



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



"La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra"

**PROPUESTA PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL
SITIO RAMSAR NO. 2027 (PRESA MANUEL ÁVILA
CAMACHO) CON BASE EN EL ESTADO ACTUAL
DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO**

TESIS

Que para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

LETICIA CITLALY LÓPEZ TELOXA

Asesora de tesis:

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega

Octubre 2017



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



“La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”

**PROPUESTA PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DEL
SITIO RAMSAR NO. 2027 (PRESA MANUEL ÁVILA
CAMACHO) CON BASE EN EL ESTADO ACTUAL
DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO**

TESIS

Que para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

LETICIA CITLALY LÓPEZ TELOXA

Comité tutorial:

Asesora y Tutora	Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega
Integrante Comité Tutorial	Dr. Ernesto Mangas Ramírez
Integrante Comité Tutorial	Dr. Ricardo Pérez Avilés
Integrante Comité Tutorial	Dr. Eduardo Torres Ramírez

Octubre 2017



BUAP

M.C. LETICIA CITLALY LÓPEZ TELOZA

Presente:

Por este conducto me permito comunicarle que los miembros del jurado integrado por:

Dr. Benjamín Ortiz Espejel

Dr. José Víctor Tamariz Flores

Dra. Rosalía Vázquez Toriz

Dra. Lucía López Reyes

Dr. Ricardo Pérez Avilés

Dr. Fernando Hernández Aldana

Dr. Edgardo Torres Trejo

Presidente

Secretario

1er. Vocal

2do. Vocal

3er. Vocal

1er. Suplente

2do. Suplente

designado para la defensa de su tesis "*Propuesta para el manejo sustentable del Sitio Ramsar No. 2027 (Presa Manuel Ávila Camacho) con base en el estado actual de la degradación del suelo*", han manifestado mediante su voto que ésta cumple con los méritos suficientes para ser defendida como tesis de grado de Doctorado en Ciencias Ambientales, por lo que este Posgrado le autoriza la impresión de la misma.

Sin otro asunto en lo particular, quedo de usted.

ATENTAMENTE

"PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR"

H. PUEBLA DE Z., OCTUBRE 3 DE 2017



DR. RICARDO DARÍO PEÑA MORENO

SECRETARIO ACADÉMICO



RDPM/anma
c.c.p. Archivo
c.c.p. Minutario

DEDICATORIA

A mis padres Asunción y María, mi hermana Alejandra y mi hermano Hugo, quienes han estado conmigo en cada momento, por brindarme su amor, apoyo y confianza. Los amo.

AGRADECIMIENTOS

A dios por bendecirme y guiarme cada día y por rodearme de personas que me apoyan y quieren.

En especial a mis padres, por haberme dado la dicha de la vida, y brindarme todo su apoyo en cada momento, así como también por hacer de mí una mujer de bien, trabajadora y responsable. Por permitirme cumplir con los sueños y deseos que me he planteado y propuesto, así como con los caprichos. Les agradezco todo el amor que me han brindado, todo lo que tengo y soy.

A mi hermana y hermano, por cuidarme como la hermana menor que soy, porque además de hermanos, son mis amigos que me aconsejan y apoyan a cada momento.

A la Dra. Rosalía Castelán por su paciencia y apoyo brindado, así como por sus consejos e invaluable guía en la realización de esta tesis.

Agradezco a los miembros del Comité Tutorial: Dr. Eduardo Torres Ramírez, Dr. Ricardo Pérez Avilés y Dr. Ernesto Mangas Ramírez.

Al Dr. Eduardo Torres Ramírez por su paciencia y apoyo brindado en la redacción y conclusión del Artículo Científico.

Al Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas por permitirme realizar este trabajo de tesis dentro de sus instalaciones.

Al Dr. Víctor Tamariz por su apoyo en la parte del trabajo de campo, así como en la revisión y conclusión de resultados obtenidos para el trabajo de tesis.

Al Maestro Cesar Calderón por brindarme su apoyo en la realización de los análisis de suelo en laboratorio y en la parte del trabajo de campo.

