



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE UNA  
ZONA RIPARIA Y MOVILIDAD DEL PARAQUAT EN  
ÁREAS CON USO AGRÍCOLA EN UN AFLUENTE  
DEL RÍO AMACUZAC TLAQUILTENANGO,  
MORELOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

**GABRIELA ALEJANDRA GARCÍA VERA**

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Lucy Natividad Mora Palomino



Ciudad Universitaria, CDMX 2018.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Dedicatoria

Ni guicaa cani nadxiee', cani ma' qué guinni ne nabeza ndaani' ladxidoa', ca binnilidxe' nuu  
Guidxiguie' runi guirá' ni gucanécabe naa be gunaxhiicabe naa.

Ni guicaa ñaa', na Margarita ne xtia'ya' na Sobeida, purti nacaca' ñee xquendanabane', runi  
bisiidica' naa gune dxiiña'.

Ni guicaa benda' Carmen purti gucabe tobisi ne naa.

A las personas importantes que ya no están, pero que siempre tendrán un lugar especial en mi  
corazón.

A mi familia de Juchitán por el apoyo, las vivencias, las costumbres y su inmenso amor.

A mi mamá Margarita y a mi tía So por ser el apoyo y sustento en mi vida, por enseñarme a ser  
constante para alcanzar mis metas, por mi educación y siempre estar en los momentos difíciles.

A mi hermana Carmen García Vera por las vivencias, la ayuda y la confianza en mí.

“Todo conocimiento sirve para el futuro... y el futuro... siempre nos alcanza”.

-David Herrera Santana

“Nada es bueno ni malo, sólo es... grábenselo con fuego”

-José Manuel Espinoza

Zabá'nacabe xcuananashi'nu,  
zuchu'cabe ca' yága bandaga stinu,  
zusaqui'cabe ca' birungu stinu,  
nabeepe' qui ziuu dxi, zasha'cabe xquendanu'.

Nos robarán nuestros frutos,  
nos cortarán nuestras ramas,  
quemarán nuestros troncos,  
pero nunca, nunca arrancarán nuestras raíces.

-Gonzalo Lara Gómez

## Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Instituto de Geología de la UNAM por brindarme los espacios adecuados para estudiar y desarrollarme profesionalmente.

A la Carrera de Geografía, así como a los profesores Abraham Navarro, Mauricio Galeana Pizaña, José Manuel Espinoza, José Lugo Hupb, Illie Cisneros, David Herrera, Federico Saracho, etcétera, por la noble labor de formar profesionistas y en especial a la Dra. Blanca González por haber despertado en mí el interés por los suelos, asimismo agradezco las aportaciones a la tesis, la amistad, las enseñanzas y la oportunidad de trabajar con usted.

A mi asesora la Dra. Lucy Mora por su paciencia y dedicación, por los consejos, las enseñanzas y por la amistad que me brindo -el tiempo que trabaje con usted aprendí mucho y se lo agradezco de corazón- gracias a esto pude crecer como profesionista. A la Dra. Blanca Prado por el apoyo en campo y la amistad brindada. A Josué Reyes por el apoyo en campo, los datos proporcionados y la amistad.

Al Biol. René Alcalá muchas gracias por abrirme las puertas de su laboratorio y a las oportunidades que me brindo, sobre todo a las múltiples enseñanzas, espero que todo se le retribuya con trabajo y mucha salud, al M. en C. Arturo Atilano por el apoyo, consejos en los experimentos realizados, los valiosos aportes a la tesis y por la amistad brindada.

A la Mtra. Kumiko Shimada Miyasaka, responsable del laboratorio de Edafología Ambiental (LANGEM) quien apoyo en la realización de los análisis químicos de las muestras de suelos empleadas en este trabajo.

A la Dra. Lourdes Rodríguez, Dra. Rocío Alanís y al Mtro. Pedro Montes por los comentarios que contribuyeron en la conclusión de este trabajo.

Al Dr. Mario Cayetano por las enseñanzas y la amistad, eres una persona muy amable y paciente; aprendí muchas cosas de ti, muchas gracias.

A mis compañeros de laboratorio en el Instituto de Geología sobre todo a Carolina Avilés y Ariana Huerta, por sus aportes en la tesis y su amistad. Carito por enseñarme y resolver siempre

mis dudas y por tu apoyo incondicional, muchísimas gracias. Ari por los libros, los conocimientos y sobre todo tu amistad ¡gracias, gracias, gracias!

A mis amigos de la carrera por su amistad, por la ayuda y por las vivencias muchas gracias, en especial a Diana Ramírez, con tus palabras de aliento, levantarme el ánimo y el apoyo avance más rápido y ¡pude terminar!; a Bruno Pimentel (Bruni) tus aportes me permitieron acabar los mapas de la tesis muchas gracias.

A mis mejores amigas Diana, Leslie, Janeth, Mónica y Daniela por el apoyo y la amistad incondicional, por siempre estar a mi lado muchas gracias, las quiero mucho.

No puedo poner a todas las personas especiales que conocí en la carrera, ocuparían muchas hojas pero León Ramírez gracias por la ayuda, Alfredo Valoix, Gabriela Soriano, Karla Corona, Belén Maceda, Juan Flores (Juanito), Luis Fernando Valenzuela (Fedo), Daniela Rezago, Alan Vidal, Sammary Terán, Erika Ramírez (Yiyi), Andrea Nadurille, Brian Bolaños, Silvana Enríquez, Willie Corona, Mariel Guevara, etc. gracias.

A mi más vieja mejor amiga Daniela Delgado (Danny) muchas gracias por las ilustraciones de mi tesis y por tu amistad eterna, ¡eres la mejor!

A mi familia, sobre todo a mi Mamá y mi tía Sobeida por aguantar las altas y bajas de mi humor en la realización de esta tesis, por el apoyo y amor incondicional que siempre me han tenido, la educación que me ofrecieron, de no ser por ustedes no estaría en donde estoy muchísimas gracias. A mi hermana adorada Carmen por hacer también ilustraciones de mi tesis, la paciencia, las enseñanzas, el cariño y siempre apoyarme cuando lo necesito.

A mi hermano querido del alma José Guaida por el apoyo incondicional, el cariño, la amistad, las enseñanzas y sobre todo por todas las vivencias, te quiero mucho, eres una persona muy especial para mí. A Verónica Reyes por las palabras de aliento, la amistad y el apoyo incondicional.

# Índice

Resumen.....	9
Abstract.....	10
1. Introducción.....	11
2. Planteamiento del problema.....	13
3. Marco teórico.....	16
3.1 Estudio geográfico de los suelos.....	16
3.1.1 Metodología científica.....	17
3.2 El Suelo.....	19
3.2.1 Suelo: servicios ecosistémicos.....	21
3.2.2 El suelo como agente depurador.....	23
3.3 Ecosistemas riparios.....	24
3.4 Agroquímicos: plaguicidas.....	27
3.4.1 Antecedentes del uso de plaguicidas.....	28
3.4.2 Destino de los plaguicidas al ambiente.....	30
3.4.3 Paraquat.....	32
4. Hipótesis.....	35
5. Objetivos.....	35
5.1 Objetivo general.....	35
5.2 Objetivos particulares.....	35
6. Descripción del área de estudio.....	36
6.1 La Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH).....	36
6.1.1 Localización del sitio de estudio.....	37
6.2 Geología y relieve de la REBIOSH.....	37
6.2.1 Geología y relieve de Agua Salada.....	38
6.3 Clima de la REBIOSH.....	39
6.3.1 Clima de Agua Salada.....	39
6.4. Suelos de la REBIOSH.....	40
6.4.1 Suelos de Agua Salada.....	40
6.5 Tipos de vegetación de la REBIOSH.....	42
6.5.1 Tipos de vegetación de Agua Salada.....	43

<b>7. Metodología</b> .....	44
<b>7.1 Cambio de uso de suelo</b> .....	44
<b>7.2 Caracterización de suelos en campo</b> .....	45
<b>7.3 Caracterización de los suelos en laboratorio</b> .....	46
<b>7.4 Evaluación de la movilidad del paraquat</b> .....	48
<b>8. Resultados y discusión</b> .....	51
<b>8.1 Cambio de uso de suelo</b> .....	51
<b>8.2 Clasificación del suelo en la localidad y caracterización físico- química</b> .....	58
<b>8.2.1 Descripción de los perfiles de suelos en campo.</b> .....	60
<b>8.2.2 Caracterización físico-química.</b> .....	66
<b>8.3 Evaluación de la movilidad del paraquat</b> .....	70
<b>9. Conclusiones</b> .....	74
<b>9.1 Propuestas</b> .....	76
<b>10. Anexo</b> .....	77
<b>10.1 Mapa de suelos: Microcuenca Río Agua Salada</b> .....	77
<b>10.2 Mapa de geología: Microcuenca Río Agua Salada</b> .....	78
<b>10.3 Mapa de uso de suelo y vegetación: Microcuenca Río Agua Salada</b> .....	79
<b>11. Referencias</b> .....	81

## Índice de Figuras

<i>Figura 1</i> Perfil general de un suelo.....	19
<i>Figura 2</i> Esquema general de las fracciones que componen un suelo.....	20
<i>Figura 3</i> Servicios ecosistémicos del suelo .....	22
<i>Figura 4</i> Corte transversal de un corredor ripario.....	26
<i>Figura 5</i> Destino de los pesticidas al ambiente.....	31
<i>Figura 6</i> Estructura molecular del Paraquat.....	32
<i>Figura 7</i> Mapa de localización del área de estudio.....	36
<i>Figura 8</i> Mapa geológico del área de estudio.....	38
<i>Figura 9</i> Climograma del sitio de estudio 1981-2010.....	39
<i>Figura 10</i> Mapa de suelos del área de estudio.....	41
<i>Figura 11</i> Corte longitudinal de vegetación del sitio de estudio.....	42
<i>Figura 12</i> Esquema de la columna .....	48
<i>Figura 13</i> Procedimientos realizados para caracterizar los suelos en campo y laboratorio, movilidad del paraquat y la elaboración de la cartografía.....	50
<i>Figura 14</i> Mapa de uso de suelo y vegetación del área de estudio.....	51
<i>Figura 15</i> Mapa de cambio de uso de suelo en el 2005.....	54
<i>Figura 16</i> Mapa de cambio de uso de suelo en el 2011.....	55
<i>Figura 17</i> Mapa de cambio de uso de suelo en el 2017.....	56
<i>Figura 18</i> Mapa de cambios de uso de suelo en el periodo del año 2005 al 2017.....	57
<i>Figura 19</i> Desarrollo de los perfiles en un corte longitudinal.....	58
<i>Figura 20</i> Contenido porcentual de Arcilla a profundidad en los tres perfiles de suelo.....	67
<i>Figura 21</i> Comportamiento del pH a profundidad en los perfiles de suelo.....	68
<i>Figura 22</i> Comportamiento del Carbono – Nitrógeno a profundidad en los perfiles.....	69
<i>Figura 23</i> Comportamiento de la conductividad eléctrica y pH en los lixiviados.....	70
<i>Figura 24</i> Perfil de desorción del Paraquat en las muestras de lixiviados a la salida de la columna del suelo.....	71

## Índice de Tablas

<i>Tabla 1</i> Unidades de suelos en el sitio de estudio .....	40
<i>Tabla 2</i> Métodos de análisis de suelos en el laboratorio.....	46
<i>Tabla 3</i> Tasa de cambio de uso de suelo en Agua Salada y tasa de crecimiento poblacional en Tlaquiltenango.....	52
<i>Tabla 4</i> Descripción detallada del perfil 1 por horizonte.....	61
<i>Tabla 5</i> Descripción detallada del perfil 2 por horizonte.....	63
<i>Tabla 6</i> Descripción detallada del perfil 3 por horizonte.....	65
<i>Tabla 7</i> Características químicas y físicas de los suelos en Agua Salada.....	66
<i>Tabla 8</i> Claves del mapa de uso de suelo y vegetación del área de estudio del año 1983. ....	79

## Resumen

Los ecosistemas riparios corresponden al área de transición entre el medio terrestre y acuático, y fungen como una franja amortiguadora de sedimentos y contaminantes, proporcionan múltiples servicios ambientales, así como también albergan una gran variedad de especies de flora y fauna. Estos espacios son vulnerables al cambio de uso de suelo y a la erosión por la ampliación de la frontera agrícola, procesos que incrementan su fragilidad. El uso desmedido de pesticidas en la agricultura en México trae consecuencias irreversibles al medio ambiente, contaminando mantos acuíferos, la pérdida y degradación de la vegetación endémica, contaminación del suelo, etcétera; lo que supone un riesgo para los ecosistemas riparios.

El trabajo evaluó la movilidad del herbicida Paraquat en una zona riparia. El estudio aborda tres aspectos: (1) la identificación del cambio de uso de suelo en la localidad en un periodo entre el 2005 y 2017 con el uso de imágenes satelitales, (2) la caracterización de los suelos en zonas riparias y (3) la simulación del movimiento de un herbicida en el laboratorio. Se desarrolló en una parcela ubicada en las riberas del río Agua Salada, afluente del río Amacuzac, Morelos. En campo se describieron tres perfiles de suelo y se caracterizaron en el laboratorio. La hipótesis propone menor adsorción de pesticidas solubles en los suelos arenosos. Por lo que se llevó a cabo un experimento de adsorción y desorción de Paraquat en la muestra más arenosa en condiciones controladas y destino de estos compuestos en el ambiente.

Los resultados para el cambio de uso de suelo fueron desfavorables entre el periodo del 2005 al 2011 en un área de 2.73 km<sup>2</sup>, debido a que hubo un incremento poblacional, lo que repercute en la demanda de alimentos y por lo tanto la expansión de las áreas agrícolas.

Los suelos identificados fueron una asociación Cambisol- Fluvisol. Los Cambisoles son moderadamente desarrollados y son de mayor aptitud para la agricultura, mientras que los Fluvisoles son suelos muy jóvenes con pocos nutrimentos y bajo contenido de materia orgánica.

El experimento en columnas empacadas, no mostró desorción del Paraquat, por lo que se evidenció una retención total del herbicida en el suelo, lo que permite concluir que esta tiende a adsorberse en el suelo, siendo un problema por el transporte del herbicida en los sedimentos, debido a la erosión fluvial y eólica del sitio de estudio.

**Palabras clave:** ecosistemas riparios, movilidad, Paraquat, suelos, contaminación, y cambio de uso de suelo.

## Abstract

The riparian ecosystems are transition areas between aquatic and land environment, they are a buffer system to sediments and pollutants, provide multiple environmental services, as well as are habitats for a variety of flora and fauna species. These places are vulnerable to erosion and the processes of land use change from the expansion of agricultural areas, this process can increase their fragility. The excessive application of pesticides in agriculture at Mexico which has been negative environment impact, increase the risk of environment pollution in groundwater, soils, and losses or damage of native vegetation species, etcetera; what is a danger to riparian zones.

The research works the mobility of Paraquat in soils in a riparian ecosystem. The objectives of this study were: (1) to identified land use changes over the years 2005 and 2017 satellite images were used, (2) to characterized a soils in riparian zones; and (3) to evaluated the behavior of herbicide has been studied mainly in laboratory experiments. It was developed in a plot located on the riverside of the Agua Salada River, a tributary of the Amacuzac River, at Morelos. Three soil profiles were described and characterized in laboratory. The hypothesis was that sandy soils quickly mobilize pesticides; the experiment was carried out under controlled conditions. Adsorption and desorption of Paraquat was performed on the most sandy sample, to understand the behavior and fate of these agrochemicals at environment.

The results for the processes of land use change were negative between the period of 2005 to 2011 in an area of 2.73 km<sup>2</sup>, because there was an increase in the population, which affects the demands for food and therefore the expansion of agriculture areas.

The identified soils were a Cambisols – Fluvisols association. Cambisols are moderately developed and are generally used for agriculture, while Fluvisols are younger soils with a few nutrients and organic matter.

The batch experiments showed that the soil has a higher affinity for Paraquat, therefore the herbicide was totally retained, which allows to concluded that it was adsorbed in the soil, being a problem for the transport of herbicide in sediments, due to fluvial and wind erosion.

**Key words:** riparian ecosystems, mobility, Paraquat, soils, pollution, and land use change.

# 1. Introducción

Los ecosistemas riparios son áreas de transición entre el medio terrestre y la zona saturada, se conocen también como “terrazas de inundación” (Córdoba, 2010). Constituyen una franja vulnerable a lo largo del cauce de un río, proporcionan múltiples servicios ambientales y albergan una gran variedad de flora y fauna (González et al., 2013); retardan y reducen la escorrentía superficial, utilizando el exceso de nutrientes, reteniendo los sedimentos y los contaminantes (Blinn y Kilgore, 2011, citado por Gómez 2014) como abonos o pesticidas traídos de suelos agrícolas que son acarreados por el agua (Granados et al., 2006).

El incremento de la población y la alta demanda de alimentos expande las áreas agrícolas hacia los ecosistemas, asimismo, el acceso al agua para riego es otro factor que favorece la presión sobre las zonas riparias, por lo tanto, son áreas que se ven afectadas por el cambio en el uso de suelo.

Aunado a este problema, las prácticas agrícolas promovidas por la Revolución Verde conllevan al uso indiscriminado e inadecuado de plaguicidas y fertilizantes. Estas prácticas pueden afectar al suelo en su estructura y estabilidad, así como el incremento de la degradación y contaminación del mismo y del agua (Ceccon, 2008).

La modificación de la vegetación riparia altera la dinámica de estos espacios, ya que el suelo pierde la estabilidad y su capacidad de brindar los servicios ecosistémicos (Granados et al., 2006). El estudio de Díaz (2013) sobre la concentración de plaguicidas en ocho sistemas ribereños, muestra que en áreas con presencia de actividades humanas se encuentran las más altas concentraciones de plaguicidas organoclorados, tales como HCH (7 ppm), Heptocloros (0.95 ppm), Drines (3.03 ppm), Endosulfanes (5.08 ppm) y DDT (168.8 ppm); debido a las principales

actividades, estas son: la silvicultura, agricultura, ganadería, turismo y la expansión de la mancha urbana (Granados et al., 2006; Ceccón, 2003).

Él área de estudio ubicada en el municipio de Tlaquiltenango, Morelos pertenece a una franja ecológica endeble e importante para la agricultura local, esto debido al cruce de dos ríos, cuyo uso del agua por la población es para el autoconsumo, el riego de cultivos y la recreación (Reyes, 2018). Debido a que en la localidad se han incrementado las zonas de producción agrícola y cada vez con mayor frecuencia las actividades recreativas, ayudan a disminuir la aportación de la materia orgánica en el suelo y el aumento en el uso de fertilizantes y pesticidas, por lo que es importante entender cuál es el destino de estos compuestos. Por lo tanto, en este trabajo se caracterizan los suelos de una zona riparia y se evalúa la movilidad del herbicida Paraquat, como uno de los pesticidas que los agricultores comúnmente utilizan en la agricultura local.

## 2. Planteamiento del problema

Los plaguicidas son el nombre genérico que recibe cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se utilizan para controlar plagas o insectos que son vectores de enfermedades y atacan cultivos. Dependiendo de a que organismos están dirigidos se clasifican en: insecticidas (organoclorados, organofosforados, piretroides y carbamatos), herbicidas (dinitrofenoles y triazinas) y fungicidas (fenoles y compuestos de cobre y azufre) (CICOPLAFEST, 1996, citado por Volke et al., 2002, p. 23).

El uso inapropiado y extensivo de agroquímicos, así como el incorrecto manejo y disposición de sus residuos, ha sido un problema generalizado en nuestro país. Muchos de los plaguicidas empleados, se han prohibido en otros países por su toxicidad y contaminación al medio ambiente. Sin embargo, el número de plaguicidas se incrementa a razón de 10% al año (CICOPLAFEST, 2000, citado por Volke et al., 2002, p. 23).

Todas estas sustancias son tóxicas y por su uso excesivo en la agricultura, son compuestos que se encuentran como contaminantes de grandes extensiones de suelos en todo el país. En México aún continúan en el mercado agroquímicos organoclorados como el ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D), el pentaclorofenol (PCP) y dicofol, además de plaguicidas a base de carbamatos y los organofosforados como el malatión, triazinas y biperilos o dipirilos, etcétera, que de continuar su aplicación podrían tener efectos irreversibles en el medio ambiente, tales como contaminación de los mantos acuíferos, degradación y/o pérdida de la vegetación endémica y por lo tanto de la biodiversidad de la misma, etcétera (Volke et al., 2002).

Es trascendental recalcar que el uso inadecuado de los pesticidas resultará en la contaminación de suelos, lo que provocaría el cambio o interrupción de los procesos biogeoquímicos, así como la ruptura del sistema amortiguador y la capacidad filtro, por lo que es importante el análisis y tomar medidas preventivas, sobre todo en zonas tan vulnerables como los ecosistemas riparios por ser una franja de transición entre los ecosistemas terrestres y acuáticos (Granados et al., 2006).

Teniendo en cuenta que estos espacios han sido poco estudiados, dado que representan áreas pequeñas dentro del paisaje y se encuentran en un constante cambio, debido a la dinámica de los ríos (Arcos, 2005), es importante decir, que si se les otorga un uso agrícola se encontrarán expuestos a los problemas provocados por las prácticas agrícolas inadecuadas, por ejemplo la pérdida vegetal, la erosión, la disminución de nutrientes o el aumento de las mismas por la fertilización, el aumento de la salinidad y el riesgo de movilidad de pesticidas a recursos utilizados por poblaciones cercanas (Ceccon, 2003).

González et al., (2013) expresan que:

Actualmente en nuestro país, se estima que un 45% de los corredores riparios se encuentran degradados debido a la alteración hidrológica de los ríos, a la urbanización, a la extracción de materiales de lecho y bancos de los ríos, así como al cambio desordenado del uso de suelo. Bajo este escenario, la conservación y rehabilitación de estos sistemas son apremiantes. (p. 239)

La degradación y contaminación de los ecosistemas riparios, se debe principalmente a las actividades antrópicas. Por ejemplo; la creación de presas provoca la desviación temporal o permanente de los caudales, lo que produce una alteración en el patrón de drenaje y en la jerarquía de los flujos de las aguas superficiales, generando el incremento o aceleración de la erosión, la compactación y sedimentación de suelos (Hernández et al., 2000, citado por Córdoba 2010).

Sacado (2008) menciona lo siguiente con respecto a estos ecosistemas:

A medida que estos ecosistemas riparios desaparecen, los agroquímicos, los sedimentos provenientes de la erosión y los coliformes originados por el pastoreo irán directamente a los ríos; tener una franja protectora del sistema ripario disminuirá la contaminación del suelo y el agua. Actualmente, los ríos se ven afectados por el transporte de sedimentos y el aumento de contaminantes por la expansión de la frontera agrícola y los asentamientos humanos, lo cual además provoca desastres por inundaciones... Mantener un régimen hídrico estable contribuye a la salud riparia, pues un río que presenta poca agua no tiene capacidad de dilución de sales, nutrientes y contaminantes; en esta situación todo se concentra, generándose problemas de salinidad, alto nivel de pH e incremento de temperatura, con lo que evidentemente se verá afectado el hábitat de la fauna que depende de esos ríos. (p.47)

Cuando se disminuye el caudal de los ríos, la degradación de los ecosistemas riparios se acelera, el hábitat se va perdiendo paulatinamente, restructurando nuevos espacios para la agricultura o incluso espacios sin remedio alguno, lo que pondría en riesgo estos espacios y abre paso a la contaminación por agroquímicos, tal es el caso del Paraquat que está clasificado como una sustancia tóxica debido a la facilidad con que forma radicales libres estables y solubles en agua que se reoxidan en la planta para dar peróxidos (Vázquez, 2005; Carlile, 2006; García y Fernández, 1991), lo que supondría un problema para la vegetación riparia en el área de estudio, donde el bosque ripario aldeaño al afluente río Agua Salada está en buen estado de conservación, no obstante, una sección es utilizada para la agricultura de temporal, y ocupan herbicidas como el Paraquat, glifosato, 2,4-D y picloram (Reyes, 2018); debido a que no se tiene un control en el uso de los pesticidas por los agricultores, puede ser aplicado a la vegetación endémica, y además catalizar la degradación y contaminación de los suelos y el agua.

### **3. Marco teórico**

#### **3.1 Estudio geográfico de los suelos**

A finales del siglo XIX e inicios del siglo XX se sientan las bases para la Geografía moderna, la que pretendía encontrar una interrelación entre la naturaleza y la sociedad, asentada en las relaciones entre el hombre y el paisaje, siendo éste quien influencia al hombre, esta idea permitió la constitución de una disciplina del espacio, para mostrar la relaciones entre el hombre y el medio, fungiendo como un puente que une las ciencias naturales y sociales (Ortega, 2000).

