus* a una concentración de 6.2 ppm (LC<sub>25</sub>) al herbicida glifosato afectó diversos mecanismos fisiológicos; los efectos tóxicos del herbicida no se neutralizaron completamente, y hubo evidencia de desnaturalización, alteración de las actividades metabólicas celulares y deterioro en la transmisión neural (Bakry *et al.*, 2015).

#### **1.3.3.3. Picloram**

##### Características generales

El picloram (ácido amino-3,5,6-tricloropiridina-2-carboxílico) es un herbicida sistémico utilizado para controlar maleza herbácea y las plantas leñosas, se aplica en mayor cantidad a pastos y pastizales, seguido de silvicultura (WSDOT, 2006). Tiene una actividad auxínica capaz de actuar sobre los mecanismos que regulan el crecimiento vegetativo de las plantas (Collins *et al.*, 1978).

En 1994, el picloram se registró por primera vez como plaguicida en los Estados Unidos; sin embargo, la EPA lo clasificó como un plaguicida de Uso Restringido en 1978 derivado de los resultados de reportes recurrentes de fitotoxicidad a cultivos económicamente importantes causados por la contaminación del suministro de agua (EPA, 1995).

### Propiedades fisicoquímicas

En su forma ácida tiene una estructura cristalina incolora, también se encuentra como un polvo blanco, el picloram presenta un leve olor característico (FAO, 2012b). En el Cuadro 5 se muestra la información sobre las propiedades físicas y químicas en su forma ácida. El picloram ácido se utiliza solamente para fabricar las dos sales de picloram que se encuentran en las formulaciones comerciales.

El picloram no se une fuertemente con las partículas del suelo y tampoco se degrada rápidamente en el ambiente, lo que le permite ser muy móvil y persistente, su vida media en suelo varía de 20 a 300 días con un tiempo promedio de 90 días. Este herbicida no se descompone muy bien en agua, propiedad asociada con la persistencia a largo plazo si el producto químico llega al agua subterránea, la vida media en agua oscila entre 2 a 3 días. El picloram no se volatiliza fácilmente cuando se aplica en el campo (EPA, 1995; Tu *et al.*, 2001; WSDOT, 2006).

### Toxicidad

Acorde a la IARC el picloram se clasifica dentro del Grupo 3 "no puede ser clasificado respecto a su carcinogenicidad para el ser humano" y las OMS lo ubica en la Categoría 3 (IARC, 2015).

De acuerdo a estudios realizados en animales se reporta una toxicidad aguda baja para las tres formas de picloram. Se ha encontrado que provoca efectos subcrónicos en el hígado, el riñón, el bazo y la piel. Respecto a la exposición cutánea se observó que el contacto inicial de la piel puede causar una reacción más grave a las exposiciones posteriores. En un ensayo acerca de las propiedades carcinogénicas de formulaciones comerciales del picloram no se observó ningún aumento en la incidencia de tumores en ratones (Cox, 1998; EPA, 1995; Fairchild *et al.*, 2009).

El hígado es el órgano blanco principal para la toxicidad de picloram durante la administración crónica (Reidy *et al.*, 1987). Por otra parte, los datos disponibles sobre los efectos genéticos o neurológicos relacionados al picloram en humanos son escasos. Oakes *et al.* (2002) reportaron que la exposición crónica a Tordon 75D®, herbicida compuesto por 2,4-D y picloram, causa toxicidad testicular en ratas, sin embargo, informaron que es improbable que dicha formulación de herbicida afecte la función testicular en humanos

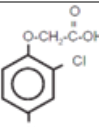
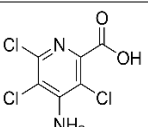
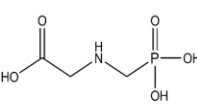
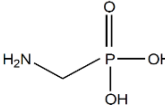
expuestos ocupacionalmente. Asimismo, Reddy *et al.* (2011) encontraron disminución de ramificaciones neuronales y redes, así como degeneración neuronal en neuronas del hipocampo de ratón tratados con picloram.

El picloram es considerado de ligeramente a prácticamente no tóxico por ingestión con un LD<sub>50</sub> para diversos mamíferos de 5 000 a 8 200 (mg/kg), en rata 2 000 a 4 000 mg/kg y en ratón 2 000 mg/kg. La LD<sub>50</sub> reportadas para inhalación (ratas): >0.035 mg/L; dérmico (ratas): 2 000 mg/kg; dérmico (conejos): >2 000 mg/kg (NPIC, 1996; UNA, 2015b; Universidad de Hertfordshire, 2017).

### Ecotoxicidad

El picloram y sus derivados son prácticamente no tóxicos para las aves, los mamíferos y las abejas melíferas sobre una base oral aguda. El ácido de picloram y la sal son moderadamente tóxicos para los peces de agua dulce y ligeramente tóxicos para los invertebrados de agua dulce. La LD<sub>50</sub> oral aguda es superior a 2 000 a 5 000 mg/kg en patos, faisanes y codornices, sin mortalidad incluso en los niveles más altos (Cox, 1998; OMS, 1997).

**Cuadro 5. Propiedades físicas y químicas del 2,4-D, picloram, glifosato y AMPA**

Nombre común	2,4-D	Picloram	Glifosato	AMPA
Formula molecular	C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> NO <sub>5</sub> P	CH <sub>6</sub> NO <sub>3</sub> P
Estructura molecular				
No. CAS	94-75-7	1918-02-1	1071-83-6	1066-51-9
Peso molecular (g/mol)	221	241.452	169.1	111.04
Punto de fusión (°C)	140.5	218	200	120
Punto de ebullición (°C)	160	420.5 °C	Se descompone	
Presión de vapor (Pa a 20 °C)	1.1 x 10 <sup>-2</sup>	6.16 x 10 <sup>-7</sup>	<10 <sup>-5</sup>	
Coefficiente de partición octanol-agua (K <sub>ow</sub> )	9.15x10 <sup>-2</sup> - 6.74 x10 <sup>-2</sup>	1.20 X 10 <sup>-2</sup>	-4.59 a -1.70	
Solubilidad en agua (mg/L a pH 1, 25 °C)	311	430	10 000-15 700	

Fuente: Elaboración propia con datos de Annett *et al.*, 2014; FAO, 2012b; Harikrishan y Usha, 2007; OMS, 2004; Tayeb *et al.*, 2010.

## 1.4. REGIONES HIDROLÓGICAS PRIORITARIAS EN MÉXICO

Las regiones hidrológicas forman parte de la compleja y vasta biodiversidad con la que México cuenta, la conservación de la biodiversidad es una prioridad ante la crisis ambiental (cambio de uso del suelo, deforestación, degradación ambiental entre otros factores) que se enfrenta en el país.



La Ley de Aguas Nacionales describe en el Título Primero, Artículo XVI a las regiones hidrológicas como el “*área territorial conformada en función de sus características morfológicas, orográficas e hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos*” (Congreso de la Unión, 1992).

Dentro del mismo documento se describe a una cuenca hidrológica como “*la unidad territorio normalmente delimitada por un parte aguas o divisoria de las aguas, en donde se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior*”. En ella se comprende todas las vertientes de captación del agua y todos los tributarios del río principal con sus respectivas subcuencas.

Asimismo, una subcuencas está constituida por varios ríos tributarios que van a dar a un cauce principal, formando una unidad territorial de menor superficie que la cuenca, y éstas últimas están integradas por microcuencas (CONAGUA, 2012).

En 1998, se realizaron dos talleres en los que participaron 48 especialistas, provenientes de 38 instituciones; con el fin de dar inicio al Programa de Regiones Hidrológicas Prioritarias para obtener un diagnóstico de las principales subcuencas y sistemas acuáticos del país considerando las características de biodiversidad y los patrones sociales y económicos de las áreas identificadas, estableciendo así un marco de referencia que pueda ser considerado por los diferentes sectores para el desarrollo de planes de investigación, conservación uso y manejo sustentable (Arriaga, 2000).

Se enlistaron 110 Regiones Hidrológicas Prioritarias de acuerdo con su estatus de áreas de alta biodiversidad, áreas de uso por los diferentes sectores, áreas que presentan algún tipo de amenaza y áreas de desconocimiento científico. La Subcuenca Río Tecolutla se encuentra en la posición número 77, dado que corresponde a una región de alta biodiversidad; también es una región donde las principales actividades económicas se relacionan con la contaminación y modificación del entorno; al igual presenta flora y fauna amenazadas.

## 1.5. ESTUDIOS PREVIOS

En el Cuadro 6 se muestra algunos de los estudios relacionados con la determinación de concentraciones de herbicidas en las matrices ambientales de suelo y agua en zonas de cuencas hidrológicas, así como el método de cuantificación e identificación analítica de los herbicidas 2,4-D, glifosato y picloram en diversas matrices ambientales.

**Cuadro 6. Técnicas de extracción, limpieza y detección de herbicidas en muestras ambientales.**

Lugar y periodo de estudio	Matriz ambiental (número de muestras)	Plaguicida analizado	Método de preparación / Extracción	Limpieza/ Concentración de la muestra	Solventes utilizados	Detección analítica	LOD	Concentración máxima (µg/L, µg/kg, ppb)	Fuente
							LOQ (µg/L, µg/kg, ppb)		
Cuenca del Río Traiguén 2001-2003	Agua (21)	2,4-D Picloram Simazina Hexazinona Carbendazim	SPE	Evaporación N <sub>2</sub>	ACN: Metanol (4:1) a pH 2	HPLC	0.1 -	9.7	Palma <i>et al.</i> , 2004
Guasave, Sinaloa Dic-2007, Oct-2008	Agua (30) Sedimentos (5)	2,4-D Atrazina Organoclorados (12*)	EPA-515.4	Evaporación al vacío	Hexano: MTBE (9:1) a pH 2	HPLC	1.32 -	Agua y Sedimento < 1.32	Hernández y Hansen, 2011
Soconusco, Chiapas Feb-Jul, 2013	Agua (23)	Glifosato		Filtración		ELISA PN 500084	0.05 0.13	0.71	Ruiz <i>et al.</i> , 2014
Cuenca del Río Quequén Grande, Argentina Jun-2012 a Ene-2013	Agua Sedimentos Suelo (21)	Glifosato	LSE/ KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Sonicación, Centrifugación y Filtración	FMOC-CL en ACN a pH 9	LC- MS/MS	Agua: 0.05 Sedimentos y suelo: 1.0 Agua: 0.2	Agua: 0.2 Sedimentos: 14; Suelo: 0.37	Lupi <i>et al.</i> , 2015
Cuenca del Lago Vistonis, Grecia Oct, May-2010 Oct-2011 Abr-2012	Agua (136)	Plaguicidas (302*) 2,4-D	LSE	Filtración/ Evaporación	Metanol, hexano, acetato de etilo	LC- MS/MS	- 0.01-0.1	0.752	Papadakis <i>et al.</i> , 2015
Subcuenca Río Tecolutla, May, Jun, Oct, Nov-2015	Agua (24) Suelo (24)	2,4-D Picloram Glifosato	SPE	Filtración, Centrifugación	FMOC-CL en ACN a pH 11 Metanol/MT BE (9:1)	HPLC	<b>Agua</b> 2,4-D: 1 Picloram: 0.08 Glifosato:20 <b>Suelo</b> 2,4-D: 100 Picloram: 6 Glifosato:1 200	<b>Agua</b> 2,4-D: 4.11 Picloram: 0.59 Glifosato: <20 <b>Suelo</b> 2,4-D: 111.82 Picloram: 98.41 Glifosato:2 592.2	Morales, 2016

\*Total de plaguicidas analizados; LOD: límite de detección; LOQ: límite de cuantificación; SPE: extracción en fase sólida; EPA: Agencia de Protección Ambiental; LSE: extracción líquido sólido; ACN: acetonitrilo; FMOC-CL: 9-fluorenilmetil-cloroformiato; MTBE: Metil terbutil éter; HPLC: cromatografía líquida de alta eficacia; MS: espectrometría de masa; LC: cromatografía líquida

**Fuente: Elaboración propia.**

## 2. Justificación

Las cuencas hidrológicas, comprendidas por sus respectivas subcuencas, integran un sistema compuesto por subsistemas económicos, sociales, culturales y biofísicos que interactúan entre sí. Por lo anterior, las cuencas brindan diversos servicios a la sociedad, que se refleja en relaciones complejas entre los cuerpos de agua, el suelo, las plantas y factores geológicos con la intervención del hombre.

Diversos autores e instituciones han evidenciado el impacto y daño a las cuencas hidrológicas, no solo a nivel mundial sino en el país, por el uso de agroquímicos, en particular por plaguicidas. Se ha registrado contaminación por formulaciones como insecticidas, fungicidas, herbicidas y nematocidas, lo que representa un riesgo a la biodiversidad, además de un peligro para la población humana.

El problema de la presencia de plaguicidas en el ambiente ha causado gran preocupación a nivel mundial; en particular el uso extensivo en la agricultura de los herbicidas 2,4-D, glifosato y picloram debido a que se tiene conocimiento que su uso ha derivado en diferentes grados de contaminación en los suelos de cultivo y en cuerpos de agua relacionados, así como en productos alimenticios incluyendo frutas y verduras (Bakry *et al.*, 2015; Golge y Kabak, 2015; Pérez *et al.*, 2013; Tadeo *et al.*, 2000).

Por lo tanto, Subcuenca Río Tecolutla constituye una unidad adecuada para el estudio ambiental y social del uso de herbicidas y sus concentraciones en las diversas matrices ambientales, dado que sus límites fisiográficos se mantienen en un tiempo mayor a otras unidades de análisis, además involucra una serie de factores y elementos tanto espaciales como sociales, que permiten una comprensión integral de la realidad del territorio. Aunado a que se encuentra enlistada dentro de la Regiones Hidrológicas Prioritarias por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

### 3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las concentraciones de los herbicidas de mayor uso agrícola (2,4-D, glifosato y picloram) en las matrices ambientales: suelos de cultivo y cuerpos de agua superficiales en la parte baja de la Subcuenca Río Tecolutla, en el área correspondiente al municipio de Papantla, Veracruz?

### 4. OBJETIVOS

#### 4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la presencia de los herbicidas de mayor uso agrícola (2,4-D, glifosato y picloram) en las matrices ambientales: suelos de cultivo y cuerpos de agua superficiales en la parte baja de la Subcuenca Río Tecolutla en el área correspondiente al municipio de Papantla, Veracruz.

#### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de los herbicidas de mayor uso agrícola por métodos analíticos en muestras de suelos de cultivo en la zona de estudio.
- Determinar la concentración de los herbicidas de mayor uso agrícola por métodos analíticos en muestras de cuerpos de agua superficiales en la zona de estudio.
- Describir las características del manejo de los herbicidas de mayor uso agrícola, así como las prácticas agrícolas en la zona de estudio.
- Desarrollar un folleto informativo acerca de las Buenas Prácticas Agrícolas con base en los resultados del cuestionario.

### 5. HIPÓTESIS

El ejercicio de las principales actividades económicas: agricultura y ganadería; aunado a las prácticas agrícolas desarrolladas por los agricultores en la parte baja de la Subcuenca Río Tecolutla, específicamente en el área correspondiente al municipio de Papantla, conlleva a la presencia de concentraciones residuales de los herbicidas de mayor uso agrícola (2,4-D, glifosato y picloram) y de sus productos de degradación en suelos de cultivo y cuerpos de agua superficiales.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. ZONA DE ESTUDIO

La región estudiada está ubicada dentro del municipio de Papantla al norte del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Tiene una superficie de 753.15 km<sup>2</sup>, lo que representa 53% del total de la superficie del municipio. La región colinda al este con el municipio de Espinal, al norte con diversas localidades de Papantla, al oeste con los municipios de Gutiérrez Zamora y Tecolutla y al sur con el estado de Puebla, como se encuentra representado en la Figura 1.

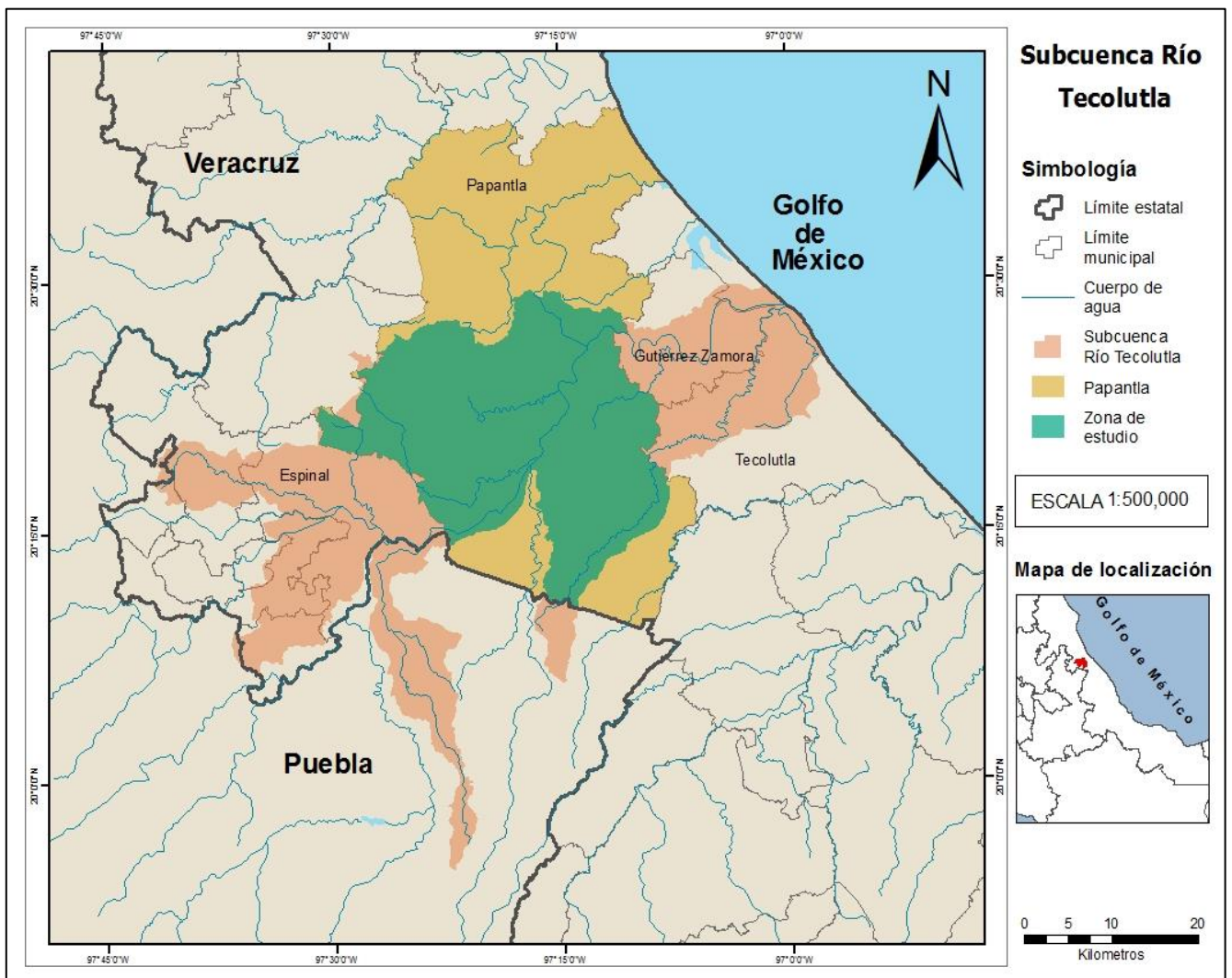


Figura 1. Representación geográfica de la Subcuenca Río Tecolutla y la zona de estudio.  
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI (2014).

### 6.1.1. HIDROGRAFÍA

La zona de estudio se sitúa en la parte baja de la Subcuenca Río Tecolutla. El Río Tecolutla es uno de los ríos más importantes de México, tanto por su interés hidrológico como por la extensión de su cuenca. La parte baja atraviesa la planicie costera del estado de Veracruz, hasta la desembocadura en el Golfo de México.

La Subcuenca forma parte de la Cuenca Río Tecolutla la cual pertenece a la Región Hidrológica (RH-27) Tuxpan-Nautla. La Región, en el estado de Veracruz, comprende a los municipios de Chumatlán, Coahuatlán, Coxquihui, Coyutla, Espinal, Filomeno Mata, Gutiérrez Zamora, Mecatlán, Papantla, Tecolutla y Zozocolco de Hidalgo (Gobierno del Estado de Veracruz, 2013; Pereyra *et al.*, 2010).

La Región es drenada por el Río Tecolutla y sus afluentes, principalmente. Su curso se encuentra al centro y cruza la zona estudiada con un caudal perenne y una orientación de suroeste-noreste. Dentro de la región se encuentran otros cuerpos de agua de caudal perenne; pero con un menor volumen disponible como los ríos Cazones, Tenixtepec, Tlahuanapa, Las Lajas, Colorado, Joloapan, Blanco, Chichicazapan, Zotusco, Cucharas y Solteros (CONAGUA, 2009; INEGI, 2009).

### 6.1.2. CLIMA

En esta región se identifican tres diferentes climas de acuerdo a la clasificación de CONABIO (Clasificación de Köppen, modificado por García, 2004): 1) cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media 2) cálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad y 3) cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (SEFIPLAN, 2015).

En las latitudes intertropicales donde se ubica la zona de estudio las temperaturas tienden a ser elevadas durante todo el año, en el municipio de Papantla la temperatura media anual más elevada es de 26°C y varía ligeramente a 24°C.

La variabilidad interanual de la precipitación total en general en toda la región, oscila entre los 1 100 hasta más de 1 600 mm (INEGI, 2009). Las precipitaciones pueden producirse todo el año; sin embargo, se reconocen tres estaciones climáticas fácilmente distinguibles que son la temporada de secas de marzo a junio, la temporada de lluvias de julio a octubre

y la temporada de nortes de noviembre a febrero, periodo durante el cual los vientos del este y los ciclones tropicales son particularmente activos (Toledo, 2005).

### 6.1.3. VEGETACIÓN

En la Cuenca Río Tecolutla se encuentran una gran variedad de comunidades vegetales; en particular, la vegetación en la parte baja de la Subcuenca está caracterizada por selva mediana subcaducifolia; sin embargo, en la región de estudio la biodiversidad es escasa a causa de que predominan las zonas agrícolas y los pastizales (Osuna *et al.*, 2015; Pérez, 2009).

Por otra parte, los datos que existen en el municipio de Papantla sobre la composición y tipos de vegetación de la región y las estadísticas acerca de la cobertura y uso del suelo son los siguientes: selva (9%), pastizal (31%), superficie destinada a la agricultura (57%) y zona urbana (2%) como se muestra en la Figura 2 (SEFIPLAN, 2015).

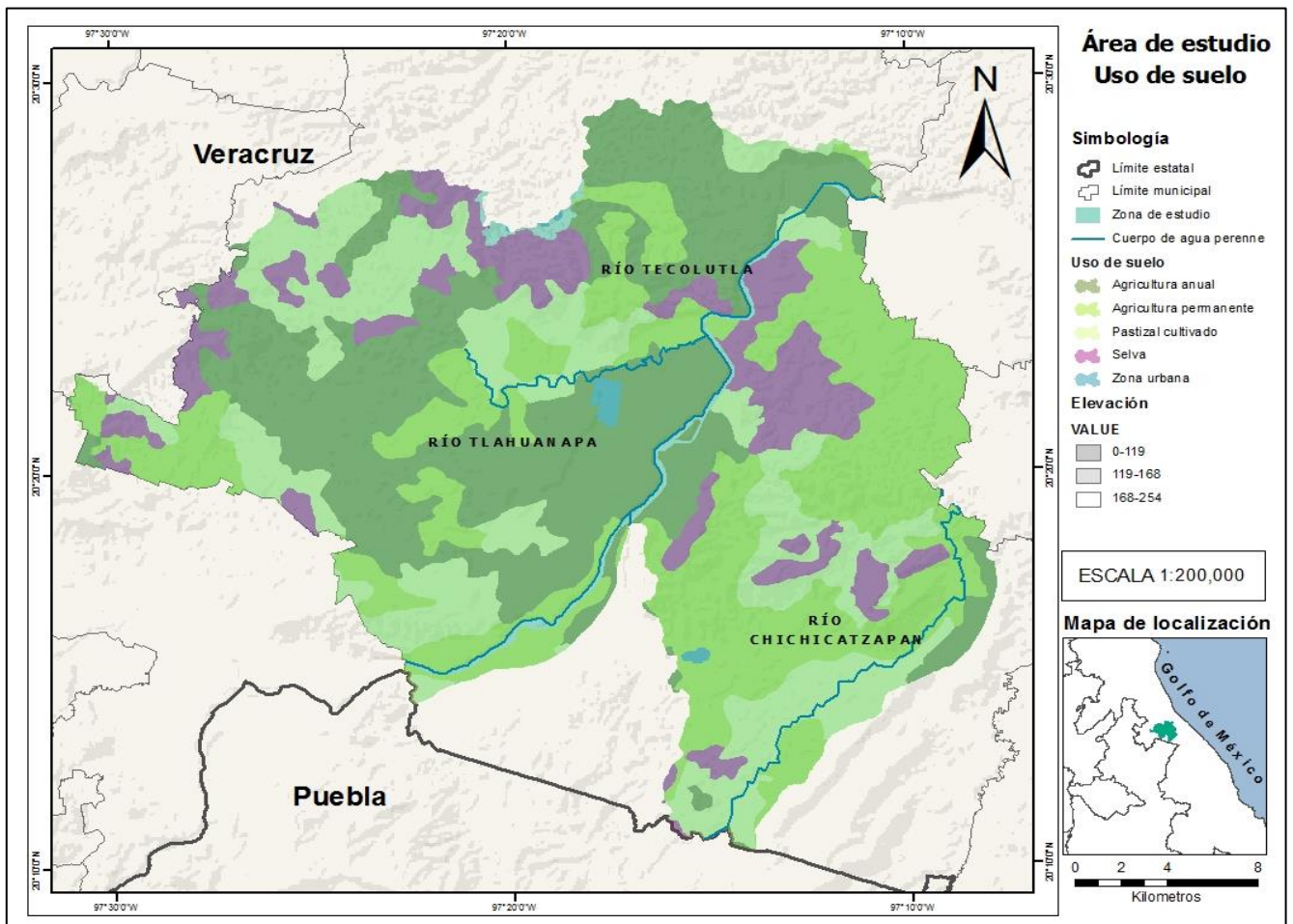


Figura 2. Representación geográfica del uso de suelo en la zona de estudio.  
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI (2014).