Al Maestro Abel Cruz por sus consejos, comentarios y revisión de la tesis, así como por su apoyo en el trabajo de campo.

Se agradece la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del programa II. Investigación y Posgrado. Aseguramiento de la calidad en el posgrado. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2013-2027.

A Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado durante un año para así continuar y concluir el Doctorado.

Al Posgrado en Ciencias Ambientales por permitirme formar parte del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y todo el apoyo brindado el tanto económico como administrativo para finalizar el Doctorado.

ÍNDICE

GENERALIDADES

1.	Introducción	9
2.	Antecedentes.....	11
3.	Planteamiento del problema	12
4.	Preguntas de investigación	14
5.	Objetivos	14
6.	Hipótesis.....	15
7.	Justificación	15
7.1.	General.....	15
7.2.	Social.....	16
7.3.	Metodológica	16
7.4.	Teórica	17

MARCO TEÓRICO

8.	Teoría general de los sistemas	18
8.1.	Pensamiento sistémico.....	18
8.2.	El concepto de Sistema.....	19
8.3.	Componente de un sistema	20
8.3.1.	Límites.....	20
8.3.2.	Elementos.....	20
8.3.3.	Estructuras.....	21
9.	Ecosistema	22
10.	Humedal.....	24
10.1.	Clasificación de los humedales	24
10.2.	Beneficios que aportan los humedales	26
11.	El suelo como ecosistema	28
12.	Convenio de RAMSAR	30

METODOLOGÍA

13.	Metodología.....	31
13.1.	Caracterización del Sitio Ramsar.....	32

13.1.1.	Recopilación bibliográfica.....	32
13.1.2.	Análisis de la población del sitio RAMSAR.	33
13.1.3.	Dinámica de cambio de uso de suelo	34
13.1.4.	Diagnóstico edáfico	36
13.1.5.	Determinación del contenido de carbono orgánico y nitrógeno total del suelo	37
13.2.	Análisis estadístico.....	39

ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

14.	Ubicación de la zona de estudio	40
15.	Caracterización del sitio RAMSAR	41
15.1.	Geología.....	41
15.2.	Edafología.....	43
15.3.	Clima.....	46
15.4	Vegetación y uso actual	48
16.	Análisis de la población del sitio RAMSAR.	49
16.1.	Población total.....	49
16.2.	Migración.....	50
16.3.	Población indígena.....	51
16.4.	Características educativas	51
16.5.	Servicios de salud	52
16.6.	Servicios básicos en viviendas.....	53
16.7.	Población económicamente activa	53
16.8.	Marginación y Rezago Social	55
16.9.	Tenencia de la Tierra	56
17.	Dinámica de cambio espacio-temporal de uso de suelo.....	59
18.	Grado de erosión y estimación de la pérdidas de suelo	75
18.1.	Sectores con erosión nula.....	76
18.2.	Sectores con erosión ligera.....	78
18.3.	Sectores con erosión moderada	79
18.4.	Sectores con erosión severa	81
19.	Contenido de Carbono Orgánico en el sitio RAMSAR “Presa Manuel Ávila Camacho”	82
19.1.	Relación de carbono orgánico entre uso de suelo y grados de erosión.....	95
19.2.	Relación Carbono /Nitrógeno del suelo	97

19.3.	Relación del carbono orgánico y densidad aparente del suelo.....	99
-------	--	----

DIAGNÓSTICO GENERAL

20.	Diagnóstico general	103
-----	---------------------------	-----

PROPUESTAS DE MANEJO PARA LA RECUPERACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL SITIO RAMSAR 2027 “PRESA MANUEL ÁVILA CAMACHO”

21.	Propuestas y acciones de manejo para la recuperación y conservación el Sitio Ramsar 2027 “Presa Manuel Ávila Camacho.....	112
21.1.	Impacto de las propuestas frente a la problemática del sistema complejo	123