Karl Ritter introdujo el estudio de las relaciones del medio físico y el hombre y su actividad al considerar a éste como una parte más de la tierra, asimismo Ratzel hacía énfasis al medio físico y a su papel determinante en la actividad y desarrollo de las sociedades humanas (Batalla y Sala, 1996). Actualmente estudiamos los temas centrales y como se encuentran entrelazados, estos son:

La descripción y comprensión de los paisajes; la diversidad regional y la sensibilidad ambiental; la identificación de fluctuaciones ambientales; los humanos como agentes del cambio ambiental pasado, presente y futuro; las interrelaciones entre procesos humanos y naturales; el medio ambiente como riesgo; y la utilidad y aplicación de las aptitudes geográficas (Goudie, 1994, citado por Batalla y Sala 1996, p. 19-20).

En suma, la Geografía tiene por misión investigar cómo las leyes físicas y biológicas, que dirigen el mundo, se mezclan y cambian aplicándose a las diversas partes del espacio geográfico... tienen por tarea especial estudiar las expresiones variables que reviste, según los lugares, la fisonomía de la Tierra (Ortega, 2000). Es decir, la obligación de un geógrafo es la descripción, interpretación, registrar el desarrollo y distribución del paisaje, la vegetación, las construcciones sociales, etcétera dentro de la superficie terrestre y estudiar sus variantes, siendo esta pregunta una

constante: ¿Qué relaciones mantienen las sociedades humanas de la actualidad con el medio geográfico presente? (Ortega, 2000).

### **3.1.1 Metodología científica**

Los estudios en geografía y los suelos en un principio se basaron por metodologías o pensamientos (filosofía) de Kuhn, Popper, Lakatos, entre otros. Dentro de la filosofía son conceptos denominados como objetivismo, paradigmas, falsacionismo, los programas de investigación, etcétera; y permitió que la Geografía, Edafología, Ciencia del Suelo, y otras disciplinas evolucionarán, especializarán tal y como las conocemos actualmente.

La generación del conocimiento en la ciencia del suelo ha estado influenciada por la evolución del pensamiento filosófico en la ciencia y por los adelantos tecnológicos; para esto es importante analizar los diferentes enfoques y su influencia en el desarrollo de esta rama del conocimiento (Krasilnikov, Jiménez, Reyna y García, 2011).

Para los geógrafos es importante estudiar el espacio y explicar los procesos que los caracterizan, por ello una de sus ramas se encarga de estudiar el suelo. Sala (1996) señala que en Geografía se estudia el suelo como un elemento del conjunto geográfico y como un bien que hay que preservar de los procesos de erosión y degradación. Además, es importante reconocer que el estudio de los suelos, como geógrafos, nos permite identificar el desarrollo de los mismos en el espacio, ya que en un principio la Geografía tradicionalmente se enfocaba a la recolección de conocimiento empírico (Ortega, 2000).

A través de la historia humana, las sociedades se han interesado en comprender su espacio geográfico; Krasilnikov et al. (2011) marcan que una gran parte de la Geografía y de la Geografía de los Suelos son ciencias descriptivas; sin embargo, ya desde el siglo XIX, los geógrafos se

enfocaron a la interpretación de la información espacial, intentando entender las reglas de ubicación y comportamiento de los objetos geográficos. Desde entonces la geografía asumió también funciones explicativas (Huguet, 1921, citado por Krasilnikov et al., 2011).

Los primeros vestigios que hacen referencia al suelo son religiosos, asimismo los griegos, romanos y chinos, los cuales estudiaban los suelos como medio de crecimiento de las plantas y el desarrollo de la agricultura, más tarde a partir del siglo XVIII con el desarrollo de la geología y posteriormente con la aparición del método científico permitió que esta área de conocimiento se consolidara, así es como se comenzó a buscar una explicación sobre la génesis del suelo y se realizaron las primeras clasificaciones a partir de la observación de sus propiedades físico-químicas (Batalla y Sala, 1996).

Los primeros conceptos edafológicos fueron propuestos por Vasili Dokuchaev quien desarrolló el concepto de las zonas naturales, latitudinales y longitudinales con los suelos correspondientes a dichas zonas y la más importante el concepto del suelo siendo este el producto complejo resultado de las interacciones de los factores formadores del suelo: clima, material parental, organismos vivos, relieve y tiempo; asimismo elaboró la primera clasificación científica y desarrolló un método cartográfico (Krasilnikov, 2011).

Posteriormente a los trabajos de Dokuchaev (el padre de la Edafología), los estudios del suelo se caracterizaron por la introducción de métodos innovadores para su estudio en la época y se enfocaron básicamente en la obtención de datos y tratamiento por medio de métodos cuantitativos, estadísticos y la teoría general de sistemas. Actualmente ese tratamiento se lleva a cabo por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG'S), Sistemas de Información de Suelos y Sistemas de Información del Territorio (Batalla y Sala, 1996).

### 3.2 El Suelo

El suelo se define como un cuerpo natural formado a través de diversos procesos físicos, químicos y biológicos a partir de un material parental que funge como soporte para el desarrollo de organismos (Saucedo, 2009), que se distribuye en el espacio de acuerdo al relieve y el clima.

Los suelos se organizan en capas de forma horizontal, que son el resultado de los procesos pedogenéticos, tales como el intemperismo químico, eluviación, iluviación y la descomposición de la materia orgánica, entre otros. Los horizontes característicos son: H, O, A, E, B, C y R (Díaz, 2014) (Figura 1).

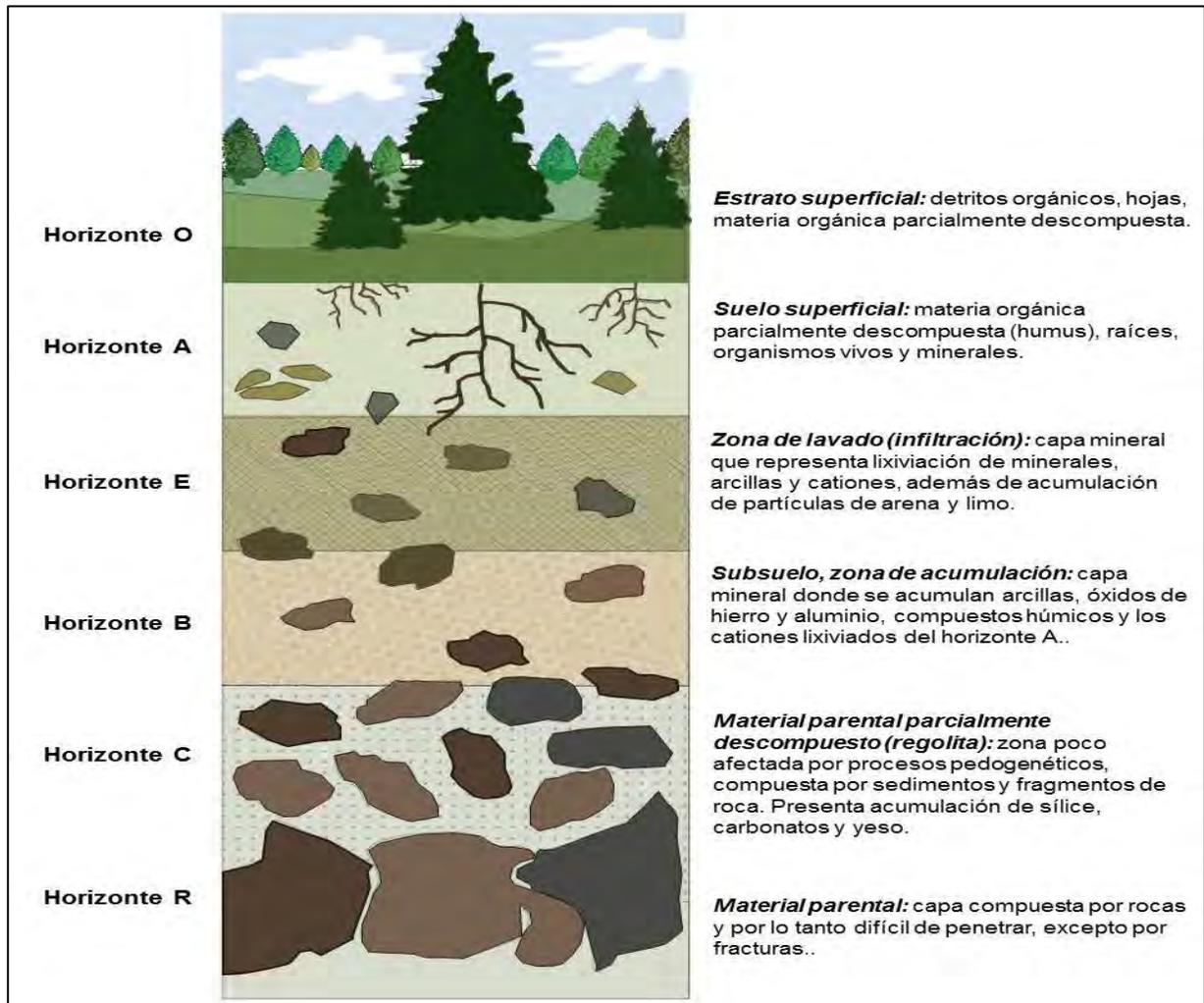


Figura 1 Perfil general de un suelo. Fuente: Siebe et al., 2006. p. 28.

Este compartimento es una interfase que facilita los intercambios físicos, químicos y biológicos entre la litosfera, biosfera y atmósfera, se caracteriza por tener horizontes que son resultados de la entrada y salida de energía y materia a lo largo del tiempo (Volke et al., 2005). El suelo asimismo se define como un sistema trifásico que se divide en (Figura 2):

- Fase sólida, constituida por minerales y materia orgánica, su contenido o concentración dependerá de las condiciones de formación y el material parental de cada uno de los suelos y asimismo del porcentaje de interacción de cada uno de los factores formadores del suelo (Saucedo, 2009).
- Fase líquida es formada por el agua y los nutrientes que se encuentran disueltos o en suspensión en ella, lo que permite el desarrollo de los seres vivos que albergan en él, sobre todo las plantas ya que es su fuente principal de nutrientes (Saucedo, 2009).

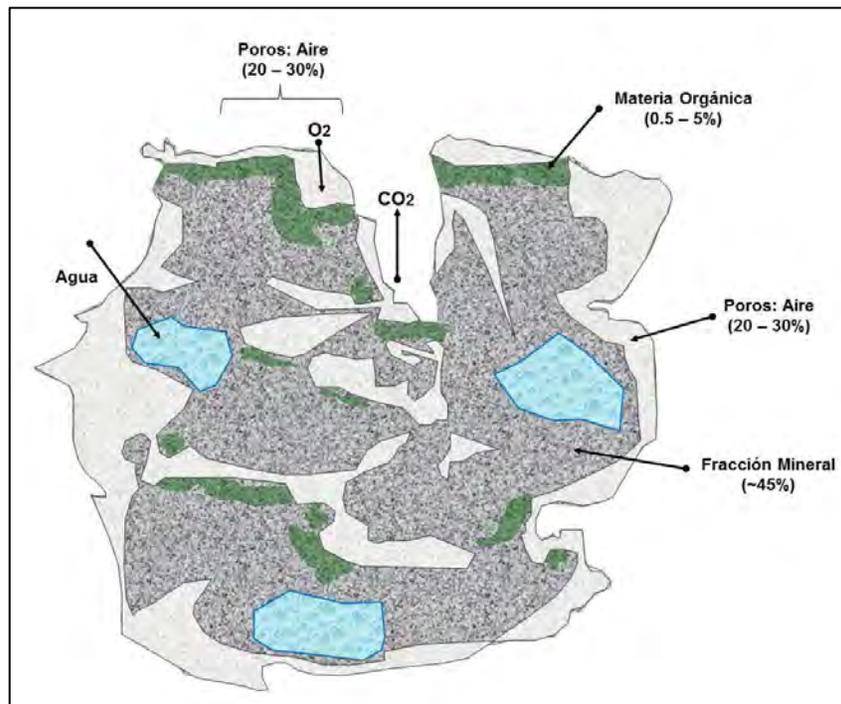


Figura 2 Esquema general de las fracciones que componen un suelo. Fuente: Volke et al., 2005. p. 13.

- Fase gaseosa se conforma por el oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno y otros gases provenientes de la atmósfera o de la actividad orgánica, esta ocupa el espacio poroso que existe entre las partículas de la fase sólida del suelo. Su composición dependerá del tipo de microorganismos que habitan el suelo, los cuales al transformar la materia orgánica y producen diferentes gases que enriquecerán la atmósfera del suelo (Saucedo, 2009).

### **3.2.1 Suelo: servicios ecosistémicos.**

Los suelos desempeñan múltiples funciones ecológicas, que se pueden traducir como servicios, por lo que se consideran como un punto vulnerable en la naturaleza. Entre sus principales funciones se destacan las siguientes (Figura 3) (Porta et al., 2014):

- Hacer posible la producción de biomasa: alimentos, forrajes, fibras, biocombustibles, masas forestales.
- Mantiene y mejora la calidad del agua: al controlar el filtrado, los intercambios iónicos, el almacenamiento y posible transferencia a otro sistema ambiental (filtro o tapón).
- Amortiguar los contaminantes ambientales y patógenos.
- Permite regular el ciclo hidrológico controlando la entrada y limpieza del agua en el suelo por la infiltración y percolación de la misma, el almacenamiento y transferencia del agua.
- Biorreactor: descomposición de la materia orgánica.
- Fijador de gases de efecto invernadero: captación de carbono, al retener cantidades importantes de materia orgánica durante mucho tiempo.
- Regulador climático (microclima) al absorber la radiación solar e intervenir en la evapotranspiración.

- Es un hábitat biológico y reserva genética al ser un medio poroso en el que viven una gran gama de organismos y en el que se pueden conservar las semillas.
- Soporte físico (humanos) donde se construyen viviendas, infraestructura carretera, industrias, etcétera.

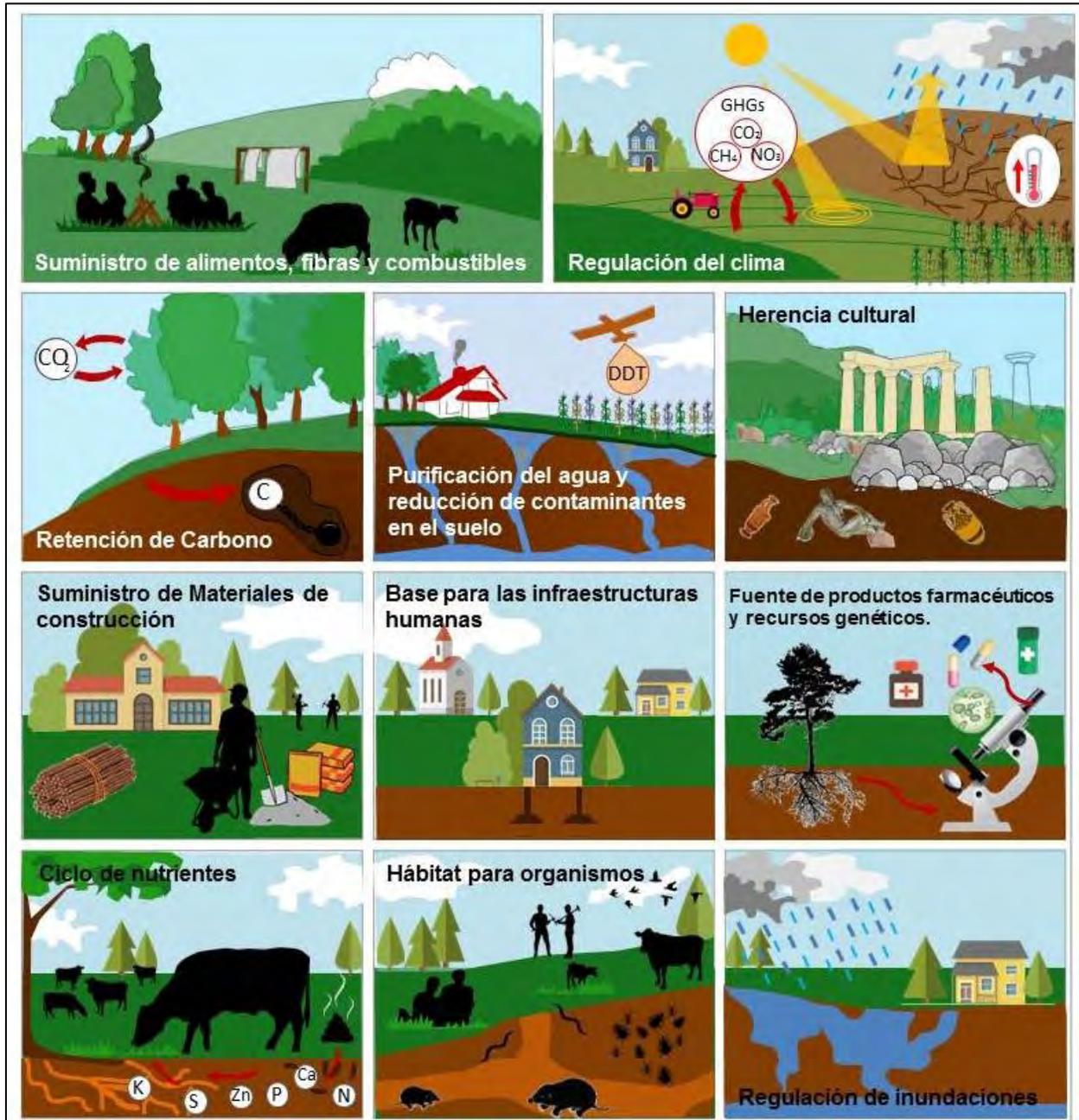


Figura 3 Servicios ecosistémicos del suelo. Fuente: Modificado de FAO, 2015.

- Fuente de materias primas tales como arcilla, grava, arena, yeso, caliza, turba, aluminio, hierro, etcétera que también forman parte del lecho rocoso.
- Permite conocer las actividades anteriores al hombre mediante su sedimentación, la geología y la geomorfología.

### **3.2.2 El suelo como agente depurador.**

El suelo dependiendo de sus propiedades físicas y químicas puede funcionar como filtro, amortiguador y transformador, que permite la regulación de los ciclos biogeoquímicos y del agua. Tiene la capacidad de retener sustancias o fijarlas por adsorción (entre la atmósfera y el manto freático), tales como metales pesados y pesticidas, pero esto dependerá de la cantidad de sustancias que entren al sistema y de las características del suelo, permitiendo así la protección y limpieza de los residuos que se van al agua subterránea, lo que permite retener y procesar los contaminantes que se introducen en él (Volke et al., 2005). La función receptora es de suma importancia ya que el exceso de contaminantes procedentes de la actividad agrícola, ganadera e industrial (Domingo, 2003), en ciertas zonas puede llevar a la degradación del sistema y por lo tanto su desuso y abandono, lo que propiciaría la erosión e incluso el favorecimiento de la desertificación (Cedillo, 2003).

Para poder utilizar adecuadamente el suelo y prevenir o evitar la degradación por contaminación ligado a las malas prácticas agrícolas, es importante saber los posibles riesgos del grupo de productos que se vierten en él y cuál es el papel que desempeña el suelo como sistema depurador (Porta et al., 1999).

### 3.3 Ecosistemas riparios

La palabra ripario proviene del latín *ripa* que significa “orilla del río o banco de un río” (Arcos, 2005, p.17). Los ecosistemas riparios son zonas de transición y de interacciones entre el medio terrestre y acuático, y poseen un “poder tampón”, es decir, que tienen la capacidad de absorber y almacenar elementos como carbono, nitrógeno, sedimentos, agua, etcétera, que le llegan fuera del sistema (Granados et al., 2006; Córdoba 2010; Barajas et al., 2013; González et al., 2013; Ortiz et al., 2013; Gómez, 2014). Dentro de su trayectoria en el paisaje comprende múltiples ambientes como por ejemplo bosques, pastos y arbustos; en la zona de transición hay canales y en la desembocadura se presentan de igual manera grandes llanuras de inundación, incluyendo bancos aluviales, humedales, terrazas y la vegetación cambia adaptándose a las condiciones ambientales (Gómez, 2014; Arcos, 2005).

El ecosistema ripario proporciona servicios ambientales de protección y conservación del hábitat (Naiman et al., 1993, citado por Barajas et al. 2013) entre estos se encuentran:

- Captación e infiltración de agua (González et al., 2013).
- Retención de sedimentos (González et al., 2013).
- Controla la intensidad luminosa (Granados et al., 2006).
- Modera la temperatura del agua y suelo (González et al., 2013).
- Mantiene la calidad del agua (Barajas et al., 2013).
- Estabiliza la red de raíces, suministra materia orgánica y reduce la velocidad de corriente del río (Anderson et al., 1978, citado por Granados et al., 2006).
- Es un amortiguador de compuestos químicos (provenientes de las actividades antrópicas) (González et al., 2013).

- Recicla nutrientes e interactúa con el agua subterránea ya que este se encuentra muy cercano de la superficie del suelo (Gómez, 2014).
- Controla la erosión y es un espacio ecológico que alberga diversas especies (González et al., 2013).
- Funge como corredor biológico y un interconector entre ecosistemas (Gregory et al., 1991; Kalff, 2002, citado por González et al., 2013).

El flujo del agua que corre a través de una zona riparia facilita el reciclaje de nutrientes y, así, permite el desarrollo de vegetación mediante el movimiento de oxígeno a través del suelo y la remoción del bióxido de carbono, lo cual promueve el cambio de las condiciones anaeróbicas que frecuentemente prevalecen en las tierras húmedas con agua estancada, permitiendo la alimentación de animales (Granados et al., 2006), lo que permite un buen balance e interacción entre el suelo, la fauna y la vegetación.

La vegetación y los animales presentes en espacios riparios, pueden llegar a presentar características endémicas, debido a los patrones sucesionales y microhábitats definidos por los rasgos físicos (Granados et al., 2006; Gómez, 2014), lo que se puede explicar a partir de las distintas altitudes que presentan estas zonas, y la flora y fauna con una historia ambiental única, cuya formación se encuentra relacionada por las condiciones climáticas y geomorfológicas en el trayecto del cuerpo fluvial.

Dentro de los árboles que conforman al ecosistema ripario se encuentran los géneros *Populus* (álamos o chopos), *Quercus* (roble o encino), *Salix* (sauce), *Pachira* (Castaño de Guinea), *Ficus*, *Platanus* (plátano), *Taxodium Rich* (coníferas) y *Alnus Mill* (alisos o aile), *Taxodium mucronatum* (ahuehuetes), *Cedrela odorata L.* (cedros), *Prosopis juliflora (Sw.) DC.* (mezquites), así como

especies arbustivas y herbáceas (Granados et al., 2006; Sharitz y Pennings, 2006, citado por Gómez 2014). Mientras la diversidad de vegetación varía a lo largo del cauce de los ríos, la humedad, la profundidad de los suelos y el gradiente topográfico varía a lo largo del escurrimiento de los ríos, lo que permite la identificación de distintas bandas de vegetación, iniciando con el borde del agua y avanzando hacia el interior del bosque, donde se pueden definir bandas sucesivas de vegetación (Figura 4) (Granados et al., 2006; Gómez, 2014).

En general son ecosistemas muy fértiles y tienen una excelente calidad de suelos (Robins y Cain, 2002, citado por Arcos 2005; Granados et al., 2006). Muchas de las especies de fauna que alberga un ecosistema ripario son un complemento para la estabilidad de éstos espacios, como castores, salmones, insectos y cangrejos, ya que son los que permiten el control en la disponibilidad de los recursos de otros organismos, además de modificar, mantener o generar hábitats (Moore, 2006, citado por Gómez 2014).