#### 6.1.4. ACTIVIDADES HUMANAS

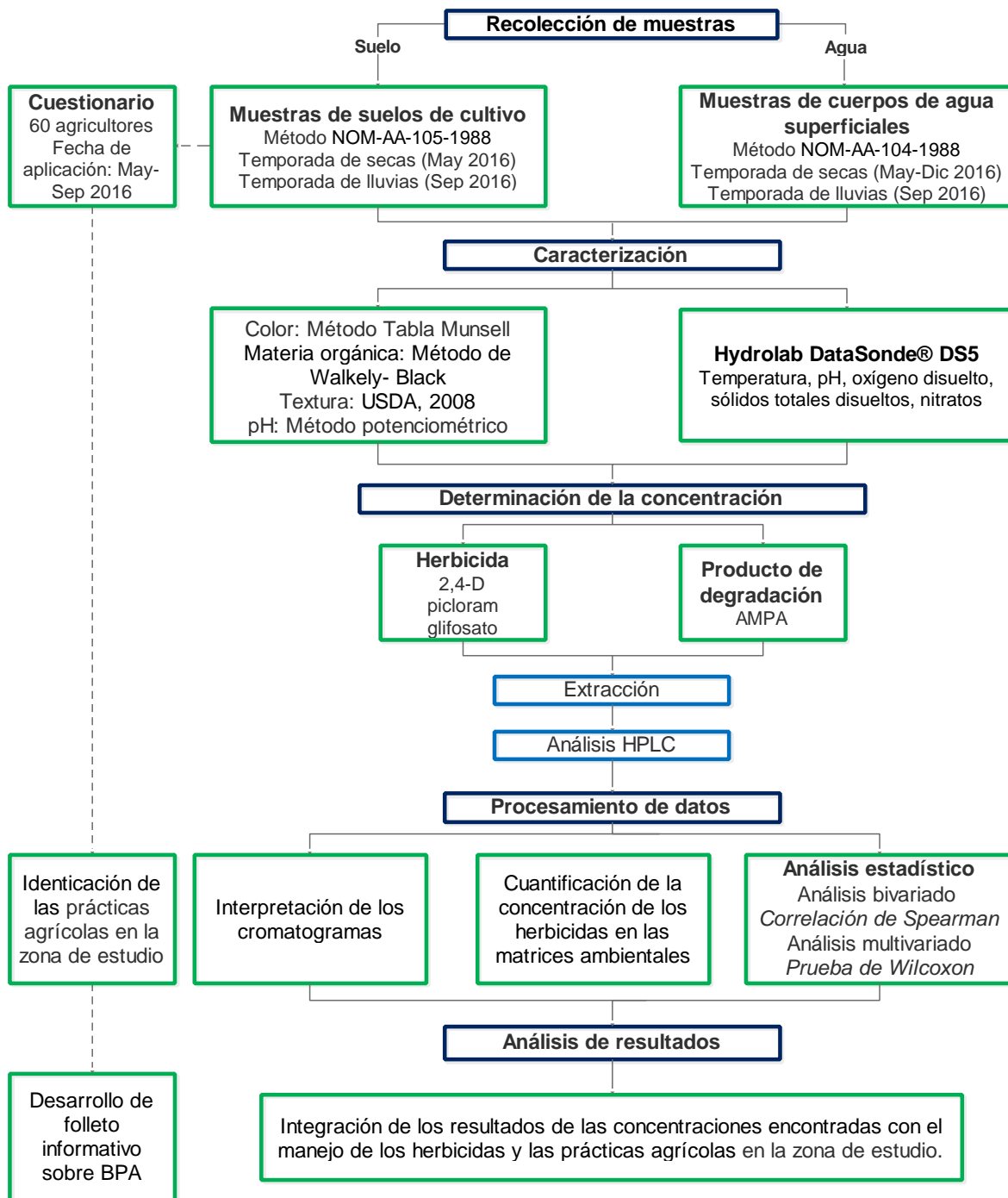
Dada las condiciones climáticas, la actividad agrícola en su gran mayoría se lleva a cabo bajo riego de temporal, la cual se realiza principalmente en áreas semiplanas y lomeríos. Durante el año 2013, se cultivaron 48,584 ha de la superficie total del municipio; el maíz fue el cultivo predominante, seguido por la naranja y el limón (SIAP, 2014).

La actividad ganadera reviste particular importancia ya que se ha estimado que el estado de Veracruz es el primer productor de carne y el quinto de leche respecto a la producción nacional. En el municipio de Papantla la producción ganadera se centra en primer lugar en el ganado bovino, seguido por el porcino y avícola con 85%, 10.7% y 3.6%, respectivamente (Martínez y Cruz, 2009; SEFIPLAN, 2015).

Otro sistema productivo es la actividad pesquera, esta se fundamenta en un aprovechamiento de carácter extractivo de diversas especies de peces, moluscos y crustáceos; explotadas principalmente sobre el Río Tecolutla (Rodríguez, 2010).

#### 6.2. DISEÑO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio descriptivo y transversal para cuantificar la concentración de los herbicidas en suelos y cuerpos de aguas; así como para identificar las prácticas agrícolas. Se llevaron a cabo las siguientes etapas (ver Figura 3): a) recolección de muestras y aplicación de los cuestionarios, b) caracterización, c) determinación de la concentración de los herbicidas y producto de degradación, d) procesamiento de datos y e) análisis de resultados.



**Figura 3. Metodología general de la investigación.**  
Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.1. CUESTIONARIO

Se entrevistaron 60 agricultores, propietarios de las parcelas o que laborarán en cultivos, dentro de la zona de estudio. La recopilación de información se realizó por un cuestionario dirigido mediante una entrevista personal, la participación de los individuos fue voluntaria.

El instrumento se aplicó en las parcelas y las viviendas de los agricultores durante el muestreo de suelo.

El contenido del cuestionario se basó en otros ya existentes (Carrillo, 2016; García *et al.*, 2002; Tabares y López, 2011; Villarroel *et al.*, 2014), fue diseñado para valorar el manejo de los herbicidas y las prácticas agrícolas, incluía información sobre las variables indicadas en el Cuadro 7; en el Cuadro 17, Anexo I se adjunta el formato del cuestionario.

**Cuadro 7. Descripción de las variables consideradas en el cuestionario aplicado a los agricultores.**

Ítem	Variable	Tipo	Descripción
1	Cultivo	Nominal	Ajonjolí: 1, Jícama: 2, Lichi: 3, Limón: 4, Maíz: 5, Mandarina: 6, Naranja: 7, Pastizal: 8, Plátano: 9, Sandía: 10, Vainilla: 11
2	Superficie sembrada	Escala	Hectáreas del área de cultivo
3	Meses de siembra	Ordinal	Enero: 1, febrero: 2, marzo: 3, abril: 4, mayo: 5, junio: 6, julio: 7, agosto: 8, septiembre: 9, octubre:10, noviembre: 11, diciembre: 12
4	Meses de cosecha	Nominal	Enero: 1, febrero: 2, marzo: 3, abril: 4, mayo: 5, junio: 6, julio: 7, agosto: 8, septiembre: 9, octubre:10, noviembre: 11, diciembre: 12, Cada mes: 13, Cada año:14
5	Edad del cultivo	Nominal	1 año; 1, 2 años: 2, 3 años: 3, 4 o más: 4
6	Tipo de cultivo	Nominal	Riego: 1, temporal: 2, humedad: 3
7	Fuente del agua de riego	Nominal	Lluvia: 1, río: 2, pozo: 3
8	Uso de herbicidas	Nominal	Si:1, No: 2
9	Herbicidas aplicados	Nominal	2,4-D: 1, diurón: 2, glifosato: 3, glufosinato de amonio: 4, nicosulfurón: 5, paraquat: 6, picloram: 7
10	Nombre comercial	Nominal	Nombre comercial de los herbicidas usados
11	Dosis	Escala	Dosis de los herbicidas usados
12	Mezcla	Nominal	Si:1, No: 2
13	Proporción de la mezcla	Escala	Dosis de los herbicidas usados en la mezcla
14	Meses de aplicación	Ordinal	Enero: 1, febrero: 2, marzo: 3, abril: 4, mayo: 5, junio: 6, julio: 7, agosto: 8, septiembre: 9, octubre:10, noviembre: 11, diciembre: 12
15	Tiempo de la última aplicación	Nominal	Días desde la última aplicación de herbicidas
16	Superficie de aplicación	Escala	Hectáreas del área de cultivo donde se aplicó herbicidas
17	Equipo de aplicación	Nominal	Mochila: 1, tractor: 2, otro: 3
18	Capacidad del equipo aplicación	Escala	Volumen del equipo de aplicación de los herbicidas
19	Participación del lavado del equipo de aplicación	Nominal	Si:1, No: 2
19	Lugar del lavado del equipo de aplicación	Nominal	Casa: 1, Cuerpo de agua: 2, No participa: 3, Parcela: 4
20	Destino de los envases vacíos	Nominal	Triple lavado: 1, almacena: 2, desecha: 3, quema: 4, reusa: 5, entierra: 6
20	Lugar del destino de los envases vacíos	Nominal	Basurero: 1, Casa: 2, Mezclar plaguicidas: 3, Parcela: 4, Transportar agua: 5
21	EPP utilizado al mezclar los herbicidas	Nominal	Guantes: 1, mascarilla: 2, ropa impermeable: 3, lentes: 4, botas: 5, ninguna: 6, pañuelo: 7
22	EPP utilizado durante la aplicación de los herbicidas	Nominal	Guantes: 1, mascarilla: 2, ropa impermeable: 3, lentes: 4, botas: 5, ninguna: 6, cubrebocas: 7
23	Participación del lavado del equipo de aplicación	Nominal	Si:1, No: 2
23	Lugar del lavado del equipo de aplicación	Nominal	Casa: 1, Parcela: 2, Presa: 3

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

## 6.2.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS AMBIENTALES

Se realizaron muestreos en las matrices ambientales de suelos de cultivo y cuerpos de agua superficiales en dos periodos de un año (2016), se recolectaron las muestras tanto en la temporada de secas (mayo y diciembre) como en la de lluvias (agosto).

### 6.2.2.1. Agua

Las muestras se obtuvieron del Río Tecolutla y dos de sus afluentes ubicados en las localidades de Cuyuxquihui (muestra 14) e Insurgentes Socialistas (muestra 15); así como del Río Tlahuanapa, la ubicación de los puntos se representa en la Figura 4. Se eligieron 15 sitios de muestreo (n=30), como criterio de selección se consideró: 1) acceso a la zona, 2) caudal en temporada de secas y lluvias y 3) cercanía a las áreas de cultivo.

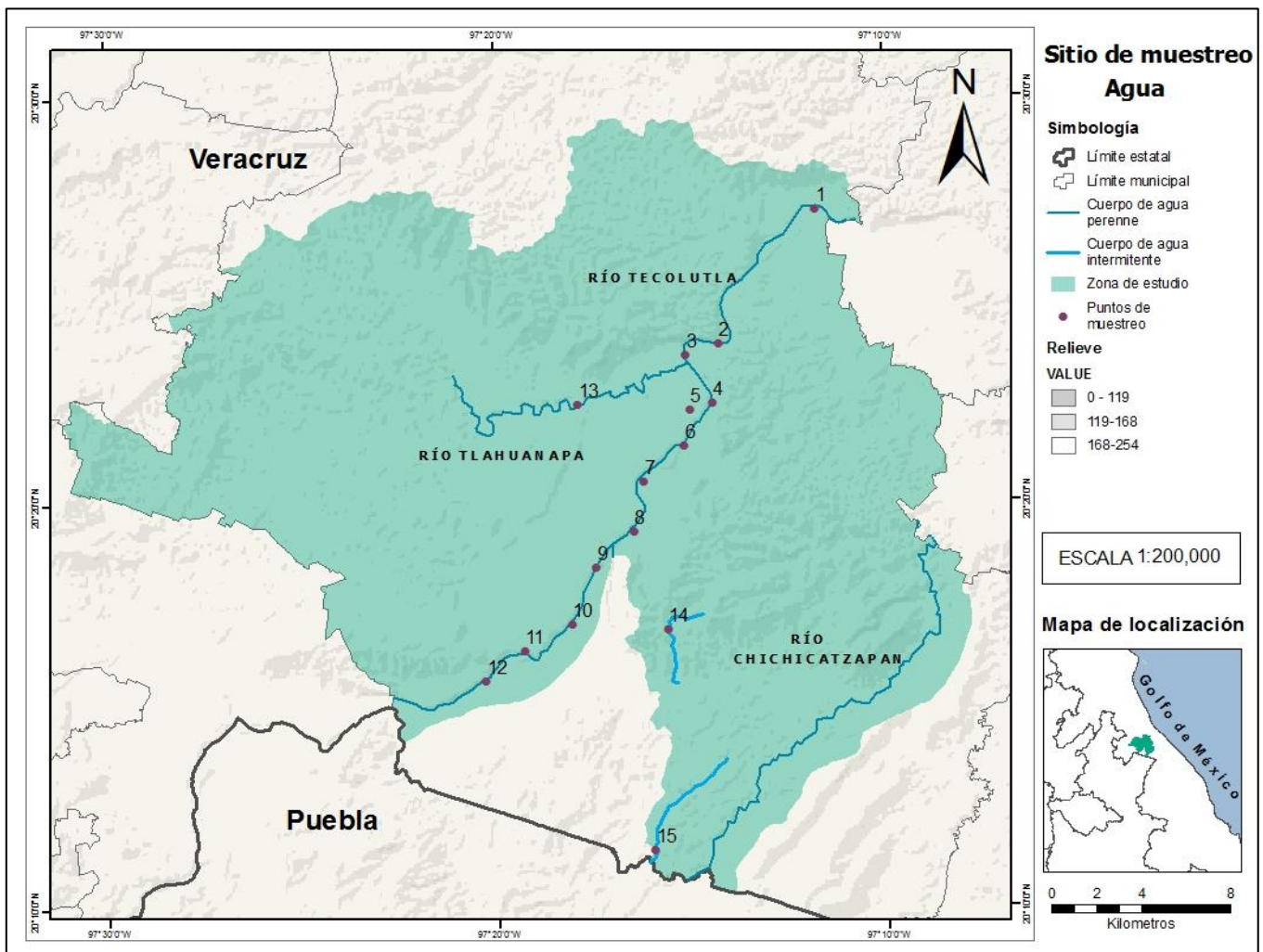


Figura 4. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de los cuerpos de agua superficiales en Papantla, Veracruz.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI (2014).

Se tomaron muestras simples de 1 L, a una profundidad entre 15 y 30 cm evitando recolectarlas muy próximas a la orilla, de acuerdo a lo establecido la NOM-AA-104-1988. Se realizó un muestreo sistemático a cada 2.5 km aproximadamente sobre el tramo navegable del Río Tecolutla, muestras de la 5 a la 12 (Figura 5).

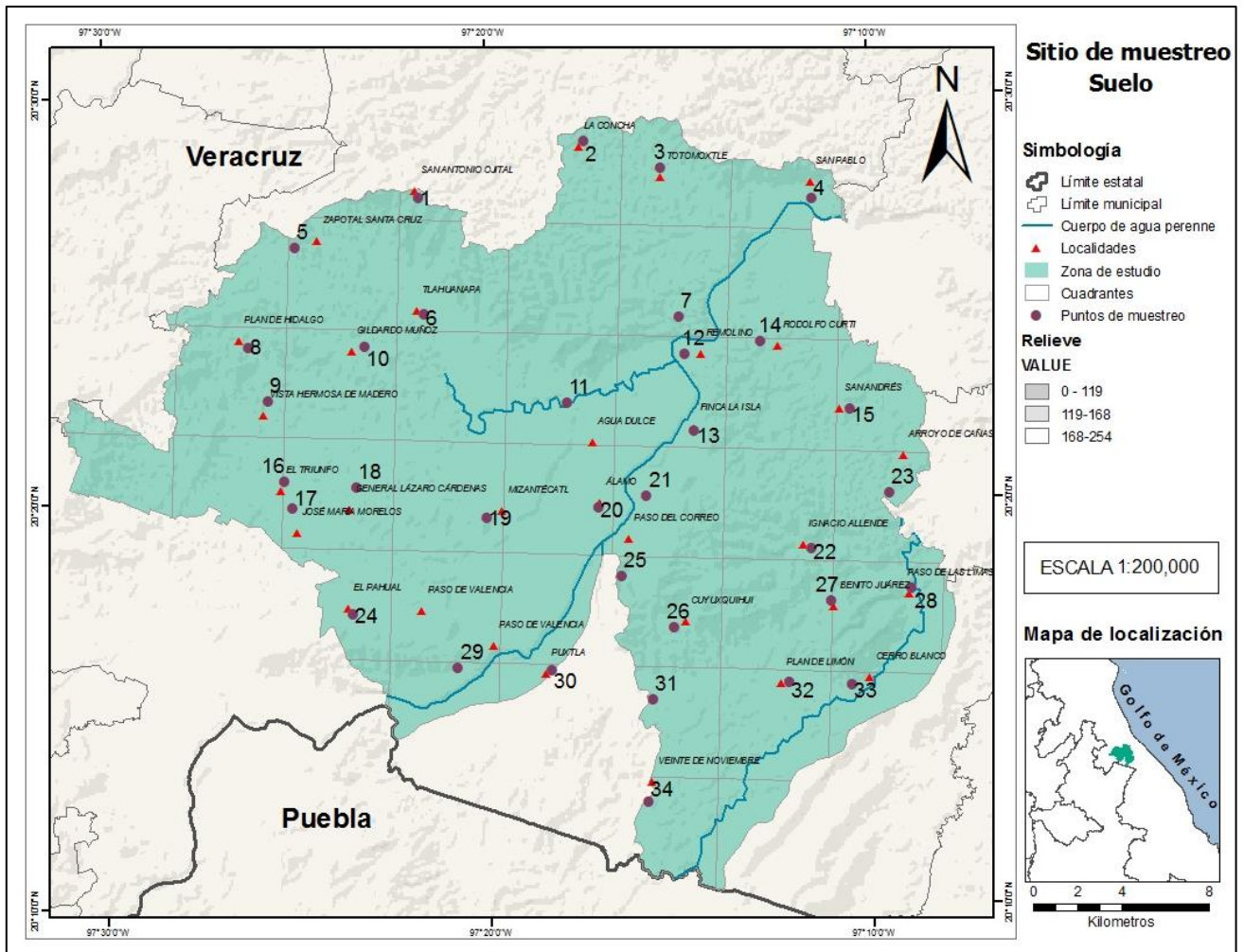


**Figura 5. Fotografías del tramo navegable del Río Tecolutla durante la temporada de lluvias.**  
**Fuente: Tomadas en el trabajo de campo Veracruz, 2016.**

#### **6.2.2.2. Suelo**

La población universo correspondió a la totalidad de las áreas de cultivo que se encontraban dentro de la zona de estudio; el número de muestras se obtuvo suponiendo una distribución normal, un error de 10 % y un nivel de confianza de 95 % (Mejía y Jerez, 2006).

Se realizó un muestreo aleatorio simple no alineado de muestras compuestas en 34 áreas de cultivo (n=68), como control negativo se recolectó una muestra de un suelo de cultivo al cual no se le había aplicado ningún tipo de agroquímico desde cinco años atrás. Para la selección de los sitios de muestreo se dividió la zona de estudio en 45 cuadrantes, de un área de 25 km<sup>2</sup> cada uno, de donde se seleccionaron los 34 sitios de manera aleatoria, los puntos de muestreo escogidos para este estudio se muestran en la Figura 6.



**Figura 6. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo de los suelos de cultivo en Papantla, Veracruz.**

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de INEGI (2014).**

En cada punto se recolectó una muestra compuesta, la cual consistió en la mezcla de tres submuestras simples de igual volumen tomadas en tres puntos distintos dentro de la parcela a una profundidad de 15 cm. Para la toma de muestra se eliminó, previo a su recolección, la cobertura vegetal y hojarascas (Figura 7) de cada punto elegido de acuerdo a la metodología descrita en la NOM-AA-105-1988. La muestra número 11 no se recolectó durante la temporada de lluvias debido a dificultades en el acceso a la comunidad donde se localizaba el sitio de muestreo.





**Figura 7. Fotografías de los muestreos realizados en suelos de cultivo durante la temporada de secas.**  
**Fuente: Tomadas en el trabajo de campo Veracruz, 2016.**

### 6.2.3. CARACTERIZACIÓN

La caracterización de las muestras de suelo, así como la calibración del multiparámetro para la calidad del agua Hydrolab DataSonde® DS5 se realizó en el Laboratorio de Bioingeniería, Unidad Profesional Adolfo López Mateos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) y en el Laboratorio de Análisis y Monitoreo Ambiental del CIEMAD, ambos pertenecientes al IPN.

#### 6.2.3.1. Agua

Las características físicas y químicas de las muestras de agua: temperatura, pH, sólidos totales disueltos, nitratos y oxígeno disuelto se determinaron durante los muestreos utilizando el multiparámetro para la calidad del agua Hydrolab DataSonde® DS5.

#### 6.2.3.2. Suelo

Se realizaron análisis a los suelos en laboratorio para la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. A cada muestra se le hicieron las siguientes determinaciones:

- Contenido de materia orgánica por el método de Walkely-Black
- El pH medido en agua con potenciómetro
- Color utilizando la carta Munsell de colores de suelo
- Textura, según el método de análisis por tacto dado por USDA, 2008

#### 6.2.4. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE HERBICIDAS

El análisis de las concentraciones de herbicidas se realizó en el Laboratorio de Bioingeniería, Unidad Profesional Adolfo López Mateos y en la Central de Instrumentación de Espectroscopia, Unidad Profesional Lázaro Cárdenas de la ENCB, IPN.

##### 6.2.4.1. Procedimiento de extracción

###### Agua

Previo a la extracción, la totalidad de las muestras de agua se centrifugaron a 3 500 rpm durante 10 min y se filtraron a través de una membrana de nylon (0.45  $\mu$ m, 47 mm) para eliminar los sólidos suspendidos.

###### *2,4-D y picloram*

Se acidificaron 25 mL de la muestra a pH 2 con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Se realizó una extracción en fase sólida (SPE) con cartuchos Bond Elut EnvirElut (500 mg, 6 mL). Después de acondicionar los cartuchos con 3 mL de una solución de metanol/MTBE (1:9), 2 mL de metanol y 2 mL de agua se cargaron los 25 mL de la muestra de agua. Los herbicidas fueron eluidos con 1 mL de una solución de metanol/MTBE (1:9); el extracto se evaporó a sequedad y se disolvió en 1.5 mL de agua. Posteriormente, se centrifugaron 500  $\mu$ L a 13 000 rpm por 5 min y se inyectaron en el cromatógrafo (Waters Corporation, 2002).

###### *Glifosato y AMPA*

Se tomó un volumen de 25 mL de la muestra y se realizó una extracción en fase sólida empleando cartuchos Bond Elut EnvirElut (500 mg, 6 mL) acondicionados previamente con 2 mL de metanol, 4 mL de NaOH 0.5 M y 2 mL de agua. Para obtener los compuestos de interés, éstos se eluyeron con 1 mL de HCl en acetonitrilo 0.5 M y se evaporó completamente. El residuo obtenido se reconstituyó en 2 mL de agua y fue sometido a un proceso de derivatización. Finalmente, 500  $\mu$ L del producto de la derivatización se inyectaron en el cromatógrafo (Waters Corporation, 2002).

##### **Procedimiento de derivatización**

Se tomaron 500  $\mu$ L de la muestra reconstituida, se les adicionó 250  $\mu$ L de buffer de fosfatos 0.4 M a pH 11, ajustado con NaOH 1 M, y 100  $\mu$ L de una solución de p-toluensulfonilo en acetonitrilo a 0.01 ppm. Posteriormente, la mezcla se calentó a baño maría, cuya temperatura se fijó a 50  $\pm$  2 °C, durante 5 min, de acuerdo a la metodología empleada por



Kawai *et al.*, 1991 adaptada (Delmonico *et al.*, 2014). Finalmente se centrifugó a 13 000 rpm por 5 min.

### Suelo

Los herbicidas que se analizaron por cada sitio de muestreo dependieron de las respuestas obtenidas en los cuestionarios. Para la determinación de los herbicidas se utilizaron 5 g de suelo por cada uno.

### *2,4-D*

La muestra de suelo se mezcló con 10 mL de una solución NaOH 0.01 M en un agitador de mesa durante 30 min a  $25 \pm 1$  °C. El extracto alcalino se centrifugó a 2 000 rpm por 20 min y se filtró a través de una membrana de nylon (0.45  $\mu$ m, 47 mm). Se realizó una extracción en fase sólida (SPE) con cartuchos Bond Elut EnvirElut (500 mg, 6 mL) acondicionados conforme a lo descrito en la metodología de agua para 2,4-D, se cargaron 6 mL del extracto alcalino. El herbicida fue eluido con 1 mL de una solución de metanol/MTBE (1:9); el extracto se evaporó a sequedad y se redisolvió en 1.5 mL de agua. Posteriormente, se centrifugaron 500  $\mu$ L a 13 000 rpm por 5 min y se inyectaron en el cromatógrafo (Moret *et al.*, 2006; Waters Corporation, 2002).

### *Picloram*

Se añadieron 10 mL de NaOH 0.1 M a la muestra de suelo y se agitó vigorosamente durante 2 min. Después, se centrifugó a 3 500 rpm por 5 min y se recuperó 5 mL del sobrenadante clarificado, al cual se le ajustó el pH por debajo de 2 con HCl concentrado. Al extracto se le añadió 10 mL de acetato de etilo y 1 g de NaCl; a continuación, se agitó vigorosamente durante 1 min. Consecutivamente, se centrifugó a 3 500 rpm por 5 min y el sobrenadante clarificado se filtró a través de una membrana de nylon (0.45  $\mu$ m, 47 mm). El extracto se evaporó a sequedad y se reconstituyó con 1.5 mL de metanol. Finalmente, se centrifugaron 500  $\mu$ L a 13 000 rpm por 5 min y se inyectaron en el cromatógrafo (Zhao *et al.*, 2011).

### *Glifosato y AMPA*

Se mezclaron 5 mL de agua con la muestra de suelo en un agitador de mesa durante 30 min a  $25 \pm 1$  °C. Inmediatamente, se centrifugó a 3 500 rpm por 15 min y se recuperó el primer sobrenadante. Al sedimento se le agregó 12 mL de una solución NaOH 1N y se mezcló en un agitador de mesa durante 30 min a  $25 \pm 1$  °C. Después, se centrifugó a 3 500

rpm por 15 min y se recuperó el segundo sobrenadante. Se combinaron los sobrenadantes y se les añadió H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 20% (0.2 mL por cada mL de extracto) y se centrifugaron a 3 000 rpm durante 15 min. El sobrenadante se filtró a través de una membrana de nylon (0.45 µm, 47 mm) y se realizó una extracción en fase sólida empleando cartuchos Bond Elut EnvirElut (500 mg, 6 mL) acondicionados previamente con 2 mL de metanol, 4 mL de NaOH 0.5 M y 2 mL de agua, se cargaron 6 mL del sobrenadante filtrado. Los compuestos se eluyeron con 1 mL de HCl en acetonitrilo 0.5 M y se evaporó completamente. El residuo obtenido se reconstituyó en 2 mL de agua y fue sometido a un proceso de derivatización como se describe en la metodología de agua, 500 µL del producto de la derivatización se inyectaron en el cromatógrafo (Waters Corporation, 2002).

#### 6.2.4.2. Fortificación de las muestras

Para corroborar que las señales determinadas en los cromatogramas pertenecieran a la de los herbicidas de interés, las muestras cuyos cromatogramas mostraban presencia de alguno de los herbicidas estudiados se fortificaron para obtener una concentración final de 10 ppm en cada una, con la intención de incrementar la señal específica emitida del herbicida. La fortificación se realizó adicionando 20 µL de una solución stock (250 ppm) del analito de interés a 500 µL de la muestra reconstituida; posteriormente, se inyectaron en el cromatógrafo.

#### 6.2.4.3. Análisis HPLC

Los extractos fueron analizados por cromatografía líquida de alta presión (HPLC) en un cromatógrafo Agilent Technologies 1260 Infinity, las especificaciones del método para cada herbicida se describen en el Cuadro 8.