CONCLUSIONES

22.	Conclusiones.....	125
23.	Referencias bibliográficas	128

GENERALIDADES

1. Introducción

Los Sitios Ramsar son humedales considerados de importancia internacional. Estrategia adoptada por la Convención de Ramsar, un tratado intergubernamental adoptado el 2 de febrero de 1971 en la ciudad iraní de Ramsar, para la conservación y el uso sostenible de los humedales (Secretaría del Convenio de Ramsar, 2013). Para alcanzar los objetivos de la convención es necesario evaluar primero la variación espacio-temporal de la cobertura vegetal, el cambio de uso de la tierra y el contenido de carbono orgánico en diferentes zonas del Sitio Ramsar (Juman y Ramsewak, 2013, Mabwoga y Thukral, 2014, Pal et al., 2014, 2016).

Los humedales se han visto afectados por la acción humana, reduciendo drásticamente su superficie desde hace ya varias décadas. La población humana se apropia de entre el 20 y el 40% de la productividad primaria neta terrestre del planeta incluyendo a los humedales, asimismo el tamaño de la población y sus patrones de consumo tienen una influencia directa en la transformación de los ecosistemas (Maass, 2003). La actividad humana ha cambiado sustancialmente el paisaje biofísico terrestre, especialmente en el último siglo, en una forma que no tiene precedente (Evangelista *et al.*, 2010).

Las actividades para satisfacer el desarrollo humano dependen directamente del bien común suelo, todos los seres vivos requieren de este bien para vivir (Castro *et al.*, 2009). Es uno de los elementos naturales, además del agua y el aire, considerado fundamental para la supervivencia del ser humano, ya que sostiene la producción forestal, ganadera y alimentaria (granos básicos, hortalizas y frutas); brinda protección y alimento a las especies silvestres; permite almacenar el agua en mantos acuíferos a través de la filtración; provee de humedad a la vegetación, junto con la cual regula el ciclo hidrológico, y tiene un papel importante en el amortiguamiento de variaciones climáticas severas; soporta la capacidad biológica de los ecosistemas (SMA, 2008). Lo anterior lo convierte en un bien natural no renovable, ya que con los procesos naturales de formación y desarrollo del suelo, se toma 100 años para la formación de una pulgada del mismo (Gliessman, 2002).

El bien común suelo presenta fuertes estados de degradación, siendo la erosión hídrica o eólica los principales procesos que la promueven (FAO, 2002). La erosión es un fenómeno geológico natural causado por la acción del agua y del viento, y consiste en el desprendimiento y acarreo de partículas del suelo. Se origina por la combinación de varios factores tales como el intemperismo, la inclinación del relieve, los incendios forestales, además de ciertas características intrínsecas que pueden hacerlo más propenso a la erosión, como es el caso de la textura limosa o bajo contenido en materia orgánica, entre otros (Gaspari *et al.*, 2009). Las actividades humanas pueden acelerar de forma importante la tasa de erosión, debido al mal manejo del suelo, lo que conlleva a la reducción de su capacidad para sostener los ecosistemas naturales y urbanos (SMA, 2008).

Entre las formas más comunes de utilización no sostenible del suelo están el cultivo sin medidas de conservación y pastoreo excesivo, deforestación, prácticas de riego, cambios del uso de suelo y la incorrecta disposición de residuos peligrosos municipales. El alto grado de deterioro del suelo refleja un profundo desconocimiento a nivel político, social y económico sobre el papel ambiental que cumple este bien, los límites que se tienen para su aprovechamiento, el uso de técnicas apropiadas y los beneficios que puede brindar la instrumentación de políticas sostenibles y la aplicación de normatividad en torno a la conservación y al uso (SMA, 2008).

Los cambios de la cobertura natural a pastizal o agrícola y uso del suelo han tenido un papel importante en su degradación, en el ciclo del dióxido de carbono (CO₂) y del agua (H₂O), en el aumento de los contaminantes y en la disminución de la biodiversidad. El uso inapropiado del suelo deteriora los ecosistemas de los cuales la humanidad dependen para su supervivencia, por lo mismo, se presenta un enorme reto para desarrollar el manejo sustentable del bien común suelo (Hernández, 2013).