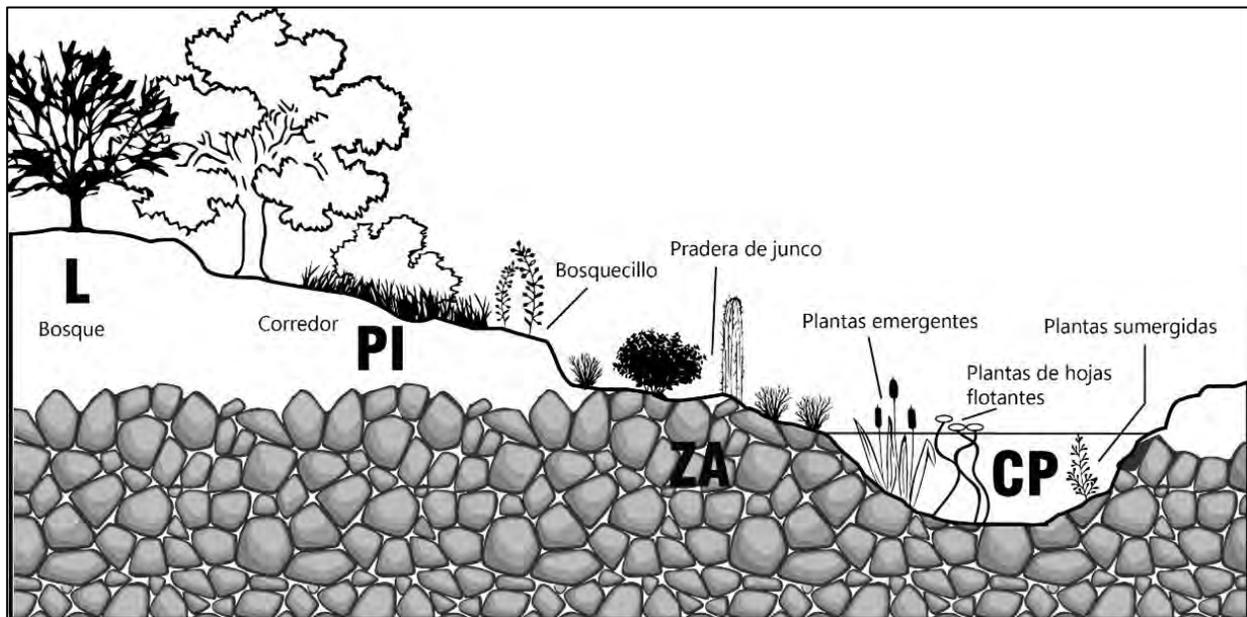


Figura 4 Corte transversal de un corredor ripario. CP: cauce permanente, ZA: zona activa del canal, PI: planicie de inundación, L: ladera. Fuente: Modificado de González et al., 2012 p. 7 y Granados et al., 2006 p. 59, 62.

### 3.4 Agroquímicos: plaguicidas

La FAO (2006)

Define el término 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 no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas... alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos. El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta o agentes para evitar la caída prematura de la fruta, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto contra la deterioración durante el almacenamiento y transporte. (p.7)

“La utilización inadecuada de los mismos puede causar que la plaga pueda volverse resistente a un pesticida después de su aplicación reiterada, lo que propicia al agricultor a aplicarlo en más cantidad y finalmente, a cambiar de producto” (Doménech, 1995, p.136).

La aplicación de estos productos se realiza de dos formas, la primera directamente al suelo y la segunda es aplicándolo en la superficie de las hojas de la planta, donde es absorbido por la vegetación y arrastrado, posteriormente, hacia el suelo por deposición o lixiviado por el agua de lluvia. Una vez depositado en el suelo, el pesticida puede ser adsorbido por el sistema y transformarse o lixivarse hacia horizontes más profundos donde puede penetrar en el manto acuífero, esto ocurrirá dependiendo de la naturaleza química del pesticida, la estructura física, químico y biológica del suelo (Doménech, 1995).

En México el uso desmedido de agroquímicos, así como el inadecuado manejo de los mismos, ha tenido consecuencias graves, además, muchos de los plaguicidas empleados en el país en fechas recientes, se han prohibido en otros países por la gravedad y el impacto al medio ambiente, por ejemplo: se comercializan agroquímicos organoclorados como el ácido 2,4 dicloro-fenoxiacético (2,4-D), el pentaclorofenol (PCP) y dicofol, además de plaguicidas a base de carbamatos y los organofosforados como el malatión (Volke y Velasco, 2002).

### **3.4.1 Antecedentes del uso de plaguicidas.**

Cuando los agricultores comprendieron que los desechos inorgánicos ocasionaban efectos tóxicos en las plantas silvestres, indeseadas o competidoras (no útiles para el agricultor), insectos y otros organismos; comenzaron a usarlos con más frecuencia, para obtener una mayor producción en sus cultivos, estos fueron los primeros compuestos utilizados para inhibir el crecimiento de organismos no deseados. Años más tarde, cuando hubo múltiples descubrimientos y estudios de carácter químico, se desarrollaron los plaguicidas. Esto permitió el uso de diferentes tipos de ácidos, sales metálicas y algunos materiales alcalinos como plaguicidas (Stephenson y Solomon, 2013).

Los romanos utilizaban cenizas y sales, para mantener los caminos limpios, posteriormente el hombre en 1800 utilizó ácido sulfúrico y sulfato de cobre, un producto tóxico para los animales. A inicios de 1900 se usaron los primeros herbicidas de origen orgánico utilizados para plantas de hoja ancha, menos corrosivos sin embargo aún eran muy agresivos tanto para la maquinaria como para los humanos, en los años 40s se creó 2,4-D siendo altamente selectivo para el control de la maleza en el cultivo de cereales, con baja toxicidad y bajo costo. Para los años siguientes se utilizaban Amidas, Paraquat, Carbamatos, Ureas, Cloroacetamidas, Triazinas etc, pesticidas que

son selectivos y no selectivos, activos en el suelo y/o foliares, una gran variedad de herbicidas de preemergencia, moderadamente persistentes, utilizados en muchos cultivos. En 1970 se comenzó a distribuir Diclofop-metil, uno de los primeros herbicidas selectivos seguros, Dicloramida producto con poca actividad en el suelo uno de los primeros con *safener* y Glifosfato uno de los pesticidas no activo en el suelo y excelente para el control de malezas perennes (Stephenson y Solomon, 2013).

A partir de los años 80 y 90s se produjeron Imidazolinonas, Sulfonilureas, Setoxidim, Bialofós (se inactiva al contacto con el suelo), Glufosinato de amonio y los cultivos tolerantes a enfermedades (transgénicos) son herbicidas selectivos convencionales usados a muy bajas dosis, con actividad en suelos y/o foliar, con problemas de resistencia y residuos en los suelos. Los transgénicos son para el control de malezas y son altamente selectivos, es decir, las semillas son modificadas para evitar plagas y repeler insectos que las consumen, sin embargo, hay una controversia sobre los efectos de estos cultivos en la salud y por la transferencia de genes a las malezas (Stephenson y Solomon, 2013).

Del mismo modo en México en la década de los años 50s, se inició el Programa Mexicano de Agricultura con la finalidad de modernizar las prácticas agrícolas, sobre la base de una producción extensiva de gran escala y el uso de alta tecnología, con la idea de combatir el hambre (Appendini y Torres, 2008). Más tarde en los años 90s la segunda ola de la Revolución Verde traería consigo la biotecnología con la ingeniería genética con el objetivo de transformar significativamente la agricultura mundial, realizando cultivos de alto rendimiento, el uso masivo de fertilizantes químicos, pesticidas, herbicidas, etcétera (Ceccon, 2008). En Latinoamérica después de muchos años de la revolución verde, los suelos agrícolas se transformaron en simples sustratos de

sustentación de plantas que exigen técnicas artificiales cada vez más caras y en consecuencia la degradación del suelo, favoreciendo la erosión (Ceccon, 2008).

Actualmente existe una gama amplia de productos en el mercado para prevenir y eliminar la maleza de los cultivos. Desafortunadamente, los beneficios que puede implicar la utilización de estos herbicidas tienen consecuencias catastróficas, reduciendo la actividad microbiana y la fauna del suelo, la contaminación de las aguas subterráneas y el enriquecimiento de las aguas superficiales, por ejemplo, fuertes trastornos en el equilibrio biológico, como la mortandad de especies marinas (Ceccon, 2008). Bejarano y Mata (2003) señalan que la utilización de plaguicidas químicos beneficia a un grupo muy selecto de empresarios, creando riesgos que impactan al ambiente y la salud de la población.

#### Tipos de Pesticidas

En la actualidad existen en el mercado múltiples plaguicidas con diferente composición química; entre los más conocidos se encuentran: organoclorados (DDT, Metoxiclor, 2,4 D, Endosulfán, etcétera), organofosforados (Malatión, Paratión, Diazinón, Sarín, etcétera), carbamatos (Aldicarb, Carbofurán, Profam, Clorprofam, etcétera), triazinas y bipirilos o dipirilos (Atrazina, Simazina, Propazina, Diurón, Picloram, Paraquat, Diquat, Oxido bis-tributilestaño, etcétera) (Doménech, 1995).

#### **3.4.2 Destino de los plaguicidas al ambiente.**

Existen diversos factores que regulan el movimiento o la estabilidad de los plaguicidas, este varía dependiendo de la sustancia y la toxicidad del mismo, asimismo, depende de las características físicas y químicas del ambiente. La asimilación de los plaguicidas en el suelo está

en función de cómo se aplique y una vez que se lixivie su destino estará sujeto por la adsorción o a su disolución en la solución del suelo (Figura 5). La descomposición y/o asimilación del pesticida en el suelo se puede dar de dos maneras, la primera es por movimiento: arrastre superficial por erosión hídrica o eólica, absorción por plantas y animales, percolación, volatilización y movimiento capilar; el segundo es por degradación: biodegradación, fotodegradación y degradación química, como se mencionó anteriormente, esto se encuentra relacionado por las propiedades químicas y físicas del pesticida, el método de aplicación y los factores climáticos que incurren en el contenido de humedad y en la temperatura del suelo y el agua (Stephenson y Solomon, 2013).

La adsorción del plaguicida es un proceso que determina la disponibilidad del contaminante en el suelo y los sedimentos, se relaciona con propiedades del suelo como el tamaño de las partículas, el contenido de Materia Orgánica, la Capacidad de Intercambio Catiónico, pH, temperatura y la humedad del suelo (Avilés, 2017; Stephenson y Solomon, 2013).

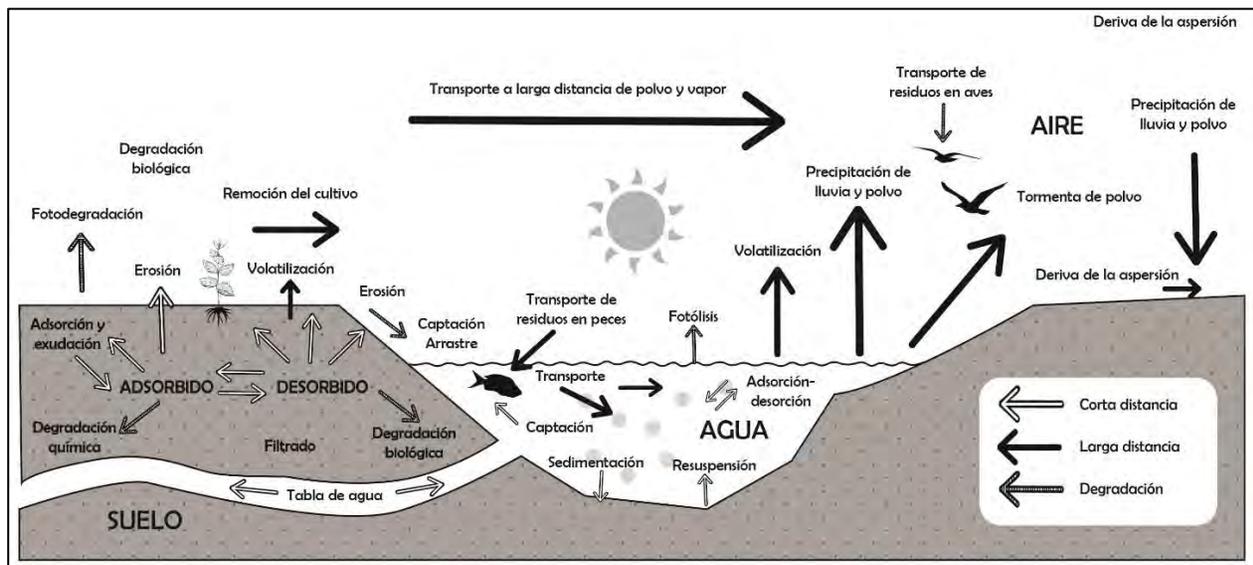


Figura 5 Destino de los pesticidas al ambiente. Fuente: Stephenson y Solomon, 2013.

### 3.4.3 Paraquat.

Avilés (2017) refiere que:

La Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) tiene registrados 782 ingredientes activos usados como plaguicidas en México, en más de 5600 formulaciones comerciales, de ellos 186 son considerados altamente peligrosos por presentar alguna de las siguientes características: tener alta toxicidad aguda, provocar efectos tóxicos de largo plazo por exposición crónica (como carcinogenicidad, mutagenicidad, toxicidad reproductiva y alteración endócrina), presentar una toxicidad ambiental relevante por su capacidad de bioacumularse y su persistencia en agua o sedimentos, y estar incluidos en los protocolos de Estocolmo, Rotterdam o Montreal (RAPAM, 2013, citado por Avilés, 2017). Cabe resaltar que entre los plaguicidas altamente peligrosos cuyo uso es permitido por la COFEPRIS y recomendado por la SENASICA, 85 no están autorizados en la Unión Europea por sus efectos en la salud y/o el ambiente (RAPAM, 2014, citado por Avilés, 2017). (p. 18)

El Paraquat es un herbicida que forma parte de la familia de los *bipiridilos* o *dipiridilos*, desde 1955 se ha utilizado como desecante de cultivos, en aplicaciones dirigidas y como herbicidas totales. Su nombre IUPAC es 1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium, su fórmula molecular es  $C_{12}H_{14}Cl_2N_2$  (Dikshith y Prakash, 2003), el producto comercial más utilizado es el Gramoxone (Figura 6).

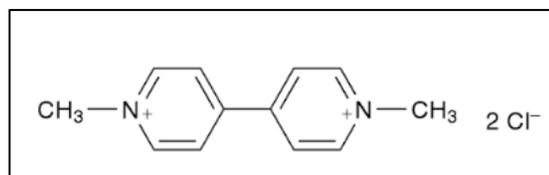


Figura 6 Estructura molecular del Paraquat. Fuente: Dikshith y Prakash, 2003.

Sus características particulares son: soluble en agua, son formuladas como soluciones acuosas de sales dicloradas o dibromadas. Tienen una singular actividad catiónica y son adsorbidos por los coloides inorgánicos del suelo, en especial por las arcillas expandibles. La aplicación en la maleza es eficaz, son absorbidos rápidamente por las hojas, los síntomas de acción sobre las hojas de las

plantas es la presencia de manchas verdes oscuras a las pocas horas de la aplicación, esto es acelerado en presencia de luz comparado con la oscuridad (García y Fernández, 1991).

El Paraquat es aplicado a cultivos como: árboles frutales, viña, alfalfa, leguminosas forrajeras, alpiste, arveja, lenteja poroto, caña de azúcar, girasol, maíz, papa, sorgo y soja en dosis que van de 1 a 3 litros/ha (Singenta, 2017). Asimismo, es ocupado en climas húmedos para cultivos como el algodón y el girasol, es también utilizado en el manejo de malas hierbas en pre-siembra o pre-emergencia del cultivo, así como en hierbas acuáticas (García y Fernández, 1991). Los nombres comerciales del Paraquat son: Agroquat, Angloxone, Astroquat, Ati-La, Bioquat, Boa, Brusquat, Cafesaquat, Casaquat, Casuku, Chapeador, Cuproquat, Daviquat, Escopeta, Exprone, Fedexone, Ferquat, Formuquat, Fuego, Gramecoop, Graminex, Gramoxone, Herbaxon, Herbiquat, Herboxone, Herquat, Inverquat, Jibokem, Kayquat, K-Quat, Kemazone Súper, Malexon, Paraquat, Pillarxone, Quatzone, Radex D, Rimaxone, Seraxone, Serquat, Súper Herbaxon, Súper Proquat, Superquat, Superxone, Ultragrass, Yerba-Xone, etcétera (UNA, 2018).

La aplicación del herbicida dependerá del agricultor, sin embargo, en la ficha técnica del producto sugiere que, al usarse como defoliante, por ejemplo, en el algodón se debe aplicar 0.7-1.0 litros/ha con 250 litros de agua como mínimo. Por otra parte su toxicidad en animales varía entre 110 y 150 mg/kg en ratas, 50 mg/kg en monos, 48 mg/kg en gatos y de 50 a 70 en vacas (Dikshith y Prakash, 2003) lo que provoca malformaciones y disrupción endocrina en peces y anfibios (Watts, 2011, citado por Avilés, 2017), en humanos su ingesta puede provocar dolor de cabeza, tos, dificultad respiratoria, irritación pulmonar, diarrea, náuseas, vómitos, sin embargo en concentraciones mayores causan irritaciones en la piel y ojos, retrasan la cicatrización de heridas (GTM, 2014).

En México el uso del Paraquat está normalizado por la Norma Oficial Mexicana NOM-018 STPS-2000 que trata sobre el sistema para la identificación y comunicación de peligro y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo, se encarga de regular el uso de sustancias peligrosas mediante estudios puntuales para evitar daños al bienestar de la población, y rige en todo el país (SEMARNAT, 2000). Asimismo, el Paraquat se inactiva al entrar en contacto con la mayoría de los suelos de manera instantánea, se degrada fácilmente con la exposición a la luz solar, lo que favorece la adsorción por las arcillas y en menor medida por la materia orgánica; en pH básicos se hidroliza, además tiene una doble carga que se neutraliza al contacto con otros compuestos del suelo (Lebrón, 2007).

## **4. Hipótesis**

1. Dadas las características del suelo de las zonas riparias en donde se deposita material arenoso y bajo contenido de carbono orgánico, se espera mayor movilidad del Paraquat.

## **5. Objetivos**

### **5.1 Objetivo general**

Caracterizar los suelos de una zona riparia y a partir de estas determinar la movilidad del Paraquat, en zonas de cambio de uso de suelo en un afluente del Río Amacuzac Tlaquiltenango, Morelos.

### **5.2 Objetivos particulares**

1. Identificar las áreas con cambio de uso de suelo en los últimos veintidós años en la zona riparia del Río Salado, dentro de la Subcuenca del Río Bajo Amacuzac.
2. Determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos de la zona riparia, para conocer las asociaciones de los suelos.
3. Evaluar la movilidad del Paraquat en condiciones de laboratorio en suelos de la zona riparia del río Agua Salada, para entender su destino.

## 6. Descripción del área de estudio

### 6.1 La Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH)

Se ubica al sur del estado de Morelos, tiene una extensión de 59030-94-15.9 ha, sus límites al suroeste es el Río Amacuzac y los cerros principales son Temazcal, los Chivos, Pericón, el Jumilar, Frío, Potrero los Burros, el Cuacle y la Sierra de Huautla. Se encuentra dentro de los municipios de Amacuzac, Ayala, Puente de Ixtla, Jojutla, Tlaquiltenango y Tepalcingo. Las principales localidades son Huautla, Huaxtla, Rancho Viejo, Xantiopa, Ajuchitlán, El Limón, Huixastla, Pueblo Viejo, Xochilapa, Coaxintlán, El Salto y El Zapote (CONANP, 2005).

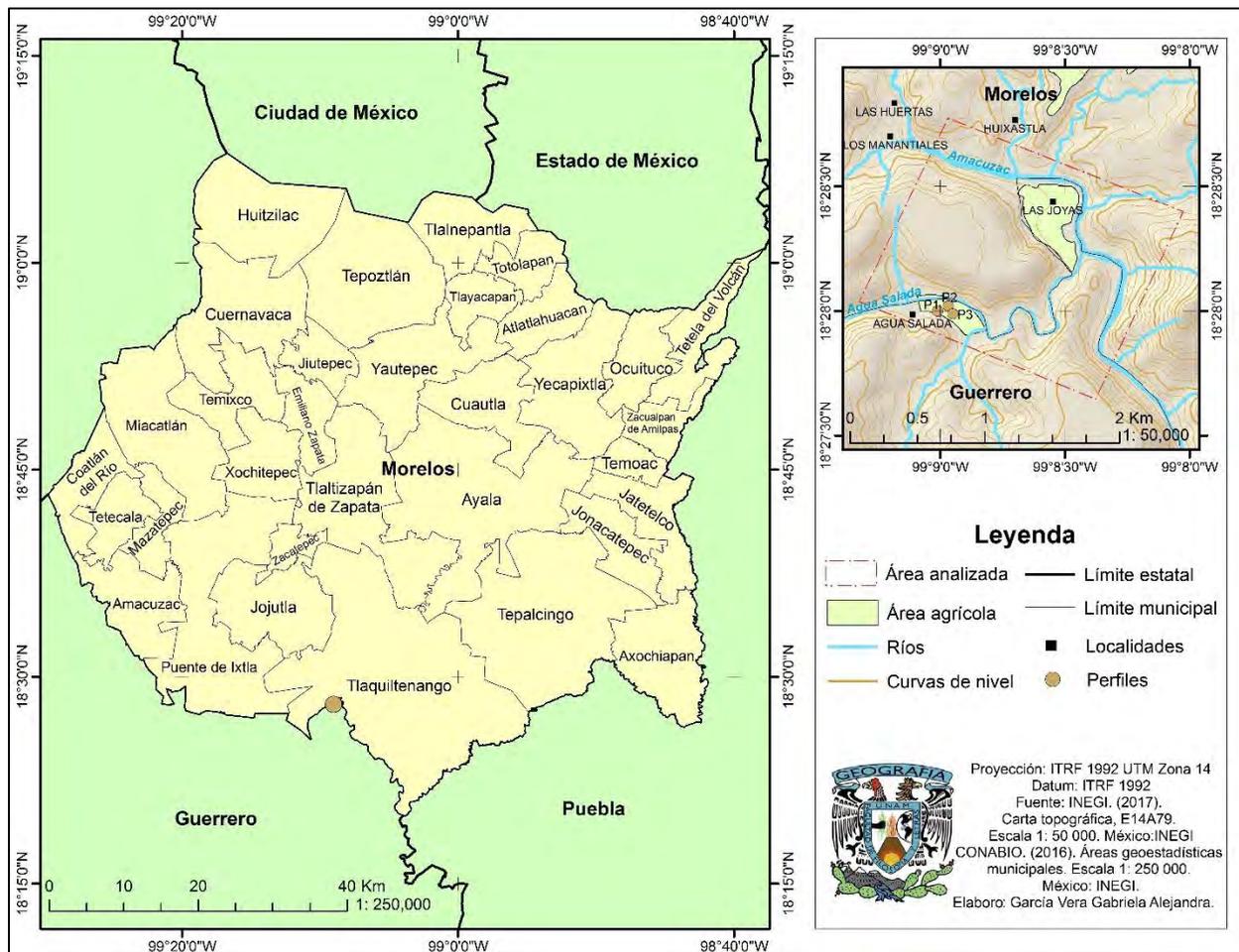


Figura 7 Mapa de localización del área de estudio.

### **6.1.1 Localización del sitio de estudio.**

El área de estudio se ubica dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH) al sureste del municipio Tlaquiltenango, Morelos y pertenece a la Red Hidrográfica del Río Balsas de la Cuenca Hidrológica Río Grande de Amacuzac, en la Subcuenca Río Bajo Amacuzac (INEGI, 2014), y al sitio se le denomina Agua Salada, el área estudiada mide 2.73 km<sup>2</sup>.

Sus coordenadas geográficas extremas son: 18°28'23.91''N, 99°8'1.54''O de Latitud Norte y 18°28'2.25''N, 99°9'19.46''O Latitud Oeste (Figura 7).

### **6.2 Geología y relieve de la REBIOSH**

La zona de estudio se encuentra dentro de dos provincias fisiográficas el Eje Neovolcánico, de la subprovincia del sur de Puebla, conformada por rocas volcánicas y sedimentos lacustres del Mioceno. Asimismo, pertenece a la Sierra Madre del Sur en la subprovincia de Sierras y Valles Guerrerences, donde predominan lomeríos, mesetas y valles (INEGI, 2014, citado por CONANP, 2005).

El Río Amacuzac divide el área hacia el oriente de la Sierra de Huautla que presenta lomeríos y serranías con una altitud entre 1000 y 1300 msnm, Cerro Frío constituye el extremo norte de la Sierra de Huitzucó que se encuentra a 2280 msnm, estas unidades son accidentadas, con formación de múltiples cañadas y cañones (CETENAL, 1976, citado por CONANP, 2005).

La REBIOSH está sobre una caliza marina del Mesozoico abarcando desde el norte de Tilzapotla y hacia la cuenca del Río Mezcala; por fenómenos orogénicos ígneos del Cenozoico se elevaron las Sierras de Huitzucó y Huautla (Lugo, 1984, citado por CONANP, 2005). Las rocas más antiguas son las sedimentarias del Cretáceo Inferior, clasificadas como calizas y depósitos

marinos interestratificados de areniscas y lutitas del Cretáceo Superior. Las estructuras más abundantes son las rocas ígneas que datan del Oligoceno-Mioceno, existen derrames de andesitas, riolitas, tobas y brechas; del periodo más reciente se encuentran los depósitos aluviales que se extienden en las planicies de la cuenca del Río Amacuzac (CONANP, 2005).