**Cuadro 8. Características para la determinación por HPLC.**

	Herbicida		
	2,4-D	Picloram	Glifosato y AMPA
<b>Columna</b>	Zorbax® SB-Phenyl 150 x 4.6 mm, 5 µm	Zorbax® SB-C18 150 x 4.6 mm, 5 µm	Hypersil™ ODS-2 150 x 4.6 mm
<b>Fase móvil</b>	A: 1% Ácido acético en agua B: 1 % Ácido acético en acetonitrilo	A: 0.5% Ácido fosfórico en agua B: Acetonitrilo	A: Buffer de fosfato (0.06 M, pH 2.3) B: Acetonitrilo
<b>Gradiente</b>	A: 60 % B: 40 %	A: 45 % B: 55 %	A: 88 % B: 12 %
<b>Flujo</b>	1.0 mL/min	1.0 mL/min	1.0 mL/min
<b>Temperatura</b>	30 °C	30 °C	30 °C
<b>Detección</b>	UV a 283 nm	UV a 225 nm	UV a 243 nm

Fuente: Elaboración propia con datos de Waters Corporation, 2002.

Se prepararon curvas de calibración a partir de soluciones estándar de cada analito con diferentes concentraciones (Cuadro 9), realizándoles el mismo tratamiento que a las muestras y se analizaron en HPLC. Se obtuvo el coeficiente de correlación ( $r^2$ ) y el intervalo lineal de la curva de calibración (IL).

**Cuadro 9. Información de la curva de calibración obtenido a través de un análisis de regresión lineal.**

Compuesto	IL (ppb o $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	$r^2$	p-valor	LOD (ppb o $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	LOQ (ppb o $\mu\text{g kg}^{-1}$ )
2,4-D	50-3 000	0.991	<0.001	47.24	157.46
picloram	10-2 000	0.994	<0.001	2.66	8.88
glifosato	50-2 000	0.928	<0.001	23.42	78.06
AMPA	50-2 000	0.984	<0.001	3.57	11.91

$r^2$ : coeficiente de correlación

IL: intervalo lineal de la curva de calibración

LOD: límite de detección

LOQ: límite de cuantificación

**Fuente: Elaboración propia.**

#### 6.2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron las pruebas de homogeneidad de varianza con la prueba de Hartley y normalidad por medio de la prueba Shapiro-Wilk.

Los datos de las concentraciones de herbicidas y AMPA; así como los resultados de las características fisicoquímicas se analizaron con la prueba no paramétrica de Wilcoxon para encontrar cualquier diferencia atribuible a la temporada de muestreo en los suelos de cultivo y los cuerpos de agua.

El coeficiente de correlación de Spearman fue empleado para evaluar la correlación entre las concentraciones de herbicidas y el AMPA con las propiedades fisicoquímicas del suelo (materia orgánica, pH y textura); sí como el tiempo desde la última aplicación de los herbicidas.

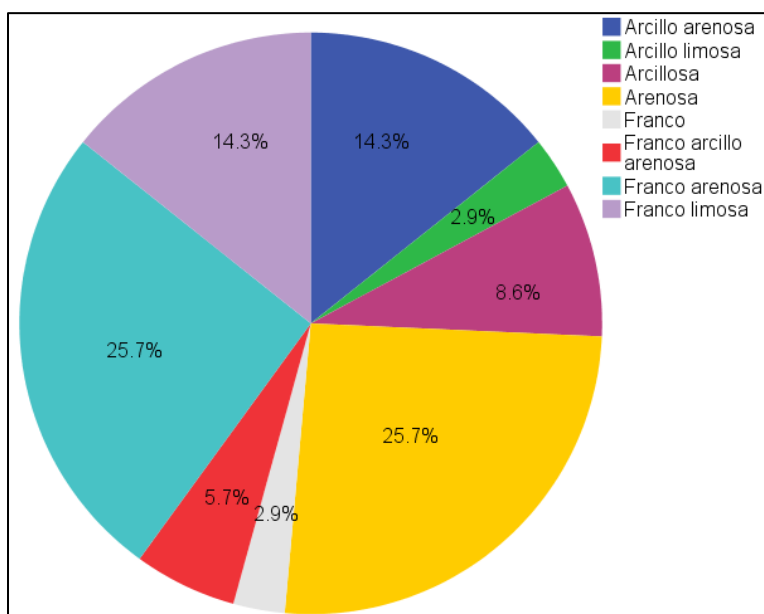
Todas las pruebas se establecieron a un nivel de confianza de 95% y  $\alpha$ : 0.05; el análisis estadístico se realizó con el software Sigmaplot Software Inc.

## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

#### 7.1.1. TEXTURA

Los resultados del análisis textural (Figura 8) entre las temporadas de secas y de lluvias muestran suelos con la misma textura en ambas temporadas (Cuadro 18, Anexo II); las clases predominantes fueron la arenosa (25.71%) y franco arenosa (25.71%), seguida por la franco limosa (14.29%) y arcilloso arenosa (14.29%), arcillosa (8.57%), franco arcilloso arenosa (5.71%), finalmente franco (2.86%) y arcillo limosa (2.86%).



**Figura 8. Porcentajes de las clases texturales de los suelos muestreados.**

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

Los suelos con textura que varía de arenosa a franco; carecen de capacidad de adsorción para los plaguicidas, los cuales pueden pasar rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos; debido a una baja capacidad de retención de agua fundamentalmente por su escaso espesor. En general, la mayoría de los plaguicidas se adsorben en suelos arcillosos y se retienen. La lixiviación de plaguicidas por debajo de la zona de las raíces se ha demostrado tanto en suelos arenosos como en suelos arcillosos (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 1999; Flury, 1996; Fogg *et al.*, 2004).

Cuando los plaguicidas se aplican a sitios con suelos arenosos, de poca profundidad a las aguas subterráneas y un clima húmedo o con un uso extensivo del riego, el riesgo de contaminación del agua subterránea es alto (Trautmann *et al.*, 1989).

#### 7.1.2. MATERIA ORGÁNICA Y COLOR

Se determinó el color en húmedo y en seco según la nomenclatura de la Tabla Munsell (Fairchild, 2005). En forma similar a los resultados obtenidos en el análisis textural, el color del suelo fue igual en ambas temporadas de muestreo.

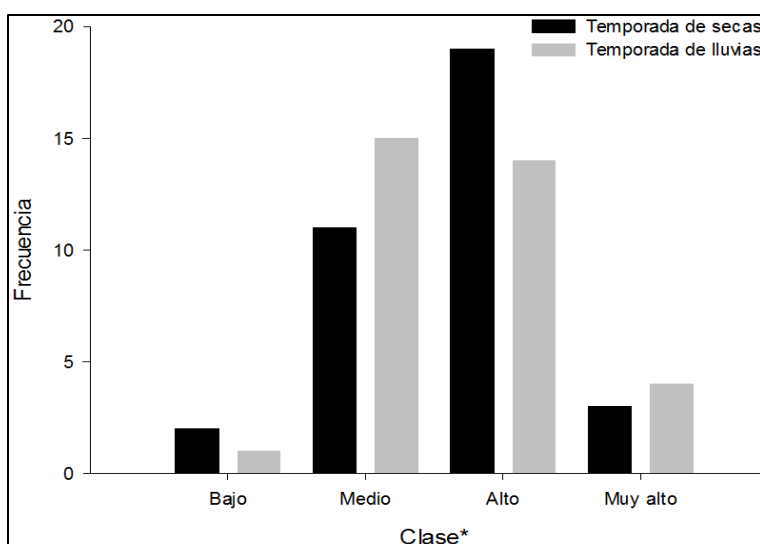
Se observaron una gama de colores oscuros en los suelos muestreados que iban del negro al marrón amarillento oscuro; los colores más claros fueron el marrón amarillento claro y amarillento oscuro; los colores identificados para cada suelo se encuentran en el Cuadro 18, Anexo II. Las muestras examinadas mostraron coloraciones monocromáticas sin ningún patrón aparente que se haya notado durante su análisis en laboratorio o en la recolección hecha en campo. En las muestras hubo predominio de matices con valores 2.5Y y 10YR, que corresponde a las tonalidades marrones.

El color del suelo es influenciado principalmente por la mineralogía del suelo y proporción de compuestos orgánicos. Fontes y Carvalho (2005) informan sobre observaciones de campo realizadas en suelos brasileños que han demostrado que los tonos 5Y, 2.5Y y 10YR indican suelo con goethita, agente pigmentante en los suelos amarillos (Bigham *et al.*, 2002). Acevedo *et al.* (2004) reportan el predominio de este mineral en suelos de climas húmedos, templados con climas de verano caliente; similares a los del municipio de Papantla.

Se ha observado que suelos altos en hierro son de color marrón oscuro a marrón amarillento; cuando tienen un alto contenido de materia orgánica son de color marrón oscuro o negro. El color del suelo también brinda información acerca del comportamiento hídrico de la zona; un suelo que se drena bien es de colores brillantes y uno que a menudo es húmedo y empapado tendrá un patrón moteado de grises, rojos y amarillos (Soil Science Society of America, 2017).

Otra característica analizada fue el contenido de materia orgánica, el cual tiene gran relevancia ya que influye en las propiedades físicas y químicas de los suelos, brinda información acerca de la actividad microbiana y facilita los mecanismos de absorción de sustancias como los plaguicidas.

Al interior del área de estudio se destacan, con un 54.29%, suelos con un alto contenido de materia orgánica cuyo contenido varía entre 11.0% a 16.0% de acuerdo a la clasificación dada en la NOM-021-SEMARNAT-2000; seguido por suelos con un contenido medio, 31.43%, en la temporada de secas, se registró una diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) con la época de lluvias, ver Cuadro 22, Anexo IV. Se encontró un menor número de suelos con un alto contenido de materia orgánica (41.18%) y un aumento en los suelos con un contenido medio (44.12%); el resto de las muestras indicaron un bajo porcentaje de materia orgánica en ambas temporadas como se observa en la Figura 9.



**Figura 9. Resultados del contenido de la materia orgánica en los suelos muestreados de la temporada de secas y lluvias.**

**\*Clasificación establecida en la NOM-021-SEMARNAT-2000: Bajo: 4.1-6.0; Medio: 6.1-10.9; Alto: 11.0-16.0; Muy alto > 16.1**

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

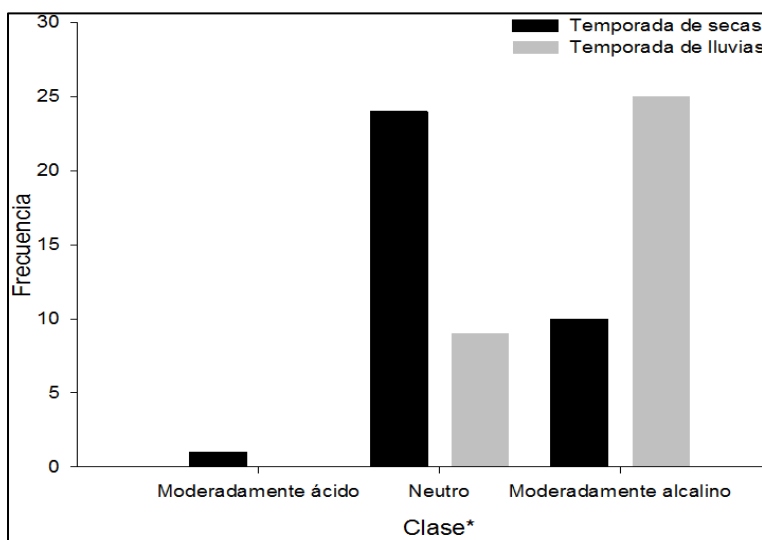
El contenido de materia orgánica ha demostrado ser un factor clave en el comportamiento de los plaguicidas en el suelo; existen diversas investigaciones que han confirmado una relación directa entre el contenido de materia orgánica con la adsorción, persistencia, degradación, lixiviación y volatilidad de los plaguicidas (Beltran *et al.*, 1995; Gevao *et al.*, 2000). Spark y Swift (2002) reportan adsorción en suelos con un contenido de 1.25, 2.05 y 3.30% de materia orgánica de los herbicidas 2,4-D, atrazina, isoproturón y paraquat, en concentraciones que iban de 250 ppb a 10 ppm. También se ha reportado que la composición mineral de arcillas determina principalmente la adsorción de plaguicidas catiónicos tales como glifosato y paraquat, mientras que la absorción de plaguicidas no

iónicos (por ejemplo, clorpirifos y diurón) por lo general depende del contenido de materia orgánica del suelo (Kookana *et al.*, 1998; Wauchope *et al.*, 2001).

No obstante, debe señalarse que en algunos grupos de plaguicidas al disminuir el pH del suelo disminuye la adsorción de los mismos a la materia orgánica en estos. Como contraposición a esta capacidad de adsorción existen evidencias de que algunos residuos de plaguicidas adsorbidos en suelos con altos contenido de materia orgánica pueden volver a ser transportados por las aguas subterráneas cuando se produce la degradación microbiana del humus (López *et al.*, 1992).

### 7.1.3. PH

En el primer muestreo realizado en la época de secas, los suelos en su mayoría tenían un pH neutro (6.6 a 7.3), de acuerdo a la clasificación brindada en la NOM-021-SEMARNAT-2000; en menor proporción se encontraron suelos con un pH moderadamente alcalino (7.4 a 8.5) y sólo en una muestra clasificó como moderadamente ácida (Figura 10). Se observó una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ), ver Cuadro 22, Anexo IV, durante la temporada de lluvias, hubo un aumento en los suelos moderadamente alcalinos (73.53%).



**Figura 10. Resultados de los valores de pH en los suelos muestreados en la temporada de secas y lluvias.**

**\*Clasificaciones establecidas en la NOM-021-SEMARNAT-2000: Moderadamente ácido: 5.1-6.5, Neutro:6.6-7.3, Moderadamente alcalino: 7.4-8.5**

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

El movimiento de los plaguicidas en el suelo depende del pH del suelo, ya que éste influye en la carga de los minerales de la arcilla y de la materia orgánica y también afecta la carga en las moléculas de varios plaguicidas (Kah y Brown, 2006).

En un estudio realizado por Fuscaldo *et al.* (1999), en suelos de Balcarce y San Cayetano en Argentina, se reportó una relación directa entre la persistencia de los herbicidas atrazina, metribuzin y simazina con los bajos contenidos de materia orgánica y un elevado pH. De igual manera, los resultados dados por Maznah *et al.* (2016) indican que las propiedades del suelo desempeñan un papel importante en el comportamiento de adsorción-desorción del plaguicida tiram, siendo que la adsorción fuertemente afectada por el pH del suelo, la adsorción fue mayor a pH 3.

## 7.2. CONCENTRACIONES DE LOS HERBICIDAS 2,4-DICLOROFENOXIACÉTICO, GLIFOSATO Y PICLORAM EN SUELO

Se analizaron un total de 34 muestras en cada temporada, los datos de la muestra 10 corresponden a la temporada de secas únicamente. La descripción de las muestras obtenidas en los suelos de cultivo se presenta en el Cuadro 10, se exponen caracteres generales como la localidad y cuadrante donde se ubicó el sitio de muestreo, así como los cultivos encontrados en cada punto.

**Cuadro 10. Características generales de los sitios de muestreo de suelo y tipos de cultivo para la temporada de secas y lluvias.**

Muestra	Localidad	Cuadrante	Coordenadas geográficas		Cultivo
1	Agua Dulce	19	20.374338	97.298094	Maíz
2	Álamo	28	20.330336	97.285047	Limón
3	Primero de Mayo	34	20.302003	97.275313	Maíz, Naranja
4	Pueblillo	41	20.251220	97.252619	Naranja
5	Veinte de Noviembre	44	20.209249	97.264692	Limón
6	Cuyuxquihui	34	20.281146	97.252619	Maíz, Naranja
7	Puxtla	44	20.263553	97.306160	Ajonjolí, Limón, Plátano
8	Finca la Isla	20	20.361605	97.243042	Pastizal
9	Paso del Correo	28	20.335065	97.264074	Maíz
10	Finca la Isla	20	20.393040	97.246785	Maíz, Jícama, Sandía
11	Zapotal Santa Cruz	9	20.438380	97.416131	Maíz, Plátano
12	Gildardo Muñoz	17	20.397649	97.386395	Lichi, Maíz
13	Plan de Limón	42	20.257735	97.203006	Limón, Naranja, Mandarina
14	Cerro Blanco	43	20.256624	97.175669	Naranja
15	Paso de las Limas	36	20.296119	97.148896	Naranja
16	Benito Juárez	35	20.291435	97.184166	Maíz, Naranja
17	Ignacio Allende	26	20.312702	97.192600	Naranja
18	Arroyo de Cañas	30	20.335587	97.158224	Naranja
19	San Andrés	22	20.369813	97.175312	Maíz, Naranja
20	Rodolfo Curti	21	20.398202	97.213993	Naranja
21	Remolino	12	20.408367	97.248980	Maíz, Naranja
22	San Antonio Ojital	2	20.458266	97.362492	Pastizal
23	San Pablo	5	20.456800	97.191006	Maíz, Naranja
24	Totomoxtle	4	20.470017	97.256641	Maíz
25	La Concha	3	20.481158	97.289777	Maíz, Naranja
26	Plan de Hidalgo	16	20.397351	97.436769	Maíz



Muestra	Localidad	Cuadrante	Coordenadas geográficas		Cultivo
27	Vista Hermosa de Madero	16	20.375147	97.428665	Maíz, Naranja
28	El Triunfo	25	20.342076	97.421967	Maíz
29	José María Morelos	25	20.331295	97.418641	Maíz
30	General Lázaro Cárdenas	25	20.339585	97.390600	Limón, Naranja
31	Paso de Valencia	39	20.264963	97.346886	Maíz, Naranja
32	El Pahal	31	20.287580	97.392444	Naranja
33	Mixtlan	26	20.326641	97.333737	Limón, Naranja
34	Tlahuanapa	10	20.410661	97.360181	Maíz
Control	Finca la Isla	20	20.362001	97.242826	Vainilla

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.

De acuerdo a los cuestionarios aplicados en campo se determinaron que los principales cultivos en la zona de estudio fueron maizales (34.69%) y naranjales (34.69%), en menor proporción se registraron cultivos de limón (10.20%) y pastizales (4.08%); Figura 11.



(a)



(b)



(c)

Figura 11. Fotografías de los cultivos. (a) Maizal; (b) Naranjal; (c) Pastizal  
Fuente: [Fotografías de Jimena Mariela Peña Beltrán]. (Papantla. 2016).

El Cuadro 11 contiene la información sobre los herbicidas aplicados en cada punto de muestreo, el tiempo en días desde la última aplicación; así como la última dosis aplicada en gramos de ingrediente activo por hectárea, la cual se calculó a partir de los resultados obtenidos en el cuestionario sobre la dosis aplicada (Ítem 11 y 13), la superficie de aplicación (Ítem 16) y la concentración de ingrediente activo obtenidas de las fichas técnicas de las marcas comerciales (Ítem 10).

**Cuadro 11. Información de la dosis, tiempo y herbicidas aplicados en los sitios de muestreo.**

Muestra	Herbicida aplicado	Secas		Lluvias	
		TUA (días)	Última dosis aplicada (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	TUA (días)	Última dosis aplicada (g i.a. ha <sup>-1</sup> )
1	paraquat	15	40.00	90	40.00
2	glifosato	120	1452.00	30	1452.00
3	2,4-D	1	3.20	S/I	S/I
	glifosato	1	4.80	S/I	S/I
	glufosinato de amonio	1	5.60	S/I	S/I
4	2,4-D	8	6.00	15	12.06
	glifosato	8	45.38	15	9.00
5	2,4-D	30	6.86	S/I	S/I
	glifosato	30	5.19	S/I	S/I
	paraquat	30	2.86	S/I	S/I
6	2,4-D	5	12.00	S/I	S/I
	glifosato	5	9.00	S/I	S/I
7	diurón	NA	NA	5	12.50
	glifosato	30	36.00	NA	NA
	paraquat	30	36.00	5	25.00
8	2,4-D	60	60.00	30	12.00
	glifosato	60	45.38	30	9.08
9	glifosato	60	18.00	S/I	S/I
10	2,4-D	150	32.00	30	32.00
	glifosato	150	24.00	30	24.00
	nicosulfurón	150	2.67	NA	NA
11	2,4-D	60	14.40	S/I	S/I
	glifosato	60	10.89	S/I	S/I
	paraquat	60	6.00	S/I	S/I
12	2,4-D	8	25.26	NA	NA
	glifosato	8	37.89	NA	NA
	paraquat	NA	NA	60	1.33
	picloram	8	6.74	NA	NA
13	2,4-D	30	2.18	NA	NA
	glifosato	30	4.91	15	4.70
	paraquat	30	2.73	NA	NA
14	2,4-D	NA	NA	20	144.00
	glifosato	90	8.00	20	108.00
15	2,4-D	19	8.73	NA	NA
	glifosato	19	26.18	15	4.27
16	2,4-D	NA	NA	6	12.00
	glifosato	3	54.00	6	9.00
	paraquat	3	30.00	NA	NA
	picloram	NA	NA	6	1.60
17	glifosato	30	32.40	32	32.40
18	glifosato	30	18.00	120	18.15

Muestra	Herbicida aplicado	Secas		Lluvias	
		TUA (días)	Última dosis aplicada (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	TUA (días)	Última dosis aplicada (g i.a. ha <sup>-1</sup> )
19	glifosato	3	720.00	60	45.38
	paraquat	3	400.00	NA	NA
20	2,4-D	5	24.00	S/I	S/I
	glifosato	5	18.15	S/I	S/I
21	glifosato	5	54.45	S/I	S/I
22	glifosato	3	24.41	S/I	S/I
23	glifosato	120	11.43	NA	NA
	paraquat	10	2.76	5	2.76
24	2,4-D	30	16.00	NA	NA
	glifosato	30	36.00	NA	NA
	glufosinato de amonio	30	28.00	NA	NA
	paraquat	30	20.00	30	2.67
25	2,4-D	5	9.60	30	48.00
	glifosato	NA	NA	30	36.30
26	glifosato	19	3.60	S/I	S/I
27	2,4-D	19	240.00	NA	NA
	glifosato	19	181.50	NA	NA
	glufosinato de amonio	NA	NA	3	93.33
28	2,4-D	19	320.00	NA	NA
	glifosato	19	181.50	NA	NA
	paraquat	NA	NA	30	10.00
29	glifosato	19	36.00	S/I	S/I
30	2,4-D	19	4.36	90	87.27
	glifosato	19	3.30	90	65.45
	paraquat	NA	NA	90	36.36
31	glifosato	19	54.00	15	72.60
32	2,4-D	19	24.00	NA	NA
	glifosato	19	18.15	1	18.15
33	glifosato	60	24.20	NA	NA
	paraquat	NA	NA	60	13.33
34	glifosato	40	0.45	NA	NA
	glufosinato de amonio	NA	NA	40	0.35
<b>Control</b>	NA	NA	NA	NA	NA

i.a.: ingrediente activo

TUA: tiempo desde la última aplicación

NA: no se aplica el herbicida

S/I: sin información

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

Se encontró que los herbicidas más utilizados en los sitios de muestreo fueron el glifosato (48.45%), 2,4-D (24.74%), paraquat (18.56%), glufosinato de amonio (4.12%) y picloram (2.06%) resultados que concuerdan con lo reportado por Carrillo (2016); el estudio reporta el uso del glifosato, 2,4-D; paraquat y, en menor proporción, picloram en cultivos de maíz y cítricos del municipio de Papantla.

El tiempo promedio entre la fecha de muestreo y la última aplicación fue de 33 días con valor mínimo de un día y uno máximo de 150 días para la temporada de secas; en el caso de la temporada de lluvias la media fue de 34 días con un tiempo mínimo de un día y uno máximo de 120 días. En general los tres herbicidas analizados al igual que el AMPA, tienen un tiempo de vida media superior a los 190 días.

#### 7.2.1. 2,4-D

Según los datos obtenidos de los cuestionarios aplicados se empleó el herbicida 2,4-D en 19 sitios de muestreo. Del total de muestras analizadas se identificaron cinco con presencia del herbicida en la temporada de secas, las muestras fueron 30>8>13>24>10, ordenadas de mayor a menor concentración (Figura 12); la concentración máxima fue  $520.65 \mu\text{g kg}^{-1}$  y la concentración mínima fue de  $129.14 \mu\text{g kg}^{-1}$  (Cuadro 12). No se observó que la temporada influyera en las concentraciones del herbicida en los puntos de muestreo ( $p>0.05$ ), ver Cuadro 21, Anexo IV.

La presencia del herbicida en la temporada de secas se correlaciona con el tiempo transcurrido desde la última aplicación del herbicida ( $p<0.01$ ). En las muestras 8, 13 y 30, cuyas concentraciones son las más altas, pasaron entre 19 a 60 días desde la aplicación y la toma de muestra; con respecto al sitio con menor concentración el tiempo fue de 150 días. Se esperaba encontrar concentraciones del herbicida en dichas muestras debido a que el tiempo de vida media reportado para el 2,4-D en suelo va desde una semana hasta 393 días (Harikrishan y Usha, 2007; Walters, 1999).

Además, se identificaron sitios de muestreo sin presencia de 2,4-D donde los tiempos desde la última aplicación no rebasaban los 15 días; de acuerdo a la literatura este herbicida tiende a degradarse con mayor rapidez en condiciones básicas como las identificadas en los sitios (Harikrishan y Usha, 2007).

De acuerdo a un estudio realizado Morales (2016) en la Subcuenca Río Tecolutla en los municipios de Gutiérrez Zamora y Tecolutla, áreas colindantes con la zona de estudio, se encontraron concentraciones menores en suelos ( $111.82$  a  $<100 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) a las halladas en el municipio de Papantla durante la temporada de secas, diferencia que se pudo dar por el pH básico de las muestras, el cual acelera la degradación del 2,4-D.

Entre los sitios con presencia de 2,4-D, los puntos 13 y 30 se encuentran cercanos al Río Tecolutla; Palma *et al.* (2004) indican que este herbicida tiene el potencial de filtrarse hacia la columna del suelo y de alejarse del lugar de la aplicación a través del flujo de las aguas superficiales.

No se encontró presencia de 2,4-D en lluvias; la ausencia del herbicida en la temporada de lluvias es atribuible a la rápida degradación, especialmente por la acción de los microorganismos, considerada la ruta principal en la descomposición del 2,4-D en el suelo. La degradación fúngica y microbiana de 2,4-D ha sido demostrada por varios estudios (Ordaz, 2013; Reddy *et al.*, 1997; Samir *et al.*, 2015; Vroumsia *et al.*, 2005). Poll *et al.* (2010), informaron que el 2,4-D es relativamente no tóxico para los microorganismos presentes en cuerpos de agua y en el suelo, la presencia de estos organismos ayuda acelerar la mineralización del herbicida lo que ayuda reducir el potencial para afectar los cuerpos de agua subterráneos.

Asimismo, la prueba de Spearman no reveló una correlación entre los valores de concentración del herbicida en alguna de las temporadas con las características fisicoquímicas de los suelos muestreados: textura ( $p > 0.05$ ), pH ( $p > 0.05$ ) y materia orgánica ( $p > 0.05$ ), ver Cuadro 20, Anexo IV. Sin embargo, se ha relacionado que el contenido de materia orgánica es otro factor responsable de la ausencia de 2,4-D en suelo, es probable que el herbicida se una más fuertemente a suelos con un alto contenido de materia orgánica, que a aquellos con un contenido bajo (Bouseba *et al.*, 2009; Hermosin y Cornejo, 1991), los suelos muestreados presentaron un alto contenido de materia orgánica (11.0-16.%) durante la temporada de secas, época donde se registró presencia del herbicida.