Los suelos pueden actuar como fuentes o sumideros de bióxido de carbono atmosférico, dependiendo de las prácticas de uso, clima, textura y topografía (Moreno *et al.*, 2010). Dentro de los sistemas suelo, los humedales ocupan sólo entre 4-6% de la superficie terrestre (Mistch y Gosselink, 2000), tienen la capacidad de secuestrar mayores cantidades de carbono orgánico (C) por unidad de área que otros sistemas (Bridgham *et al.*, 2006) y almacena carbono con una liberación mínima de gases de efecto invernadero (Moreno *et al.* 2010). Son considerados muy importantes globalmente por su potencial para almacenar

C. Dicho potencial, se debe a la alta productividad de las plantas y a la baja descomposición de materia orgánica que ocurre en ellos (Collins y Kuehl, 2000).

Por lo anterior, impera la necesidad de un programa de manejo en el Sitio Ramsar No. 2027, que ayuden a recuperar, conservar y frenar el deterioro del mismo.

2. Antecedentes

Cedeño *et al.* (2005), realizaron una investigación en la Presa “Valsequillo” sobre la biosíntesis de partículas metálicas del orden de 1 a 20 nm, utilizando la biomasa del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) que crece como plaga en la presa de Valsequillo, Puebla. Demostrando que el lirio acuático, es un organismo fitoacumulador de metales pesados, donde la mayor concentración de compuestos inorgánicos se localizan en la raíz y hoja.

Larenas (2010), determinó la concentración de Metales Pesados (MP), las características físicas y químicas del agua residual y del suelo, así como la concentración de metales pesados en cultivos de maíz y alfalfa ubicados en los módulos uno, dos y tres del Distrito de Riego 030 Valsequillo. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluyó que existe la presencia de metales pesados en suelo a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm). Con respecto a la planta de maíz, existe la presencia de varios metales pesados (Pb, Ni, Cu, Zn y Fe) a excepción del Cd, el cual no se detectó en ninguna parte de la planta analizada.

Rodríguez *et al.* (2011) realizaron una investigación sobre un servicio ambiental de depuración y retención de sólidos suspendidos que desempeña la presa para las cuencas de los Ríos Atoyac-Zahuapan y Alseseca en los estados de Puebla y Tlaxcala. La Presa funciona como un vaso de sedimentación en donde se recibe la más importante carga de sólidos totales que forma la mayoría de los sólidos suspendidos.

Becerril *et al.* (2012) cuantificaron la emisión de gases de efecto invernadero generados en diversos puntos de la Presa Manuel Ávila Camacho, con el objetivo de realizar comparativo de estas, explicando las causas posibles de su generación. Los resultados obtenidos fueron que el CO₂ se libera en mayores concentraciones, seguido por CH₄ y N₂O (746.08 ppm, 87.6 ppm y 0.63 ppm, respectivamente), concluyendo que esto se debe a las condiciones químicas y biológicas en la presa.

Bonilla *et al.* (2013) determinaron la calidad fisicoquímica del agua para riego del Canal Principal que abastece al Distrito de Riego 030 “Valsequillo”, debido a la gran preocupación existente por el grave problema de contaminación de los ríos Atoyac, Zahuapan y Alseseca, originado por las descargas de aguas residuales domésticas e industriales con escasos o nulos tratamientos y que son almacenadas en la presa Valsequillo. Demostrando que las condiciones en las que se encuentra el agua de la presa “No es Recomendada” para riego ni consumo humano.

Mangas *et al.* (2006) determinaron el efecto de los componentes del lirio triturado sobre a la mortalidad de peces. Los resultados obtenidos en este estudio fueron que el amonio disuelto se incrementó en 1900 % después de la trituración del lirio. Además, las concentraciones se incrementan hasta 100 veces superiores a lo permitido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para los metales pesados, cianuros y niveles altamente tóxicos de amoniaco disuelto.