### 6.2.1 Geología y relieve de Agua Salada.

Se encuentra dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, en la subprovincia Sierras y Valles Guerrerenses y tiene un sistema de topeformas de lomeríos, la geología es riolita y conglomerado polimíctico - arenisca de la formación del Balsas, a lo largo de la microcuenca del Río Salado (INEGI, 2014; SGM, 1998) (Figura 8; Anexo).

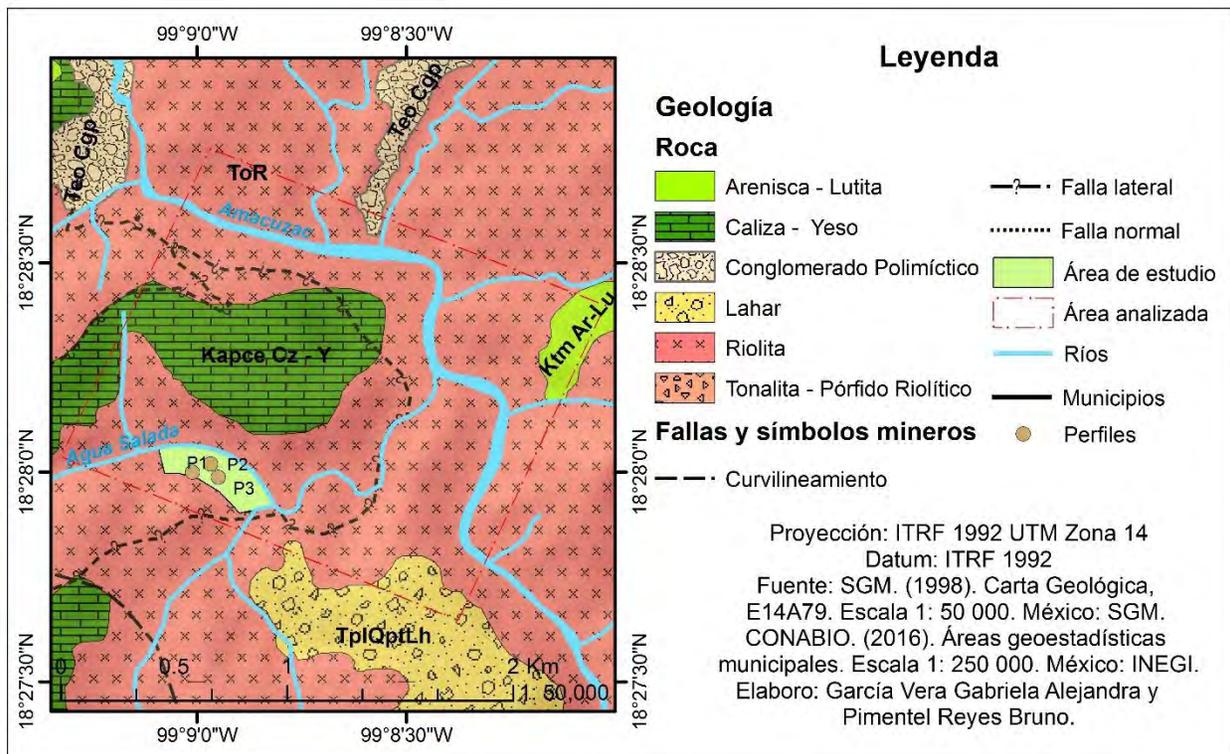


Figura 8 Mapa geológico del área de estudio.

### 6.3 Clima de la REBIOSH

Presenta un clima Awo”(w)(i’)g, cálido subhúmedo, con un coeficiente de evapotranspiración menor de 43,2 (García, 1981, citado por CONANP, 2005). La precipitación es de 900 mm al año y se presenta durante el verano entre junio y principios de octubre (CONANP, 2005).

#### 6.3.1 Clima de Agua Salada.

El clima descrito por la temperatura y precipitación, muestra que en la región en un periodo de treinta años (1981-2010) la temperatura promedio máxima ha sido de 40.1 °C, la temperatura y precipitación media anual tomada de las estaciones meteorológicas Huautla, Nexpa, Valle de Vázquez, Xicatlacotla, Tilzapotla, Tepetlapa, Chaucingo y Huitzucó (DGE y SMN) son de 37 °C y de 208 mm (Figura 9). La estación seca va de octubre a mayo y la mayor precipitación va de junio a septiembre, cuenta con un clima A (w0) – Cálido subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (Reyes, 2018; SMN, 1981-2010).

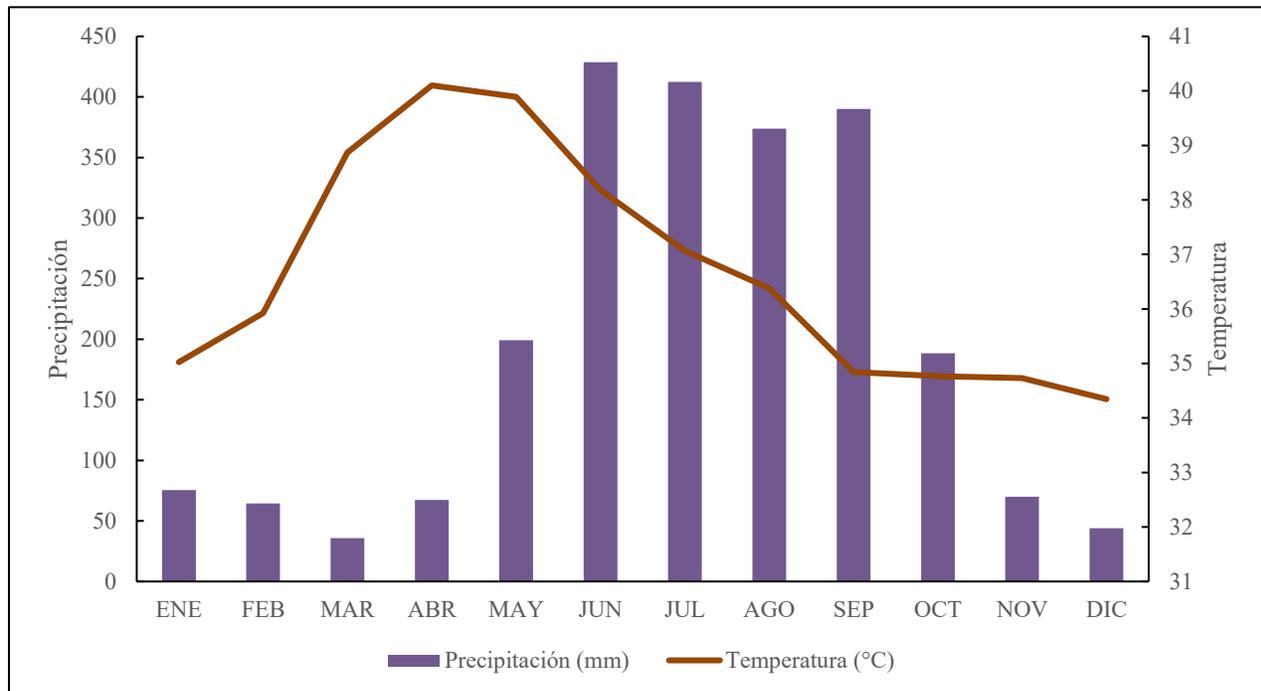


Figura 9 Climograma del sitio de estudio 1981-2010 (estaciones más cercanas). Fuente: SMN, 1981-2010.

## 6.4. Suelos de la REBIOSH

Los tipos de suelos predominantes en la REBIOSH son los Feozem háplicos, Regosoles éútricos y Leptosoles en las montañas. Lo que puede explicar las restricciones para la producción agrícola en el área (INEGI, 1981, citado por CONANP, 2005), la erosión de los suelos dentro de la reserva va de moderada a severa sobre todo en áreas con vegetación perturbada y que presentan agricultura de temporal o en pendientes mayores al 15% de inclinación (Aguilar, 1998, citado por CONANP, 2005).

### 6.4.1 Suelos de Agua Salada.

De acuerdo con la Carta Edafológica (INEGI, 1976) 1:50 000, hay suelos como Feozem calcárico, Feozem háplico, Regosol éútrico, y Leptosoles (Figura 10; Anexo), el segundo nombre se les otorga por las características secundarias que presenta el suelo, es decir que no predomina dentro del perfil.

*Tabla 1* Unidades de suelos en el sitio de estudio, descripción breve.

Tipo de suelo	Características
<b>Rendzina</b>	Es un tipo de suelo que aparece en una clasificación de suelos antigua, las características que presenta es un horizonte mólico que se encuentra sobre materiales calcáreos y se encuentra muy relacionado con los Leptosoles (FAO, 1974).
<b>Feozem</b>	Son suelos característicos de pastizales relativamente húmedos, presenta un horizonte mólico principalmente sobre el horizonte subsuperficial cámbico o árgico. Se forma a partir de materiales no consolidados, predominantemente básicos, eólicos y till glaciario.

---

### Fluvisol

Suelos generalmente jóvenes, que se pueden encontrar en zonas aluviales, lacustres y marinos. Presentan estratificación, pueden llegar a tener rasgos reductomórficos sobre todo en el último horizonte.

---

### Litosol

Suelos someros sobre roca continua, son extremadamente graviloso y/o pedregosos, son característicos de zonas montañosas.

---

### Regosol

Son suelos que no pudieron entrar dentro de la clasificación y se puede encontrar en cualquier zona climática sin permafrost y a todas las altitudes, comunes en áreas áridas y regiones montañosas. No tienen horizonte diagnóstico y el desarrollo del perfil es mínimo debido a la aridez.

---

Fuente: (WRB, 2015).

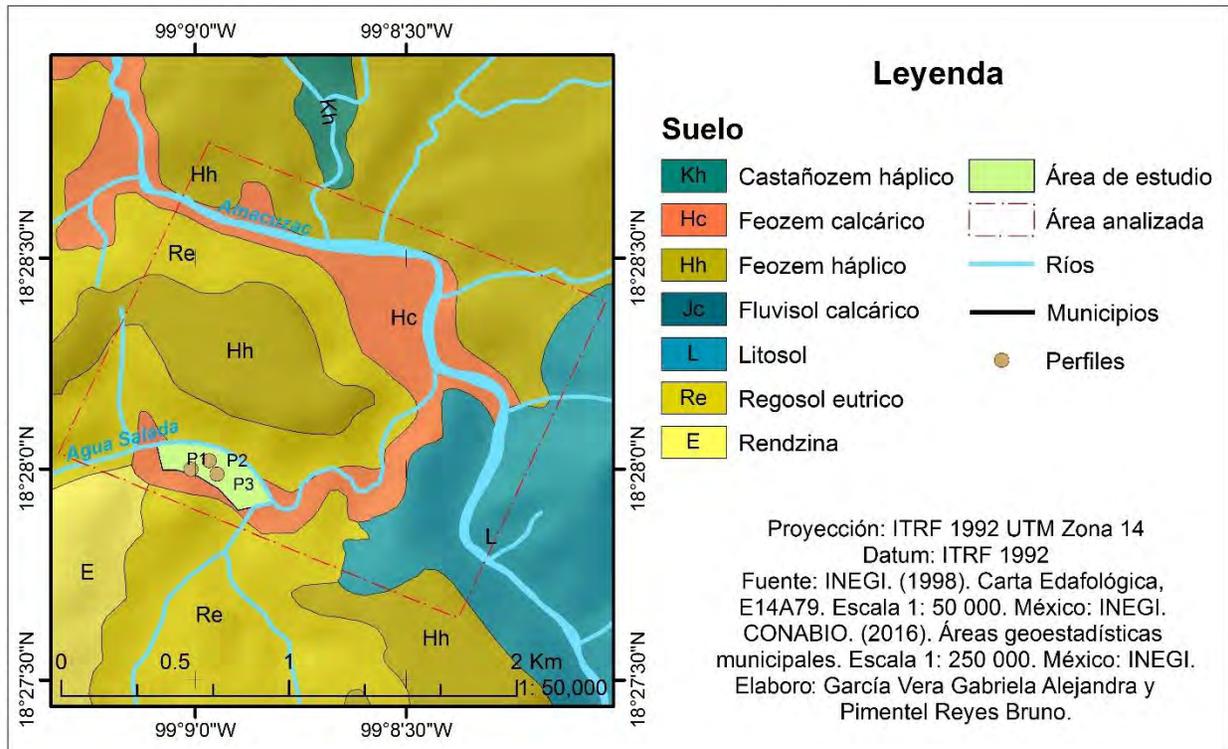


Figura 10 Mapa de suelos del área de estudio.

## 6.5 Tipos de vegetación de la REBIOSH

El tipo de vegetación es Selva Baja Caducifolia o bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1978, citado por CONANP, 2005), es uno de los ecosistemas con mayor número de géneros y especies endémicas de nuestro país, lo que destaca la importancia de la conservación del ecosistema (Ceballos et al., 1999, citado por CONANP, 2005). La REBIOSH se ubica en la Provincia Florística de la Depresión del Balsas, la Región Caribeña y el Reino Neotropical (Rzedowski, 1978, citado por CONANP, 2005). La vegetación más común dentro de la reserva es:

*Conzattia multiflora*, *Lysiloma acapulcense*, *L. divaricata* (Fabaceae) y varias especies de los géneros *Bursera* (Buseraceae) y *Ceiba* (Bombacaceae). Un elevado número de las especies vegetales presentan exudados resinosos o laticíferos. Las hojas compuestas son comunes, especialmente en especies de las familias Fabaceae y Burseraceae. En las zonas alteradas se establecen asociaciones de vegetación secundaria formadas principalmente por arbustos espinosos mimosoideos (Fabaceae), con especies tales como *Acacia farnesiana*, *A. cochliacantha*, *A. pennatula*, *A. bilimekii*, *Mimosa polyantha*, *M. benthamii*, *Pithecellobium acatlensis*, y *Prosopis laevigata*, entre otras (Dorado, 1983, citado por CONANP, 2005, p. 30).

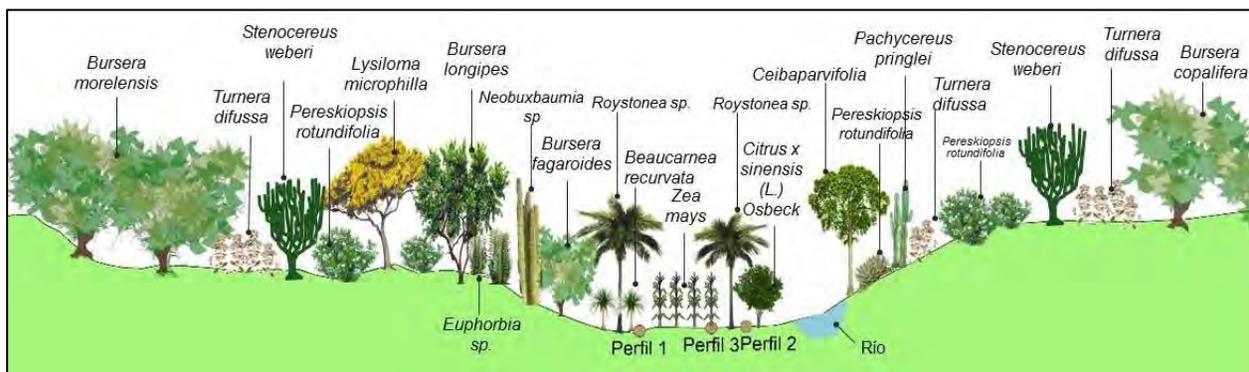


Figura 11 Corte longitudinal de vegetación del sitio de estudio. Fuente: Modificado de Challenger, 1998 p. 403.

### 6.5.1 Tipos de vegetación de Agua Salada.

La vegetación es Selva Baja Caducifolia, las especies presentes en el área son *Bursera morelensis*, *Bursera copalifera*, *Bursera longipes*, *Turnera difussa*, *Stenocereus weberi*, *Lysiloma microphilla*, *Euphorbia sp.*, *Ceibaparvifolia*, *Pachycereus pringlei*, *Pereskiaopsis rotundifolia*, *Neobuxbaumia sp.*, *Stammadena bella*, *Acacia riparia* y *Lysiloma tergeminum*, asimismo las que fueron introducidas: *Zea mays* (maíz), *Citrus X Sinensis* (árbol de naranja), *Beaucarnea* (pata de elefante) y las *Areaceae* (palmeras) (Challenger, 1998; Reyes, 2018) (Figura 11).

## 7. Metodología

Este trabajo evaluó una pequeña área en las zonas agrícolas que se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla (REBIOSH). Se hizo una investigación de gabinete, asimismo trabajo de campo apoyándose de datos que se obtuvieron en el laboratorio (Figura 13).

### 7.1 Cambio de uso de suelo

Para identificar las áreas que presentaron cambio de uso de suelo en los últimos 22 años, se empleó la técnica de sobreposición cartográfica digital (Francel 2017; Aguilar et al., 2006; Labrandero y Martínez 1998) utilizando información de la carta topográfica de Tilzapotla 1:50 000 (INEGI, 1998) e imágenes de Google Earth-Digital Globe (Quickbird-WorldView1, 2 y 3) a partir del 2005 hasta el 2017, procurando utilizar los meses que presentan un régimen bajo de precipitación. Las fechas fueron 6 de enero del 2005, 9 de mayo del 2011 y 3 de enero del 2017.

Se trazaron polígonos con Google Earth en zonas cercanas al Río Salado y el Río Amacuzac donde presentaran algún patrón relacionado con la agricultura, como la eliminación de la cobertura vegetal, traza de canales y caminos para el acceso al espacio, es decir, basándose en “los patrones geográficos de cambio (o del crecimiento) creados a partir de las relaciones espaciales analizadas” (Aguilar et al., 2006, p. 11), tomando de referencia un polígono rectangular de 2.73 km<sup>2</sup>. Posteriormente los polígonos se convirtieron a Shapefiles para su manejo en ArcGis 10.1 (Figura 13), donde se realizaron los cálculos para determinar el porcentaje de suelo que presenta perturbaciones y realizar los mapas de Cambio de Uso de Suelo.

Asimismo, se calculó la tasa de cambio de uso de suelo y se utilizó la siguiente formula:

$$\delta n = \left[ \left( \frac{\delta_2}{\delta_1} \right)^{1/n} - 1 \right] \times 100 \quad (1)$$

Siendo  $\delta$  la tasa de cambio,  $\delta_1$  la superficie en la fecha 1,  $\delta_2$  en la fecha 2 y  $n$  el número de años entre las fechas (Velázquez et al., 2002).

## 7.2 Caracterización de suelos en campo

La investigación de gabinete se realizó consultando la siguiente cartografía: carta topográfica, carta edafológica, datos meteorológicos del Sistema Meteorológico Nacional con los años 1981-2010, carta de uso de suelo y vegetación y la carta geológica para hacer un reconocimiento general del paisaje. Posteriormente se seleccionó una parcela agrícola cercana al cauce del Río Salado, se realizaron tres perfiles de suelo en un transecto entre el río y el pie de monte, y se realizó la descripción de los mismos, con base en el Manual para descripción y evaluación de suelos en campo (Siebe et al. 2006) (Figura 13). Se tomaron muestras de suelos alteradas e inalteradas para la caracterización de los suelos y la evaluación del transporte en el laboratorio.

### Muestras alteradas:

Se recolectaron para determinar las propiedades físicas y químicas del suelo: pH, CIC, textura, contenido de humedad, carbono orgánico y nitrógeno total, así como también para hacer el experimento de transporte del herbicida en columnas empacadas. El procedimiento para la toma de muestras consistió en; colocar la pala en posición horizontal frente la cara del perfil, tomando una cantidad aproximada de 1.5 kg de suelo. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico etiquetadas con el nombre del sitio, número de perfil, profundidad (cm) y el responsable del proyecto, se preservaron en refrigeración (4°C) hasta el momento de su análisis.

Muestras inalteradas:

Se colectaron dos cilindros de acero inoxidable con una medida de 100 cm<sup>3</sup> por horizonte, para determinar la densidad aparente del suelo. Cada cilindro se colocó de manera vertical con una barrena en el horizonte correspondiente, teniendo cuidado de no alterar la porosidad y estructura del suelo dentro del cilindro. En la Figura 13, se aprecia el procedimiento de los análisis para la caracterización del suelo y la movilidad del Paraquat en los suelos agrícolas utilizados.

### 7.3 Caracterización de los suelos en laboratorio

La preparación de las muestras consistió en: secar al aire y se tamizar con una malla de 2 mm. Los análisis en el laboratorio fueron: densidad aparente, textura, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, nitrógeno, fósforo disponible y cationes intercambiables (Figura 13).

Tabla 2 Métodos de análisis de suelos en el laboratorio.

<b>Propiedad</b>	<b>Método y principio</b>
<b>Densidad Aparente</b>	Cilindro de volumen conocido: se secaron las muestras a 105°C hasta tener peso constante.
<b>Textura</b>	Se realizó por el método del Hidrómetro (Bouyoucos, 1962) y consiste en dispersar las partículas finas, de acuerdo con la ley de Stokes usando un hidrómetro estándar ASTM No. 152 H.
<b>pH y Conductividad Eléctrica</b>	Se realizó en un extracto de agua en una relación 1:2.5 y se agitó durante 18 horas, usando un potenciómetro Beckman PHI 32 y un conductímetro Lamotte previamente calibrados con buffers.
<b>Carbono y Nitrógeno total</b>	Combustión a 960°C, mediante un autoanalizador elemental CNHS/O modelo 2400 de Perkin Elmer, utilizando helio como acarreador.

---

<b>Fósforo disponible</b>	Extracción con Bicarbonato de Sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), utilizando un espectrofotómetro de la marca Thermo scientific, con un patrón de longitud de 660 nm (Olsen, <i>et al.</i> 1954).
<b>Cationes intercambiables</b>	Extracción con Acetato de Amonio ( $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}_2$ ) 1N pH 7 de Calcio y Magnesio, se realizó en el espectrofotómetro de absorción atómica de la marca Perkin Elmer; Sodio y Potasio se realizó mediante Flamometría (Reeuwijk, 2002).
<b>Paraquat</b>	Se hizo mediante la construcción de una curva de calibración a partir de una solución madre de 2056 ppm del herbicida, y se utilizó un espectrofotómetro UV-Vis se leyó la absorbancia a una longitud de onda ( $\lambda$ ) de 394 nm (Cruz, 2017).

---

## 7.4 Evaluación de la movilidad del paraquat

Para entender la movilidad del Paraquat, se llevó a cabo un experimento que permite evaluar la adsorción-desorción del herbicida en el suelo y de esta manera determinar el transporte del herbicida en columnas empacadas, por medio de un perfil de desorción. (Avilés 2017, Raymundo 2008).

Para este experimento se utilizaron muestras de suelo con mayor contenido de arena, en este caso fue el Perfil 3 Horizonte 2C considerando que esto representaría el peor caso, es decir, el cual presume mayor movilidad (Carlile, 2006). La muestra se empleó seca y tamizada ( $< 2\text{mm}$ ).

El suelo se empacó en una punta de pipeta para dispensar líquidos de 1.9 cm de diámetro y 7

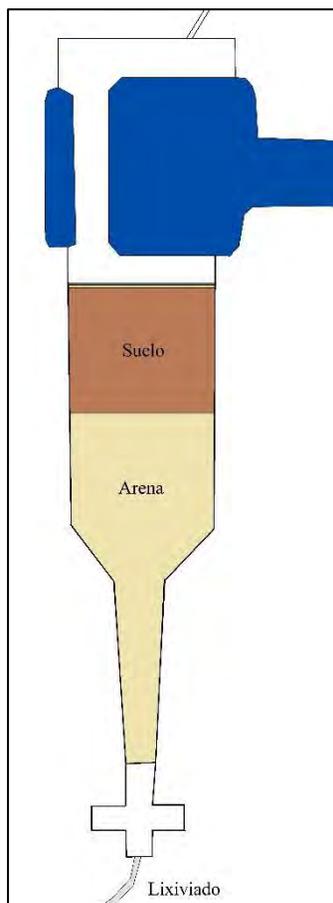


Figura 12 Esquema de la columna.

cm de altura, modelo Combitip Eppendorf de 10 ml de capacidad. En la primera capa de la pipeta se rellenó con arena lavada, se colocó sobre ella un filtro de nitrocelulosa de  $0.46\ \mu\text{m}$  y un trozo de tela de nylon, éstos materiales impiden que se pierdan las partículas finas del suelo y los coloides en el lixiviado. Sobre la tela se introdujo 1.5 cm de suelo húmedo, posteriormente se le vació una capa de 2 mm de arena lavada para protegerlo del efecto *splash* que provocan las gotas de la solución de  $\text{CaCl}_2$  (dispersión del suelo) (Figura 12).

Posteriormente se sujetó con una pinza a un soporte universal. En la parte superior se le colocó un capilar conectado a una bomba peristáltica para suministrar la solución de riego. Para recolectar el lixiviado de la misma manera que en la parte superior, se le instaló un capilar en la parte inferior de la pipeta, y fue conducido hacia la

bomba peristáltica hacia un electrodo de pH y un electrodo de conductividad eléctrica, para poder colectarlo en un Colector de Fracciones (Avilés, 2017).