**Cuadro 12. Concentraciones de los herbicidas en suelos de cultivo en la temporada de secas y lluvias.**

Ingrediente activo	2,4-D		picloram		glifosato		AMPA	
	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
Temporada	Concentración ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )							
Muestra								
1	-	-	-	-	764.55	-	1 302.40	-
2	NA	NA	NA	NA	969.77	-	3 377.57	-
3	-	-	NA	NA	1 565.31	-	1 447.04	-
4	-	-	NA	NA	-	-	-	-
5	-	-	NA	NA	1 426.08	-	4 563.51	-
6	-	-	NA	NA	2 383.22	-	2 332.50	-
7	NA	NA	NA	NA	2 002.31	-	3 577.06	-
8	468.11	-	-	-	1 394.45	-	801.51	-
9	NA	NA	-	-	851.59	-	1 027.47	-
10	129.14	-	NA	NA	844.03	-	2 359.97	-
11	-	NA	-	NA	1 885.43	NA	5 037.76	NA
12	-	-	-	-	1 150.16	-	1 373.62	-

Ingrediente activo Temporada Muestra	2,4-D		picloram		glifosato		AMPA	
	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
	Concentración ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )							
13	361.48	-	NA	NA	Traza	-	Traza	-
14		NA	NA	NA	Traza	-	Traza	-
15	-	-	NA	NA	-	-	-	-
16	-	NA	NA	NA	-	-	-	-
17	NA	NA	NA	NA	-	-	-	-
18	NA	NA	NA	NA	-	-	-	-
19	-	-	-	-	1 811.02	-	2 321.56	-
20	-	-	NA	NA	-	-	-	-
21	NA	NA	NA	NA	780.39	-	1 897.03	-
22	NA	NA	NA	NA	Traza	-	Traza	-
23	NA	NA	-	-	-	-	-	-
24	186.91	-	NA	NA	-	-	-	-
25	-	-	NA	NA	NA	NA	NA	NA
26	NA	NA	-	-	Traza	-	Traza	-
27	-	-	NA	NA	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-
29	NA	NA	NA	NA	Traza	-	Traza	-
30	520.65	-	NA	NA	-	-	-	-
31	NA	NA	NA	NA	-	-	-	-
32	-	-	NA	NA	555.86	-	2 107.46	-
33	NA	NA	NA	NA	Traza	-	Traza	-
34	NA	NA	-	-	-	-	-	-
Control	-	-	-	-	-	-	-	-

Traza: valor detectable pero no cuantificable

NA: no se aplica el herbicida

(-) Concentración no detectada

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

### 7.2.2. GLIFOSATO Y AMPA

Se identificó el uso de glifosato en 33 muestras de acuerdo a la información brindada por los agricultores. De los sitios analizados se encontró presencia tanto de AMPA y glifosato en las mismas 14 muestras durante la temporada de secas (Figura 12), la concentración mínima registrada fue de  $555.86 \mu\text{g kg}^{-1}$  y la máxima de  $2\ 383.22 \mu\text{g kg}^{-1}$  para el caso del glifosato y  $801.51 \mu\text{g kg}^{-1}$  (mínima) y  $5\ 037.76 \mu\text{g kg}^{-1}$  (máxima) de AMPA.

Las muestras 13, 14, 22, 26, 29 y 33 registraron valores detectables en los cromatogramas, pero no cuantificables de glifosato y AMPA, la baja detección puede explicarse a las temperaturas cálidas en el momento y en la estación antes de la aplicación, las cuales provocan una rápida velocidad de degradación del herbicida en los suelos muestreados.

Se observó la presencia de bajas cantidades de glifosato y significativos niveles de AMPA en la época de secas, la mayor concentración de este metabolito en los suelos analizados se puede deber a que tiende a acumularse en el ambiente y su degradación es más lenta que la del glifosato (IARC, 2016b). Además, dada la reversibilidad de este proceso de retención, el glifosato puede desorberse y luego degradarse a AMPA. Ambos productos

pueden tener otros destinos ambientales y aumentar el riesgo de afectar a plantas, microorganismos, animales, como se ha informado (Landry *et al.*, 2005; Mamy y Barriuso, 2005).

En los suelos analizados del segundo muestreo, durante la temporada de lluvias, no hubo presencia del glifosato o AMPA en ninguna de las muestras (Cuadro 12), la diferencia de concentraciones entre ambos muestreos no es atribuible a la época de la toma de la muestra ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, los eventos de lluvia son un factor importante en la presencia del glifosato en el suelo, transportando el herbicida hacia la corriente de agua a través de los mecanismos de dilución o por escurrimiento. El glifosato en el suelo puede lixiviar en las aguas subterráneas, aunque se cree que la tasa de lixiviación es baja ya que se une fuertemente al suelo, y no es sensible al movimiento en la escorrentía (Borggaard y Gimsing, 2008; Simonsen *et al.*, 2008). Peruzzo *et al.* (2008) reporta una situación similar en muestras ambientales procedentes de zonas sojera del norte de la provincia de Buenos Aires, donde establecieron una relación directa entre el nivel de residuos de glifosato en suelos y el régimen de lluvias.

El nivel de glifosato o AMPA en las muestras no se correlaciona estadísticamente al tiempo transcurrido desde la última aplicación del glifosato en los sitios de muestreo ( $p > 0.05$ ); no obstante, es posible notar que en los suelos donde se encuentran las concentraciones más altas del glifosato y su producto de degradación el tiempo transcurrido desde su última aplicación no fue mayor a 60 días; la literatura reporta un tiempo de vida media entre 2 a 197 días por lo que se esperaría encontrar las altas concentraciones (NLM, 2014; NPIC, 2014; OMS, 2004).

De acuerdo con la prueba de Spearman no existe una correlación entre las propiedades físicas y químicas del suelo con las concentraciones del glifosato o su producto de degradación ( $p > 0.05$ ) en cualquiera de las temporadas estudiadas. No obstante, se registró presencia de glifosato y AMPA en suelos con un alto contenido de materia orgánica y valores de pH entre 6.6 y 8.5, similar a lo reportado por Lupi *et al.* (2015), quienes informan una correlación fuerte y positiva entre altas concentraciones de materia orgánica y los contenidos de glifosato y AMPA en suelos en la Cuenca del Río Quequén Grande; así como un aumento de la capacidad de adsorción del herbicida en suelos alcalinos. Por el contrario, durante el

muestreo de lluvias el contenido disminuyó lo que pudo propiciar la ausencia del herbicida en dicha época.

Por otra parte, en Argentina, Pessagno *et al.* (2008) reporta una mayor adsorción en suelos formados con goethia, caolina, illita y montmorillonita; con composición similar a la de las muestras analizadas; los resultados sugirieron la formación de un complejo que puede afectar la degradación y biodisponibilidad del herbicida en suelos y agua.

Asimismo, las concentraciones encontradas en el área de estudio son similares a las reportadas en regiones cercanas a cuerpos de agua. Según a lo obtenido por Morales (2016) en la Subcuenca Río Tecolutla, en los municipios colindantes a la zona de estudio, durante la temporada de secas se registraron concentraciones menores a  $1\ 200\ \mu\text{g kg}^{-1}$  de glifosato y un valor máximo de  $2\ 592.2\ \mu\text{g kg}^{-1}$  en la temporada de lluvias, concentraciones mayores a las encontradas en Papantla, posiblemente por la textura arcillosa de los suelos, la cual retarda el movimiento del herbicida. A diferencia, las concentraciones máximas de AMPA encontradas en Tecolutla y Gutiérrez Zamora fueron menores:  $2\ 354.91\ \mu\text{g kg}^{-1}$  en temporada de secas y  $2\ 495.78\ \mu\text{g kg}^{-1}$  en lluvias a las identificadas en Papantla, posiblemente por número de aplicaciones al año y los tipos de cultivo.

Asimismo; Aparicio *et al.* (2013), reportan niveles de plaguicidas en suelo superficial de la provincia de Buenos Aires, una de las áreas de producción de soja más importantes, que oscilaron entre 35 a  $1\ 502\ \mu\text{g kg}^{-1}$  de glifosato y 299 a  $2\ 256\ \mu\text{g kg}^{-1}$  de AMPA, menores a los encontrados en la zona de estudio; sin embargo, al igual que en la presente investigación, las concentraciones de glifosato y AMPA en el suelo no mostraron dependencia de los días desde la aplicación, así como con las características del suelo por lo que se concluyó que los procesos son complejos y multifactoriales (condiciones agronómicas, condiciones meteorológicas locales, mineralogía y condiciones del suelo) en el ambiente y es difícil establecer el peso relativo de cada uno.

Las concentraciones reportadas no son concluyentes debido a la técnica de detección de AMPA y glifosato mediante su derivatización presenta variaciones, por lo que se realizó la fortificación de las muestras, las concentraciones están en el Cuadro 20, Anexo III. El método de derivatización utilizado se ha probado exitosamente en concentraciones mayores a las encontradas en la zona de estudio (Delmonico *et al.*, 2014; Forlani *et al.*, 1999; Kaczyński y Łozowicka, 2015; Kools *et al.*, 2005; Tomita *et al.*, 1991).



### 7.2.3. PICLORAM

En total se analizaron diez suelos de cultivo por cada temporada. El tiempo promedio desde la última aplicación a la fecha de muestreo fue de 40 días en el caso de la época de secas y 60 días en la de lluvias, en ninguna de las muestras se encontró presencia de picloram (Cuadro 12); a pesar de que la literatura reporta una vida media en suelo para este herbicida de 20 a 300 días con un tiempo promedio de 90 días.

La ausencia de este herbicida en las muestras puede deberse a su capacidad de volatilización, de acuerdo con Tu *et al.* (2001) el picloram no se volatiliza fácilmente cuando se aplica en el campo, sin embargo, en condiciones ambientales como las del área de estudio: temperaturas altas, humedad en el suelo y el bajo contenido de arcillas, puede aumentar el potencial de volatilización.

El análisis de correlación lineal indicó que no existe relación entre los parámetros fisicoquímicos analizados y las concentraciones del herbicida en la zona de estudio ( $p > 0.05$ ). No obstante, se observó que las muestras donde se determinó el picloram tenían textura arenosa y franco arenosa, además de un alto contenido de materia orgánica; como se menciona en un estudio realizado por Farmer y Aochi, (1974) el movimiento de picloram es mayor en suelos de textura ligera con bajo contenido de materia orgánica en comparación con suelos más pesados con un mayor contenido. Si bien las muestras presentaban un alto porcentaje de materia orgánica, los suelos tenían un bajo contenido de arcillas permitiendo así un mejor desplazamiento del herbicida, pudiendo ser la razón por la cual no se encontró presencia del herbicida en alguna de las temporadas de muestreo.

De igual manera, se ha demostrado que el picloram pueden aumentar la capacidad de adsorción en suelos con pH ácido y baja temperatura (Celis *et al.*, 2002; Cheung y Biggar, 1974), a diferencia de lo encontrado en la zona de estudio, donde los suelos que se analizaron tenían un pH neutro (81.82%) y moderadamente alcalino (18.18%), lo que pudo afectar la adsorción del picloram en los sitios muestreados; aunado al clima cálido subhúmedo predominante en la región.

Tres de los sitios donde se informó el uso de picloram se encuentran cercanos a cuerpos de agua superficiales en la región de estudio; se ha observado que este herbicida es capaz de moverse en los cursos de agua locales a través de la superficie y la escorrentía subterránea debido a que se adsorbe débilmente a los suelos como resultado de su

naturaleza ácida débil, y presenta alta movilidad por lo que se desplaza fuera del área de aplicación fácilmente (Assis *et al.*, 2011; Fast *et al.*, 2010). Dos Santos *et al.* (2010) demostraron una mayor adsorción de picloram en suelos con partículas de arcilla y materia orgánica; en suelos pobres en contenido de arcilla, como los analizados en la presente investigación, el herbicida lixiviaba fácilmente a las aguas superficiales y subterránea.

Morales (2016), informa que en las áreas colindantes a la zona de estudio se encontraron concentraciones de picloram entre 21.93 a 98.41  $\mu\text{g kg}^{-1}$  en muestras de suelo tomadas durante la temporada de lluvias, a comparación del área de estudio, donde no se halló concentraciones del herbicida. La presencia de picloram en Tecolutla y Gutiérrez Zamora se atribuye a ser suelos arcillosos con pH ácido; así a la baja temperatura del suelo en dicha época, a diferencia de las muestras analizadas en Papantla cuyos valores de pH oscilaban entre 6.6 y 8.5, también tenían bajo contenido de arcillas.

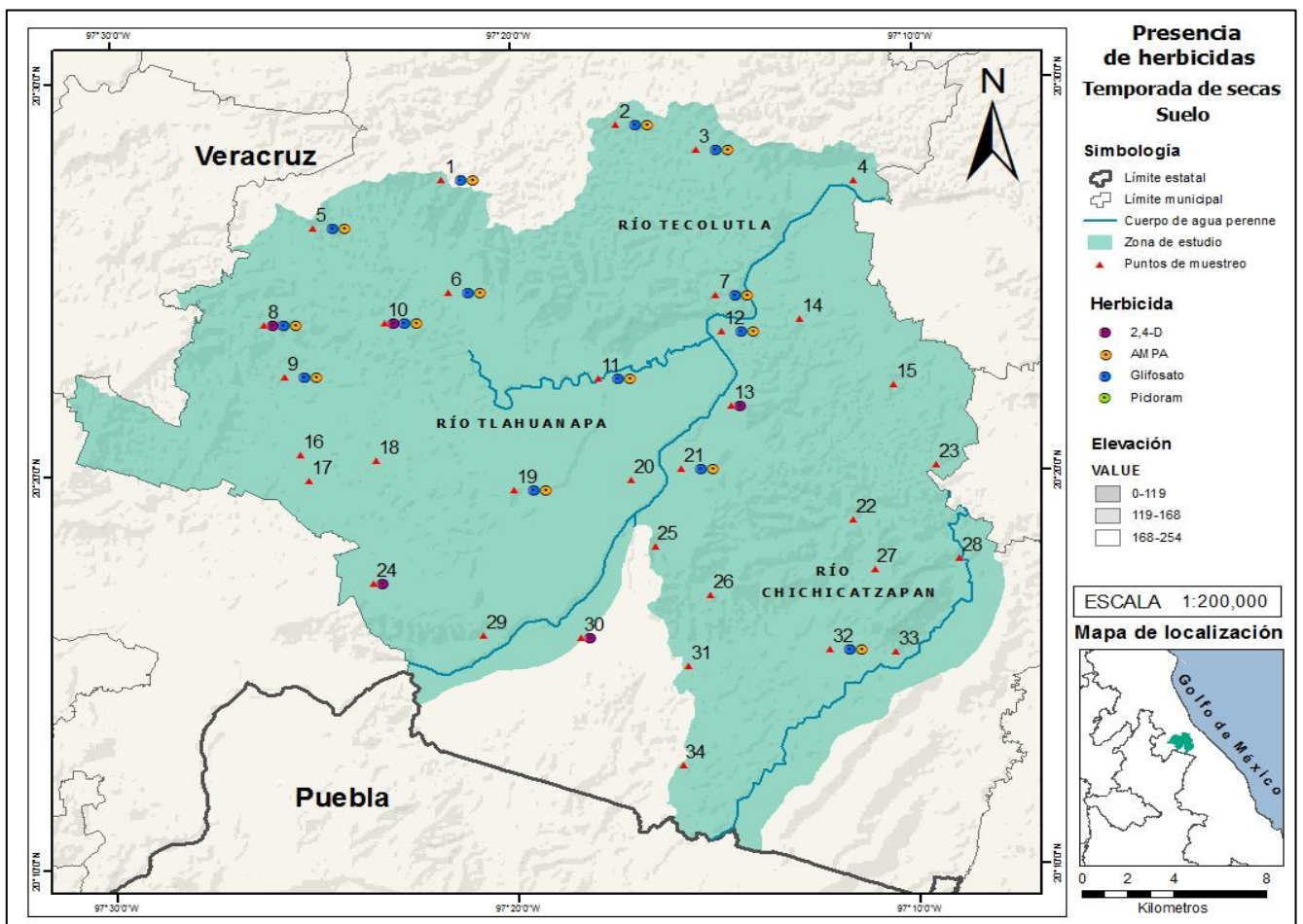


Figura 12. Ubicación de los sitios de muestreo con presencia de 2,4-D, AMPA, glifosato y picloram en suelos de cultivo durante la temporada de secas.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.

### 7.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS CUERPOS DE AGUA

Se recolectaron 15 muestras de agua superficial en cuatro cuerpos de agua. Los sitios incluidos fueron el Río Tlahuanapa, el Río Tecolutla y dos de sus afluentes ubicados en las localidades de Cuyuxquihui e Insurgentes Socialistas, respectivamente. El sitio de recolección de la muestra y sus coordenadas geográficas, así como el tipo de corriente se presentan en el Cuadro 13.

**Cuadro 13. Ubicación georreferenciada de las muestras en cuerpos de agua.**

Muestra	Sitio	Tipo de corriente	Coordenadas	
1	Río Tecolutla	Principal	20.453263	97.195848
2	Río Tecolutla	Principal	20.398260	97.237745
3	Río Tecolutla	Principal	20.393744	97.251686
4	Río Tecolutla	Principal	20.37405	97.240502
5	Río Tecolutla	Principal	20.371296	97.250336
6	Río Tecolutla	Principal	20.356457	97.252824
7	Río Tecolutla	Principal	2034203	97.270101
8	Río Tecolutla	Principal	20.321446	97.274673
9	Río Tecolutla	Principal	20.306423	97.290873
10	Río Tecolutla	Principal	20.283252	97.301500
11	Río Tecolutla	Principal	20.272504	97.321902
12	Río Tecolutla	Principal	20.260131	97.338462
13	Río Tlahuanapa	Principal	20.373783	97.298077
14	Cuyuxquihui	Afluente	20.281166	97.260336
15	Insurgentes Socialistas	Afluente	20.190259	97.266833

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

Los resultados obtenidos de las características fisicoquímicas en los muestreos durante época de secas y lluvias se muestran en el Cuadro 14, para los valores del Río Tecolutla se realizó un promedio (n=12) de las muestras recolectadas sobre ese cuerpo de agua, en el Cuadro 19, Anexo II se observan los datos obtenidos por cada punto de muestreo.

**Cuadro 14. Características fisicoquímicas promedio de los cuerpos de agua en la temporada de secas y lluvias.**

Características	Temporada	Cuerpo de agua			
		Río Tecolutla <sup>a</sup>	Afluente Cuyuxquihui	Afluente Insurgentes Socialistas	Río Tlahuanapa
pH	Secas	8.75	7.92	8.60	7.80
	Lluvias	7.97	8.20	7.86	7.12
Temperatura (°C)	Secas	25.74	27.00	31.00	27.46
	Lluvias	25.23	26.30	26.56	28.24
TDS (g/L)	Secas	0.14	0.38	0.00	0.14
	Lluvias	0.13	0.13	0.40	0.53
Nitratos (mg/L)	Secas	25.55	12.63	10.32	13.23
	Lluvias	19.27	16.46	12.81	16.59
DO (mg/L)	Secas	11.52	14.70	15.63	12.60
	Lluvias	7.99	3.22	9.26	6.17

TDS: sólidos totales disueltos

DO: oxígeno disuelto

<sup>a</sup> Valores promedio, n=12

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

Los valores de pH registrados para los cuerpos de agua durante la temporada de secas oscilaron entre 8.75-7.80 y disminuyeron ligeramente en la temporada de lluvias; en ambas épocas se encontraron dentro de los parámetros establecidos por la SEMARNAT para la protección de vida acuática; entre 5 y 9 (SEGOB, 1989); así como dentro de los rangos dados por la EPA, 2017a y el por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME, 2014) (6.5-9); sin embargo, los valores eran muy cercanos al límite superior. Carrillo y Villalobos (2011), realizaron un análisis estadístico comparativo de la calidad de Río Tecolutla en el periodo marzo a diciembre de 2010, se reporta un valor promedio de pH de 7.43 para el río en el municipio de Papantla, valor cercano a lo analizado sobre ese cuerpo de agua.

El pH del agua es un factor que afecta la concentración de los plaguicidas en los cuerpos de agua, cuanto más alcalina sea el agua más rápidamente se descompone el plaguicida. Algunos plaguicidas comienzan a descomponerse tan pronto como se combinan con agua con pH mayor que 8 y 9 (Universidad de Massachusetts, 2012).

La temperatura registrada en los cuerpos de agua fue mayor durante el muestreo realizado en la temporada de secas, esta oscilo entre 25.74 a 31°C; y disminuyó durante la época de lluvias entre 25.23 a 28.24 °C, en ambos casos no rebasaron el límite máximo permisible para protección de vida acuática de 40°C en ríos dado por SEMARNAT; por otro lado, la EPA (1986) recomienda un valor máximo térmico de verano de 29.4°C en caso de las regiones subtropicales, esta temperatura fue superada en el afluente del Río Tecolutla ubicado en Insurgentes Socialista en la época de secas. Para el Río Tecolutla, Carrillo y Villalobos (2011) reportaron una temperatura promedio de 26.67, similar a la medida en los muestreos.

Con respecto al oxígeno disuelto los valores obtenidos en los cuatro cuerpos de agua se encontraron por arriba de lo marcado en los límites de protección de vida acuática dado por la SEMARNAT, 5 mg/L, y por la CCME (2014) para la biota de agua caliente en cuerpos de agua dulce (5.5 mg/L) en ambas temporadas de muestreo. Exceptuando la muestra tomada en Cuyuxquihui en temporada de lluvias, cuya concentración (3.22 mg/L) es ligeramente mayor al valor mínimo establecido por la EPA (1986) para evitar la mortalidad aguda (3 mg/L) en peces de agua caliente. Por otra parte, el valor promedio reportado para el Río

Tecolutla por Carrillo y Villalobos (2011) fue de 9.45 mg/L, en el caso de los datos obtenidos en el presente estudio fueron 11.52 mg/L, en secas, y 7.99 mg/L en lluvias.

El oxígeno disuelto y la temperatura son dos características que están relacionadas en los cuerpos de agua, temperaturas más cálidas hacen que en el agua exista un menor contenido de oxígeno disuelto. Estudios han confirmado que bajas concentraciones de oxígeno disuelto, combinado con sustancias tóxicas como los plaguicidas, pueden crear estrés en los sistemas acuáticos. La alta temperatura del agua asociada con bajas concentraciones de oxígeno disuelto también aumenta el efecto adverso sobre la biota (Owen, 2015).

Los nitratos son un parámetro esencial en la evaluación de la calidad del agua, aunque esté presente en concentraciones bajas, son perjudiciales para los humanos y el ganado; algunos plaguicidas contienen nitratos. Las concentraciones más altas se registraron en la corriente principal del Río Tecolutla con un valor de 25.55 mg/L en la temporada de secas y 19.27 mg/L en la temporada de lluvias; Carrillo y Villalobos (2011) reportaron una concentración promedio de 11.77 mg/L para el mismo cuerpo de agua.

De acuerdo a los criterios de protección de vida acuática dado por la SEMARNAT no hay un límite establecido para la concentración de nitratos en cuerpos de agua dulce, sin embargo, el valor máximo para agua marina o en áreas costeras no debe ser mayor de 0.04 mg/L como N; los cuerpos de agua muestreados se encuentran próximos a la zona costera y la desembocadura en el Golfo de México; las medidas son superiores a las recomendadas en dichas áreas. Asimismo, la CCME (2014) marca una concentración máxima de nitratos de 550 mg/L como ion en agua dulce para la protección de la vida acuática, en los cuerpos de agua estudiados las concentraciones fueron menores a los límites establecidos.

La cantidad de sólidos disueltos totales presentes en los cuerpos de agua varió notablemente entre los cuerpos de agua analizados; en el afluente del Río Tecolutla ubicado en Insurgentes Socialistas la concentración fue de cero en la temporada de secas, es posible que la cantidad de sólidos fuera menor al límite de detección del equipo, durante la temporada de lluvias aumentó a 0.40 g/L, máxima concentración encontrada en el estudio. El Río Tecolutla registró un valor de 0.14 y 0.13 g/L en la época de secas y lluvias, respectivamente; concentraciones similares a las reportadas por Carrillo y Villalobos (2011).

La normatividad mexicana no marca criterios ecológicos para la protección de vida acuática en cuerpos de agua dulce para el contenido de sólidos disueltos; sin embargo, la EPA (1986) reportó que cuerpos de agua dulce con sólidos disueltos por encima de 15 000 mg/L no eran adecuados para la mayoría de los peces de agua dulce: ninguno de los cuerpos analizados presentó concentraciones mayores a 530 mg/L.

#### 7.4. CONCENTRACIONES DE LOS HERBICIDAS 2,4-DICLOROFENOXIACÉTICO, GLIFOSATO Y PICLORAM EN AGUA

##### 7.4.1. 2,4-D

De los cuatro cuerpos de agua muestreados ninguno mostró presencia del herbicida durante ambas temporadas (Cuadro 15). Se ha reportado al 2,4-D como un herbicida con una vida media relativamente corta y limitada movilidad en el suelo; sin embargo, residuos del herbicida pueden entrar en los ríos y arroyos ya sea por la deriva accidental, la escorrentía de los suelos o por lixiviación a través de la columna del suelo y puede ser depositado en lechos de arroyos secos o en el fondo de los lagos y ríos (Norris, 1981). El tiempo de vida media del herbicida en agua reportado es de dos días bajo condiciones aerobias y puede exceder los 312 días en condiciones anaeróbicas (Wilson *et al.*, 1997).

El 2,4-D se puede hidrolizar rápidamente en condiciones naturales del agua. Se ha reportado que la velocidad de hidrólisis es dependiente del pH, la vida media del herbicida es mucho más corta a pH 9 que a pH 6 (Ghassemi *et al.*, 1981; Zepp *et al.*, 1975); en las muestras analizadas los valores de pH durante la temporada de secas oscilaron entre 7.80 a 8.6 y disminuyeron ligeramente en la temporada de lluvias, lo que pudo propiciar la descomposición del herbicida.

De acuerdo con Howard (1991), en agua, la velocidad de degradación del 2,4-D depende del nivel de nutrientes, la disponibilidad de oxígeno y de si el agua ha sido previamente contaminada con 2,4-D u otros ácidos fenoxiacéticos; es posible que la degradación del herbicida se haya favorecido por las altas concentraciones de oxígeno disuelto, así como de nitratos y sólidos disueltos registrados en los cuerpos de agua analizados. Por otra parte, estudios de laboratorio han demostrado que en aguas con temperaturas cálidas y ricas en nutrientes pueden disipar la concentración del 2,4-D con mayor facilidad (Halter, 1980), las elevadas temperaturas medidas en los ríos y afluentes estudiados, además del clima cálido

subhúmedo de la zona pueden favorecer la degradación del herbicida en los cuerpos de agua.

Morales (2016), reporta concentraciones menores a una parte por billón de 2,4-D en cinco muestras obtenidas en el curso bajo y la desembocadura del Río Tecolutla durante la temporada de lluvias; en la misma zona se encontró presencia del herbicida en una muestra en la temporada de secas con una concentración menor a 1 ppb; la ausencia del herbicida en el área de Papantla puede indicar que la contaminación de río en Tecolutla y Gutiérrez Zamora se deba al arrastre y la escorrentía de las áreas de cultivo cercanas a la zona.