Lozada *et al.* (2010) evaluaron las emisiones de gases de efecto invernadero en suelos cercanos a la presa de Valsequillo. Encontrando emisiones de 8 a 42 ppm de CH₄, 700 a 1200 ppm de CO₂ y de 0.3 a 0.8 ppm N₂O.

Son muchos los estudios que se han realizado en cuanto a la determinación de la calidad del agua de la Presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo), ya sea por al grado de contaminación que presenta y a la importancia histórica que representa para la Ciudad de Puebla. Sin embargo, no se encontraron investigaciones sobre el bien común suelo.

3. Planteamiento del problema

La presa Manuel Ávila Camacho (Presa Valsequillo), fue construida en el año 1946 con el objetivo de recolectar agua para riego de tierras agrícolas en el Distrito de riego 030 y la Zona de Riego de Atlixco-Izúcar de Matamoros. Es la más grande de los cuatro cuerpos de agua del centro del país (los otros son Valle de Bravo, Tequisquiapan y Tequesquitengo), sin embargo, es el único que carece de planeación urbano-turística que permita su desarrollo sustentable y que tenga políticas de conservación ambiental. La degradación ecológica de la Presa Valsequillo es sumamente alta, presenta graves problemas de

contaminación por los aportes de las aguas residuales urbanas e industriales. El principal aporte de contaminantes es a través del río Atoyac, que vierte 69 t/día de contaminantes, mientras que el río Alseseca aporta 28 t/día (Rodríguez, 2011).

Los procesos erosivos en una región se encuentran relacionados directamente con la pérdida de la cobertura vegetal, la intensidad de lluvia y viento, la pendiente del terreno y las labores de conservación. En consecuencia, muy pocas familias se mantienen exclusivamente de la actividad agrícola, la cual además es de subsistencia, y un número importante de ellas se dedica a otras actividades como la cría de ganado caprino.

En el año 2012 la presa Valsequillo, con una superficie de 23,612 hectáreas fue decretada como Sitio Ramsar, ya que sustenta especies de flora y fauna importantes, provee servicios ambientales y su historia cultural es una parte importante del patrimonio de la humanidad. Mantiene una cantidad y diversidad de vida silvestre impresionante, que demuestra la resistencia y el poder de la naturaleza. Este sitio tiene un gran valor por la diversidad, especialmente de fauna representativa de las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical (CONANP, 2012).

La conservación y recuperación ambiental del Sitio Ramsar será un modelo a seguir, y un logro importante para el Estado de Puebla y el País. Desafortunadamente, también representa los problemas que confrontan los humedales de la región, los cuales se perdieron debido al desarrollo poblacional y urbano. La deforestación en la zona es un problema grave que ha favorecido la entrada de grandes aportes de sedimentos provenientes de la erosión de los suelos que la rodean. Por lo que el bien común suelo del sitio se encuentra ante un agotamiento de su fertilidad y la falta de oportunidades económicas alternativas en la región, la pobreza y la marginación son un problema creciente para la mayoría de los habitantes de las comunidades aledañas a la presa, favoreciendo la permanente migración, propiciando la constante desintegración de las familias y, en múltiples ocasiones, el abandono de sus ancianos e infantes. Una vez evaluada la condición actual del suelo y del servicio ecosistémico de captura de carbono en el sitio Ramsar Presa Manuel Ávila Camacho, se realizarán Propuestas de manejo sustentable del recurso suelo

4. Preguntas de investigación

General

- ¿Cuál es el estado de degradación del bien común suelo y del servicio ecosistémico de captura de carbono, en el Sitio Ramsar Presa Manuel Ávila Camacho, y cuáles son las causas que lo han generado, en el periodo comprendido entre 1976 y 2015.

Particulares

- ¿Cuál es el grado de erosión del bien común suelo y cuáles son sus pérdidas en t/ha/año de acuerdo a sus diferentes usos dentro del sistema humedal y cuáles son las causas sociales, económicas y ambientales que lo han favorecido, en el periodo comprendido entre 1976 y 2015?
- ¿Cuál es el potencial de almacenaje de carbono orgánico del suelo en sus condiciones actuales?
- ¿Existe alguna relación entre tipo y uso actual del suelo, estado de degradación y contenido de carbono orgánico del suelo en el sistema?
- ¿Qué opina la población del sitio Ramsar, en cuanto al decreto y las condiciones ambientales de la presa?