Las columnas empacadas fueron irrigadas con una solución de  $\text{CaCl}_2$  0.01 M el cual, permitió simular la solución del suelo para mantener condiciones estables de pH y fuerza iónica (Raymundo, 2008, citado por Avilés, 2017). Una vez saturado el suelo con  $\text{CaCl}_2$  se le agregó un pulso de Paraquat de 50 ppm y se dejó pasar por la columna de suelo con apoyo de la bomba peristáltica. Una vez que la solución pasó por el suelo, el lixiviado es colectado en diferentes fracciones de 10 ml (alícuotas).

Los lixiviados fueron analizados para determinar la concentración de Paraquat mediante la construcción de una curva de calibración (0.24, 0.4, 1.2, 5.6 y 10 ppm) a partir de una solución madre de 2056 ppm, para lo que se usó Cloruro de Amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  pureza del 99%) al 2.5% en peso como disolvente; y con ayuda de un espectrofotómetro UV-Vis se leyó la absorbancia a una longitud de onda ( $\lambda$ ) de 394 nm (Cruz, 2017).

Por último, la proporción de Paraquat retenido por el suelo se estima por la diferencia entre la concentración inicial menos la concentración final, lo que permite conocer el potencial de retención del pesticida en el suelo.

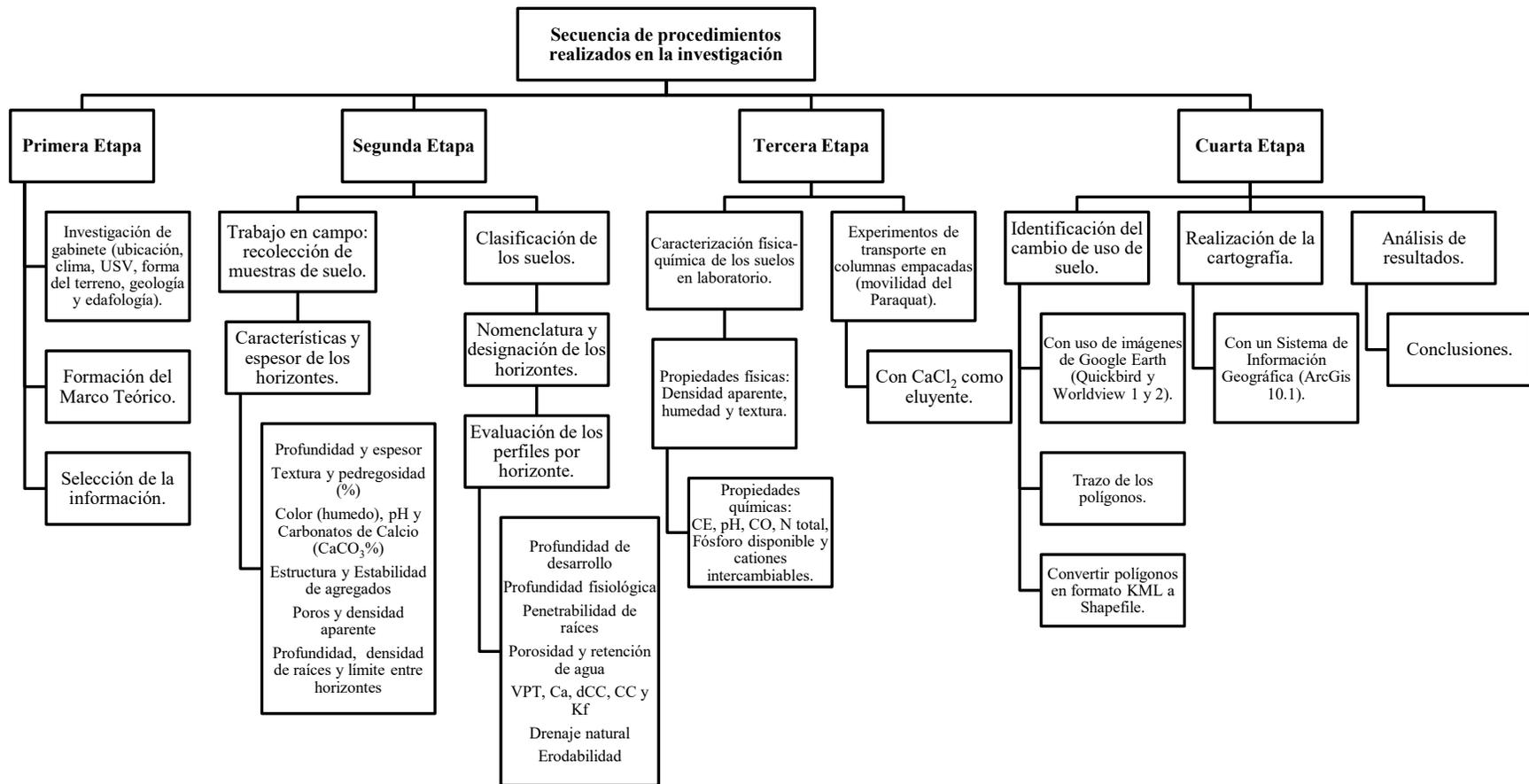


Figura 13 Procedimientos realizados para caracterizar los suelos en campo y laboratorio, movilidad del paraquat y la elaboración de la cartografía.

## 8. Resultados y discusión

### 8.1 Cambio de uso de suelo

En 1983 se registraron 547 994.03 m<sup>2</sup> de uso agrícola en la carta de uso de suelo y vegetación (INEGI, 1983) (Figura 14; Anexo). Las áreas agrícolas registradas en la carta topográfica fueron 231 564.58 m<sup>2</sup> (INEGI, 1998), esta cifra fue el punto de partida, ya que estas son las que se reflejan en las imágenes usadas. De acuerdo con el análisis realizado los datos obtenidos son: el año que presentó mayor cambio de uso de suelo fue el 2005 (Figura 15) hubo un total de 200 000 m<sup>2</sup>, donde se cambió de selva secundaria caducifolia-pastizal inducido y selva baja caducifolia, es decir, de uso forestal (F(S)b(c)-Pi; FBc) a uso agrícola de temporal. Para el año 2011 (Figura 16) se transformaron 60 000 m<sup>2</sup> modificado para la agricultura de temporal y originalmente el uso era pecuario con vegetación de pastizal inducido-selva secundaria caducifolia (Pi-F(S)b(c)); por

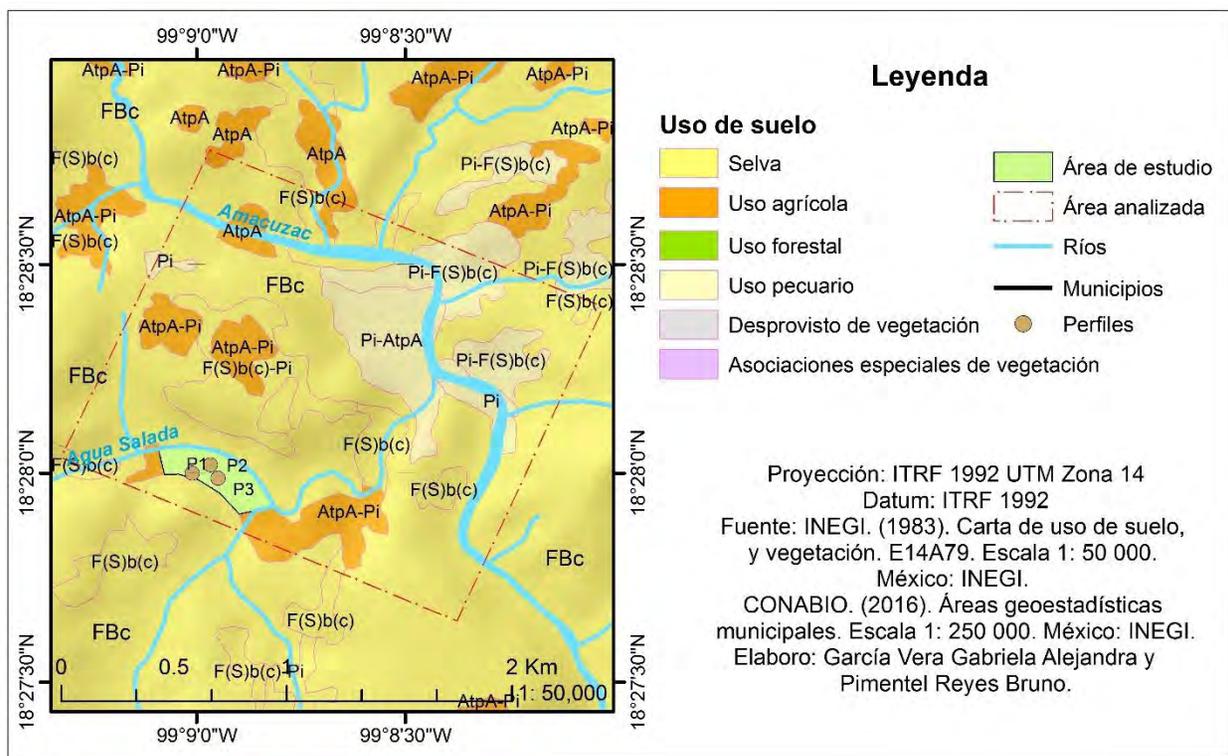


Figura 14 Mapa de uso de suelo y vegetación del área de estudio.

último, en el año 2017 (Figura 17) hubo un total de 30 000 m<sup>2</sup>, el cambio fue de uso forestal, selva y pecuario con tipo de vegetación pastizal inducido y selva baja caducifolia (Pi; FBc) destinado a agricultura de temporal.

Principalmente el cambio de uso de suelo fue destinado a la agricultura de temporal, ya que los patrones de cambio sólo se presentaban con cultivos de temporada como el maíz, sorgo, cacahuete, cilantro, etcétera; por lo que se perdieron 290 000 m<sup>2</sup> de áreas riparias, en un periodo de veintidós años .

Tabla 3 Tasa de cambio de uso de suelo en Agua Salada y tasa de crecimiento poblacional en Tlaquiltenango.

<b>Año</b>	<b>Tipo de vegetación y uso de suelo anterior al disturbio</b>		<b>CUS en m<sup>2</sup></b>	<b>Tasa %</b>	<b>Año</b>	<b>Población Total</b>	<b>Tasa %</b>
<b>1985</b>	-		230 000	-	<b>1995</b>	29 843	-
<b>2005</b>	F(S)b(c)-Pi FBc	Forestal y Selva	200 000	-0.7	<b>2000</b>	30 017	0.58
<b>2011</b>	Pi-F(S)b(c)	Pecuario	60 000	-17.52	<b>2005</b>	29 637	-1.27
<b>2017</b>	Pi	Forestal, Selva y	30 000	-10.49	<b>2010</b>	31534	6.4
	FBc	Pecuario			<b>2015</b>	33 844	7.3

\*CUS: Cambio de uso de suelo.

Los resultados de las tasas de cambio de uso de suelo fueron negativas, es decir, debido a que se encuentran por debajo de cero indican una pérdida (Velázquez et al. 2002), las comparaciones se hicieron 1985 - 2005, 2005 – 2011 y 2011 – 2017. Siendo la comparación del 2005 al 2011 la que presenta un mayor cambio de uso de suelo, se puede decir que está relacionado con el

incremento de la población en el municipio de Tlaquiltenango, debido a que entre el conteo del 2005 y el censo de población del 2010 presenta una tasa de crecimiento poblacional del 6.4% (INEGI, 2005-2010) (Tabla 3), en consecuencia, se incrementa la demanda de productos agrícolas y por lo tanto en la sobre explotación del suelo.

Los resultados mostrados son desfavorables, Gómez (2014) afirma que las actividades antrópicas contribuyen a desencadenar la erosión de los ecosistemas riparios. El cambio de uso de suelo provoca la acumulación de sedimentos no deseados que llegan a las orillas del río por escorrentía y debilitan los márgenes de los cauces.

Los sedimentos provenientes de campos agrícolas es uno de los principales problemas de la alteración de la calidad del agua (Ortiz, 2009, citado por Gómez 2014). La continua necesidad de extender los campos agrícolas, promueve la deforestación, a su vez, ésta elimina o disminuye la capacidad amortiguadora de los ecosistemas riparios. La pérdida de la vegetación riparia no sólo tiene implicaciones en el ecosistema, sino también en la sociedad y los servicios ecosistémicos que proporciona esta franja de vegetación (Gómez, 2014).

En suma, se puede decir que la expansión de las áreas agrícolas, es uno de los factores que favorecen la degradación, contaminación del suelo y el agua, y el uso desmedido de pesticidas y fertilizantes; y en consecuencia favorecen la disminución de la biodiversidad (Govea, 2014) que albergan los ecosistemas riparios, así como también, la vulnerabilidad de los cultivos a las plagas y enfermedades, el aumento de los nutrimentos (eutrofización) y la pérdida de la fertilidad de los suelos (Ceccon, 2003); igualmente estos ecosistemas por ser cercanos a los cuerpos acuáticos son zonas presionadas y por lo tanto se encuentran vulnerables al cambio de uso de suelo.

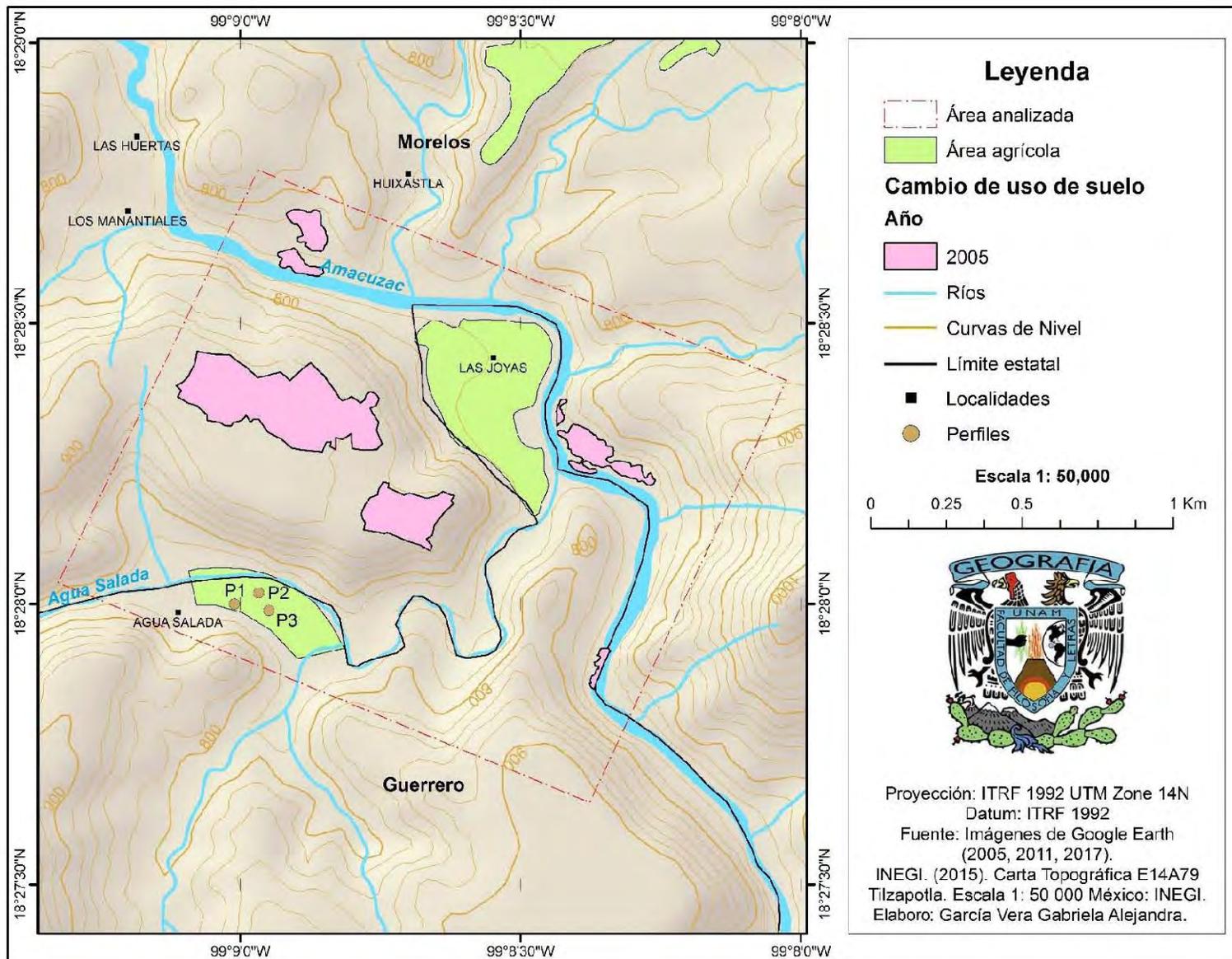


Figura 15 Mapa de cambio de uso de suelo en el 2005, donde se representa el cambio de uso forestal con pastizal y selva para la agricultura con un total de 200 000 m<sup>2</sup>, en color rosa pálido.

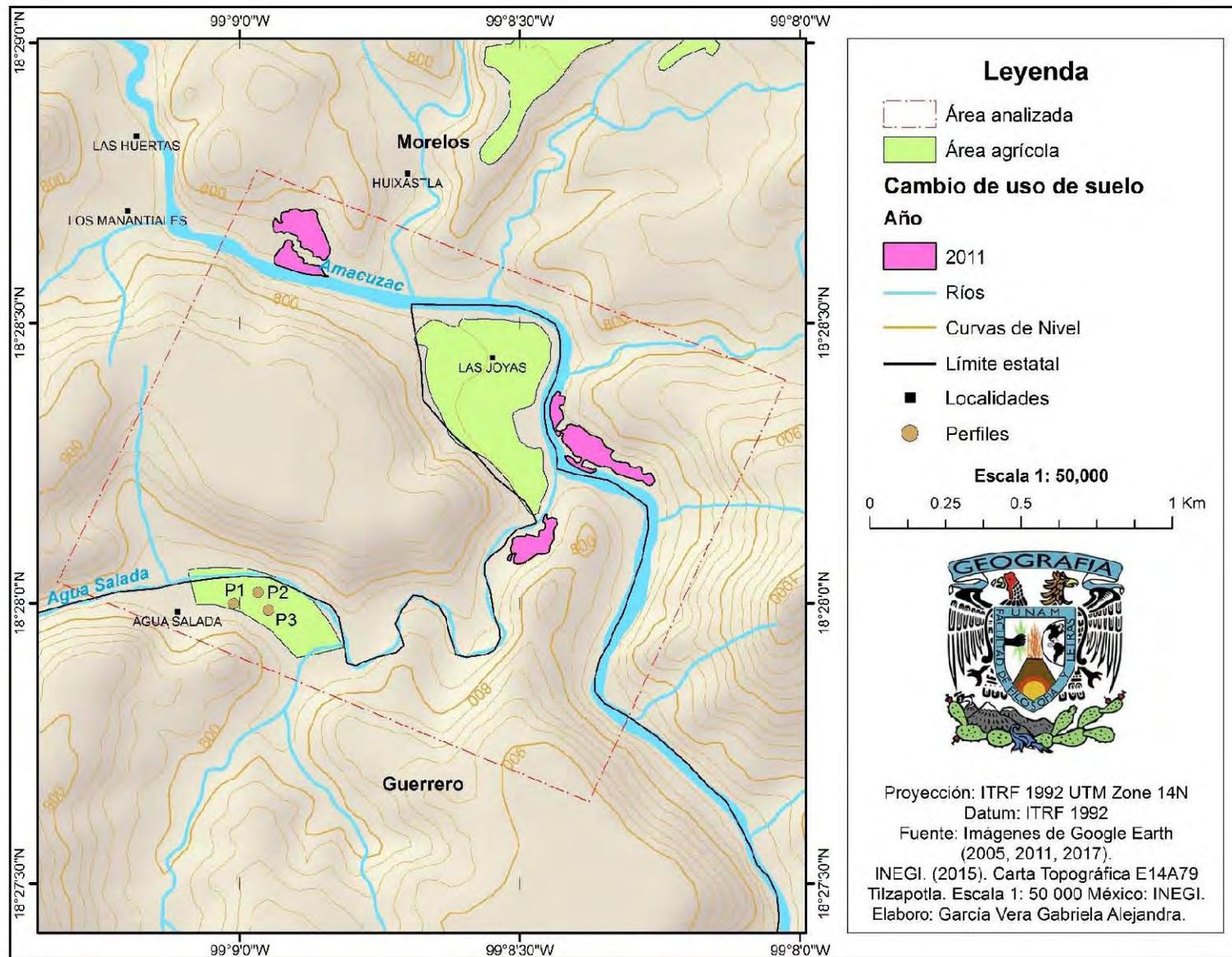


Figura 16 Mapa de cambio de uso de suelo en el 2011, donde se representa el cambio de uso pecuario con pastizal y selva para la agricultura con un total de 60 000 m<sup>2</sup>, representado por el color magenta claro.

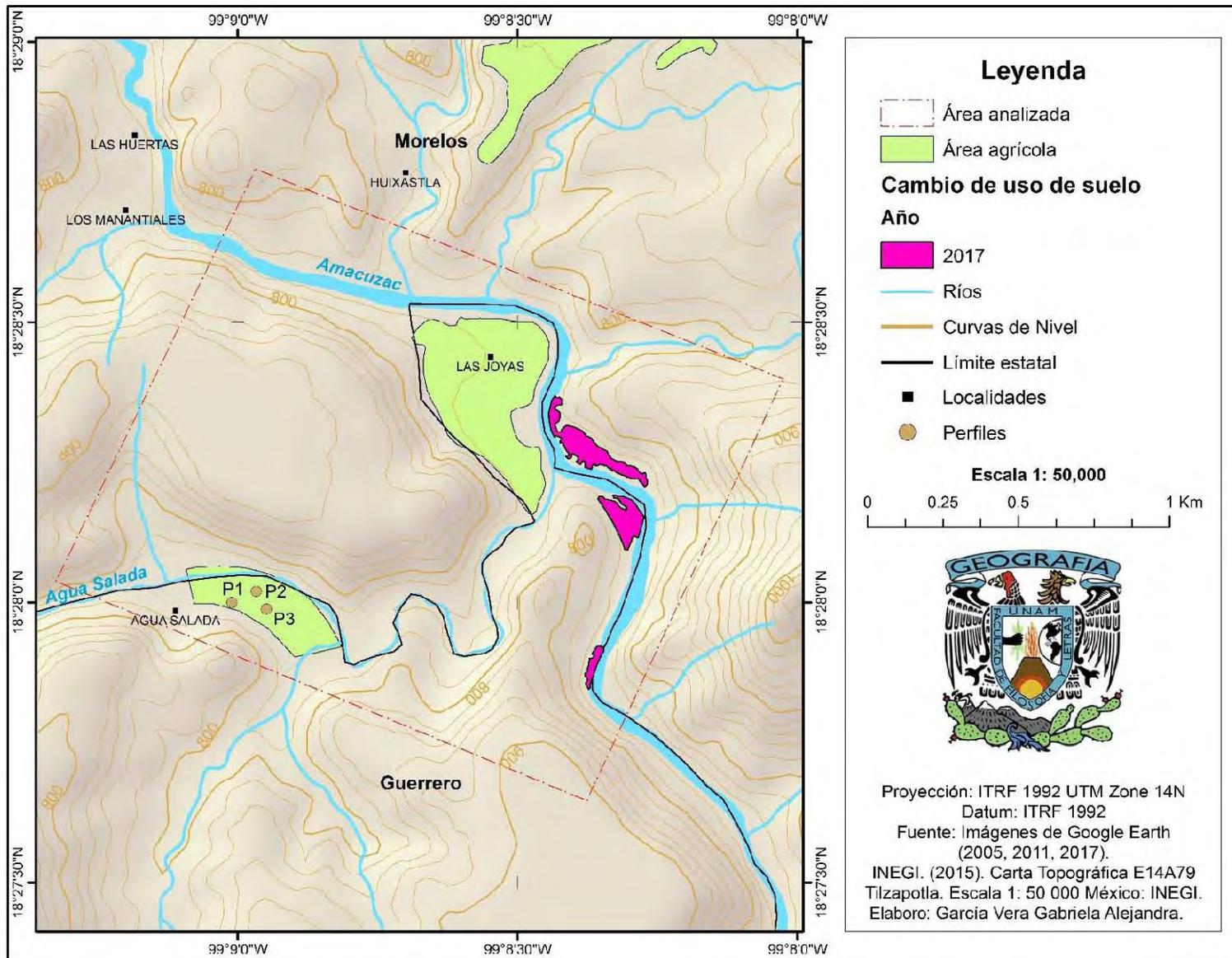


Figura 17 Mapa de cambio de uso de suelo en el 2017, donde se representa el cambio de uso forestal y pecuario con pastizal y selva para la agricultura con un total de 30 000 m<sup>2</sup>, representado por el color magenta.