**Cuadro 14. Concentraciones de los herbicidas en cuerpos de agua en la temporada de secas y lluvias.**

Ingrediente activo	2,4-D		picloram		Glifosato		AMPA		
	Temporada	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
Muestra	Concentración (ppb)								
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	Traza	Traza	45.45	-	-
6	-	-	-	Traza	-	-	-	-	-
7	-	-	-	Traza	-	-	-	-	-
8	-	-	-	Traza	-	-	-	-	-
9	-	-	-	Traza	-	-	-	-	-
10	-	-	-	Traza	-	-	-	-	-
11	-	-	-	Traza	Traza	-	22.44	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Traza: valor detectable pero no cuantificable

(-) Concentración no detectada

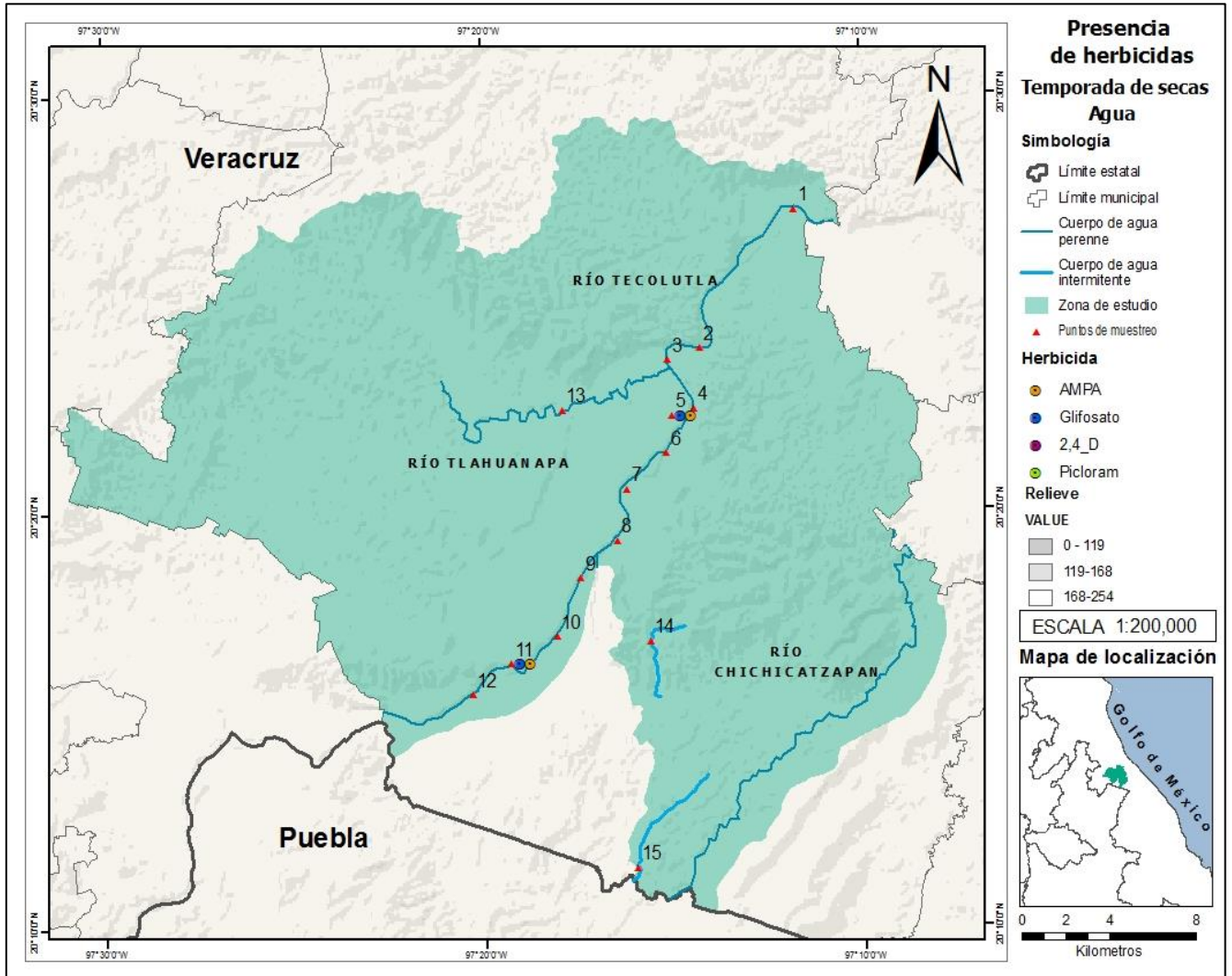
**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

#### 7.4.2. GLIFOSATO Y AMPA

Se encontraron concentraciones trazas, menores al límite de detección: 23.42 ppb, de glifosato en dos muestras (5 y 11) recolectadas sobre el Río Tecolutla durante la temporada de secas (Figura 13). Con respecto a la temporada de lluvias hubo presencia del herbicida en la muestra 5 en concentración traza (Figura 14); no se observó una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de cada temporada ( $p > 0.05$ ), Cuadro 23, Anexo IV.

Se detectó presencia de AMPA en la temporada de secas sobre el Río Tecolutla; el valor máximo fue 45.45 ppb en la muestra 5 y el mínimo de 22.44 ppb en la muestra 11; en los mismos sitios donde se registraron concentraciones de glifosato; un estudio realizado por

Battaglin *et al.* (2014) en Estados Unidos sobre la aparición y concentración de glifosato y AMPA en muestras de agua, se reporta que el glifosato y AMPA se detectan generalmente juntos, situación que ocurre extensamente en el ambiente.



**Figura 13. Ubicación de los sitios de muestreo con presencia de 2,4-D, AMPA, glifosato y picloram en cuerpos de agua durante la temporada de secas.**

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

Los valores reportados de glifosato en este estudio se encontraron por debajo del límite marcado en la Guía Canadiense para la Calidad del Agua para la Protección de la Vida Acuática ( $800 \mu\text{g i.a.}\cdot\text{L}^{-1}$ ). No hay una concentración para la Protección de la Vida Acuática establecida por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME) en el caso del AMPA.



No se observó presencia del glifosato o de su producto de degradación en alguno de los afluentes estudiados o en el Río Tlahuanapa durante ambos muestreos; a diferencia de la mayoría de los herbicidas solubles en agua el glifosato tiene una capacidad de adsorción muy alta en partículas y sedimentos presentes en los cuerpos de agua (Aparicio *et al.*, 2013); por lo que la ausencia en dichos cuerpos puede deberse a su alto contenido de sólidos disueltos.

La detección del glifosato y del metabolito de degradación en el Río Tecolutla puede deberse a que los sitios donde hubo presencia del herbicida están rodeados por zonas dedicadas a la agricultura anual y perenne; se ha reportado que el glifosato puede alcanzar las aguas superficiales por emisión directa, deposición atmosférica y por adsorción a partículas de suelo suspendidas en agua de escorrentía (Anderson *et al.*, 2005), también puede lixiviar en el suelo hacia aguas subterráneas, aunque se cree que la tasa de lixiviación es baja (Borggaard y Gimsing, 2008; Simonsen *et al.*, 2008). Debido al uso extensivo de herbicidas basados en glifosato, y su principal metabolito se han detectado frecuentemente en cuerpos de agua. Tanto el glifosato como el AMPA son más solubles y pueden persistir en ambientes acuáticos durante varias semanas (Giesy *et al.*, 2000).

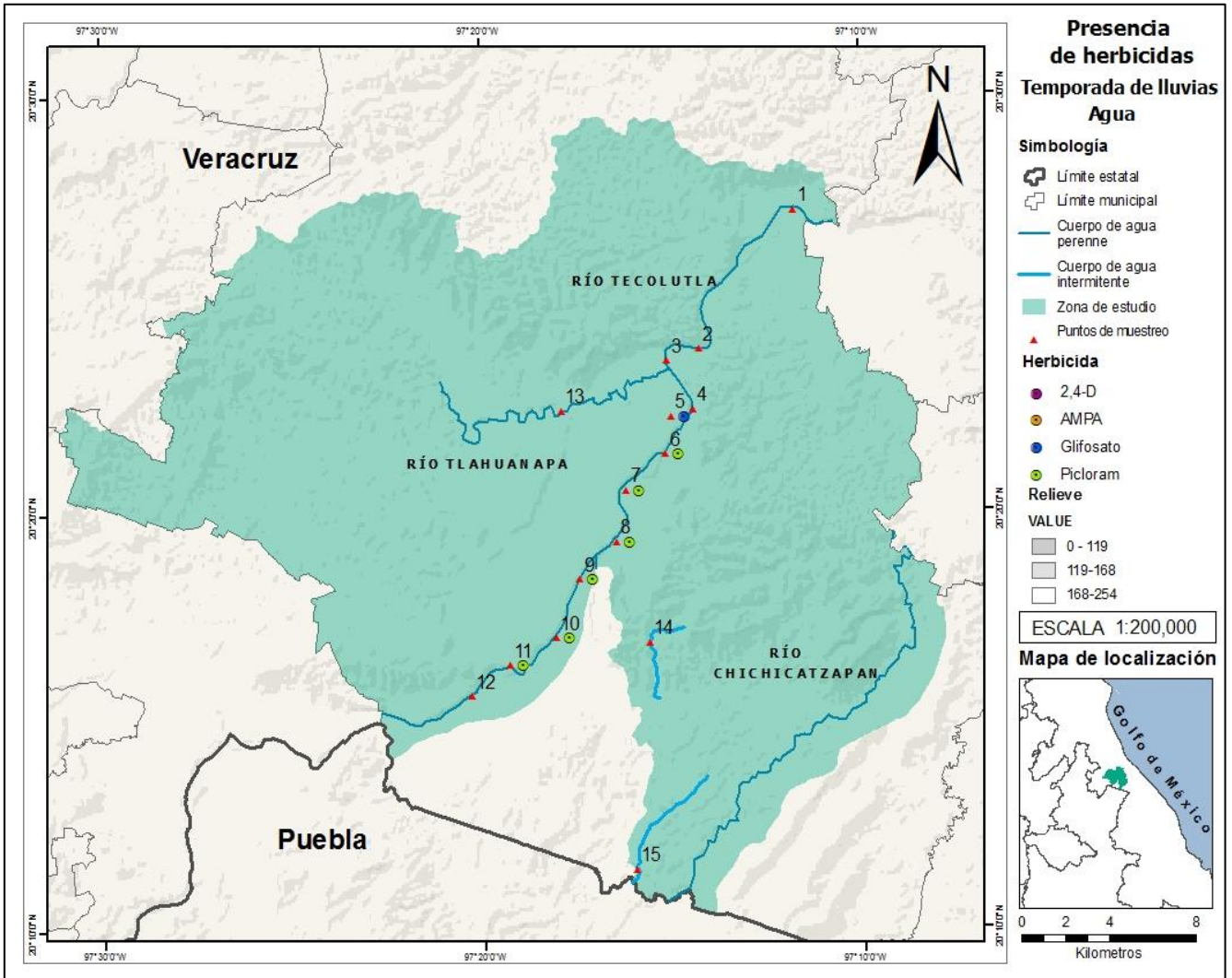
Morales (2016) informa sobre concentraciones de glifosato menores a 20 ppb en nueve muestras recolectadas en el curso bajo y la desembocadura del Río Tecolutla durante la temporada de lluvias; concentraciones similares se encontraron en la zona de estudio en la misma época. Igualmente, se registraron concentraciones de AMPA en tres muestras recolectadas en Tecolutla ligeramente mayor a la encontrada en Papantla en la temporada de secas.

La presencia de concentraciones traza de glifosato en el Río Tecolutla en la zona de estudio se vuelve de mayor relevancia debido a su cercanía a la desembocadura, se ha observado que el herbicida es altamente soluble en agua; una vez en el medio acuático, puede disiparse rápidamente; sin embargo, tiene una alta persistencia en agua de mar (Tooby, 1985).

#### 7.4.3. PICLORAM

Los análisis en los cuerpos de agua mostraron presencia de picloram en cinco muestras durante la temporada de lluvias, ubicadas del punto seis al once, sobre en el Río Tecolutla

(Figura 14). Las concentraciones se encontraron por debajo del límite de cuantificación: 2.66 ppb.



**Figura 14. Ubicación de los sitios de muestreo con presencia de 2,4-D, AMPA, glifosato y picloram en suelos de cultivo durante la temporada de lluvias.**

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

Los valores reportados son menores al límite marcado en la Guía Canadiense para la Calidad del Agua para la Protección de la Vida Acuática para agua dulce:  $29 \mu\text{g i.a.}\cdot\text{L}^{-1}$ . En lo demás cuerpos de agua no se registraron concentraciones del herbicida en ninguna de las épocas, lo que se podría deber a una ubicación lejana de cultivos y pastizales.

Este herbicida no se descompone muy bien en agua, propiedad asociada con la persistencia a largo plazo si el producto químico llega al agua subterránea, la vida media

en agua oscila entre 2 a 3 días; sin embargo, las muestras recolectadas en la temporada de secas no presentaron concentración del herbicida, esto se puede atribuir a la fácil degradación del picloram cuando se expone a la luz solar en la superficie del follaje y los suelos (EPA, 1995; Tu *et al.*, 2001; WS, 2006).

Se determinó que el área del Río Tecolutla donde se encontró presencia de picloram esta rodeados por zonas dedicadas a la agricultura anual y perenne. Se ha reportado que la lluvia y el subsiguiente escurrimiento superficial de las áreas agrícolas proporcionan un mecanismo para el movimiento del sitio de aplicación del plaguicida; de igual manera, la ocurrencia de una caída de lluvia inmediatamente después de la aplicación de los productos causa una pérdida significativa de producto, dependiendo del volumen total de lluvia (Barra *et al.*, 1995; Harman *et al.*, 2004; Larson *et al.*, 1995), lo que pudo facilitar el transporte del picloram, desde el lugar de aplicación hasta el Río Tecolutla durante la temporada de lluvias.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Morales (2016) en la sección del Río Tecolutla ubicada en los municipios de Gutiérrez Zamora y Tecolutla se registraron muestras con concentraciones que iban de 0.23 a 0.59 ppb en la temporada de lluvias. Durante la temporada de secas una muestra registró un valor menor a 0.08 ppb. Por otro lado, Palma *et al.* (2004) también informan sobre concentraciones residuales de picloram de 0.31 µg/L en aguas superficiales donde existen áreas de cultivo en la cuenca del Río Traiguen, en el sur de Chile; durante los meses lluviosos (mayo y agosto); ambos estudios al igual que los resultados obtenidos en Papantla presentan una mayor concentración de picloram en cuerpos de agua superficiales durante la época de lluvias por lo cual se puede observar que la esorrentía agrícola es una importante vía de entrada del herbicida.

## 7.5. PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

### 7.5.1. GRADO DE SELECTIVIDAD RESPECTO AL OBJETIVO

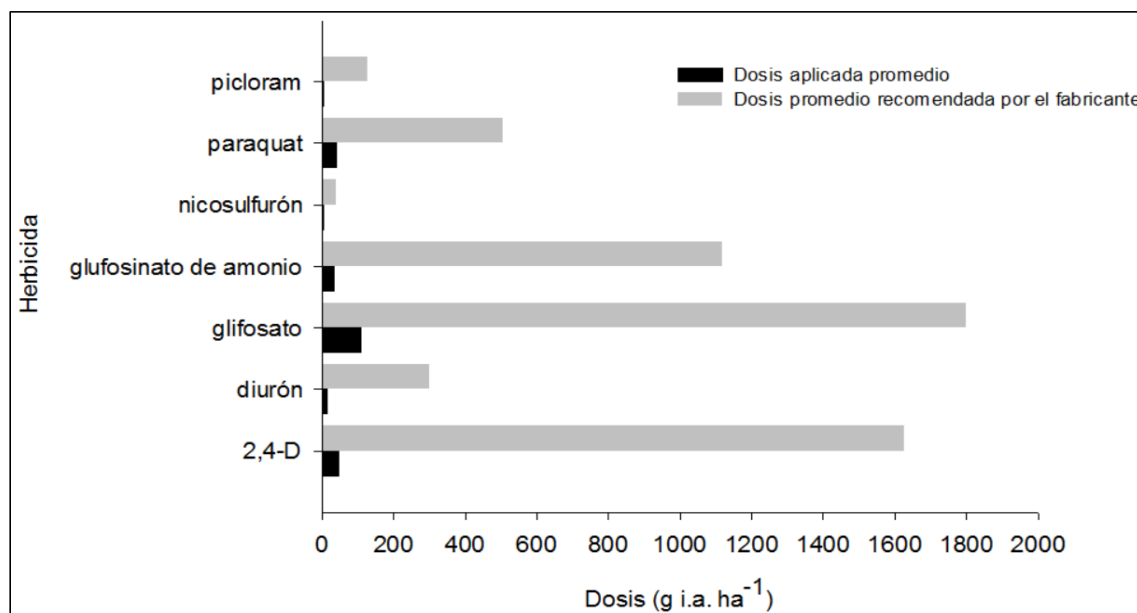
Parte de las recomendaciones dadas por la FAO para tener un manejo integral de los cultivos es evitar el uso de plaguicidas de amplio espectro como es el caso de glifosato, el paraquat y el glufosinato de amonio; herbicidas aplicados en la mayoría de los cultivos muestreados (Figura 15).

El glifosato es uno de los agroquímicos más vendidos y de más rápido crecimiento del mundo (Baylis, 2000), la creación de especies de cultivos tolerantes al glifosato ha

aumentado significativamente la demanda y el uso de este herbicida y también ha elevado el riesgo de exposición a especies no objetivo (Annett *et al.*, 2014). Por su parte, el dicloruro de paraquat, comúnmente conocido como "paraquat", es un herbicida de contacto, no selectivo y uno de los más tóxicos y específicos a nivel pulmonar (Sergio, 2001). Tanto la EPA como la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) declararon a todos los productos de paraquat registrados como plaguicida de uso restringido, es decir, sólo pueden ser vendidos y utilizados por aplicadores certificados (Cofepris, 2016; EPA, 2017b).

El uso de herbicidas selectivos es recomendable ya que solo eliminan las malezas sin afectar a los cultivos y a los demás organismos presentes en el agroecosistema.

Los resultados del cuestionaron mostraron un notable uso del herbicida 2,4-D en cultivos de cítricos: naranja, limón y mandarina (Figura 15); si bien este es un herbicida selectivo en Argentina y la Unión Europea han restringido su uso por el riesgo que representa para la salud y el ambiente (Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia, 2016). En México su aplicación no está recomendada en cultivos de cítricos, COFEPRIS no autoriza su uso en este tipo de cultivos.



**Figura 15. Herbicidas utilizados por tipo de cultivo.**  
**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

El uso de herbicidas selectivos es relevante para evitar la resistencia de los herbicidas; se ha observado un serio incrementado en los últimos años de maleza resistente al glifosato,

al 2,4-D y paraquat. También es importante considerar el control de las malezas por medio de materiales no químicos, como su eliminación durante el período crítico de competencia con los cultivos, la preparación de falsas camas de semillas a fin de controlar mecánica o manualmente las malezas o la rotación de cultivos.

### 7.5.2. DOSIFICACIÓN Y MEZCLAS

En la Figura 16 se muestran las dosis promedio aplicadas, gramos de ingrediente activo por hectárea, por cada herbicida usado en la zona de estudio y se compara con la dosis promedio recomendada en las fichas técnicas de los productos comerciales.

Se observa que la dosis aplicada no rebasa a la establecida por el fabricante; sin embargo, la dosificación de los herbicidas es una de las prácticas agrícolas más complejas dado que se debe contemplar otras variables en el momento de la preparación y aplicación como son la presentación física del herbicida (líquido, granulado), la concentración del ingrediente activo en cada producto que puede variar de acuerdo a la marca, el equipo de aplicación; así como los periodos de carencia y residualidad con el objetivo de evitar un daño al ambiente y a los agricultores. El diseño del instrumento aporta información parcial sobre esta práctica por lo cual no es posible identificar si las concentraciones aplicadas son un factor para la presencia de los herbicidas en los suelos de cultivos y cuerpos de agua.

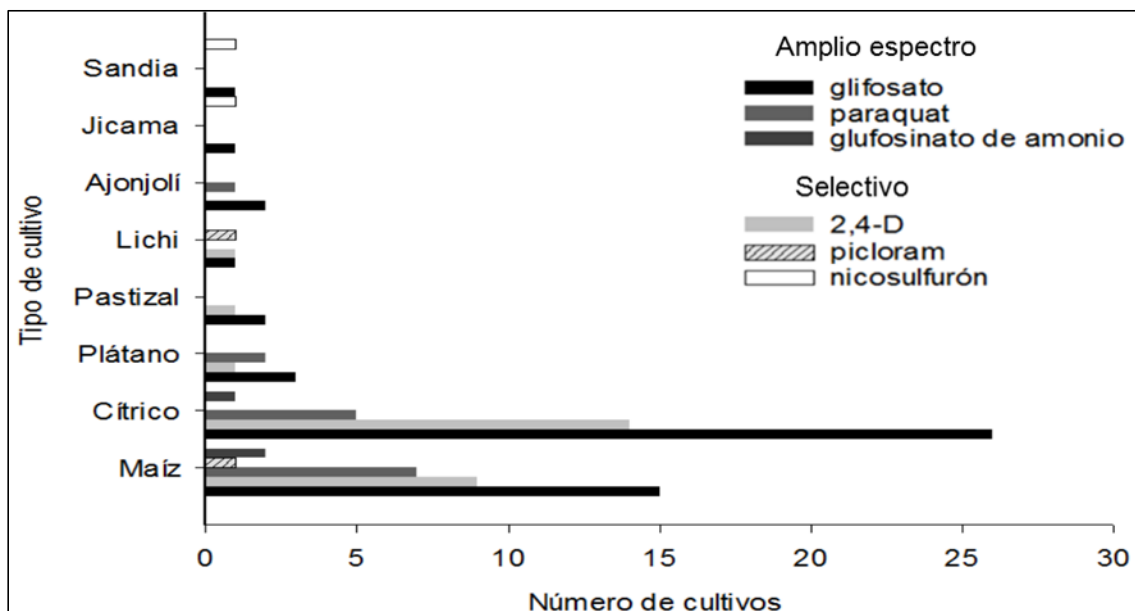


Figura 16. Dosis promedio aplicadas en el área de estudio por tipo de herbicida.  
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.

Con respecto a las mezclas realizadas en el área de estudio la combinación más frecuente es el glifosato con 2,4-D (91.3%) y glifosato con plicloram/2,4-D (8.69%); en ambos casos realizadas por el agricultor; información que concuerda con lo reportado por Carrillo (2016).

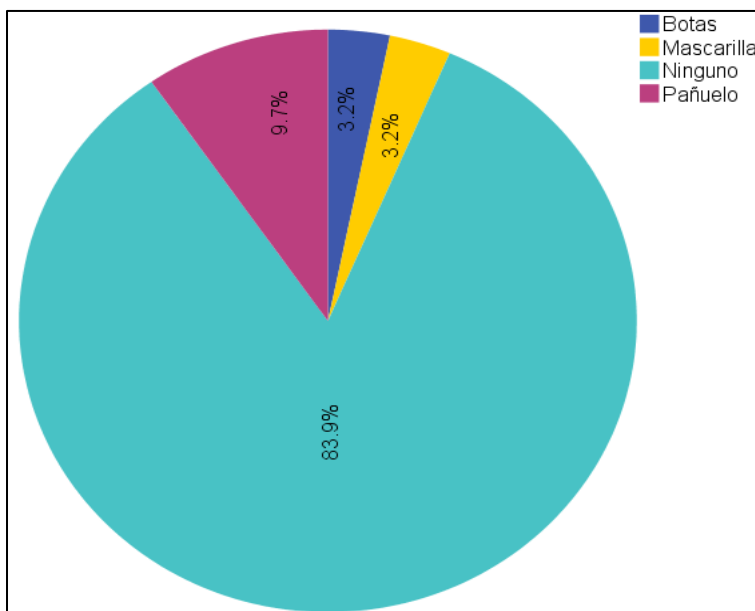
Se ha reportado un mejor porcentaje control de la maleza con mezclas de 2,4-D y glifosato; Robinson *et al.* (2012) informan un control de 99 a 100% de las especies *Amaranthus rudis*, *Ambrosia trifida*, *Setaria faberi* y *Abutilon theophrasti* con dosis de 2,4-D que variaron entre 280 a 1 120 g i.a. ha<sup>-1</sup> y glifosato, 840 y 1120 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, Wehtje y Gilliam (2012), reportan un control menor o igual a 80% en la hiedra venenosa *Toxicodendron radican* con una dosis 1:1 de 2,4-D y glifosato; sin embargo, en ninguno de los estudios se concluyó cual es la dosis ideal y tampoco fue posible determinar si existió sinergia o hubo un efecto sobre el rendimiento al mezclar los herbicidas.

Un estudio realizado en el país identificó la combinación de plaguicidas llevada a cabo por los trabajadores agrícolas con el fin de obtener mezclas más eficaces para el control de malezas como una práctica agrícola peligrosa al no contar con el conocimiento previo de la toxicidad y el posible impacto en la salud de las mezclas (Payán *et al.*, 2012).

Asimismo, los agricultores se exponen continuamente a agentes químicos simultáneamente cuando realizan mezclas de herbicidas, haciendo más difícil la identificación los efectos de los agentes particulares y complica la evaluación de su impacto en la salud humana (Kamel y Hoppin, 2004).

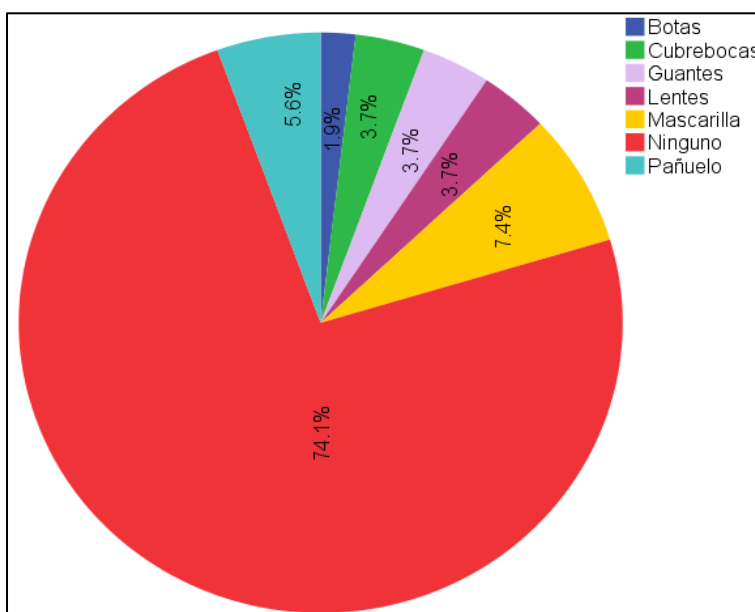
### 7.5.3. INDUMENTARIA PARA LA APLICACIÓN

De los cuestionarios aplicados se registró que los agricultores no utilizaron el equipo de protección personal adecuado, más de 80% informó no emplear alguna prenda o equipo para realizar la mezcla de los herbicidas; 9.7% indicó utilizar un pañuelo para cubrir la boca y nariz en el momento de mezclar; 3.2% comunicó ponerse botas, finalmente 3.2% respondió colocarse una mascarilla cuando realizaba la mezcla (Figura 17).



**Figura 17. Equipo de protección personal usado durante la preparación de mezclas.**  
**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

De acuerdo a los resultados obtenidos de los cuestionarios, se registró un bajo uso de equipo de protección personal cuando se aplicó herbicidas en la zona de estudio. Los agricultores informaron que la prendas o equipos más utilizadas fueron los cubrebocas, pañuelos y mascarillas en la aplicación; seguida por lentes y guantes, lo menos utilizado fue el calzado para el trabajo con herbicidas (Figura 18).



**Figura 18. Equipo de protección personal usado durante la aplicación de herbicidas.**  
**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

Comparativamente, se observa un mayor uso de equipo de protección personal, por parte de los agricultores, durante la aplicación de los herbicidas que en la mezcla de los mismos. Ramos *et al.* (2010) indican valores potenciales de exposición dérmica más altos en las etapas de mezclado y carga de los herbicidas en comparación con las etapas de aplicación y reingreso.