5. Objetivos

General

- Generar una propuesta para el manejo sustentable del sitio Ramsar No. 2027 (Presa Manuel Ávila Camacho) con la participación de la población que ahí habita, basada en el estado de degradación del suelo y del servicio ecosistémico de captura de carbono que proporciona.

Particulares

- Determinar el estado de erosión del suelo e identificar las causas sociales, económicas y ambientales que lo han generado.
- Estimar el potencial de almacenaje de carbono orgánico del suelo.

- Establecer la relación entre el tipo y uso actual de suelo, estado de degradación y contenido de carbono orgánico del suelo.
- Elaborar una propuesta integral de manejo sustentable de los bienes comunes naturales dentro del Sitio Ramsar No. 2027 con la participación de la población que habita dentro del sitio

6. Hipótesis

El Sitio Ramsar No. 2027 (Presa Manuel Ávila Camacho) se encuentra degradado por la ausencia de manejo sustentable, que regule la deforestación, además la carencia de apoyo al campo y la presión de una ciudad que amenaza con su crecimiento, han acelerado el proceso erosivo, disminuyendo su fertilidad y alterando el servicio ambiental de captura de carbono de este bien ambiental durante el periodo de 1976 a 2015.

7. Justificación

7.1. General

La Presa Valsequillo es el segundo sitio del Estado de Puebla inscrito en el Listado Ramsar. El sitio forma parte de una red de áreas de conservación, y es parte de un corredor biológico importante. Las zonas de conservación circundantes son el Parque Nacional La Malinche (al norte), el Parque Nacional Izta-Popo (al oeste), el Parque Estatal Flor del Bosque y la Zona de Preservación Ecológica Municipal La Calera (al noreste), y la Reserva Estatal Sierra del Tentzo (al sur, con porciones dentro del sitio). En el sitio existen parques ecológicos y la zona de preservación ecológica municipal Sierra del Tentzo (CONANP, 2012).

La Presa Valsequillo tiene valores económicos y sociales importantes, sustenta actividades de recreación, turismo y pesca, y las aguas de la Presa se usan para riego, su zona de influencia tiene una larga historia de civilizaciones antiguas prehispánicas. Además, mantiene una importante cantidad y diversidad de vida silvestre de flora y fauna y provee servicios ambientales (CONANP, 2012).

Según las clasificaciones de la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO), el sitio sustenta al menos 33 especies y subespecies de aves endémicas, semiendémicas y cuasiendémicas de México, que representan 14% de todas las aves registradas en el sitio (CONANP, 2012). Desafortunadamente, debido al desarrollo humano presenta problemas de contaminación de fuentes urbanas e industriales, y la deforestación en la zona por la introducción de la actividad agrícola y urbana, motivo por el cual el suelo presenta evidencia de erosión en sus diferentes grados y los sedimentos arrastrados favorecen el azolvamiento de la Presa y la disminución de la fertilidad de los suelos (López, 2013).

La planeación del uso y manejo del Sitio Ramsar es se suma prioridad y debe seguir los conceptos de desarrollo sustentable para su recuperación y conservación (CONANP, 2013; Ramsar s.f.).

7.2. Social

Los cambios acelerados a través del desarrollo social, cultural, y económico, están provocando que cada sistema evolucione en respuesta a la explotación de los recursos. La cual se ha aceleración llegando a superar la capacidad de autorregulación de la propia naturaleza (Toledo y González, 2007)

Este estudio establece las bases para el desarrollo de una estrategia de transferencia tecnológica con la participación de los habitantes de la zona, esperando que se incluya dentro del Programa de Manejo del Sitio Ramsar, la cual beneficie a la población de la zona de estudio al capacitarlos en el desarrollo de las técnicas requeridas y necesarias, como la siembra en milpa, construcción de barreras vivas o muertas, para el buen manejo de los suelos de la región, al lograr lo anterior, se verán beneficiados el humedal desde el punto de vista ambiental, pero además la población que radica a su alrededor, que se calcula en 173,540 habitantes, los suelos producirán más al recuperar su fertilidad y sembrar los cultivos aptos para la zona ayudaran a incrementar los ingresos económicos de las familias.