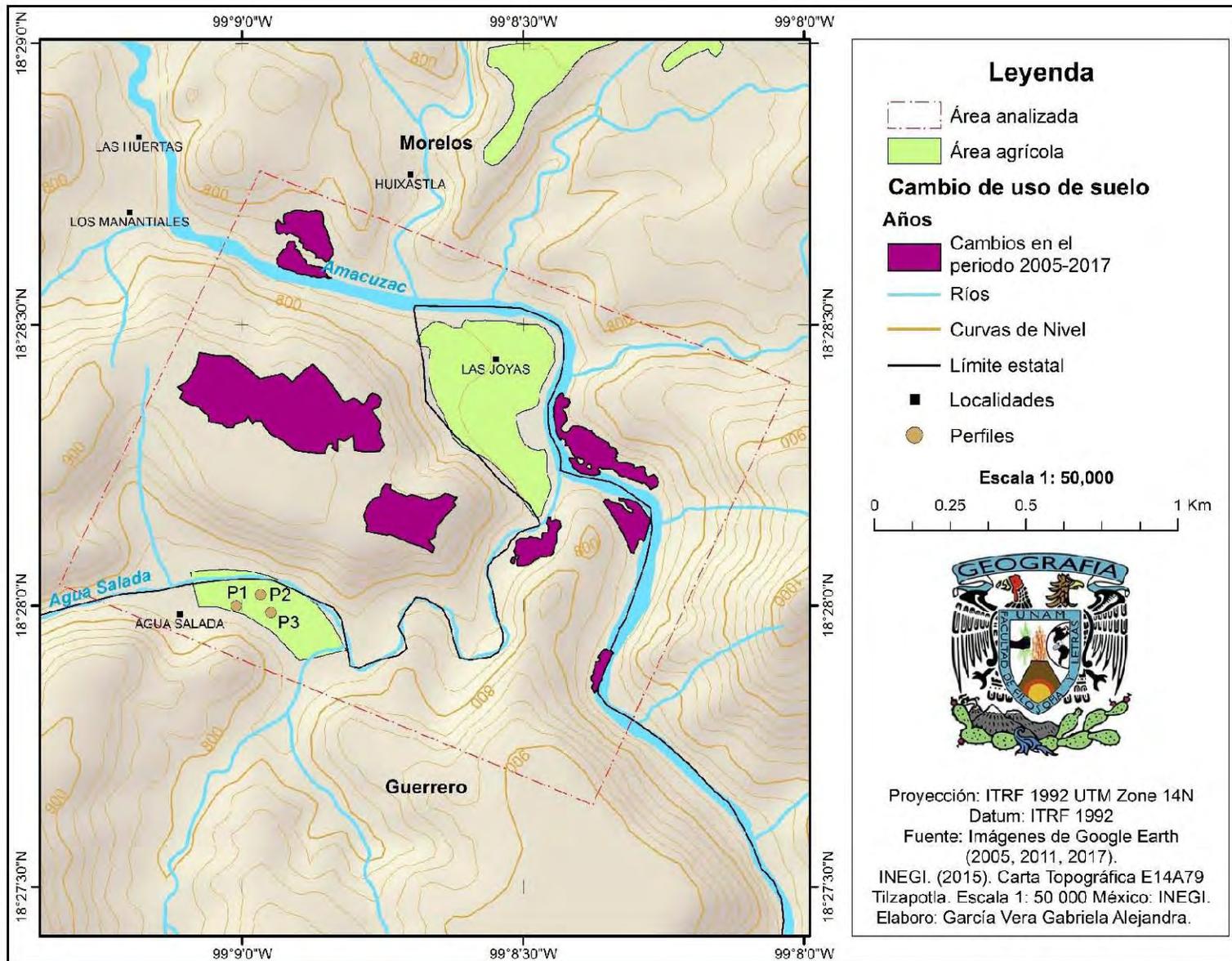


Figura 18 Mapa de cambios de uso de suelo en el periodo del año 2005 al 2017, donde se representa el cambio de uso de suelo forestal, pecuario y selva a la agricultura de temporal que cubre una superficie total de 290 000 m<sup>2</sup>, representado por el color magenta oscuro.

## 8.2 Clasificación del suelo en la localidad y caracterización físico- química

La caracterización del suelo se realizó con base en el levantamiento de tres perfiles de suelo ubicados a lo largo de una terraza aluvial, cercanos a una zona riparia situada previo al punto de intersección del Río Agua Salada con el Río Amacuzac, siendo el perfil 3 el más cercano al río Agua Salada (Figura 19).

La zona de estudio corresponde actualmente a un área destinada a la agricultura de temporal donde se cultiva pata de elefante, palmas, rosas del desierto, cacahuete, maíz, cilantro, rábano, sorgo, sandía y pepino (Reyes, 2018) y se decidió utilizar este tipo de suelos debido a la textura de los suelos, a la actividad agrícola y por el uso de plaguicidas que ocupan en la localidad (paraquat, glifosato, 2,4-D y picloram).

En el área de estudio la distribución de los perfiles (Figura 19) está en función de la dinámica del río y el régimen de lluvias. La figura 19, muestra la posición de los perfiles de suelo descritos en campo, y corresponde a diferentes niveles de terraza. La terraza T1 se localiza en la parte más alta, es de mayor estabilidad ya que esta fuera del área de influencia de la planicie de inundación del río; mientras las terrazas T2 y T3 están sobre la zona dinámica del río, por lo tanto, se encuentran en constante cambio.

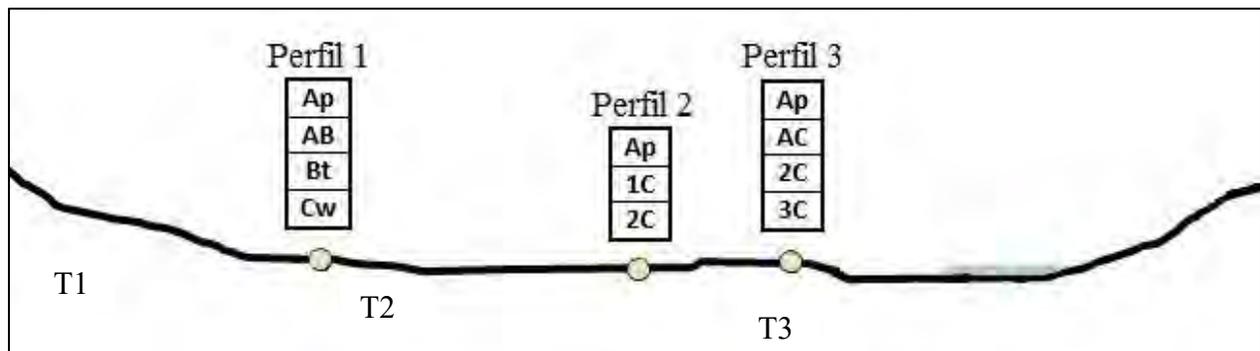


Figura 19 Desarrollo de los perfiles en un corte longitudinal.

El perfil 1 presenta un mayor desarrollo, pues cuenta con un horizonte B y un horizonte Cw, ya que este perfil se encuentra fuera del rango de crecidas del río y posee una mayor estabilidad, lo que permite la neoformación y acumulación de arcillas que pueden tener su origen en el material parental de la zona o por algún material depositado por el río (Krasilnikov et al., 2011). Mientras el perfil 2 y 3 ubicados en la zona dinámica, los más cercanos al río, presentan un menor desarrollo, dominan procesos de depositación de sedimentos recientes. Además, estos perfiles tienen un mayor contenido de arenas y carecen de un horizonte B por la dinámica fluvial; a pesar de tener influencia constante del agua del río no presentan características reductomórficas, por lo tanto, pueden ser parte de la zona de transición entre el río y la vegetación terrestre, lo que correspondería a la vegetación riparia, siendo las terrazas con más jóvenes (T3).

## 8.2.1 Descripción de los perfiles de suelos en campo.

### 8.2.1.1 Perfil 1.

Sus coordenadas son 484145.29 m E, 2041823.6 m N a una altura de 792 msnm, en una terraza aluvial con una inclinación que varía de 10° a 15°, el tipo de relieve es escarpado moderado, presenta agricultura de temporal y vegetación riparia, el material parental es calcita y presenta evidencias de erosión laminar. De acuerdo a la WRB se clasificó como *Cambisols terric* (WRB, 2015).

El perfil del suelo es poco profundo, con drenaje bueno, es decir, el agua no filtra con rapidez, de color negro, el límite entre los horizontes es difuso. Desarrollo estructural subangular en bloques medianos fuertes de 10-20 mm que rompen a 1-5 mm. La estabilidad de los agregados es de mediana a modera.

El horizonte B incluye acumulación de arcillas por iluviación (Bt) y una baja acumulación de carbonatos de calcio 2-10%. El volumen de poros total (VPT) es mediano, y la capacidad de aireación (Ca) es baja. La capacidad de retención de humedad (dCC) es mediana. El volumen de pedregosidad es de 1-2%, lo que permite la labranza sin ningún obstáculo. Conforme aumenta la profundidad del suelo el contenido de arcilla aumenta, ya que la textura va de franco arenosa (CA) (0 a 37 cm) y de franco arcillo arenosa (CRA) (37 a >56 cm), a lo largo del perfil la densidad de raíces es baja. La conductividad hidráulica (Kf) del suelo va de mediana a alta 10 – 40 cm/día. El horizonte 1 presenta perturbaciones por actividades antrópicas (Ap), en este caso por labranza; en general tiene un bajo contenido de materia orgánica. El pH es ligeramente alcalino, lo que indica que hay una baja saturación de bases. En el horizonte 2 hay un incremento ligero de sales con un valor de 755.50 microS/cm, lo que significa que se encuentran ligeramente afectado por la

salinidad (Tabla 3). El tamaño de los poros incide en la baja densidad de raíces y restringe la cantidad de nutrientes, lo que supondría una de las razones por la cual el suelo no es muy productivo. El contenido de arcillas reduce la permeabilidad, por lo tanto, retiene el agua en las capas con mayor concentración de ellas, lo que explica por qué la capacidad de campo (CC) es baja. La erodabilidad (K) del suelo es media debido a la estructura, estabilidad de los agregados y al relieve de la zona que favorece la generación de suelo.

Tabla 4 Descripción detallada del perfil 1 por horizonte.

<b>Horizonte</b>	<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Descripción</b>
<b>Ap</b>	0 - 19	Color negro en húmedo (10YR2/1), textura franco arenosa CA, contenido bajo de materia orgánica (1.45%), pH muy ligeramente alcalino (7.42), estructura subangular en bloques medianos, fuertes, pedregosidad < 2%, pocos poros, muy finos, tubulares, finos e intersticiales, expd. Raíces finas 3-5 dm <sup>2</sup> (baja), limite uniforme.
<b>AB</b>	19 - 37	Color negro en húmedo (10YR2/1), textura franco arenosa CA, contenido bajo de materia orgánica (1.20%), pH ligeramente alcalino (7.72), estructura subangular, bloques medianos, fuertes, con una pedregosidad < 2%, pocos poros, medianos vesiculares, intersticiales, inpet finos y tubulares. Raíces finas 3-5 dm <sup>2</sup> (baja), limite uniforme claro.
<b>Bt</b>	37 - 56	Color negro en húmedo (5Y2.5/1), textura franco arcillo arenosa CRA, pH alcalino (7.89), estructura angular moderado, gruesas rompe en angulares media, fuerte. Raíces finas 3-5 dm <sup>2</sup> (baja), limite uniforme gradual.
<b>Cw</b>	> 56	Color negro en húmedo (2.5Y2.5/1), textura franco arcillo arenosa CRA, pH alcalino (8), estructura subangular mediano, moderado, subangulares fino-moderado. Muy pocas raíces 1-2 dm <sup>2</sup> .

### 8.2.1.2 Perfil 2.

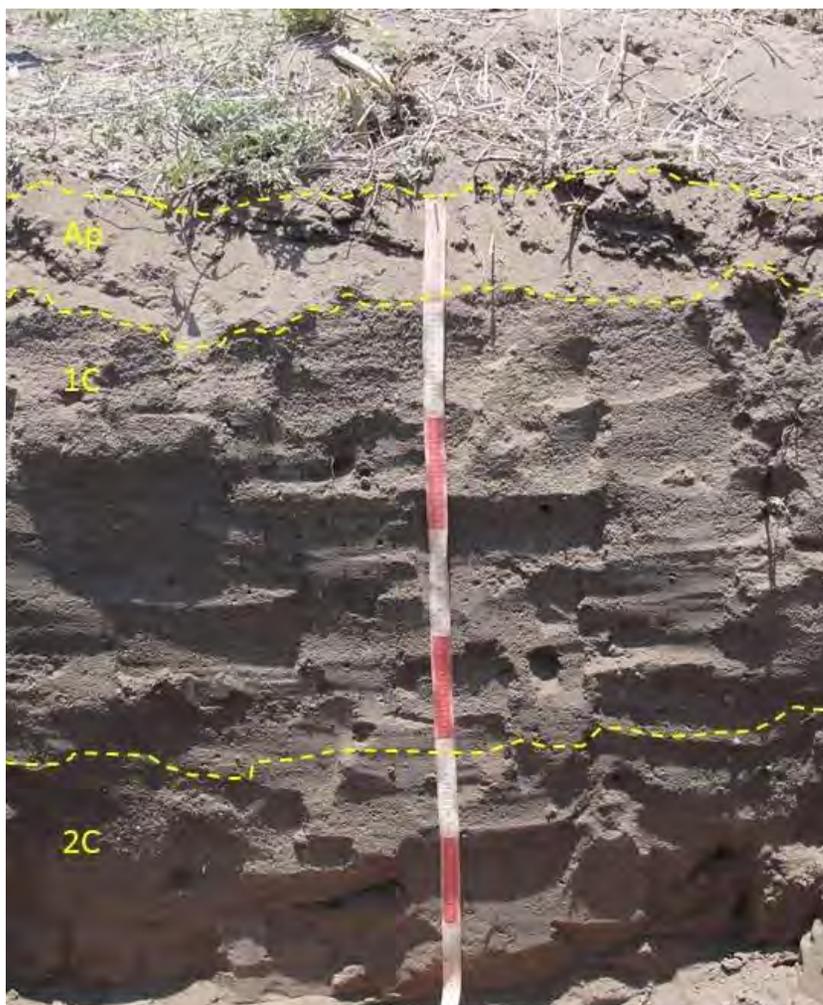
Sus coordenadas son 484221.57 m E, 2041860.38 m N, con una altitud de 804 msnm, la forma del terreno es cóncava, terraza alta con una inclinación de 2°, el material parental es de origen fluvial, con drenaje bueno, presenta evidencia de erosión laminar. Se clasificó como *Fluvisols haplico* (WRB, 2015).

Perfil poco profundo, drenaje bueno de color pardo oscuro a marrón amarillento oscuro. La acumulación de carbonatos de calcio va de baja a muy baja 0-2%, la capacidad de aireación (Ca) a lo largo del perfil va de media a muy alta y la capacidad de campo (CC) es baja, por la textura, el bajo contenido de materia orgánica (0.47), la cantidad y tamaño de los poros (VPT es bajo).

El primer horizonte presenta alteraciones por actividades agrícolas, el pH del perfil en general es moderadamente alcalino que va de 7.46 a 8.43, no presenta porcentajes altos de pedregosidad (1-2%) y no muestra un exceso de sales (Tabla 4). La conductividad hidráulica (Kf) va de alta a muy alta 40 – 100 cm/día debido a la proporción de arenas (71.09 a 83.44%), que aumenta el tamaño de los poros por su textura que es arenoso franca (AC).

La erodabilidad (K) del suelo es mediana con un valor de 0.38, esto es debido a que la estabilidad de los agregados es muy baja, la estructura es débil y son de tamaño mediano lo que ocasiona una resistencia media frente a procesos erosivos, ya que estos pueden ser transportados por la escorrentía, lo que favorece la colmatación impidiendo el movimiento del agua a lo largo del pedón y disminuyendo el desarrollo de raíces, por lo tanto se puede inferir que es un suelo poco productivo.

Tabla 5 Descripción detallada del perfil 2 por horizonte.



### Descripción

**Horizonte Ap** (0 – 9 cm). Color pardo oscuro en húmedo (7.5YR 3/3), textura arena franca AC, bajo contenido de materia orgánica (0.47%), pH ligeramente alcalino (7.76), los agregados tienen una estructura subangular fina muy débil que rompe en grano simple, con muchos poros intersticiales finos y muy finos inped y exped, Raíces finas 3-5 dm<sup>2</sup> (baja), límite claro uniforme.

**Horizonte 1C** (9 – 62 cm). Color pardo oscuro en húmedo (10YR 3/3), textura arena franca AC, un bajo contenido de materia orgánica (0.40%), pH moderadamente alcalino (8.38), presenta una estructura subangular media débil que rompe en grano simple, con una pedregosidad del 2%, muchos poros intersticiales, finos y muy finos inped y exped, pocos tubulares y finos. La densidad de raíces es baja, límite claro uniforme.

**Horizonte 2C** (62 – 80 cm). Color marrón amarillento oscuro en húmedo (10YR 3/4), textura franco-arenosa CA, un pH moderadamente alcalino, presenta una estructura subangular fina, débil que rompe en grano simple. La densidad de raíces es baja.

### **8.2.1.3 Perfil 3.**

Se encuentra ubicado en 484253.78 m E, 2041801.93 m N; está en una terraza aluvial alta, presenta un relieve escarpado moderado a una altitud de 759 msnm, el material parental es de origen fluvial, con drenaje bueno, presenta evidencia de erosión laminar, se clasificó como *Fluvisols háptico* (WRB, 2015). Perfil medianamente profundo, de color negro a pardo oscuro, los horizontes tienen límites difusos. Los agregados son subangulares en bloques medianos, fuertes de 10 – 20 mm que rompen en subangular en bloques finos moderados de 5 – 10 mm; subangular en bloques medianos débiles y subangular en bloques medianos muy débiles que rompen en simple. Son horizontes poco desarrollados o intemperizados con baja estabilidad de agregados, la textura está compuesta principalmente por arenas (70.22 a 89.74%), el porcentaje de pedregosidad va de 3% a 8% de tamaños gruesos medianos y finos (Tabla 5).

Los primeros siete centímetros del horizonte presenta una alteración por actividades agrícolas (Ap), el pH del perfil es moderadamente alcalino que va de 7.88 a 8.49, su textura en general es franca arenosa – arenosa y franca. La conductividad hidráulica es alta (40 - 100 cm/día), la capacidad de campo (CC) (213.20 L/m<sup>2</sup>) y el agua disponible (dCC) son medianas debido a la textura, la densidad aparente, la cantidad y tamaño de los poros, lo que no delimitará el crecimiento de la vegetación durante los periodos secos. El valor de erodabilidad (K) es mediana (0.38) relacionada totalmente con la estabilidad de agregados, la conductividad hidráulica (Kf) y la textura del suelo, lo que nos permite inferir que es un suelo vulnerable a la erosión.

Tabla 6 Descripción detallada del perfil 3 por horizonte.



## Descripción

**Horizonte Ap** (0 – 7 cm). Color negro (5YR2.5/1), textura franco arenosa CA, bajo contenido de materia orgánica (0.92%), pH ligeramente alcalino (7.88), estructura subangular en bloques medianos, moderados que rompe en subangular en bloques finos, moderado. La pedregosidad es de 3% cantos gruesos, muchos poros intersticiales, finos inped y exped, tubulares finos. Alta densidad de raíces 11-20 dm<sup>2</sup>, límite difuso.

**Horizonte AC** (7 – 39/41 cm). Color pardo muy oscuro (10YR2/2), textura franco arenosa CA, bajo contenido de materia orgánica (0.66%), pH moderadamente alcalino (8.37), estructura subangular bloques medianos débiles, pedregosidad 3% cantos medianos, muchos poros intersticiales finos, inped y exped, pocos tubulares finos. Densidad de raíces alta, límite claro uniforme.

**Horizonte 2C** (39/41 – 72 cm). Color pardo muy oscuro (7.5YR2.5/3), textura arenosa A, pH moderadamente alcalino (8.49), estructura subangular en bloques medianos, muy débiles que rompen en simple. Densidad de raíces media, límite difuso.

**Horizonte 3C** (72 – 86 cm). Color pardo oscuro en húmedo (7.5YR3/2), textura franca C, pH moderadamente alcalino (8.41), estructura subangular en bloques medianos muy débiles que rompen en simple. Densidad de raíces baja.

## 8.2.2 Caracterización físico-química.

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización de los suelos en el laboratorio.

Tabla 7 Características químicas y físicas de los suelos en Agua Salada, Morelos.

<b>Características químicas</b>											
Perfil / Horizonte	Prof. cm	pH	C.E. S/cm	%CO	%N total	P mg/kg	Ca <sup>+2</sup> cmol /kg	Mg <sup>+2</sup> cmol /kg	K <sup>+</sup> cmol /kg	Na <sup>+</sup> cmol /kg	
1	Ap	0 – 19	7.4	369.2	0.8	0.09	8.6	35.5	4.8	0.4	0.11
	AB	19 – 37	7.7	755.5	0.6	0.08	8.4	29.1	4.5	0.3	0.12
	Bt	37 – 56	7.8	452.0	0.6	0.07	6.3	23.5	5.6	0.5	0.14
	Cw	> 56	8.0	319.5	0.4	0.05	5.8	23.6	5.5	0.4	0.16
2	Ap	0 – 9	7.7	224.8	0.2	0.03	11.6	11.3	1.9	0.5	0.02
	1C	9_62	8.3	138.4	0.2	0.03	2.1	13.5	2.3	0.2	0.07
	2C	62 – 80	8.4	163.8	0.3	0.03	0.8	44.1	4.1	0.2	0.14
3	Ap	0 – 7	7.8	976.9	0.5	0.07	3.4	24.6	4.4	0.4	0.18
	AC	7 – 39/41	8.3	272.2	0.3	0.04	3.1	22.0	3.4	0.2	0.14
	2C	39/41 – 72	8.4	189.6	0.1	0.02	0.9	11.5	2.1	0.2	0.17
	3C	72 – 86	8.4	295.3	0.1	0.03	0.7	22.5	3.2	0.2	0.15
<b>Características físicas</b>											
Perfil / Horizonte	Prof. cm	Densidad Aparente g/cm <sup>3</sup>	%Arenas	%Limos	%Arcillas	Clasificación textural					
1	Ap	0 – 19	1.2	58.1	25.1	16.6	CA	Franco Arenoso			
	AB	19 – 37	1.3	57.2	28.2	14.5	CA	Franco Arenoso			
	Bt	37 – 56	1.3	48.1	28.9	22.9	CRA	Franco			
	Cw	> 56	1.3	50.2	26.8	22.9	CRA	Franco Arcillo Arenoso			
2	Ap	0 – 9	1.3	83.4	10.3	6.2	AC	Arenoso Franco			
	1C	9_62	1.4	79.6	12.0	8.3	AC	Arenoso Franco			
	2C	62 – 80	1.1	71.0	16.4	12.5	CA	Franco Arenoso			
3	Ap	0 – 7	1.6	70.2	17.2	12.5	CA	Franco Arenoso			
	AC	7 – 39/41	1.5	72.4	17.1	10.4	CA	Franco Arenoso			
	2C	39/41 – 72	1.5	89.7	6.1	4.0	A	Arenoso			
	3C	72 – 86	1.4	81.9	9.7	8.3	C	Franco			

La caracterización físico-química de los perfiles permite diferenciar de manera más clara las propiedades de los suelos; la textura de los suelos, marca una primera diferenciación entre perfiles

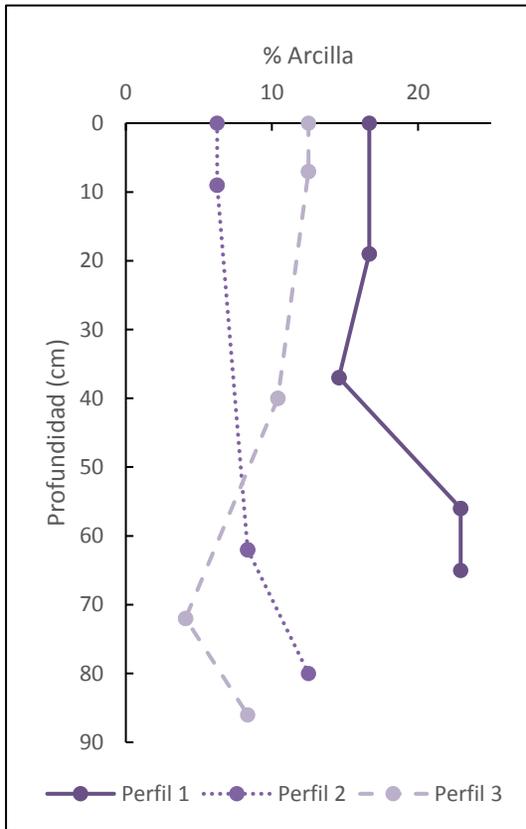


Figura 20 Contenido porcentual de Arcilla a profundidad en los tres perfiles de suelo.

y muestra el desarrollo de los mismos (Tabla 7). El perfil 1 posee mayor contenido de limo y arcilla con relación a los perfiles 2 y 3, presenta un contenido entre 50 y 58% de arenas, establece un comportamiento físico en donde se favorece la infiltración del agua y el movimiento rápido de los nutrimentos, debido a la alta proporción de poros, a su vez, estos perfiles presentan un bajo contenido de arcillas entre 6 y 12%; debido a que el almacenamiento de nutrientes es muy bajo y hay menos productividad agrícola, se les aplica más fertilizantes o abonos orgánicos.