Las prendas utilizadas se centraron en la protección de la nariz y la boca dejando de lado el cuidado de las extremidades; se ha reportado la vía dérmica como la principal vía de exposición durante el manejo de plaguicidas (Singh y Gupta, 2009; Wolfe *et al.*, 1967). Un estudio realizado por Nuyttens *et al.* (2004) en relación a la distribución de plaguicidas en el cuerpo de los trabajadores cuando se realiza la aplicación de plaguicidas midió las exposiciones más altas en las piernas y los pies.

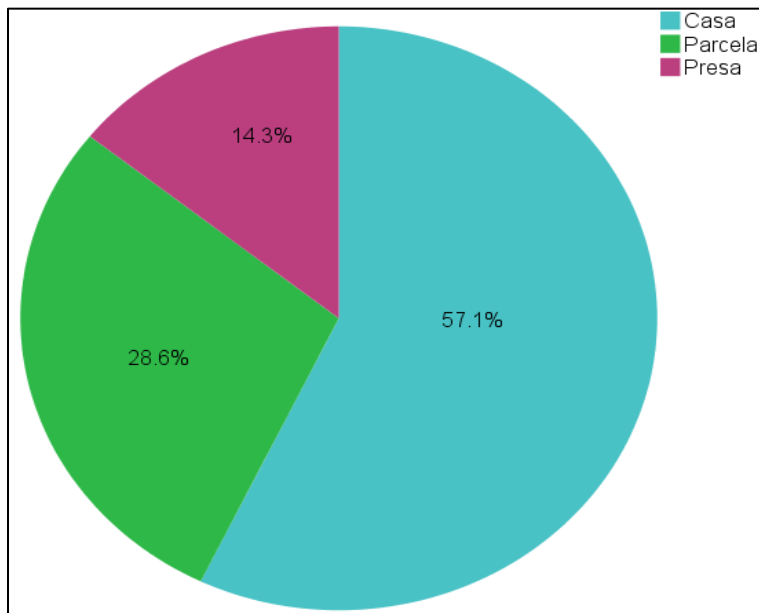
Algunos estudios han demostrado que, aunque la mayoría de los agricultores son conscientes de la importancia del uso de medidas de protección al aplicar plaguicidas, no hay una relación positiva significativa entre la toma de conciencia y el uso de medidas de protección. La principal razón para no usar medidas de protección son las molestias que enfrentan debido al equipo de protección así como el costo del equipo (Correa *et al.*, 2008; Ohayo *et al.*, 1999; Recena *et al.*, 2006; Singh y Gupta, 2009).

El Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas Directrices dado por la FAO recomienda evitar la aplicación de plaguicidas que requiera el uso de equipo de protección personal incómodo, costoso o difícil de conseguir en climas tropicales y por usuarios en pequeña escala (FAO, 2006).

En general, el equipo de protección personal mínimo requerido de acuerdo a la NOM-017-STPS-2008 para la manipulación de plaguicidas consiste en una mascarilla, overol, guantes de nitrilo o neopreno y botas; sin embargo, siempre debe ser seleccionado de acuerdo a las recomendaciones de la etiqueta.

Con respecto al lavado del equipo de protección personal, los agricultores que reportaron participar en el lavado del equipo de protección personal indicaron lavarlo principalmente en casa (57.1%), el segundo lugar más frecuente para la limpieza fue en las parcelas (28.6%) y 14.3% informó lavar el equipo dentro de cuerpos de agua (Figura 19).





**Figura 19 . Lugares reportados para el lavado del equipo de protección personal.**  
**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

Las diversas agencias y organizaciones responsables de la gestión de los plaguicidas han establecido de manera general parámetros para la manipulación del equipo de protección personal; con respecto a su lavado se ha determinado que no debe realizarse en ríos, laguna, arroyos, presas o canales ni en lugares cercanos a estos con el fin de evitar la contaminación de los cuerpos de agua; se recomienda descontaminar completamente el equipo de protección personal después de usarlo y luego almacenarlo en una bodega bien ventilada; por otra parte, los agricultores deben evitar llevar a casa el equipo contaminado con plaguicidas, de ser necesario es preponderante lavar las prendas en forma separada del resto de la ropa de la familia (Environment Agency, 2003; EPA, 2016b; FAO, 2001).

#### 7.5.4. GESTIÓN DE EXCEDENTES FITOSANITARIOS Y EQUIPOS DE ASPERSIÓN

En el Cuadro 16 se observa el destino de los envases vacíos de los herbicidas, la mayoría de los agricultores queman los recipientes (38.71%) principalmente en las parcelas y en menor proporción en casa. En segundo lugar, los envases fueron desechados (27.42%) en basureros o depósitos destinados exclusivamente a residuos agroquímicos; sin embargo, se informó que previo al desecho no se realiza el lavado correspondiente de los envases; también se reportó su desecho dentro de las parcelas. De igual manera, se informaron el almacenamiento de los recipientes (17.71%) especialmente en las parcelas y, en menor medida, en las casas.

Las practicas más alarmantes es el reúso de los envases (8.06%) para el transporte de agua; así como el entierro de los recipientes en las parcelas (6.45%). Solo el 1.61% reportó lavar los recipientes; no obstante, no se realiza el triple lavado. Se ha observado que el incorrecto desecho de los plaguicidas utilizados en el proceso del cultivo tiene efectos destructores sobre los ecosistemas tropicales (Salcedo y Melo, 2005).

Recena *et al.* (2006), realizaron un estudio transversal de conocimientos, actitudes y prácticas en agricultores en Culturama, Brasil, el cual mostró resultados similares a los obtenidos en la investigación; la mayoría de los agricultores eliminó los contenedores de plaguicidas vacíos dentro de la finca (54.4%) por incineración, enterrando, dejando en el campo o reutilizando para otros fines (por ejemplo, para almacenamiento de alimentos y agua). El estudio concluyó en la necesidad de programas educativos especiales, legislación que promueva el uso de plaguicidas más seguros y la implementación de medidas de protección personal para disminuir la exposición a plaguicidas de los agricultores.

**Cuadro 15. Disposición final de envases de plaguicidas.**

<b>Destino del envase</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Lugar</b>	<b>Porcentaje</b>
Quema	38.71	Parcela	95.65
		Casa	4.35
		Basurero	38.89
Desecha	27.42	Parcela	38.89
		Depósito	22.22
Almacena	17.74	Parcela	81.82
		Casa	18.18
Reúsa	8.06	Transportar agua	83.33
		Mezclar plaguicidas	16.67
Entierra	6.45	Parcela	100.00
Lava	1.61	Parcela	100.00

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

La disposición de los envases en la zona de estudio se realiza de manera inadecuada lo que puede propiciar la presencia de concentraciones residuales de los herbicidas en los suelos de cultivo y los cuerpos de agua; así como aumentar el riesgo de exposición de los agricultores y comunidades.

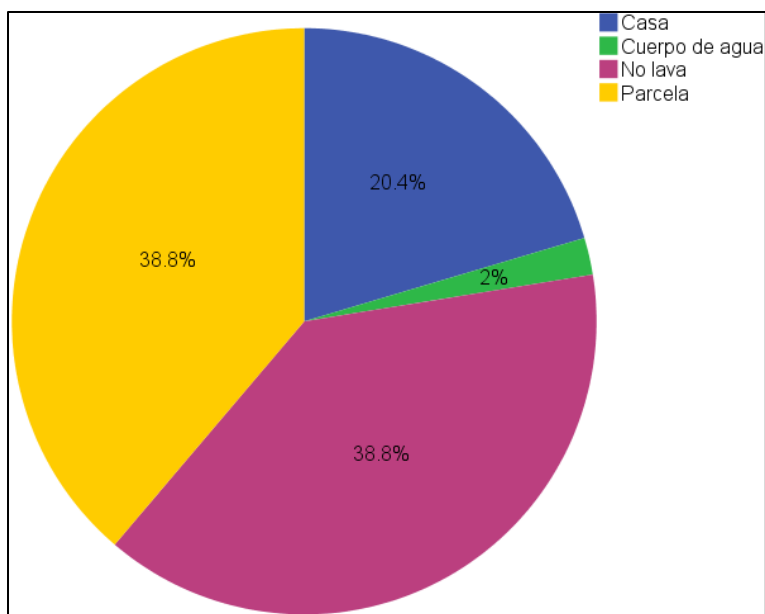
La FAO informa que la Buena Práctica Agrícola para el desecho de los envases es el enjuague, ya sea por lavado a presión, lavado a presión integrado o triple lavado; este último se utiliza cuando no se tiene un equipamiento de enjuague mecánico específico. Al finalizar con el contenido de un plaguicida, se debe perforar el envase y depositar en un lugar

adecuado para evitar el riesgo de contaminación a la población y el ambiente (FAO y OMS, 2008).

La COFEPRIS establece que el procedimiento para el desecho de los envases de plaguicidas que se mezclen con agua, y su envase lo permita, es realizar el triple lavado lo antes posible después de la utilización del plaguicida, verter el agua de enjuague en el contenedor donde se prepare el plaguicida para su aplicación. (COFEPRIS, 2015).

Existen diversas formas aprobadas de eliminación de los envases de plaguicidas, que pueden incluir el entierro, incineración o remoción por un contratista registrado. Los contenedores de productos químicos vacíos deben ser limpiados a fondo y ser inutilizados al perforarlos o triturarlos antes del entierro.

Por otra parte, el total de los agricultores indicó que la forma de aplicación de los herbicidas es manual con aspersores de mochila cuya capacidad variaba entre 15 y 20 L. De acuerdo al cuestionario solo 62.75% de los agricultores reportaron participar en el lavado del equipo de aspersión, de los cuales indicaron realizar el lavado del equipo principalmente dentro de las parcelas (38.8%); el segundo lugar más frecuente fue en los hogares (20.4%); finalmente 2% contestó lavar el equipo dentro de cuerpos de agua cercanos a los cultivos (Figura 20).



**Figura 20. Lugares de lavado de los equipos de aspersión.**  
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.

La PAHO recomienda lavar el equipo de aplicación, interior y exteriormente, sin contaminar fuentes de agua, ríos, lagunas, arroyos, presas, canales o depósitos de agua, no lavando o vertiendo en ellos residuos de plaguicidas. Los aspersores pueden lavarse directamente en el sitio de trabajo y verter el agua de lavado en los cultivos donde se aplicó el plaguicida (Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, 2003).

#### 7.5.5. FOLLETO

Estudios han mostrado que el uso de equipos de protección personal, cambios en los procedimientos de aplicación, mezclado y desecho de los herbicidas redujeron la exposición de los agricultores con los plaguicidas (Gutiérrez *et al.*, 2012; Keifer, 2000). Se recomienda informar y capacitar a los agricultores y a la comunidad sobre el manejo seguro de los plaguicidas, la aplicación de medidas de seguridad y el desecho adecuado de los excedentes fitosanitarios (Bernardino *et al.*, 2016; Correa *et al.*, 2008; Salcedo y Melo, 2005).

El folleto de “Buenas Prácticas Agrícolas. Uso de herbicidas” está dirigido a los agricultores y a la población expuesta indirectamente a los herbicidas. El propósito central es proporcionar información acerca de las técnicas y métodos adecuados para las prácticas que se identificaron se desarrollaban de forma inapropiada en la zona de estudio, dichas prácticas son el uso de equipo de protección personal durante el mezclado y aplicación de los herbicidas, el lavado del equipo de protección personal y el equipo de aplicación; así como la incorrecta disposición de los envases vacíos.

El folleto se presenta en el Anexo V, se pretende sensibilizar al lector de una manera no forzada, que el lector se sienta atraído hacia la información presentada en el folleto, para lo cual se adoptó un lenguaje coloquial.

## 8. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se llegan a las siguientes conclusiones:

- La aplicación de los herbicidas 2,4-D, glifosato y picloram durante las actividades de agricultura y la ganadería ha propiciado su presencia en los suelos de cultivo, así como en el principal cuerpo de agua de la zona de estudio. Las prácticas agrícolas inadecuadas informadas por los agricultores son una variable para la contaminación de las matrices ambientales.
- Se encontraron concentraciones del herbicida 2,4-D en suelos de cultivo en la temporada de secas, la concentración máxima fue  $520.65 \mu\text{g kg}^{-1}$  y mínima fue de  $129.14 \mu\text{g kg}^{-1}$ .
- Se hallaron concentraciones de glifosato y su producto de degradación AMPA en los suelos de cultivo durante la temporada de secas; la concentración mínima registrada fue  $555.85 \mu\text{g kg}^{-1}$  y la máxima de  $2\ 383.22 \mu\text{g kg}^{-1}$  para el caso del glifosato y  $801.51 \mu\text{g kg}^{-1}$  (mínima) y  $5\ 037.76 \mu\text{g kg}^{-1}$  (máxima) de AMPA.
- No hubo presencia de picloram en los suelos de cultivo en ninguna de las temporadas muestreadas.
- Se identificó la presencia del glifosato y AMPA en el Río Tecolutla; con concentraciones trazas, menores al límite de detección: 23.42 ppb, para glifosato durante la temporada de secas y lluvias; en caso del AMPA la mayor concentración fue de 45.45 ppb y la menor 22.44 ppb en la temporada de secas.
- Se encontró el herbicida picloram en el Río Tecolutla en concentraciones traza.
- No se observó presencia de 2,4-D en los cuerpos de agua superficiales del área de estudio.
- En general los valores de las características fisicoquímicas del agua se encontraron dentro los límites permitidos por la SEMARNAT; sin embargo, algunos valores de pH se ubicaron cercanos al límite máximo; de igual forma se registraron concentraciones altas de nitratos, lo cual podría indicar un mal uso de fertilizantes en la zona de estudio.
- Las concentraciones de los herbicidas en el Río Tecolutla se encontraron por debajo del límite marcado en la Guía Canadiense para la Calidad del Agua para la Protección de la Vida Acuática.

- De acuerdo a este estudio y a investigaciones anteriores se puede concluir que el uso de agroquímicos puede provocar la contaminación de los suelos; también se puede observar una movilización continua de los herbicidas hacia los cuerpos de agua.
- Los agricultores no reportan el uso de equipo de protección personal apropiado durante le mezclado y la aplicación de los herbicidas.
- La gestión de los envases vacíos de herbicidas es inadecuada; así como, la limpieza del equipo de aspersión y lavado del equipo de protección personal en cuerpos de agua.

## 9. CONSIDERACIONES FINALES

La información presentada es una contribución importante al conocimiento de la distribución ambiental de estos herbicidas en la zona de estudio. Se demuestra que es esencial el monitoreo del comportamiento de los herbicidas y sus metabolitos de degradación, por lo que se recomienda continuar con este tipo de estudio para sustentar la toma de decisiones que ayuden a la mejora de las prácticas agrícolas.

Se debe promover la integración de un monitoreo a largo plazo de corte interdisciplinario que permita correlacionar diversos factores como las prácticas agrícolas regionales con las condiciones climáticas y geográficas al igual que con las concentraciones de los herbicidas en las matrices ambientales.

Se propone implementar acciones conjuntas y coordinadas entre los diferentes actores: gobierno, productores e importadores, comercializadores, agricultores, trabajadores y consumidores, para desarrollar estrategias integrales de acción que promuevan la prohibición y restricción del uso de herbicidas de amplio espectro de acuerdo a lo que menciona la FAO; así como el cumplimiento de Buenas Prácticas Agrícolas, incluyendo el uso de equipos de seguridad, con el fin de disminuir gradualmente la exposición de la población agrícola a herbicidas.

Se debe priorizar el cambio de los sistemas de agricultura y ganadería convencionales a sistemas de bajo consumo de herbicidas, con el fin de reducir el impacto ambiental que provoca el uso de este tipo de agroquímicos.

Para que este tipo de estudios tengan éxito es necesario que el sector de la población responsable del manejo del uso de agroquímicos se incorpore a programas educativos integrales que estén acordes a sus necesidades, condiciones sociales y económicas.

También es importante formular e implementar, programas preventivos que abarquen áreas estratégicas, como los efectos a la salud por el uso de agroquímicos; debido a que al menos tres de los herbicidas de mayor uso agrícola tienen efectos adversos para la salud de los seres humanos, ya que consiguen alterar la estructura del ADN, así como dañar el sistema nervioso.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, O., Ortiz, E., Cruz, M., Cruz, E., 2004. El papel de óxidos de hierro en suelos. *Terra Latinoamericana* 22, 485–497. doi:2395-8030
- Albert, L., 2005. Panorama de los plaguicidas en México, en: 7° Congreso de Actualización en Toxicología Clínica. Retel, Tepic, Nayarit, pp. 1–17.
- Anderson, A., Byrtus, G., Humphries, D., 2005. Glyphosate residues in Alberta's atmospheric deposition, soils and surface waters /. *Alberta Environment*, Edmonton. doi:10.5962/bhl.title.102010
- Annett, R., Habibi, H., Hontela, A., 2014. Impact of glyphosate and glyphosate-based herbicides on the freshwater environment. *J. Appl. Toxicol.* 34, 458–79. doi:10.1002/jat.2997
- Aparicio, V., De Gerónimo, E., Marino, D., Primost, J., Carriquiriborde, P., Costa, J., 2013. Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. *Chemosphere* 93, 1866–1873. doi:10.1016/j.chemosphere.2013.06.041
- Arias, J., Rengifo, T., Jaramillo, M., 2007. Manual: Buenas Prácticas Agrícolas, en la producción de frijol voluble. Medellín.
- Arias, M., López, E., Martínez, E., Simal, J., Mejuto, J., García, L., 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123, 247–260. doi:10.1016/j.agee.2007.07.011
- Arriaga, L., 2000. Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. México.
- Bakry, F., Ismail, S., Abd El-Atti, M., 2015. Glyphosate herbicide induces genotoxic effect and physiological disturbances in *Bulinus truncatus* snails. *Pestic. Biochem. Physiol.* 123, 24–30. doi:10.1016/j.pestbp.2015.01.015
- Barra, R., Vighi, M., Di Guardo, A., 1995. Prediction of surface water input of chloridazon and chlorpyrifos from an agricultural watershed in Chile. *Chemosphere* 30, 485–500. doi:10.1016/0045-6535(94)00412-N
- Battaglin, W., Meyer, M., Kuivila, K., Dietze, J., 2014. Glyphosate and its degradation product AMPA occur frequently and widely in U.S. soils, surface water, groundwater, and precipitation. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 50, 275–290. doi:10.1111/jawr.12159
- Baylis, A., 2000. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pest Manag. Sci.* 56, 299–308. doi:10.1002/(SICI)1526-4998(200004)56:4<299::AID-PS144>3.0.CO;2-K
- Bedmar, F., Costa, J., Gimenez, D., Daniel, P., 2013. Comparación de dos métodos de obtención de índices para la estimación del riesgo de lixiviación de plaguicidas en dos perfiles de suelo. *Agriscientia* 30, 69–78.
- Beltran, J., Henandez, F., Morell, I., 1995. Estudios de absorción de plaguicidas en suelos mediante experiencias en batch. *Universitat Jaume I*.
- Bernardino, H., Mariaca, R., Nazar, A., Álvarez, J., Torres, A., Herrera, C., 2016. Factores socioeconómicos y tecnológicos en el uso de agroquímicos en tres sistemas agrícolas en los altos de Chiapas, México. *Interciencia* 4.
- Bigham, J., Fitzpatrick, R., Schulze, D., 2002. Iron Oxides, en: *Soil mineralogy with environmental applications*. Soil Science Society of America Book Series, Madison, pp. 324–366.
- Borggaard, O., Gimsing, A., 2008. Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. *Pest Manag. Sci.* 64, 441–456. doi:10.1002/ps.1512
- Bouseba, B., Zertal, A., Beguet, J., Rouard, N., Devers, M., Martin, C., Martin-Laurent, F., 2009. Evidence for



- 2,4-D mineralisation in mediterranean soils: impact of moisture content and temperature. *Pest Manag. Sci.* 65, 1021–1029. doi:10.1002/ps.1789
- Buttler, T., Martinkovic, W., Nesheim, O., 1998. Factors influencing pesticide movement to ground water 1–4.
- Carrillo, A., Villalobos, R., 2011. Análisis comparativo de los índices de Calidad del Agua (ICA) de los Ríos Tecolutla y Cazones en el periodo marzo- diciembre 2010. Universidad Veracruzana.
- Carrillo, C., 2016. Uso de herbicidas y su distribución espacial en la Subcuenca Río Tecolutla. Municipios: Tecolutla, Gutierrez Zamora y Papantla. Instituto Politécnico Nacional.
- CCME, 2014. Canadian Environmental Quality Guidelines [WWW Document]. URL [http://www.ccme.ca/en/resources/canadian\\_environmental\\_quality\\_guidelines/](http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/) (consultado 8.8.16).
- CCME, 2012. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Glyphosate, Canadian environmental quality guidelines.
- Celis, R., Hermosín, C., Cornejo, L., Carrizosa, J., Cornejo, J., 2002. Clay-herbicide complexes to retard picloram leaching in soil. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 82, 503–517. doi:10.1080/03067310290018785
- Cheung, M., Biggar, J., 1974. Solubility and molecular structure of 4-amino-3,5,6-trichloropicolinic acid in relation to pH and temperature. *J. Agric. Food Chem.* 22, 202–206.
- Cofepris, 2016. Catálogo de plaguicidas [WWW Document]. Ssa. URL [http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas\\_y\\_Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx](http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas_y_Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx)
- Cofepris, 2015. Lineamientos que deberán cumplir la etiqueta para plaguicidas de uso en salud pública. Ciudad de México.
- Collins, G., Vian, W., Phillips, G., 1978. Use of 4-amino-3,5,6-trichloropicolinic acid as an auxin source in plant tissue cultures. *Crop Sci.* 18, 286. doi:10.2135/cropsci1978.0011183X001800020023x
- Comité de Agricultura, 2003. Elaboración de un marco para las Buenas Prácticas Agrícolas (No. COAG/2003/6). Roma.
- Conagua, 2012. Glosario general de términos del desarrollo de la base metodológica para el inventario nacional de humedales de México. México.
- Conagua, 2009. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Río Tuxpan, Río Cazones, Río Tecolutla, Río Nautla, Río Misantla, Río Colipa y Llanuras de Tuxpan, mismos. Diario Oficial de la Federación, México.
- Congreso de la Unión, 1992. Ley de Aguas Nacionales. DOF 24-03-2016, Estados Unidos Mexicanos.
- Congreso de la Unión, 1984. Ley General de Salud. DOF 27-01-2017, Estados Unidos Mexicanos.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 1999. Los criterios y estándares para declarar un suelo contaminado en Andalucía y la metodología y técnicas de toma de muestra y análisis para su investigación. Andalucía.
- Correa, F., Cárdenas, J., Castaño, E., 2008. Evaluación de la protección personal en algunos sistemas de producción agropecuaria. *Vet. y Zootec.* 2, 52–67.
- Cortinas de Nava, C., 2008. Situación en México de las existencias de plaguicidas sujetos al convenio de Estocolmo. México.
- Cox, C., 1998. Picloram. *J. Pestic. Reform* 18, 13–20.
- del Puerto, A., Suárez, S., Palacio, D., 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud 52, 372–387.
- Delmonico, E., Bertozzi, J., Souza, N., Oliveira, C., 2014. Determination of glyphosate and aminomethylphosphonic acid for assessing the quality tap water using SPE and HPLC. *Acta Sci. Technol.*

- 36, 513–519. doi:10.4025/actascitechnol.v36i3.22406
- Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible, 2003. Guías ambientales para el subsector de plaguicidas. Bogotá.
- Dos Santos, L., Infante, C., Masini, J., 2010. Determination of picloram in waters by sequential injection chromatography with UV detection. *J. Braz. Chem. Soc.* 21, 1557–1562. doi:10.1590/S0103-50532010000800022
- Duffner, A., Ingwersen, J., Hugenschmidt, C., Streck, T., 2010. Pesticide transport pathways from a sloped Litchi orchard to an adjacent tropical stream as identified by hydrograph separation. *J. Environ. Qual.* 41, 1315–23. doi:10.2134/jeq2011.0316
- Eldridge, B., 2008. Pesticide application and safety training for applicators of public health pesticides. California. Environment Agency, 2003. Best Practice Guides to Pesticide Use [WWW Document]. Gob. del Reino Unido. URL <http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=000IL3890W.17UT4C6CUKO4BO> (consultado 10.25.16).
- EPA, 2017a. National Recommended Water Quality Criteria - Aquatic Life Criteria Table [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table#table> (consultado 5.3.17).
- EPA, 2017b. Paraquat Dichloride [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/paraquat-dichloride> (consultado 1.13.17).
- EPA, 2016a. Basic information about pesticide ingredients [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/basic-information-about-pesticide-ingredients> (consultado 11.10.17).
- EPA, 2016b. Personal protective equipment for pesticide handlers [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/pesticide-worker-safety/personal-protective-equipment-pesticide-handlers> (consultado 9.30.16).
- EPA, 1995. R.E.D. FACTS Picloram (No. EPA-738-F-95-018). Washington.
- EPA, 1986. Quality Criteria for Water. Washington D.C.
- Extension Toxicology Network, 2008. Pesticide information profile, 2,4-D [WWW Document]. URL <http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/extoxnet/24d-captan/24d-ext.html> (consultado 6.1.16).
- Fairchild, J., Feltz, K., Sappington, L., Allert, A., Nelson, K., Valle, J., 2009. An ecological risk assessment of the acute and chronic toxicity of the herbicide picloram to the threatened bull trout (*salvelinus confluentus*) and the rainbow trout (*onchorhynchus mykiss*). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 56, 761–769. doi:10.1007/s00244-008-9227-1
- Fairchild, M., 2005. The Munsell book of color, Color Appearance Models.
- Fait, A., Bent, I., Tiramani, M., Visenti, S., Maroni, M., 2004. Prevención de los riesgos para la salud derivados del uso de plaguicidas en la agricultura. Francia.
- FAO, 2012a. Actualización del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas. Roma.
- FAO, 2012b. Picloram [WWW Document]. FAO Specif. Eval. Agric. Pestic. URL <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/jmps/ps-new/en/#P>
- FAO, 2008. Buenas Prácticas Agrícolas [WWW Document]. URL [http://www.fao.org/prods/gap/index\\_es.htm](http://www.fao.org/prods/gap/index_es.htm) (consultado 11.15.16).
- FAO, 2006. Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Roma.
- FAO, 2001. Guidelines on good practice for ground application of pesticides. FAO, Roma.