7.3. Metodológica

El aporte metodológico de este estudio es la propuesta de manejo sustentable del recurso suelo desde un enfoque sistémico del humedal, el cual cuenta con acciones a realizarse en el corto, mediano y largo plazo, con la finalidad de que sea una herramienta teórico-

metodológica para conservar el bien común suelo, y así mitigar la degradación en la zona, ya que tendrá influencia en el resto de los componentes del ecosistema. La conservación y recuperación ecológica del sitio es un modelo para otros a seguir, y un logro importante, no sólo para la región o el estado, sino para el país (CONANP, 2012).

7.4. Teórica

Dada la importancia de la Presa se han realizado diversas investigaciones enfocadas a establecer la calidad de su agua, como ya se indicó en los antecedentes: Larenas (2010) que determinó la concentración de metales pesados en el agua y Bonilla *et al.*, (2013) quienes determinaron la calidad fisicoquímica del agua para riego; sin embargo, no existen registros en cuanto a la cuantificación y evaluación del grado de erosión de los suelos que circundan la presa, y pocos son los que han tratado de cuantificar las emisiones de carbono en la región (Becerril *et al.*, 2012) y su impacto ante el cambio climático. Es por esto que impera la necesidad de realizar estudios enfocados a evaluar el estado de degradación y servicios ecosistémicos de captura de carbono del suelo del sitio RAMSAR Presa Manuel Ávila Camacho, para así finalmente realizar una propuesta de manejo sustentable en el sitio, y de esta forma iniciar la recuperación ecológica de la región, dicha propuesta debe incluir no sólo instituciones gubernamentales sino académicas y, sobre todo, a la población, que al disponer de este conocimiento, le permitirá el adecuado manejo de este bien común tan importante que es el suelo, con criterios de sustentabilidad y con la idea de frenar la migración y mejorar su calidad de vida, de igual manera, al apropiarse de este proyecto pueden frenar los despojos de tierra que históricamente han sufrido.

MARCO TEÓRICO

8. Teoría general de los sistemas

8.1. Pensamiento sistémico.

El movimiento de sistemas incluye todos y cada uno de los esfuerzos, por resolver las implicaciones que conlleva el uso del concepto de un todo irreductible, “un sistema”, en cualquier área del esfuerzo. El valor y las limitaciones del concepto se pueden examinar en todas las divisiones arbitrarias del conocimiento humano que se conocen en el presente como disciplinas separadas, de tal forma que se ve que hay científicos de los sistemas de pensamiento, tecnólogos, ingenieros, economistas, científicos, administradores, psicólogos, sociólogos, antropólogos, geógrafos, políticos, historiadores, filósofos, artistas, y muchos más (Checkland, 1993).

La teoría general de sistemas contempla cualquier fenómeno que forma parte de un sistema y, que al menos potencialmente, también puede serlo por sí mismo. Así, por ejemplo, un individuo puede ser considerando un elemento de un sistema mayor, como pueda ser un grupo de personas, y a su vez, un sistema conformado por un conjunto de, por ejemplo, células (Navarro, 2001).

Por otro lado, se ha de remarcar el interés de la teoría general de sistemas por los problemas de relación, de estructuras y de interdependencia, más que en los atributos constantes de los objetos (Navarro, 2001). En este sentido, el pensamiento sistémico es una ayuda en el entendimiento de la complejidad de los sistemas en cuanto a su focalización en estos patrones de interacción, así como en las relaciones de interdependencia entre los elementos constitutivos del sistema.