El perfil 1 muestra un incremento de arcillas en los horizontes Bt y Cw (Figura 20), lo que se encuentra relacionado con procesos de neoformación de arcillas de horizontes subsuperficiales, antes mencionado, y puede estar relacionado con depósitos de material fino en tiempos anómalos de crecidas del río, además representa que el suelo no se encuentra en un relieve abrupto, lo que permite que se tenga un mayor desarrollo. Mientras que los perfiles 2 y 3 no presentan el mismo comportamiento, se puede observar que el contenido de arcilla del perfil 3 (12 – 8%) es mayor en el horizonte superficial, establece un enriquecimiento de sedimentos por fenómenos fluviales y por procesos de erosión debido al cambio de uso de suelo (Figura 20).

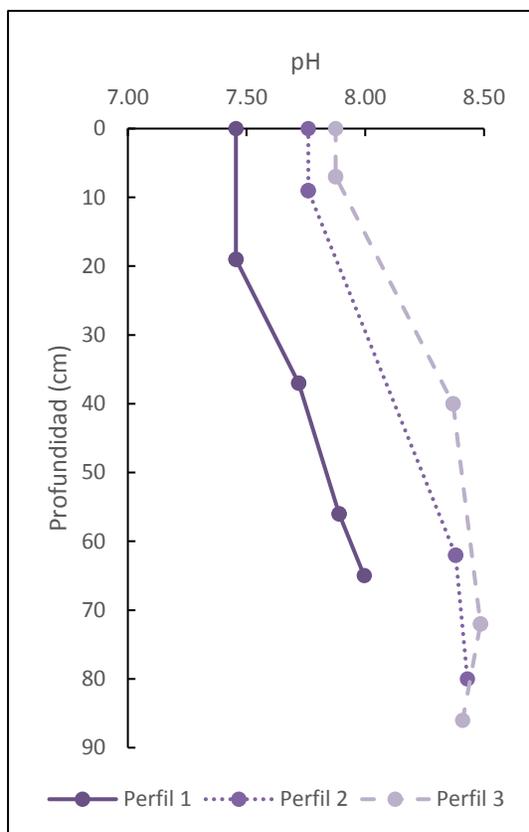


Figura 21 Comportamiento del pH a profundidad en los perfiles de suelo.

Carbono Orgánico (COrg), Nitrógeno total, Fósforo disponible (P) dada la estabilidad geomorfológica, es decir, no hay cambios abruptos en el relieve, por lo que se favorecen los procesos de acumulación y estabilización de la materia orgánica, asimismo, el contenido de arcillas (16.66-22.91%) favorece la retención de nutrientes en el suelo, por lo que tiene un mayor potencial agrícola (Figura 22). En contraste con los otros dos perfiles, no poseen una alta disponibilidad de COrg, N total y P, ya que su constante contacto con la dinámica fluvial, no les permite almacenar los compuestos a largo plazo. Sin embargo, el contenido de bases intercambiables es similar al del primer perfil, y se infiere que las propiedades son heredadas del material que se sedimenta.

Hay que destacar que las propiedades químicas de los perfiles 2 y 3 son desfavorables para la agricultura, ya que su baja disponibilidad de nutrientes (COrg, N y P) conlleva a que las zonas riparias una vez modificadas para cultivar, requieran altas cantidades de fertilizantes, por lo tanto

Por otra parte, las propiedades químicas de los suelos muestran diferencias entre los perfiles. El pH del perfil 1 (7.5-8) es relativamente más bajo en comparación con los otros (Figura 21); que desde el punto de vista genético muestra que es un suelo con mayor pérdida de bases; y en los perfiles 2 (7.8-8.4) y 3 (7.9-8.4) hay un enriquecimiento de bases asociadas al transporte de material.

En este mismo sentido, se puede hacer referencia a los nutrientes determinados en los perfiles; el perfil 1, se observa que tiene mayor concentración de

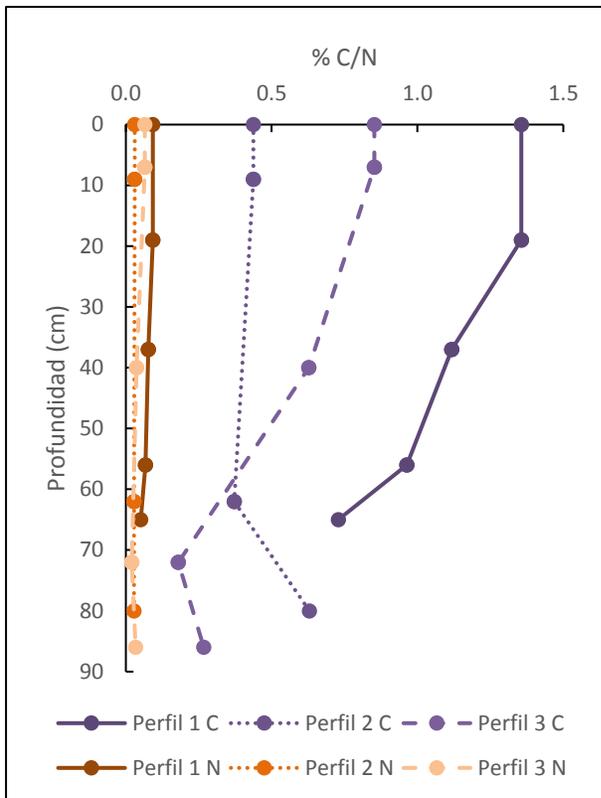


Figura 22 Comportamiento del Carbono - Nitrógeno a profundidad en los perfiles de suelo.

estas prácticas son de mayor riesgo por la aplicación desmedida de los mismos, los cuales se pueden movilizar rápidamente hacia los cuerpos de agua favoreciendo la eutrofización.

Los suelos del área de estudio presentan una alta conductividad hidráulica, por el alto contenido de arenas, lo que determina una mayor macroporosidad en el suelo que facilita el movimiento del agua. Por otra parte, para comprender la formación de las terrazas por la dinámica del río Salado, como ya se sabe, se

encuentra dentro de una terraza deslizada, sin

embargo, por la actividad antrópica no se distinguen de manera clara, pero por el desarrollo de los perfiles del suelo se puede inferir cual sería el orden cronológico.

### 8.3 Evaluación de la movilidad del paraquat

A la entrada en la columna la solución contiene una concentración de paraquat de 50 mg/l. La Figura 23 representa el comportamiento del pH y CE en los lixiviados colectados a la salida de la solución, una vez que esta pasa por la columna de suelo y se observa un cambio en ellos a manera de pulso, se interpreta como el momento en que este compuesto queda retenido en el suelo. El pulso de retención de Paraquat, es evidenciado en el cambio del pH y CE, dado que este compuesto comienza a ionizarse en la solución como un catión a través de la columna (825 min), cuando se comienza a recolectar los lixiviados. La disminución de los valores de conductividad eléctrica y aumento del pH paulatinamente, varía hasta encontrar un punto de equilibrio químico; se relaciona con la formación de superóxidos fitotóxicos, peróxido de hidrógeno, y el radical libre hidroxil, al fijarse a las superficies negativas del suelo (García y Fernández, 1991; Caseley y Parker, 1996).

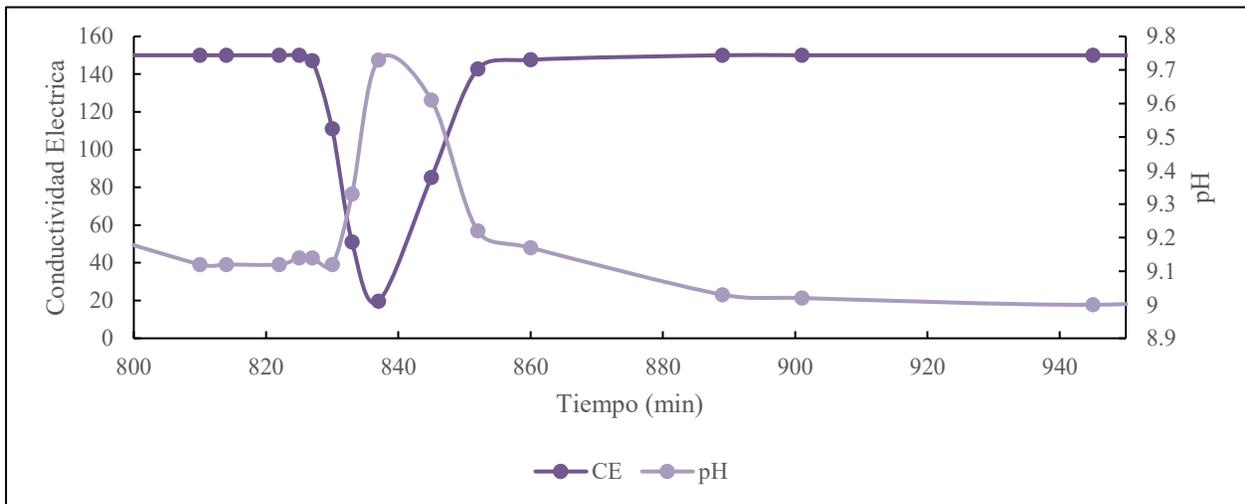


Figura 23 Comportamiento de la conductividad eléctrica y pH en los lixiviados colectados a la salida del herbicida de la Columna-Perfil 3 horizonte 2C para evaluar la adsorción del Paraquat.

Los lixiviados que salieron de la columna fueron analizados para determinar la concentración del Paraquat, sin embargo, en todos los lixiviados la concentración evaluada fue cero. Este resultado establece que el herbicida fue retenido por el suelo.

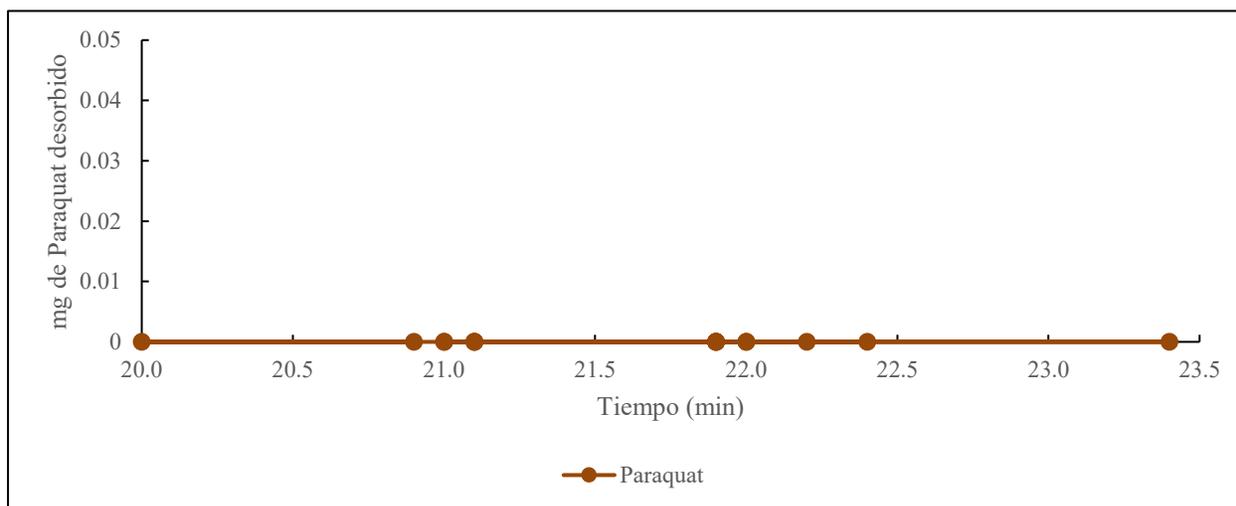


Figura 24 Perfil de desorción del Paraquat en las muestras de lixiviados a la salida de la columna del suelo.

En suelos con bajos contenidos de materia orgánica, arcillas, capacidad de intercambio catiónico y así como baja actividad microbiana habrá mayor movilidad de pesticidas (Calile, 2006). Ya que el suelo evaluado fue el más arenoso, se esperaba que la movilidad del paraquat fuera alta, sin embargo, en el presente trabajo fue lo opuesto, ya que el herbicida fue adsorbido de manera instantánea por la matriz del suelo, los coloides, arcillas, etcétera; debido a la afinidad del herbicida por estos compuestos (García y Fernández, 1991; Carlile, 2006; Sparling, 2016; Avilés, 2017; Cruz, 2017).

Colín (2017) afirma que:

La profundidad de la lixiviación de los herbicidas depende directamente de la solubilidad del compuesto en agua y se ha encontrado que es inversamente proporcional a la capacidad de adsorción del suelo. En el caso del paraquat, debido a su alta retención, se sugiere que el herbicida es poco móvil. Por otro lado, la actividad que presenta la fauna del

suelo, como los gusanos, es un posible mecanismo mediante el cual el paraquat puede ser transportado a mayores profundidades del perfil. También, el paraquat puede ser desplazado por diversos cationes, por lo tanto, la aplicación de fertilizantes en el suelo puede aumentar la movilidad (Smith y Mayfield, 1978, citado por Colín 2017). (p. 9)

En consecuencia, el Paraquat al ser retenido en la fracción mineral del suelo, éste podría movilizarse principalmente asociado a la fracción sólida; porque las zonas riparias se caracterizan por tener alta dinámica fluvial. Los resultados establecen que estos sitios, los herbicidas al ser adsorbidos en las arcillas, “ejercen un efecto protector sobre el herbicida reduciendo su disponibilidad, sin embargo, aumenta la persistencia del compuesto en los sedimentos” (Colín, 2017, p. 11).

En estudios realizados en Tailandia se reportó que sólo el 25% del Paraquat se mantuvo en las arcillas aun después de tres meses de su primera aplicación; por las diferencias climáticas, de radiación solar y a las características del suelo, ya que estos factores aceleran su degradación (Watts, 2011, citado por Colín 2017; Smith y Mayfield, 1978 citado por Colín 2017). Otros factores que influyen en la degradación del Paraquat es la acción de microorganismos ya que lo usan como fuente de nitrógeno, así como por la volatilización (deja más lugares de adsorción), el incremento del contenido de humedad (compite con las moléculas de agua y se puede volatilizar) y la fotodegradación porqué al recibir energía puede romper o formar enlaces químicos menos estables (García y Fernández, 1991; Wheeler, 2002; Colín, 2017).

Considerando las altas temperaturas del sitio de estudio y los resultados de movilidad del Paraquat en el laboratorio (Figura 24), donde no hubo desorción del pesticida, no hay riesgo de contaminación. No obstante, estas metodologías en el laboratorio son bastante criticables debido a que no se apegan a la realidad (García y Fernández, 1991) y no pueden predecir los cambios

químicos o biológicos que se producen en el suelo (Yedla & Kumar, 2005); porqué al ser columnas empacadas con suelo tamizado se homogeniza la distribución del tamaño de poros (Avilés, 2017).

Por último, con respecto al manejo de los pesticidas hay muchas interrogantes, sin embargo, en el caso de su uso en las áreas riparias Granados et al. (2006) expresa que las consecuencias al uso de agroquímicos en áreas riparias son: “el transporte de sedimentos y la deposición en los ríos, la contaminación de las corrientes; aguas abajo, la modificación del dosel de la vegetación y la calidad del suelo y el agua” (p. 67); asimismo, el cambio de uso de suelo provoca remanentes (espacios fraccionados) de la vegetación riparia, con variaciones en la flora y fauna y a su vez da lugar a la pérdida de biodiversidad (Robert et al., 2000, citado por Arcos 2005), la degradación de las cuencas, problemas sociales, es decir, económicos y de salud (Lowrance et al., 2001, citado por Arcos 2005).

## 9. Conclusiones

En lo que se refiere a las zonas que presentaron un mayor cambio de uso de suelo forestal, pecuario y selva con vegetación de pastizal inducido, selva secundaria caducifolia y selva baja caducifolia a la agricultura de temporal fueron entre el periodo de 1995 al año 2005 (200 000 m<sup>2</sup>), relacionado totalmente con el incremento de la población del municipio; se puede decir que del 2011 al 2017 no se aumentó la superficie agrícola abruptamente porque se modificaron 60 000 m<sup>2</sup> y en el siguiente periodo de tiempo del (2011-2017) se transformaron 30 000 m<sup>2</sup>; por lo que el cambio más significativo fue en los primeros diez años.

La evaluación de los perfiles de suelo obtenidos en la práctica de campo y los análisis de laboratorio realizados permiten concluir que: la asociación de los suelos de la zona riparia estudiada son Cambisol – Fluvisol. Sin embargo, en el mapa de suelos (Figura 10) consultado no aparecen los Cambisoles y esto debido a la escala de trabajo; en campo se obtienen datos con mayor detalle en comparación con los datos de INEGI a escala 1: 50 000. Las características físicas y químicas generales de los suelos usados en el presente trabajo son los siguientes:

- El perfil 1 corresponde al *Cambisols Terric*, es un suelo poco profundo, presenta un horizonte Bt, bajo contenido de pedregosidad, la textura va de franco arenosa (CA) a franco arcillo arenosa (CRA) y baja saturación de bases.
- El perfil 2 corresponde a un *Fluvisols haplic*, es un suelo poco profundo con bajo contenido de materia orgánica, moderadamente alcalino, es el perfil con mayor contenido de fósforo (11.6 mg/kg) en su primer horizonte (Ap), su textura es arenoso franco (AC) y franco arenoso (CA). El perfil 3 al igual que el perfil 2 corresponde a un suelo *Fluvisols haplic*, de color negro a pardo oscuro, sus horizontes son poco desarrollados con una baja

estabilidad de agregados, no obstante, la característica física que diferencia los perfiles es la textura, ya que el perfil 3 posee el mayor contenido de arenas (89%) en el horizonte 2C.

Los resultados del análisis de movilidad en la columna, no permitieron probar la hipótesis, que plantea que en suelos arenosos y con bajo contenido de carbono orgánico se esperaría mayor movilidad del herbicida. Se identificó que el Paraquat tiene una afinidad alta por el suelo estudiado (*Fluvisols háplico*) en el horizonte con mayor contenido de arenas (Perfil 3 horizonte 2C). Sin embargo, se espera que estos compuestos se movilicen asociados a los sedimentos, gracias a que son zonas con alta dinámica fluvial por la acción de la erosión hídrica y eólica en las zonas riparias.

Recapitulado lo más importante sobre los ecosistemas riparios se puede decir que es una región compleja para una investigación, considerando que son áreas estrechas en el paisaje, donde se necesita trabajar con escalas más grandes, es decir, tener un mayor detalle, dado que dependiendo de su ubicación geográfica las especies de flora y fauna varían. Así también el acceso a la información es limitada, en específico la cartografía del uso de suelo en la REBIOSH; razón por la cual la obtención de información fue difícil porque la mayoría de las bases de datos en INEGI son particularmente obsoletas, por ejemplo, la clasificación de suelos en sus cartas de edafología y las cartas de uso de suelo y vegetación del área de estudio. Del mismo modo, los inconvenientes de tener información aislada y generalizada del sitio de estudio requirió la utilización de herramientas como Google Earth, para generar nueva información así como también complementar otras, y obtener una caracterización con mayor detalle; asimismo es importante recordar que la escala y la metodología en una investigación son de suma importancia, por consiguiente las aplicadas en el presente trabajo de investigación permitieron resolver los objetivos de la misma.

## 9.1 Propuestas

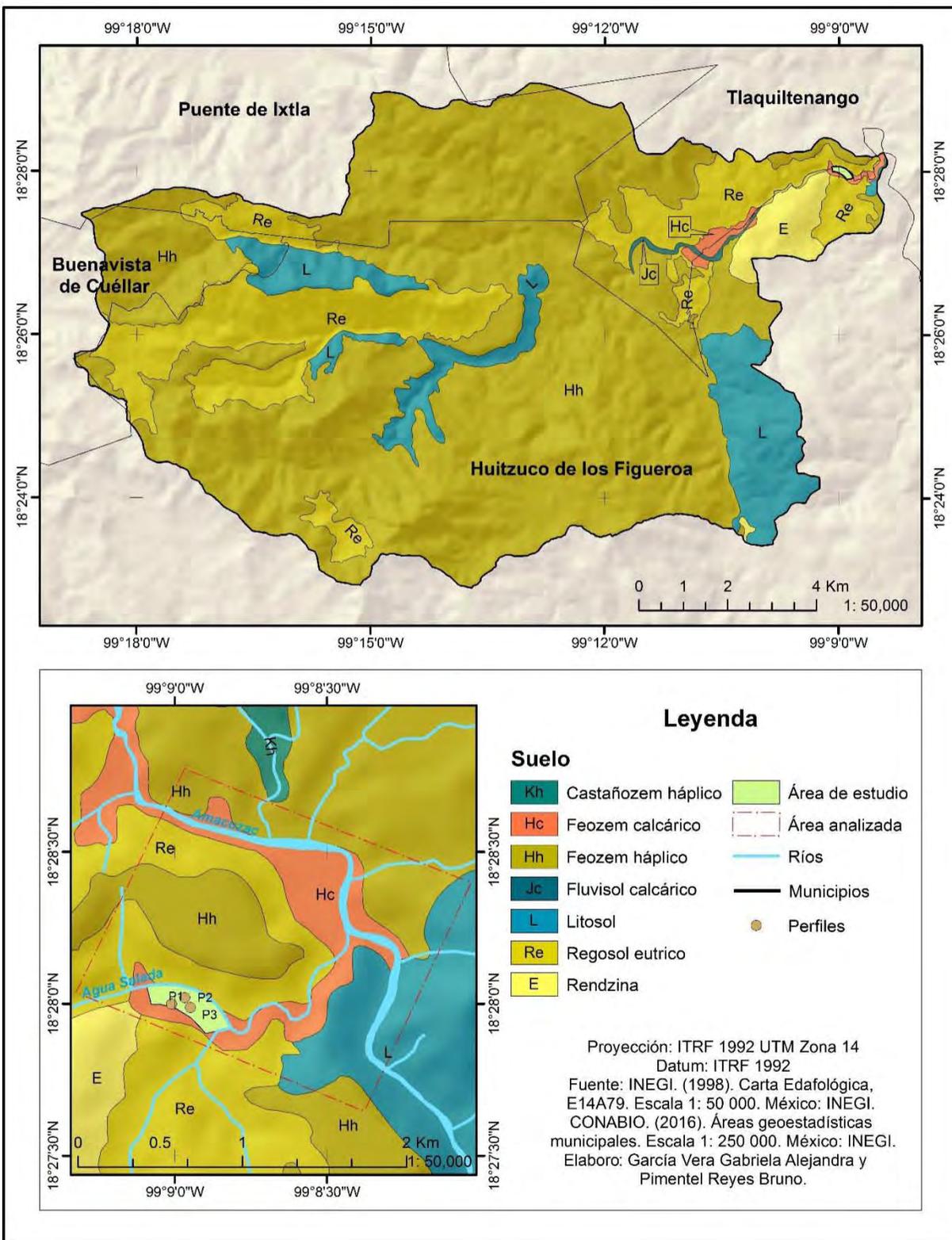
Dado que no hay información suficiente sobre los ecosistemas riparios, el cambio de uso de suelo y estudios sobre la movilidad de pesticidas en el sitio de estudio, este trabajo puede servir como base a investigaciones futuras, tomando en cuenta ampliar la escala de trabajo y utilizar otras metodologías como el uso de matrices de tabulación cruzada, índices de vegetación con fotografías aéreas georreferenciadas o imágenes satelitales de alta resolución, isotermas de adsorción y desorción, entre otras. De esta manera, es muy importante realizar más estudios de éstas áreas para realizar propuestas de restauración ecológica para éstos ecosistemas, para ayudar a mitigar los problemas ambientales ocasionados y restablecer los servicios ecosistémicos.