- FAO, OMS, 2008. Código internacional de conducta sobre la distribución y utilización de plaguicidas. Directrices sobre opciones de manejo de envases vacíos de plaguicidas. Roma.
- FAO, OMS, 1998. Pesticide residues in food. Lyons.
- Farmer, W., Aochi, Y., 1974. Picloram sorption by soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 38, 418. doi:10.2136/sssaj1974.03615995003800030016x
- Flury, M., 1996. Experimental evidence of transport of pesticides through field soils—A Review. *J. Environ. Qual.* 25, 25. doi:10.2134/jeq1996.00472425002500010005x
- Fogg, P., Boxall, A., Walker, A., Jukes, A., 2004. Effect of different soil textures on leaching potential and degradation of pesticides in biobeds. *J. Agric. Food Chem.* 52, 5643–5652. doi:10.1021/jf040023n
- Fontes, M., Carvalho, A., 2005. Computed-tomographic measurement of soil macroporosity parameters as affected by stiff-stemmed grass hedges contribution from the missouri agricultural experiment station. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, 1609–1616. doi:10.2136/sssaj2004.0312
- Forlani, G., Mangiagalli, A., Nielsen, E., Suardi, C.M., 1999. Degradation of the phosphonate herbicide glyphosate in soil: Evidence for a possible involvement of unculturable microorganisms. *Soil Biol. Biochem.* 31, 991–997. doi:10.1016/S0038-0717(99)00010-3
- Fuscaldo, F., Bedmar, F., Monterubbianesi, G., 1999. Persistence of atrazine, metribuzin and simazine herbicides in two soils. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 34, 2037–2044. doi:10.1590/S0100-204X1999001100009
- García, A., Ramírez, A., Lacasaña, M., 2002. Prácticas de utilización de plaguicidas en agricultores. *Gac. Sanit.* 16, 236–240.
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, Quinta. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía, México.
- Gasnier, C., Benachour, N., Clair, E., Travert, C., Langlois, F., Laurant, C., Decroix-Laporte, C., Séralini, G.-E., 2010. Dig1 protects against cell death provoked by glyphosate-based herbicides in human liver cell lines. *J. Occup. Med. Toxicol.* 5, 29. doi:10.1186/1745-6673-5-29
- Gevao, B., Semple, K., Jones, K., 2000. Bound pesticide residues in soils: A review. *Environ. Pollut.* 108, 3–14. doi:10.1016/S0269-7491(99)00197-9
- Geyikçi, F., 2011. Pesticides and their movement surface water and ground water, en: Stoytcheva, M. (Ed.), *Agricultural and Biological Sciences “Pesticides in the modern world - risks and benefits”*. InTech, pp. 411–422.
- Ghassemi, M., Fargo, P., Painter, S., Quinlivan, R., Takata, A., 1981. Environmental fates and impacts of major forest use pesticides. Washington D.C.
- Gobierno del Estado de Veracruz, 2013. Atlas municipales de riesgos: Cuenca del Río Tecolutla. Veracruz.
- Golge, O., Kabak, B., 2015. Determination of 115 pesticide residues in oranges by high-performance liquid chromatography-triple-quadrupole mass spectrometry in combination with QuEChERS method. *J. Food Compos. Anal.* 41, 86–97. doi:10.1016/j.jfca.2015.02.007
- González, A., Gallego, A., Gemini, V., Papalia, M., Radice, M., Gutkind, G., Planes, E., Korol, S., 2012. Degradation and detoxification of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) by an indigenous *Delftia* sp. strain in batch and continuous systems. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 66, 8–13. doi:10.1016/j.ibiod.2011.09.010
- Gutiérrez, N., Serra, J., Dussan, S., 2012. Priorización de factores críticos para implantar buenas prácticas agrícolas en pequeños productores. *Cuad. Desarro. Rural* 9, 221–237.
- Halter, M., 1980. 2,4-D in the aquatic environment, en: Shearer, R., Halter, M. (Eds.), *Literature Reviews of Four*

- Selected Herbicides: 2,4-D, dichlobenil, diquat & endothall. Municipality of Metropolitan Seattle.
- Harikrishan, V., Usha, S., 2007. 2,4-D Respuestas a preguntas frecuentes. Razones para su prohibición mundial. México.
- Harman, W., Wang, E., Williams, J., 2004. Reducing atrazine losses: water quality implications of alternative runoff control practices. *J. Environ. Qual.* 33, 7–12.
- Hermosin, M., Cornejo, J., 1991. Soil adsorption of 2,4-D as affected by the clay mineralogy. *Toxicol. Environ. Chem.* 31, 69–77. doi:10.1080/02772249109357674
- Hernández, A., Hansen, A., 2011. Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 27, 115–127.
- Holland, J., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103, 1–25. doi:10.1016/j.agee.2003.12.018
- Howard, P., 1991. *Handbook of Environmental Fate and Exposure Data: For Organic Chemicals, Volume III Pesticides.* Lewis Publishers.
- IARC, 2016a. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1 – 104 [WWW Document]. IARC Monogr. URL [http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest\\_classif.php](http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php) (consultado 6.8.16).
- IARC, 2016b. Glyphosate (No. 112).
- IARC, 2015. IARC Monographs Volume 112: Evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides. Lyon.
- Inegi, 2014. Cartas Topográficas [WWW Document]. URL [http://buscador.inegi.org.mx/search?client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=\\*&sort=date:D:S:d1&entsp=a\\_\\_inegi\\_politica\\_p72&lr=lang\\_es%7Clang\\_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=140&ulang=e](http://buscador.inegi.org.mx/search?client=ProductosR&proxystylesheet=ProductosR&num=10&getfields=*&sort=date:D:S:d1&entsp=a__inegi_politica_p72&lr=lang_es%7Clang_en&oe=UTF-8&ie=UTF-8&ip=10.152.21.8&entqr=3&filter=0&site=ProductosBuscador&tlen=140&ulang=e) (consultado 5.25.16).
- Inegi, 2013. Panorama agropecuario en México: Censo Agropecuario 2007. México.
- Inegi, 2009. *Prontuario de Información Geográfica Municipal.* Veracruz.
- Islas, G., 2013. Determinación de glifosato y ácido aminometilfosfónico en suelos mediante HPLC con derivatización pre-columna. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Issa, Y., Sham'a, F., Nijem, K., Bjertness, E., Kristensen, P., 2010. Pesticide use and opportunities of exposure among farmers and their families: cross-sectional studies 1998-2006 from Hebron governorate, occupied Palestinian territory. *Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source* 9, 63. doi:10.1186/1476-069X-9-63
- Kaczyński, P., Łozowicka, B., 2015. Liquid chromatographic determination of glyphosate and aminomethylphosphonic acid residues in rapeseed with MS / MS detection or derivatization / fluorescence detection. *Open Chem. J.* 1011–1019. doi:10.1515/chem-2015-0107
- Kah, M., Brown, C., 2006. Adsorption of ionisable pesticides in soils, en: Ware, G. (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* Nueva York, pp. 149–217.
- Kamel, F., Hoppin, J.A., 2004. Association of pesticide exposure with neurologic dysfunction and disease. *Environ. Health Perspect.* 112, 950–958. doi:10.1289/ehp.7135
- Keifer, M.C., 2000. Effectiveness of interventions in reducing pesticide overexposure and poisonings. *Am. J. Prev. Med.* 18, 80–89. doi:10.1016/S0749-3797(00)00144-6
- Kookana, R., Baskaran, S., Naidu, R., 1998. Pesticide fate and behaviour in Australian soils in relation to contamination and management of soil and water: A review. *Aust. J. Soil Res.* 36, 715. doi:10.1071/S97109
- Kools, S., Van Roover, M., Van Gestel, C., Van Straalen, N., 2005. Glyphosate degradation as a soil health

- indicator for heavy metal polluted soils. *Soil Biol. Biochem.* 37, 1303–1307. doi:10.1016/j.soilbio.2004.11.026
- Kudsk, P., Streibig, J., 2003. Herbicides -a two- edged sword. *Weed Res.* 43, 90–102. doi:10.1046/j.1365-3180.2003.00328.x
- Labrada, R., Caseley, J., Parker, C., 1996. Manejo de malezas para países en desarrollo. Roma.
- Landry, D., Dousset, S., Fournier, J.C., Andreux, F., 2005. Leaching of glyphosate and AMPA under two soil management practices in Burgundy vineyards (Vosne-Romanée, 21-France). *Environ. Pollut.* 138, 191–200. doi:10.1016/j.envpol.2005.04.007
- Larrea, M., Tirado, N., Ascarrunz, M., 2010. Daño genotóxico por exposición a plaguicidas en agricultores del Municipio de Luribay. *Biofarbo* 18, 31–43.
- Larson, S.J., Capel, P.D., Goolsby, D.A., Zaugg, S.D., Sandstrom, M.W., 1995. Relations between pesticide use and riverine flux in the Mississippi River basin. *Chemosphere* 31, 3305–3321. doi:10.1016/0045-6535(95)00176-9
- Le Bellec, F., Vélú, A., Fournier, P., Le Squin, S., Michels, T., Tendero, A., Bockstaller, C., 2015. Helping farmers to reduce herbicide environmental impacts. *Ecol. Indic.* 54, 207–216. doi:10.1016/j.ecolind.2015.02.020
- Leistra, M., Boesten, J., 2010. Pesticide leaching from agricultural fields with ridges and furrows. *Water, Air, Soil Pollut.* 213, 341–352. doi:10.1007/s11270-010-0389-x
- Lin, Y., Karuppiah, M., Shaw, A., Gupta, G., 1999. Effect of simulated sunlight on atrazine and metolachlor toxicity of surface waters. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 43, 35–37. doi:10.1006/eesa.1998.1751
- Liu, C., Li, L., Wang, S., You, X., Jiang, S., Liu, F., 2012. Dissipation and residue of 2,4-D isooctyl ester in wheat and soil. *Environ. Monit. Assess.* 184, 4247–4251. doi:10.1007/s10661-011-2259-4
- López, J., Martínez, C., Moreno, L., Navarrete, P., 1992. Las aguas subterráneas y los plaguicidas. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- López, S., Aiassa, D., Benítez, S., Lajmanovich, R., Mañas, F., Poletta, G., Sánchez, N., Simoniello, M.F., Carrasco, A.E., 2012. Pesticides used in South American GMO-based agriculture. A review of their effects on humans and animal models, *Advances in Molecular Toxicology*. Elsevier. doi:10.1016/B978-0-444-59389-4.00002-1
- Lupi, L., Miglioranza, K., Aparicio, V., Marino, D., Bedmar, F., Wunderlin, D., 2015. Occurrence of glyphosate and AMPA in an agricultural watershed from the southeastern region of Argentina. *Sci. Total Environ.* 536, 687–694. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.07.090
- Mamy, L., Barriuso, E., 2005. Glyphosate adsorption in soils compared to herbicides replaced with the introduction of glyphosate resistant crops. *Chemosphere* 61, 844–855. doi:10.1016/j.chemosphere.2005.04.051
- Martínez, I., Cruz, M., 2009. El uso de químicos veterinarios y agrícolas en la zona ganadera de Xico, centro de Veracruz, México y el posible impacto ambiental. *Acta Zoológica Mex.* 25, 673–681.
- Maznah, Z., Halimah, M., Ismail, S., 2016. Adsorption-desorption behavior of thiram: effect of soil type, temperature and pH. *Chil. J. Agric. Res.* 76, 371–377. doi:10.4067/S0718-58392016000300016
- Mejía, J., Jerez, J., 2006. Guía para la toma de muestras de residuos de plaguicidas. Agua, sedimentos y suelo. Chile.
- Mercurio, P., Flores, F., Mueller, J., Carter, S., Negri, A., 2014. Glyphosate persistence in seawater. *Mar. Pollut. Bull.* 85, 385–390. doi:10.1016/j.marpolbul.2014.01.021
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia, 2016. Ley N° 8820: prohibición del uso y aplicación de los

- herbicidas ácido 2,4 diclorofenoxiacético en formulaciones ésteres butílicos e isobutílicos. Argentina.
- Monroy, C., Cortés, A., Sicard, D., Groot, H., 2005. Citotoxicidad y genotoxicidad en células humanas expuestas in vitro a glifosato. *Biomédica* 25, 335–345.
- Morales, A., 2016. Análisis del comportamiento ambiental de los herbicidas de mayor uso en la Subcuenca Río Tecolutla, Veracruz. Instituto Politécnico Nacional.
- Morell, I., Candela, L., 1998. Plaguicidas: aspectos ambientales, analíticos y toxicológicos. Castelló de la Plata: Universitat Jaume, España.
- Moret, S., Hidalgo, M., Sanchez, J., 2006. Development of an ion-pairing liquid chromatography method for the determination of phenoxyacetic herbicides and their main metabolites: application to the analysis of soil samples. *Chromatographia* 63, 109–115. doi:10.1365/s10337-005-0711-8
- Nikoloff, N., 2013. Genotoxicidad de herbicidas de importancia agroeconómica en Argentina. Universidad Nacional de la Plata.
- NLM, 2014. Glyphosate [WWW Document]. URL <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+3432> (consultado 1.18.16).
- Norris, L.A., 1981. The movement, persistence, and fate of the phenoxy herbicides and TCDD in the forest, en: *Residue Reviews*. Springer New York, Nueva York, pp. 65–135. doi:10.1007/978-1-4612-5913-8\_2
- NPIC, 2014. Glyphosate [WWW Document]. URL <http://npic.orst.edu/factsheets/archive/glyphotech.html> (consultado 5.19.16).
- NPIC, 1996. Picloram [WWW Document]. Ext. Toxicol. Netw. URL <http://extoxnet.orst.edu/pips/picloram.htm> (consultado 9.15.16).
- Nuyttens, D., Windey, S., Sonck, B., 2004. Comparison of operator exposure for five different greenhouse spraying applications. *J. Agric. Saf. Health* 10, 187–195.
- Oakes, D., Webster, W., Brown-Woodman, P., Ritchie, H., 2002. Testicular changes induced by chronic exposure to the herbicide formulation, Tordon 75D® (2,4-dichlorophenoxyacetic acid and picloram) in rats. *Reprod. Toxicol.* 16, 281–289. doi:10.1016/S0890-6238(02)00015-1
- OCDE, 2001. Herbicide [WWW Document]. URL <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=1227> (consultado 10.10.16).
- Ohayo, G., Kromhout, H., Karumba, P., Boleij, J., 1999. Identification of determinants of pesticide exposure among Kenyan agricultural workers using empirical modelling. *Ann. Occup. Hyg.* 43, 519–525. doi:S0003487899000459 [pii]
- Okada, E., Costa, J., Bedmar, F., 2016. Adsorption and mobility of glyphosate in different soils under no-till and conventional tillage. *Geoderma* 263, 78–85. doi:10.1016/j.geoderma.2015.09.009
- OMS, 2010. The Who recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification: 2009. Alemania. doi:ISBN 978 92 4 154796 3
- OMS, 2004. Guidelines for drinking-water quality, 3rd edition. doi:10.1016/S1462-0758(00)00006-6
- OMS, 2003. 2,4-D in drinking-water background document for preparation of WHO guidelines for drinking-water quality. Ginebra.
- OMS, 1997. Picloram. Grupo 3 [WWW Document]. Int. Program. Chem. Saf. URL <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol53/15-picloram.html> (consultado 6.18.16).
- OMS, 1989. Environmental Health Criteria 84, Environmental Aspects -2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) [WWW Document]. Int. Program. Chem. Saf. URL <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc84.htm> (consultado 4.8.16).

- Ordaz, Y., 2013. Biodegradación de Tordón (2,4-D y picloram) mezcla comercial de dos de los principales herbicidas utilizadas en la Subcuenca Tecolutla en Veracruz, México. IPN.
- Osuna, A., Díaz, J., De Anda, J., Villegas, E., Gallardo, J., Davila, G., 2015. Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del Río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Ambient. e Agua - An Interdiscip. J. Appl. Sci.* 10, 350–362. doi:10.4136/ambi-agua.1539
- Owen, J., 2015. Contaminación de las aguas [WWW Document]. Minist. Ambient. y Desarro. Sustentable. URL <http://www2.medioambiente.gov.ar/sian/chubut/trabajos/contagua.htm> (consultado 2.8.17).
- Palma, G., Sánchez, A., Olave, Y., Encina, F., Palma, R., Barra, R., 2004. Pesticide levels in surface waters in an agricultural-forestry basin in Southern Chile. *Chemosphere* 57, 763–770. doi:10.1016/j.chemosphere.2004.08.047
- Papadakis, E., Tسابoula, A., Kotopoulou, A., Kintzikoglou, K., Vryzas, Z., Papadopoulou-Mourkidou, E., 2015. Pesticides in the surface waters of Lake Vistonis Basin, Greece: Occurrence and environmental risk assessment. *Sci. Total Environ.* 536, 793–802. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.07.099
- Payán, R., Garibay, G., Rangel, R., Preciado, V., Muñoz, L., Beltrán, C., Mena, S., Jave, L., Feria, A., De Celis, R., 2012. Effect of chronic pesticide exposure in farm workers of a Mexico community. *Arch. Environ. Occup. Health* 67, 22–30. doi:10.1080/19338244.2011.564230
- Pedlowski, M., Canela, M., da Costa Terra, M., Ramos de Faria, R., 2012. Modes of pesticides utilization by Brazilian smallholders and their implications for human health and the environment. *Crop Prot.* 31, 113–118. doi:10.1016/j.cropro.2011.10.002
- Pereyra, D., Pérez, J., Salas, M., 2010. Hidrología, Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz.
- Pérez, J., 2009. Estudio del agua de escurrimiento en la Cuenca del Río Tecolutla, México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pérez, M., Navarro, H., Miranda, E., 2013. Residuos de plaguicidas en hortalizas: Problemática y riesgo en México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 29, 45–64.
- Peruzzo, P., Porta, A., Ronco, A., 2008. Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. *Environ. Pollut.* 156, 61–6. doi:10.1016/j.envpol.2008.01.015
- Pessagno, R., Torres, R., dos Santos, M., 2008. Glyphosate behavior at soil and mineral–water interfaces. *Environ. Pollut.* 153, 53–59. doi:10.1016/j.envpol.2007.12.025
- Peterson, M., McMaster, S., Riechers, D., Skelton, J., Stahlman, P., 2016. 2,4-D past, present and future: A review. *Weed Technol.* 30, 303–345. doi:10.1614/WT-D-15-00131.1
- Pirsaheb, M., Khodadadi, T., Bonyadi, Z., Sharafi, K., Khosravi, T., 2013. Evaluation of pesticide residues 2,4-D, atrazine and Alachlor concentration in drinking water well of Mahidasht district-Kermanshah, Iran, 2010-2011. *World Appl. Sci. J.* 21, 1530–1537. doi:10.5829/idosi.wasj.2013.23.11.234
- Poll, C., Pagel, H., Devers-Lamrani, M., Martin-Laurent, F., Ingwersen, J., Streck, T., Kandeler, E., 2010. Regulation of bacterial and fungal MCPA degradation at the soil-litter interface. *Soil Biol. Biochem.* 42, 1879–1887. doi:10.1016/j.soilbio.2010.07.013
- Ramos, L.M., Querejeta, G.A., Flores, A.P., Hughes, E.A., Zalts, A., Montserrat, J.M., 2010. Potential Dermal Exposure in greenhouses for manual sprayers: Analysis of the mix/load, application and re-entry stages. *Sci. Total Environ.* 408, 4062–4068. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.05.020
- Recena, M., Caldas, E., Pires, D., Pontes, E., 2006. Pesticides exposure in Culturama, Brazil-Knowledge, attitudes, and practices. *Environ. Res.* 102, 230–236. doi:10.1016/j.envres.2006.01.007

- Reddy, G., Joshi, D., Gold, M., 1997. Degradation of chlorophenoxyacetic acids by the lignin-degrading fungus *Dichomitus squalens*. *Microbiology* 143, 2353–2360. doi:10.1099/00221287-143-7-2353
- Reddy, T.P., Manczak, M., Calkins, M.J., Mao, P., Reddy, A.P., Shirendeb, U., Park, B., Reddy, P.H., 2011. Toxicity of neurons treated with herbicides and neuroprotection by mitochondria-targeted antioxidant SS31. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8, 203–221. doi:10.3390/ijerph8010203
- Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., Frede, H., 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. *Sci. Total Environ.* 384, 1–35. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.04.046
- Reidy, G., Rose, H., Stacey, N., 1987. Effects of picloram on xenobiotic biotransformation in rat liver. *Xenobiotica* 17, 1057–66.
- Richard, S., Moslemi, S., Sipahutar, H., Benachour, N., Seralini, G., 2005. Differential effects of glyphosate and Roundup on human placental cells and aromatase. *Environ. Health Perspect.* 113, 716–720. doi:10.1289/ehp.7728
- Robinson, A., Simpson, D., Johnson, W., 2012. Summer annual weed control with 2,4-D and glyphosate. *Weed Technol.* 26, 657–660. doi:10.1614/WT-D-12-00081.1
- Rodríguez, P., 2010. Sistemas productivos en el paisaje veracruzano, en: Córdova, R. (Ed.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz* : v. 3. Patrimonio histórico. Gobierno del Estado de Veracruz, Veracruz.
- Rosales, E., Sánchez, R., 2006. Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. México.
- Ruiz, J., Castro, R., Rivero, N., Bello, R., Sánchez, D., 2014. Occurrence of glyphosate in water bodies derived from intensive agriculture in a tropical region of southern Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 93, 289–293. doi:10.1007/s00128-014-1328-0
- Ruiz de Arcaute, C., Soloneski, S., Larramendy, M., 2016. Toxic and genotoxic effects of the 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)-based herbicide on the Neotropical fish *Cnesterodon decemmaculatus*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 128, 222–229. doi:10.1016/j.ecoenv.2016.02.027
- Salcedo, A., Melo, O., 2005. Evaluación del uso de plaguicidas en la actividad agrícola del departamento de Putumayo. *Rev. Ciencias la Salud* 3, 168–185.
- Samir, R., Essam, T., Ragab, Y., Hashem, A., 2015. Enhanced photocatalytic – biological degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. *Bull. Fac. Pharmacy, Cairo Univ.* 53, 77–82. doi:10.1016/j.bfopcu.2015.03.002
- Sánchez, J., Sánchez, M., 1985. Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.
- SE, 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-232-Ssa1-2009, Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico. *Diario Oficial de la Federación, Estados Unidos Mexicanos*.
- SE, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-Semarnat-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación, Estados Unidos Mexicanos*.
- SE, 1988a. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-104-1988, Plaguicidas determinación de residuos en agua: método de toma de muestras. *Diario Oficial de la Federación, Estados Unidos Americanos*.
- SE, 1988b. Norma Oficial Mexicana NOM-AA-105-1988, Plaguicidas determinación de residuos en suelo: método de toma de muestras. *Diario Oficial de la Federación, Estados Unidos Mexicanos*.



- Sefiplan, 2015. Cuadernillos Municipales, 2015. Papantla. Veracruz.
- Segob, 1989. Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89. DOF, Estados Unidos Mexicanos.
- Sergio, E., 2001. Salud en Tabasco. *Salud en Tabasco* 7, 357–359.
- SIAP, 2014. Cierre de la producción agrícola por cultivo [WWW Document]. *Prod. Agropecu. y Pesq.* URL <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (consultado 4.3.16).
- Simonsen, L., Fomsgaard, I., Svensmark, B., Spliid, N., 2008. Fate and availability of glyphosate and AMPA in agricultural soil. *J. Environ. Sci. Heal. Part B* 43, 365–375. doi:10.1080/03601230802062000
- Singh, B., Gupta, M., 2009. Pattern of use of personal protective equipments and measures during application of pesticides by agricultural workers in a rural area of Ahmednagar district, India. *Indian J. Occup. Environ. Med.* 13, 127. doi:10.4103/0019-5278.58915
- Singh, D., 2012. *Pesticide Chemistry and Toxicology*. Bentham Science Publishers.
- Soil Science Society of America, 2017. *Soils - Overview*. Madison.
- Spark, K., Swift, R., 2002. Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption. *Sci. Total Environ.* 298, 147–161. doi:10.1016/S0048-9697(02)00213-9
- Stella, J., Ryan, M., 2004. Glyphosate herbicide formulation: a potentially lethal ingestion. *Emerg. Med. Australas.* 16, 235–9. doi:10.1111/j.1742-6723.2004.00593.x
- Struger, J., Thompson, D., Staznik, B., Martin, P., McDaniel, T., Marvin, C., 2008. Occurrence of glyphosate in surface waters of southern Ontario. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 80, 378–384. doi:10.1007/s00128-008-9373-1
- Székács, A., Darvas, B., 2012. Forty years with glyphosate. *Herbic. Synth. Control weeds* 247–284. doi:10.5772/32491
- Tabares, J., López, Y., 2011. Salud y riesgos ocupacionales por el manejo de plaguicidas en campesinos agricultores, municipio de Marinilla, Antioquia, 2009. *Fac. Nac. Salud Pública* 29, 432–444.
- Tadeo, J., Sánchez, C., Pérez, R., Fernández, M., 2000. Analysis of herbicide residues in cereals, fruits and vegetables. *J. Chromatogr. A* 882, 175–191. doi:10.1016/S0021-9673(00)00103-5
- Tang, X., Zhu, B., Katou, H., 2012. A review of rapid transport of pesticides from sloping farmland to surface waters: Processes and mitigation strategies. *J. Environ. Sci.* 24, 351–361. doi:10.1016/S1001-0742(11)60753-5
- Tayeb, W., Chaieb, I., Hammami, M., 2011. Environmental fate and effects of 2,4-Dichlorophenoxyacetic herbicide, en: Piotrowski, K. (Ed.), *Herbicides: Properties, Crop Protection and Environmental Hazards*. Nova Science Publishers, Nueva York, pp. 161–187.
- Tayeb, W., Nakbi, A., Trabelsi, M., Attia, N., Miled, A., Hammami, M., 2010. Hepatotoxicity induced by sub-acute exposure of rats to 2,4-dichlorophenoxyacetic acid based herbicide “Désormone lourde”. *J. Hazard. Mater.* 180, 225–233. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.04.018
- Toledo, A., 2005. Marco conceptual: Caracterización ambiental del Golfo de México, en: Botello, A.V., Rendón von Osten, J., Gold, G., Agraz, C. (Eds.), *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias*. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, INECC, Campeche, pp. 25–53.
- Tomita, M., Okuyama, T., Watanabe, S., Uno, B., Kawai, S., 1991. High-performance liquid chromatographic determination of glyphosate and (aminomethyl)phosphonic acid in human serum after conversion into p-toluenesulphonyl derivatives. *J. Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl.* 566, 239–243. doi:10.1016/0378-

4347(91)80130-5

- Tomlin, C., 2006. *The Pesticide Manual: A World Compendium*, 14a ed. British Crop Protection Council, Surrey, Inglaterra.
- Trautmann, N., Porter, K., Wagenet, R., 1989. *Pesticides and groundwater: A guide for the pesticide user*, Cornell Cooperative Extension. Cornell Cooperative Extension.
- Tu, M., Hurd, C., Randall, J., 2001. *Weed control methods handbook: Tools & techniques for use in natural areas*, Management.
- UNA, 2015a. Glifosato [WWW Document]. Man. Plaguicidas Centroamérica. URL <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/306-glifosato> (consultado 10.8.16).
- UNA, 2015b. Picloram [WWW Document]. Man. Plaguicidas Centroamérica. URL <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/446-picloram> (consultado 10.8.16).
- Universidad de Hertfordshire, 2017. Pesticide Properties Database [WWW Document]. URL <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/Reports/525.htm> (consultado 1.17.17).
- Universidad de Massachusetts, 2012. Effects of pH on pesticides and growth regulators [WWW Document]. URL <https://ag.umass.edu/greenhouse-floriculture/fact-sheets/effects-of-ph-on-pesticides-growth-regulators> (consultado 1.15.17).
- USDA, 2008. Guide to texture by feel [WWW Document]. URL [https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2\\_054311](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054311) (consultado 5.8.16).
- Vera, M., 2011. Impacto del glifosato y algunos de sus formulados comerciales sobre el perifiton de agua dulce. *Acta Toxicológica Argentina* 19, 87–88.
- Villaruel, S., Javier, D., Rojas, S., Herrera, L., Arancibia, M., Condarco, S., Mena, R., 2014. Uso inadecuado de plaguicidas y sus consecuencias en la salud de la población La Villa, Punata, Cochabamba, Bolivia, 2013. *Gac. Médica Boliv.* 37, 11–14.
- Vroumsia, T., Steiman, R., Seiglemurandi, F., Benoitguyod, J., 2005. Fungal bioconversion of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 2,4-dichlorophenol (2,4-DCP). *Chemosphere* 60, 1471–1480. doi:10.1016/j.chemosphere.2004.11.102
- Walters, J., 1999. Environmental fate of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid. Sacramento.
- Waters Corporation, 2002. *Oasis Water Extraction Products: Environmental & Agrochemical Applications Notebook*. EE. UU.
- Wauchope, R., Estes, T., Allen, R., Baker, J., Hornsby, A., Jones, R., Richards, R., Gustafson, D., 2001. Predicted impact of transgenic, herbicide tolerant corn on drinking water quality in vulnerable watersheds of the mid-western USA. *Pest Manag. Sci.* 58, 146–60. doi:10.1002/ps.433
- Wehtje, G., Gilliam, C., 2012. Cost-effectiveness of glyphosate, 2,4-D and triclopyr, alone and in select mixtures for poison ivy control. *Weed Technol.* 26, 469–473. doi:10.1614/WT-D-11-00183.1
- Welch, S., 2004. *Glyphosate, Clinical Veterinary Toxicology*. Mosby Inc., St. Louis.
- Wilson, R., Geronimo, J., Armbruster, J., 1997. 2,4-D dissipation in field soils after applications of 2,4-D dimethylamine salt and 2,4-D 2-ethylhexyl ester. *Environ. Toxicol. Chem.* 16, 1239–1246. doi:10.1002/etc.5620160620
- Wolfe, H., Durham, W., Armstrong, J., 1967. Exposure of workers to pesticides. *Arch. Environ. Health* 14, 622–33.