Asimismo, realizar cartografía de la degradación de los suelos, utilizando metodologías para evaluar la erosión y contaminación del suelo; así como también, cartografiar zonas de depósito, mediante modelos de acumulación potencial de agroquímicos y sedimentos; por lo que el presente trabajo puede ser un punto de partida para estudios futuros con escalas más amplias.

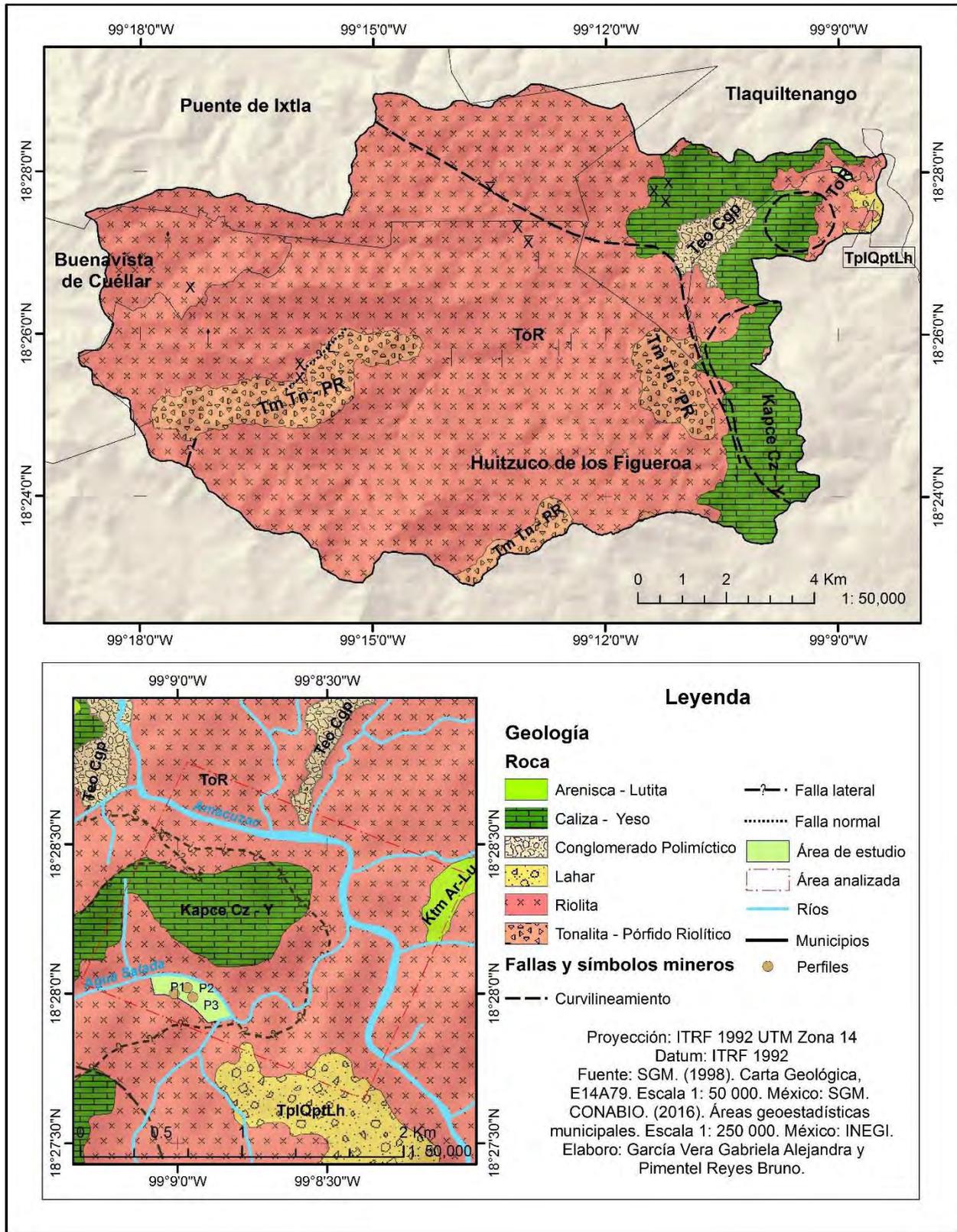
Por último, para mitigar las consecuencias del manejo de pesticidas, es importante realizar estudios sobre el comportamiento de estos en la fracción mineral del suelo, así como instalar puntos de control más amplios para establecer tasas de erosión y determinar dónde se depositan los sedimentos. Igualmente realizar jornadas de trabajo junto con los agricultores para realizar alternativas ecológicas y sustentables, así como también fomentar la economía local para disminuir la tasa de cambio de uso de suelo, por ejemplo; realizar huertos orgánicos para incentivar sociedades cooperativas, evitar la fragmentación de la franja ribereña, rotar cultivos, elaboración de compostas de fuentes naturales, dejar descansar las parcelas, favorecer la interacción planta-suelo, realizar brechas rompe-viento, disminuir el uso de plaguicidas, entre otras alternativas, por supuesto teniendo en cuenta las condiciones físicas, químicas y la dinámica del sitio de estudio.

## 10. Anexo

### 10.1 Mapa de suelos: Microcuenca Río Agua Salada



## 10.2 Mapa de geología: Microcuenca Río Agua Salada

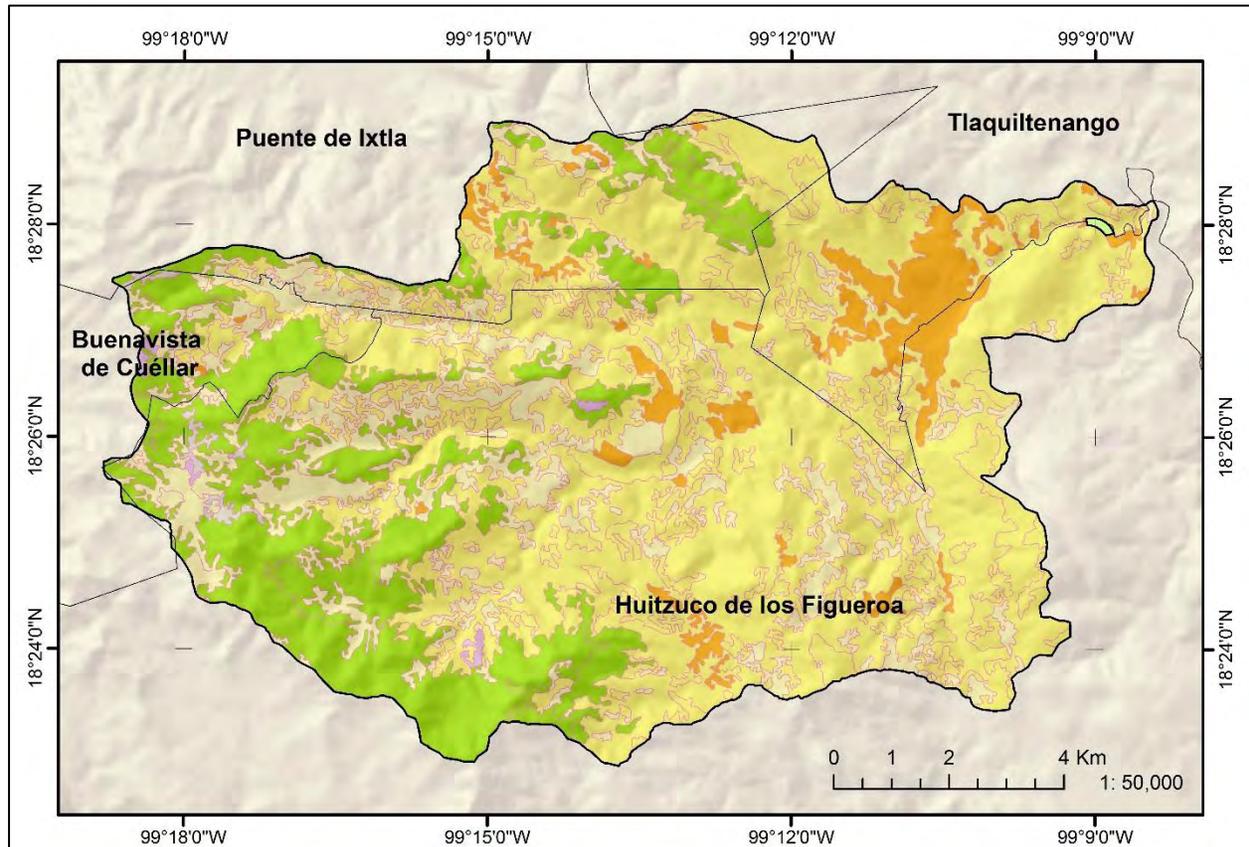


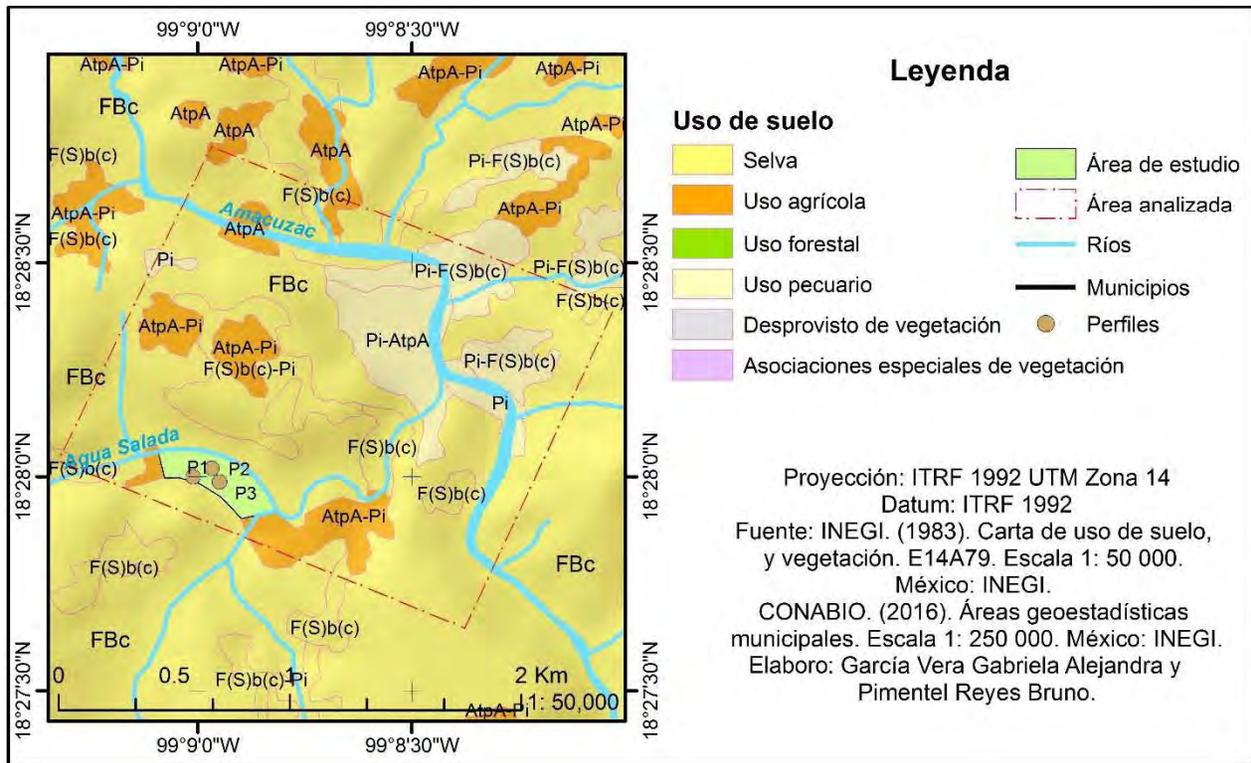
### 10.3 Mapa de uso de suelo y vegetación: Microcuenca Río Agua Salada

Tabla 8 Claves del mapa de uso de suelo y vegetación del área de estudio del año 1983.

Uso de suelo	Clave	Nombre	Área m <sup>2</sup>
<b>Uso forestal</b>	FbC	Selva baja caducifolia	2 720 845.88
	F(S)b(c)	Selva secundaria caducifolia	169 142.04
	F(S)b(c)-Pi	Selva secundaria caducifolia-Pastizal inducido	250 453.71
	Total		3 140 441.99
<b>Uso agrícola</b>	AtpA-Pi	Agricultura de temporal permanente anual-Pastizal inducido	297 540.33
	AtpA	Agricultura de temporal permanente anual	52 928.61
	Total		350 469.01
<b>Uso pecuario</b>	Pi-AtpA	Pastizal inducido-Agricultura de temporal anual	210 618.94
	Pi	Pastizal inducido	64 682.61
	Pi-F(S)b(c)	Pastizal inducido-Selva secundaria caducifolia	194 984.05
	Total		470 285.60

Fuente: INEGI, 1983.





## 11. Referencias

- Aguilar, A., López, J., Rodríguez, M. y Montes, P. (2006). *Urbanización periférica y deterioro ambiental en la Ciudad de México: el caso de la delegación Tlalpan en el Distrito Federal*. México: UNAM-SEMARNAT.
- Alcalá, R. y Delgadillo, L. (2010). *Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de suelos*. Departamento de Edafología. Instituto de Geología UNAM: Ciudad Universitaria, México.
- Appendini, K. y Torres, G. (Ed.). (2008). *¿Ruralidad sin agricultura?: perspectivas multidisciplinarias de una realidad fragmentada*. México: El Colegio de México.
- Arcos, I. (2005). *Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras* (Tesis de Maestría en Ciencias), Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Avilés, C. (2017). *Evaluación de la adsorción y movilidad de Paraquat en dos suelos agrícolas de la Subcuenca del Río Atoyac, Veracruz* (Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Barajas, M., Flores, A., Fuentes, J. y Zárate, P. (2013). Manejo del agua en la microcuenca palos prietos con presencia de *Ambystoma ordinarium* (Taylor 1939). En R. Aguilar, A. Burgos, R. González, E. Carmona y E. Ríos. (Ed.), *Memorias del Tercer Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas (187-198)*. Morelia, México: UNAM – Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.
- Batalla, R. y Sala, M. (1996). *Teoría y método en Geografía Física*. Madrid, España: Síntesis.
- Bejarano, F. y Mata, B. (2003). *Impactos del libre comercio plaguicidas y transgénicos en la agricultura de América Latina*. Texcoco, Estado de México: RAPAM, RAP-AL, Universidad Autónoma de Chapingo y SOMAS.

- Bouyoucos, G. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.
- Capel, H. y Urteaga, L. (1994). *Las nuevas Geografías*. España: Salvat.
- Carlile, W. (2006). *Pesticide selectivity, health and the environment*. United Kingdom: Cambridge University.
- Caseley, J. y Parker, C. (1996). *Manejo de malezas para países en desarrollo*. Italia: FAO.
- Castellanos, J. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP*. México: INTAGRI.
- Ceccon, E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias*, 72, 46-53. Recuperado de: <http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/72/CNS07206.pdf>
- Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Redalyc*, 1(91), 21-29. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>
- Cedillo, Y. (2003). *La desertificación relacionada al cambio climático en México* (Tesis de Maestría en Geografía), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Challenger, A. (1998). *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado presente y futuro*. México: CONABIO-UNAM-Sierra Madre.
- Chalmers, A. (1982): *What is this thing called science?* Australia: 4<sup>th</sup> Edition.
- Colín, A. (2017). *Desarrollo y validación de un método analítico para la preconcentración y cuantificación de Paraquat en muestras de agua epicontinental* (Tesis de Maestría en Ciencias), Universidad Nacional Autónoma de México.
- CONANP. (2005). *Programa de conservación y manejo Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla México*. México: CONANP.

- Córdoba, M. (2010). *Priorización de áreas para recuperar la función hidrológica de la subcuenca Támula Picachos, Guanajuato* (Tesis de Maestría en Gestión Integrada de Cuencas). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Cruz, J. (2017). *Secuestradores mesoporosos de Paraquat a partir de SBA-15 y arcillas* (Tesis de Maestría en Ingeniería Química), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Cruz-Guzmán, M. (2007). *La contaminación de suelos y agua: su prevención con nuevas sustancias naturales*. España: Universidad de Sevilla.
- Dennis, I., Macklin, M., Coulthard, T. y Brewer, P. (2003). The impact of the October-November 2000 floods on contaminant metal dispersal in the river Swal catchment, North Yorkshire, UK. *Hydrological Processes*, 17, 1641-1657.
- Díaz, A. (2014). *Mecánica de suelos: naturaleza y propiedades*. México: Trillas.
- Díaz, B. (2013). *Distribución de plaguicidas en ríos y sistemas ribereños de paisajes conservados y transformados de la cuenca alta del río La Antigua, Veracruz* (Tesis de Maestría en Ciencias), Instituto de Ecología, A.C.
- Dikshith, S. y Prakash V. (2003). *Industrial Guide to Chemical and Drug Safety*. EUA: John Wiley & Sons.
- Doménech, X. (1995). *Química del suelo: El impacto de los contaminantes*. Madrid, España: Mirahuano.
- Domingo, O. (2003). *Evaluación de impacto ambiental: un instrumento preventivo para la gestión ambiental*. España: Mundi-Prensa.
- FAO. (1974). *Legend of the Soil Map of the World*. Paris: UNESCO.
- FAO. (2006). *Código internacional de conducta para la distribución y utilización de plaguicidas*. Roma, Italia: FAO.
- FAO. (2015). *Funciones del suelo*. Swiss Confederation: Suiza. Recuperado de: <https://shar.es/1N13eU>

- Francel, A. (2017). La superposición de cartografía histórica como método de análisis morfológico y toma de decisiones urbanísticas. Ibagué, Colombia, 1935-2016. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 9(2), 293-313. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.009.002.ao10>
- García, L. y Fernández, C. (1991). *Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Gómez, H. (2014). *Evaluación del ecosistema ripario en una subcuenca del Sistema Cutzamala* (Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- González D., Garrido, A., Enriquez C., Gesundheit, P., Cuevas M.L., Cotler H. (2012). *Caracterización de valles fluviales con fines de recuperación de sistemas riparios en las subcuencas del sistema Cutzamala*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado de: [www.ine.gob.mx/cuencas-proyectos](http://www.ine.gob.mx/cuencas-proyectos)
- González, D., Gesundheit, P., Garrido, A., Enríquez, C., y Cotler, H. (2013). Identificación de zonas prioritarias con fines de recuperación de vegetación riparia en las subcuencas del sistema Cutzamala. En R. Aguilar, A. Burgos, R. González, E. Carmona y E. Ríos. (Ed.), *Memorias del Tercer Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas* (5-14). Morelia, México: UNAM – Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.
- González, J. (2000). *Diccionario de Filosofía*. España: EDAF.
- Govea, E. (2014). *Cambio de uso de suelo, impactos ambientales y socioeconómicos: expresiones de las contradicciones urbano-rurales. Caso de la meseta Purhépecha, Michoacán. 1990-2010* (Tesis de Maestría en Urbanismo), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Granados, D., Hernández, M., y López, G. (2006). Ecología de las zonas ribereñas. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(1), 55-69.
- GTM. (2014). *Hoja de seguridad: Paraquat Dicloruro*. Medio Ambiente, Salud y Seguridad.
- Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid, España: Pearson.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1976). *Carta edafológica, Tilzapotla*. Escala 1:50 000. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1983). *Uso del suelo, Tilzapotla*. Escala 1:50 000. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1995). *Principales resultados por localidad (ITER) del II Censo de Población y Vivienda 1995*. México: INEGI. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/1995/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1998). *Carta topográfica, Tilzapotla*. Escala 1:50 000. México: INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2006). *Principales resultados por localidad (ITER) del II Censo de Población y Vivienda 2005*. México: INEGI. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2005/default.html?init=2>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). *Principales resultados por localidad (ITER) del II Censo de Población y Vivienda 2010*. México: INEGI. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/default.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Anuario estadístico y geográfico de Morelos*. México: INEGI.
- IUSS Working Group WRB. (2015). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos*. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. Roma, FAO.
- Juárez, M., Sánchez, J. y Sánchez, A. (2006). *Química del suelo y medio ambiente*. San Vicente del Raspeig, España: Universidad de Alicante.
- Kass, D. (1996). *Fertilidad de Suelo*. Costa Rica: EUNED.

- Krasilnikov, P., Jiménez, F., Reyna, T. y García, N. (Ed.). (2011). *Geografía de los suelos de México*. México: Las prensas de Ciencias-UNAM.
- Labrandero, J. y Martínez, J. (1998). *Sistemas de Información Geográfica en la planificación ambiental de áreas de montañas*. Madrid: CSIC.
- Lebrón, R. (2007). *Adsorción de Paraquat con polímeros naturales* (Ingeniería Química), Universidad Politécnica de Cataluña.
- NUFARM-Syngenta. (2012-2017). *Ficha técnica del Gramoxone Super*. México. Recuperado de: <http://www.nufarm.com/assets/28118/1/Paraquat.pdf>
- Núñez, J. (1981). *Fundamentos de Edafología*. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Olsen, S., Cole, C., Watanabe, F. & Dean, L. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. EUA: USDA.
- Ortega, J. (2000). *Los horizontes de la Geografía: Teoría de la Geografía*. Barcelona, España: Ariel.
- Ortiz, C., González, M., y García, D. (2013). *La vegetación ribereña de los ríos Ayuquila-Armeria*. Michoacán: Departamento de Ecología y Recursos Naturales, CUCSUR, Universidad de Guadalajara, ETS, Universidad Politécnica de Madrid – UNAM.
- Porta, J., López, M. y Poch, R. (2014). *Edafología uso y protección de suelos*. Cataluña, España: Mundi-Prensa.
- Porta, J., López, M., y Roquero, L. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. México: Mundi-Prensa.
- Raymundo, E. (2008). *Parámetros de transporte de Atrazina en un Andosol y un Vertisol de México* (Tesis de Doctorado en Ciencias), Colegio de Postgraduados.
- Real, O. (2009). *Adsorción, persistencia y movilidad de compuestos orgánicos polares contaminantes de suelos* (Tesis de Doctorado), Universidad de Sevilla.

- Reeuwijk, L. (2002). *Technical paper 09: Procedures for soil analysis, sixth edition*. The Netherlands: ISRIC & FAO. Recuperado de: [http://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC\\_TechPap09.pdf](http://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC_TechPap09.pdf)
- Reyes, J. (2018). *Dinámica del nitrógeno en un afluente del río Amacuzac, Morelos* (Tesis de Maestría), Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Ruda, E., Mongiello, A. y Acosta, A. (2004). *Contaminación y salud del suelo*. Santa Fe, Argentina: UNL.
- Sacado, J. (2008). *Recursos Naturales y Sustentabilidad*. Monterrey, México: Fórum Universal de las Culturas.
- Saucedo, E. (2009). *Cartografía del índice de peligrosidad en suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos, utilizando valores de umbral. El caso de la Región minera de Parral, Chihuahua* (Tesis de Licenciatura en Geografía). Universidad Nacional Autónoma de México.
- SEMARNAT. (2000). *Diario Oficial: Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo*. México: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2002). *Diario Oficial: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. México: SEMARNAT.
- SGM. (1998). *Carta Geológico-Minera, Tilzapotla E14A79*. Escala 1:50 000. México: SMG.
- Siebe, C., Jahn, R. y Stahr, K. (2006). *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. México: México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- SMN. (1981 – 2010). *Información Climatológica por Estado: Morelos*. México: SMN. Recuperado de: <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mor>

- Sparling, D. (2016). *Ecotoxicology essentials: environmental contaminants and their biological effects on animals and plants*. United Kingdom: Elsevier.
- Stephenson, G. R. y Solomon, K. R. (2013). *Plaguicidas y ambiente*. Puerto Rico: UCR.
- Universidad Nacional Heredia. (2018). Manual de plaguicidas de Centroamérica. Costa Rica: Instituto Regional de Estudios de Sustancias. Recuperado de: <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/436-paraquat>
- Vázquez, A. (2005). *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. México: Universidad J. Autónoma de Tabasco.
- Velázquez, A., Mas, J., Díaz, J., Mayorga, R., Alcántara, P., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., y Palacio, J. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, (62), 21-37. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/539/53906202.pdf>
- Vinten, A., Yaron, B. & Nye, P. (1983). Vertical transport of pesticides into the soil when absorbed on suspended particles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 31(3), 662-664. Doi: 10.1021/jf00117a048
- Volke, T. y Velasco, J. A. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. México: INE-SEMARNAT.
- Volke, T., Velasco, J. A. y De la Rosa, D. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. México: INE-SEMARNAT.
- Wheeler, W. (Ed.) (2002). *Pesticides in agriculture and the environment*. United States of America: Marcel Dekker, Inc.
- Yedla, S. & Kumar, A. (2005). *Abatement of pesticide pollution: removal of organo-chlorine pesticide from water environment*. India: Narosa.