- WSDOT, 2006. Picloram. Roadside vegetation management. Herbicide fact sheet. Washington.
- Zepp, R., Wolfe, N., Gordon, J., Baughman, G., 1975. Dynamics of 2,4-D esters in surface waters. Hydrolysis, photolysis, and vaporization. *Environ. Sci. Technol.* 9, 1144–1150. doi:10.1021/es60111a001
- Zhao, P., Wang, L., Chen, L., Pan, C., 2011. Residue dynamics of clopyralid and picloram in rape plant rapeseed and field soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 86, 78–82. doi:10.1007/s00128-010-0184-9

# ANEXO I. CUESTIONARIO

Cuadro 16. Cuestionario aplicado a los agricultores.

Instituto Politécnico Nacional

Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo

## Cuestionario sobre manejo de herbicidas y prácticas agrícolas

Lea las preguntas, revise todas las opciones e indique la respuesta.

Localidad:	
Coordenadas:	
Cuadrante	

Folio	
Encuestador:	

Nombre del agricultor:			
Edad:		Sexo:	<input type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer

1	¿Cuáles son sus cultivos?	Maíz <input type="checkbox"/>	Naranja <input type="checkbox"/>	Otro: _____	Otro: _____
2	Superficie sembrada:				
3	Meses de siembra:	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12
4	Meses de cosecha:	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12
5	¿Edad del cultivo (años)? *Perennes	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 o más	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 o más	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 o más	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 o más
6	Tipo de cultivo:	<input type="checkbox"/> De riego <input type="checkbox"/> De temporal <input type="checkbox"/> De humedad	<input type="checkbox"/> De riego <input type="checkbox"/> De temporal <input type="checkbox"/> De humedad	<input type="checkbox"/> De riego <input type="checkbox"/> De temporal <input type="checkbox"/> De humedad	<input type="checkbox"/> De riego <input type="checkbox"/> De temporal <input type="checkbox"/> De humedad
7	Fuente del agua de riego:	Lluvia <input type="checkbox"/> Río <input type="checkbox"/> Pozo <input type="checkbox"/> Otro: _____	Lluvia <input type="checkbox"/> Río <input type="checkbox"/> Pozo <input type="checkbox"/> Otro: _____	Lluvia <input type="checkbox"/> Río <input type="checkbox"/> Pozo <input type="checkbox"/> Otro: _____	Lluvia <input type="checkbox"/> Río <input type="checkbox"/> Pozo <input type="checkbox"/> Otro: _____
8	¿Usa herbicidas?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
9	Herbicidas aplicados:	Glifosato <input type="checkbox"/> 2,4-D <input type="checkbox"/> Otro: _____	Glifosato <input type="checkbox"/> 2,4-D <input type="checkbox"/> Otro: _____	Glifosato <input type="checkbox"/> 2,4-D <input type="checkbox"/> Otro: _____	Glifosato <input type="checkbox"/> 2,4-D <input type="checkbox"/> Otro: _____
10	Nombres comerciales:				
11	Dosis:				
12	¿Realiza mezclas?	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

13	Proporción de la mezcla:				
14	Meses de aplicación:	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/> 9 <input type="checkbox"/> 10 <input type="checkbox"/> 11 <input type="checkbox"/> 12
15	Fecha de la última aplicación:				
16	Superficie de aplicación:				
17	Equipo de aplicación:	Mochila: <input type="checkbox"/> Tractor <input type="checkbox"/> Otro: _____	Mochila: <input type="checkbox"/> Tractor <input type="checkbox"/> Otro: _____	Mochila: <input type="checkbox"/> Tractor <input type="checkbox"/> Otro: _____	Mochila: <input type="checkbox"/> Tractor <input type="checkbox"/> Otro: _____
18	Capacidad del equipo aplicación:				
19	¿Participa en el lavado del equipo de aplicación?	<input type="checkbox"/> Sí      ¿A dónde los lava? _____ <input type="checkbox"/> No			

20	¿Qué hace con los envases vacíos de los herbicidas?	<input type="checkbox"/> Triple lavado      ¿A dónde los lava? <input type="checkbox"/> Almacena      ¿A dónde los almacena? <input type="checkbox"/> Desecha      ¿A dónde los desecha? <input type="checkbox"/> Quema      ¿A dónde los quema? <input type="checkbox"/> Reúsa      ¿Cómo los reúsa? Otro: _____	_____ _____ _____ _____ _____
21	¿Equipo de protección personal (EPP) que utiliza al mezclar los herbicidas?	<input type="checkbox"/> Guantes <input type="checkbox"/> Mascarilla <input type="checkbox"/> Ropa impermeable <input type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Otro: _____	
22	¿EPP que utiliza durante la aplicación de los herbicidas?	<input type="checkbox"/> Guantes <input type="checkbox"/> Mascarilla <input type="checkbox"/> Ropa impermeable <input type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> Otro: _____	
23	¿Participa en el lavado del EPP?	<input type="checkbox"/> Sí      ¿A dónde los lava? _____ <input type="checkbox"/> No	

## ANEXO II. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

**Cuadro 17. Características fisicoquímicas de los suelos de cultivo en la temporada de secas y lluvias.**

Muestra	Textura <sup>a</sup>	Color <sup>b</sup>		pH <sup>a</sup>		Materia orgánica (%) <sup>a</sup>	
		En seco	En húmedo	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
1	Ca	2.5Y 4/3 marrón amarillento	2.5Y 3/3 marrón amarillento oscuro	Neutro	Moderadamente alcalino	Medio	Medio
2	Cl	2.5Y 4/4 marrón amarillento	2.5Y 4/3 marrón amarillento	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Medio
3	R	2.5Y 5/4 marrón amarillento claro	2.5Y 4/3 marrón amarillento	Neutro	Moderadamente alcalino	Medio	Medio
4	Ca	2.5Y 3/3 marrón amarillento oscuro	5Y 2.5/2 negro	Moderadamente alcalino	Moderadamente alcalino	Medio	Medio
5	A	10YR 3/2 marrón gris muy oscuro	2.5YR 3/2 rojo oscuro	Neutro	Moderadamente alcalino	Bajo	Medio
6	Cl	2.5Y 3/1 gris muy oscuro	2.5Y 3/2 marrón gris muy oscuro	Moderadamente alcalino	Moderadamente alcalino	Medio	Medio
7	A	10R 3/1 gris oscuro rojizo	10R 2.5/1 negro rojizo	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Medio
8	Cl	10YR 6/4 marrón amarillento claro	10YR 5/4 marrón amarillento	Moderadamente alcalino	Moderadamente alcalino	Medio	Medio
9	A	10YR 4/3 marrón	10YR 3/2 marrón gris muy oscuro	Neutro	Neutro	Bajo	Medio
10	A	2.5 Y 4/4 marrón amarillento	2.5Y 3/2 marrón gris muy oscuro	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Bajo
11	Ra	2.5Y 4/4 marrón amarillento	2.5Y 3/3 marrón amarillento oscuro	Neutro	S/I	Alto	S/I
12	Ca	5Y 4/1 gris oscuro	5Y 2.5/1 negro	Neutro	Neutro	Alto	Alto
13	Ca	2.5Y 3/2 marrón gris muy oscuro	2.5Y3/2 marrón gris muy oscuro	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Alto
14	Ra	2.5Y 4/3 marrón amarillento	5Y 4/4 amarillento	Moderadamente alcalino	Neutro	Medio	Medio
15	Cra	2.5Y 3/4 marrón amarillento oscuro	2.5Y 3/1 gris muy oscuro	Moderadamente alcalino	Moderadamente alcalino	Alto	Medio
16	Cl	10R 3/1 gris oscuro rojizo	2.5YR 3/1 gris oscuro rojizo	Neutro	Neutro	Alto	Muy alto
17	A	10YR 4/3 marrón	5YR 3/1 gris muy oscuro	Moderadamente alcalino	Neutro	Muy alto	Alto
18	C	5Y 3/2 gris amarillento oscuro	2.5Y 2.5/1 negro	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Alto
19	A	2.5Y 5/3	2.5Y 3/2 marrón gris muy oscuro	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Alto

		marrón amarillento claro					
20	Ra	5Y 2.5/1 negro	2.5Y 2.5/1 negro	Moderadamente alcalino	Moderadamente alcalino	Muy alto	Alto
21	Ra	5Y 2.5/1 negro	2.5Y 2.5/1 negro	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Muy alto
22	R	10YR 2/2 marrón muy oscuro	2.5YR 2.5/1 negro rojizo	Neutro	Moderadamente alcalino	Muy alto	Muy alto
23	A	5YR 4/3 marrón rojizo	5YR3/1 gris muy oscuro	Neutro	Neutro	Alto	Medio
24	Cra	2.5Y 3/3 marrón amarillento oscuro	5Y 3/1 gris muy oscuro	Moderadamente alcalino	Neutro	Alto	Alto
25	Ca	2.5Y 3/2 marrón gris muy oscuro	2.5Y 2.5/1 negro	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Alto
26	Ca	2.5Y 4/4 marrón amarillento	2.5Y 4/3 marrón amarillento	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Alto
27	R	10YR 2/1 negro	5YR 2.5/1 negro	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Alto
28	Cl	7.5YR 3/2 marrón oscuro	10YR 2/1 negro	Neutro	Moderadamente alcalino	Medio	Medio
29	Rl	10YR 2/1 negro	10YR 2/1 negro	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Alto
30	Ca	10YR 3/1 gris muy oscuro	10YR 2/1 negro	Neutro	Neutro	Medio	Alto
31	Ca	10R 3/1 gris oscuro rojizo	5YR 2.5/1 negro	Moderadamente alcalino	Moderadamente alcalino	Medio	Medio
32	A	5Y 2.5/4 amarillento oscuro	10YR 4/2 marrón gris oscuro	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Alto
33	A	2.5YR 3/1 gris oscuro rojizo	10YR 3/1 gris muy oscuro	Moderadamente ácido	Moderadamente alcalino	Medio	Muy alto
34	Ca	5Y 3/1 gris muy oscuro	5Y 2.5/1 negro	Neutro	Moderadamente alcalino	Alto	Medio
Control	Ra	2.5Y 4/2 marrón gris oscuro	2.5Y 3/1 gris muy oscuro	Moderadamente alcalino	Neutro	Medio	Alto

<sup>a</sup> Clasificaciones establecidas en la NOM-021-SEMARNAT-2000

**Textura:** R: Arcilloso; Rl: Arcilloso-limoso; Ra: Arcilloso arenoso; A: Arenoso; C: Franco; Ca: Franco arenoso; Cra: Franco arenoso arcilloso; Cl: Franco-limoso

**pH:** Moderadamente ácido: 5.1-6.5, Neutro:6.6-7.3, Moderadamente alcalino: 7.4-8.5

**Materia orgánica:** Bajo: 4.1-6.0; Medio: 6.1-10.9; Alto: 11.0-16.0; Muy alto>16.1

<sup>b</sup> Fairchild, 2005

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

**Cuadro 18. Características fisicoquímicas de los cuerpos de agua en la temporada de secas y lluvias.**

Muestra	pH		Temperatura (°C)		TDS (g/L)		Nitratos (mg/L)		DO (mg/L)	
	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
1	8.63	8.24	32.27	29.00	0.13	0.14	ND	15.93	2.33	7.05
2	8.88	8.02	23.50	24.91	0.14	0.11	ND	18.00	13.80	7.66
3	8.86	8.05	23.83	24.91	0.15	0.11	ND	17.82	13.25	7.67
4	9.00	8.05	23.81	24.91	0.15	0.11	ND	17.88	13.38	7.68
5	8.49	7.99	31.39	25.75	0.13	0.42	19.09	17.47	12.27	7.65
6	9.03	8.04	23.80	24.57	0.15	0.13	ND	17.23	13.07	7.75
7	9.01	8.04	23.52	24.61	0.15	0.12	ND	17.97	13.25	7.72
8	9.00	8.04	23.32	24.78	0.15	0.12	ND	17.86	13.11	7.72
9	8.99	8.04	23.23	24.79	0.15	0.12	ND	17.90	12.90	7.71
10	9.01	8.19	23.21	24.89	0.15	0.00	ND	19.35	13.28	7.78
11	8.98	8.06	23.02	24.67	0.15	0.12	ND	18.03	8.27	7.73
12	9.70	8.18	34.00	25.00	0.11	0.04	32.01	35.83	9.32	11.70
13	7.80	7.12	27.46	28.24	0.14	0.53	13.23	16.59	12.60	6.17
14	7.92	8.20	27.00	26.30	0.38	0.13	12.63	16.46	14.70	3.22
15	8.60	7.86	31.00	26.56	0.00	0.40	10.32	12.81	15.63	9.26

TDS: sólidos totales disueltos

DO: oxígeno disuelto

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en salidas de campo Veracruz, 2016.**

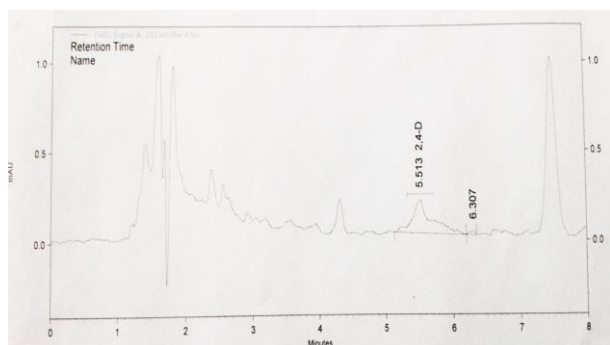


## ANEXO III. FORTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

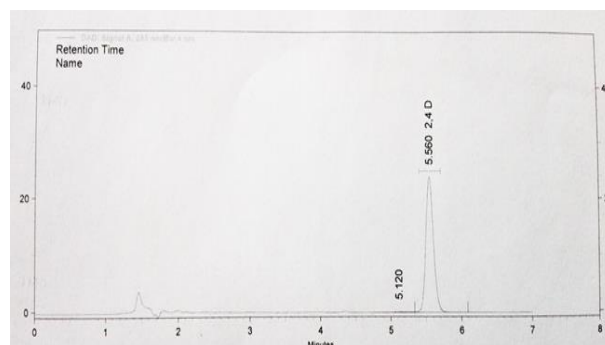
Cuadro 19. Resultados de las concentraciones de los herbicidas en las muestras fortificadas de suelo.

Ingrediente activo	2,4-D	glifosato	AMPA
Muestra	Concentración ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )		
1	NA	613.33	23 980.19
2	NA	6 458.54	16 069.23
3	NA	4 699.15	15 522.48
5	NA	4 666.84	16 728.18
6	NA	974.53	11 303.23
7	NA	6 501.01	12 475.66
8	15 573.32	2 021.50	10 942.74
9	NA	2 062.42	16 019.24
11	11 832.44	4 872.24	15 079.20
12	NA	1 799.87	7 686.50
13	NA	8 071.52	12 484.39
14	17 761.86	NA	NA
20	NA	353.69	4 956.53
22	NA	512.95	6 432.11
25	3 961.00	NA	NA
31	11 025.00	NA	NA
32	NA	2 692.88	13 983.40

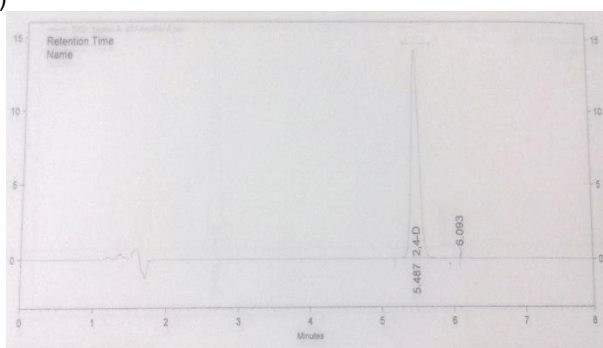
NA: no se aplica el herbicida



(a)



(b)



(c)

Figura 21. Cromatogramas de la determinación de 2,4-D de la muestra 14 de suelo antes y después de la fortificación. (a) Antes de la fortificación; (b) Después de la fortificación, (c) Blanco a 10 ppm.

## ANEXO IV: PRUEBAS ESTADÍSTICAS

**Cuadro 20. Prueba de correlación de Spearman para las muestras de suelo.**

<b>2,4-D</b>	2,4-D_Secas	Textura 0.338 0.141 20	pH_secas 0.0672 0.772 20	MO_secas 0.130 0.581 20	TUA_secas 0.560 0.0154 18	2,4-D_Lluvias	Textura -- -- 20	pH_lluvias -- -- 20	MO_lluvias -- -- 20	TUA_lluvias -- -- 9
	Textura		0.381 0.0960 20	-0.154 0.508 20	0.145 0.558 18	Textura		0.0338 0.886 20	-0.158 0.500 20	-0.305 0.407 9
	pH_secas			0.0173 0.937 20	-0.00209 0.987 18	pH_lluvias			-0.344 0.134 20	-0.405 0.264 9
	MO_secas				0.149 0.546 18	MO_lluvias				0.117 0.742 9
	TUA_secas					TUA_lluvias				
<b>Glifosato</b>	Glifosato_secas	Textura -0.0632 0.721 34	pH_secas -0.236 0.178 34	MO_secas -0.281 0.107 34	TUA_secas 0.0774 0.676 31	Glifosato_lluvias	Textura -- -- 34	pH_lluvias -- -- 34	MO_lluvias -- -- 34	TUA_lluvias -- -- 14
	Textura		0.207 0.237 34	-0.124 0.482 34	0.192 0.299 31	Textura		0.0488 0.782 34	-0.203 0.247 34	-0.374 0.178 14
	pH_secas			-0.0642 0.716 34	-0.146 0.429 31	pH_lluvias			-0.0972 0.581 34	-0.0526 0.856 14
	MO_secas				0.0535 0.772 31	MO_lluvias				-0.0493 0.856 14
	TUA_secas					TUA_lluvias				
<b>AMPA</b>	AMPA_secas	Textura -0.0632 0.721 34	pH_secas -0.236 0.178 34	MO_secas -0.281 0.107 34	TUA_secas 0.0774 0.676 31	AMPA_lluvias	Textura -- -- 34	pH_lluvias -- -- 34	MO_lluvias -- -- 34	TUA_lluvias -- -- 14
	Textura		0.207 0.237 34	-0.124 0.482 34	0.192 0.299 31	Textura		0.0488 0.782 34	-0.203 0.247 34	-0.374 0.178 14
	pH_secas			-0.0642 0.716 34	-0.146 0.429 31	pH_lluvias			-0.0972 0.581 34	-0.0526 0.856 14
	MO_secas				0.0535 0.772 31	MO_lluvias				-0.0493 0.856 14
	TUA_secas					TUA_lluvias				
<b>Picloram</b>	2,4-D_Secas	Textura -- -- 11	pH_secas -- -- 11	MO_secas -- -- 11	TUA_secas -- -- 10	2,4-D_Lluvias	Textura -- -- 10	pH_lluvias -- -- 10	MO_lluvias -- -- 10	TUA_lluvias -- -- 3
	Textura		0.0472 0.881 11	0.0519 0.860 11	-0.232 0.490 10	Textura		0.469 0.160 10	0.0355 0.903 11	-0.500 1.000 3
	pH_secas			-0.1000 0.755 11	-0.0369 0.892 10	pH_lluvias			-0.0518 0.865 10	0.866 0.333 3
	MO_secas				-0.0369 0.892 10	MO_lluvias				0.500 1.000 3
	TUA_secas					TUA_lluvias				

Orden de los datos:

1. Coeficiente de correlación
2. p-valor
3. Número de muestras

**Cuadro 21. Prueba de Wilcoxon para los resultados de las concentraciones de los herbicidas en las muestras de suelo.**

<b>2,4-D</b>	<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
	2,4-D_Secas	20	0	0.000	0.000	484.256
	2,4-D_Lluvias	20	0	0.000	0.000	0.000
W= -15.000 T+ = 0.000 T-= -15.000 Z-Statistic (based on positive ranks) = -2.023 P(est.)= 0.059 P(exact)= 0.063						
<b>Glifosato</b>	<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
	Glifosato_lluvias	34	0	0.000	0.000	0.000
	Glifosato_secas	34	0	0.000	0.000	5074.330
W= 105.000 T+ = 105.000 T-= -0.000 Z-Statistic (based on positive ranks) = 3.296 P(est.)= 0.001 P(exact)= <0.001						
<b>AMPA</b>	<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
	AMPA_secas	34	0	0.000	0.000	9748.169
	AMPA_lluvias	34	0	0.000	0.000	0.000
W= -105.000 T+ = 0.000 T-= -105.000 Z-Statistic (based on positive ranks) = -3.296 P(est.)= 0.001 P(exact)= <0.001						

**Cuadro 22. Prueba de Wilcoxon para los resultados de las características fisicoquímicas de las muestras de suelo.**

<b>Materia orgánica</b>	<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
	MO_secas	35	0	3.000	3.000	3.000
	MO_lluvias	35	1	4.000	3.000	4.000
W= 173.000 T+ = 181.500 T-= -8.500 Z-Statistic (based on positive ranks) = 3.750 P(est.)= <0.001 P(exact)= <0.001						
<b>pH</b>	<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
	pH_secas	35	0	7.030	6.850	7.700
	pH_lluvias	35	0	7.475	7.220	7.820
W= 368.000 T+ = 499.000 T-= -131.000 Z-Statistic (based on positive ranks) = 3.014 (P = 0.003)						

**Cuadro 23. Prueba de Wilcoxon para los resultados de las concentraciones de los herbicidas en las muestras de agua.**

<b>Glifosato</b>	<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
	picloram_secas	15	0	0.000	0.000	0.000
	picloram_lluvias	15	0	0.000	0.000	3.014
W= 21.000 T+ = 21.000 T-= -0.000 Z-Statistic (based on positive ranks) = 2.201 P(est.)= 0.036 P(exact)= 0.031						

<b>AMPA</b>	<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
	glifosato_secas	15	0	0.000	0.000	0.000
	glifosato_lluvias	15	0	0.000	0.000	0.000
	W= 1.000 T+ = 2.000 T-= -1.000 Z-Statistic (based on positive ranks) = 0.447 P(est.)= 1.000 P(exact)= 1.000					
<b>Picloram</b>	<b>Group</b>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Median</b>	<b>25%</b>	<b>75%</b>
	AMPA_secas	15	0	0.000	0.000	0.000
	AMPA_lluvias	15	0	0.000	0.000	0.000
	W= -3.000 T+ = 0.000 T-= -3.000 Z-Statistic (based on positive ranks) = -1.342 P(est.)= 0.371 P(exact)= 0.500					





# Buenas Prácticas Agrícolas


**Tesis:** Determinación de herbicidas en las matrices ambientales: suelo y agua, en Papantla, Veracruz.

**Resultados de la investigación**

En el municipio de Papantla se encontró presencia de los herbicidas 2,4-D y glifosato en parcelas de cultivo, así como picloram y glifosato en el Río Tecolutla. La aplicación de los herbicidas durante las actividades agropecuarias ha propiciado la presencia de herbicidas en los suelos de cultivo, lo que podría provocar la contaminación de suelos y cuerpos de agua. Los agricultores no se encuentran preparados y protegidos para el manejo de los herbicidas con mínimo riesgo.

**Directoras**  
Dra. María Yolanda L. Ordaiz Guillén  
Dra. Nora Ruiz Ordaiz


**Tesista**  
Paulina Elizabeth Rangel González



**Uso de herbicidas**

**Recomendaciones**

- Mantén los herbicidas en su envase original.
- Lee la etiqueta, contiene información para el uso correcto y sin riesgo del herbicida.
- No comas, bebas o fumes en la zona de trabajo.
- Después de utilizar herbicidas, lávate el rostro y las manos.
- Ten siempre agua a la mano para poder lavarte en caso de derrames.





### ¿Qué es un herbicida?

Sustancia que controla o elimina las malas hierbas, pastos o plantas indeseables.

### Buenas Prácticas Agrícolas

Técnicas usadas para el manejo integral de las plagas orientadas a asegurar la protección de la salud humana y el ambiente, de acuerdo a la FAO.

### LOS HERBICIDAS PUEDEN DAÑAR TU SALUD Y LA DE TU FAMILIA.

### Clasificación de toxicidad

Según la Organización Mundial de la Salud. Observar el color en la etiqueta:

EXTREMADAMENTE PELIGROSO

MODERADAMENTE PELIGROSO

LIGERAMENTE PELIGROSO

PRECAUCIÓN

### Uso responsable

Utiliza equipo de protección personal indicado en la etiqueta al mezclar o aplicar herbicidas.

1. Sombrero
2. Mascarilla
3. Overol
4. Careta
5. Guantes de nitrilo o neopreno
6. Botas

### Manejo de envases

Lava lo envases vacíos de herbicidas antes de tirarlos, utiliza la técnica del "TRIPLE LAVADO"

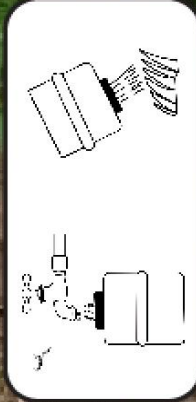
### Triple lavado

1. Pon agua en el envase hasta una cuarta parte de su volumen. Agita con la tapa hacia ARRIBA
2. Vuelve a poner agua hasta una cuarta parte. Agita con la tapa hacia ABAJO
3. Cambia el agua y agita hacia los LADOS.

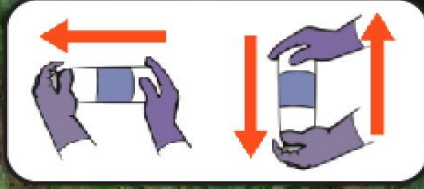
Limpia el equipo después de usarlo y guárdalo en un lugar ventilado. No laves la ropa del trabajo junto con otra ropa.

### Equipo de aplicación

Después de utilizar el equipo de aplicación, lávalo con agua. Desecha en el cultivo el agua de enjuague.



Nunca limpies el equipo en ríos, lagos o arroyos. No laves a casa ropa o equipo contaminado con herbicidas



Vacia el agua de lavado en el tanque o mochila donde preparaste la mezcla. No uses los envases para transportar agua, guardar alimentos o productos de consumo humano o animal. No quemes o entierres los envases.