El pensamiento de sistemas aboga por una visión holística en el estudio de los sistemas como entidades, más que como conglomerados de partes. Ello no quiere decir que el pensamiento de sistemas abandone la propensión al análisis, sino que más bien, combina éste junto con la elaboración de síntesis, más propias del holismo (Navarro, 2001).

Es necesario estudiar no solo partes y procesos aislados, sino también resolver los problemas decisivos hallados en la organización y el orden que los unifican, resultados de la interacción dinámica de partes y que hacen el diferente comportamiento de éstas cuando se estudian aislados o dentro del todo. Entonces, la teoría general de los sistemas es un instrumento útil a dar, por una parte, modelos utilizables y transferibles entre diferentes campos, y evitar, por otra, vagas analogías que a menudo han perjudicado el progreso en dichos campos (Bertalanffy, 1976).

8.2. El concepto de Sistema

Un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados que presentan un cierto carácter de totalidad más o menos organizada. De acuerdo a Kaufman (1979) también es considerado como la “suma total de partes que funcionan independientemente pero conjuntamente para lograr productos o resultados requeridos, basándose en las necesidades” (Navarro, 2001).

Según el diccionario de la Real Academia Española (2014), Sistema es el conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazados entre sí, o el conjunto de cosas que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a determinado objeto.

Según García, R. (2006) un sistema complejo es “una representación de un recorte de la realidad compleja, conceptualizado como una totalidad organizada (de ahí la denominación de sistema) en la cual los elementos no son “separables” y por lo tanto no pueden ser estudiados aisladamente”; es decir, que los elementos de un sistema complejo son “interdefinibles”.

De acuerdo a Martínez y Requena en Navarro (2001) se habla de tres características estructurales básicas de todo sistema: el primero de ellos son, los elementos que lo componen, el segundo son, las relaciones entre esos elementos, y el tercero, los límites del propio sistema que determinan que elementos pertenecen al mismo y cuáles no. De acuerdo a esto, un sistema se define como "un todo estructurado de elementos, interrelacionados entre sí, organizados por la especie humana con el fin de lograr unos objetivos. Cualquier cambio o variación de cualquiera de los elementos puede determinar cambios en todo el sistema”.

8.3. Componente de un sistema

De acuerdo a García, R. (2006) es posible formular una pregunta básica o pregunta conductora, que guíe la selección de los componentes del sistema (es decir, los elementos, los límites del sistema, y sus interrelaciones, tanto internas como externas).

8.3.1. Límites.

Los sistemas complejos que se presentan en la realidad empírica carecen de límites precisos, tanto en su extensión física, como en su problemática. De aquí la inevitabilidad de establecer "recortes" o de imponer límites más o menos arbitrarios para poder definir el sistema. En la Figura 1 se puede observar los límites de la zona de estudio con flechas rojas. Es fundamental aclarar, que la referencia a "límites" no supone que se trata solamente de fronteras físicas, o "adentro" y "afuera", incluye también la problemática que se va a estudiar y el aparato conceptual que se maneja, así como el tipo de fenómenos con sus escalas espaciales y temporales.

8.3.2. Elementos.

Los componentes de un sistema son interdefinibles, es decir, no son independientes sino que se determinan mutuamente. El conjunto de relaciones entre los componentes determinan la estructura, además el sistema debe incluir aquellos elementos entre los cuales se han podido detectar las relaciones más significativas. Las interrelaciones entre ellos y los elementos que quedan dentro determinan las condiciones de los límites. Los elementos del sistema suelen constituir "unidades" también complejas (subsistemas) que interactúan entre sí. Las relaciones entre los subsistemas adquieren importancia fundamental no solamente porque, ellas determinan la estructura del sistema, sino también porque cumplen también otra función en la medida en que los subsistemas de un sistema son susceptibles de ser analizados, a su vez, como sistemas en otro nivel de estudio. En tal caso, las interrelaciones entre ellos constituyen las condiciones en los límites para cada subsistema (García, 2006). En la Figura 1 se observa el ejemplo de los elementos señalados con flechas azules.

8.3.3. Estructuras.

Un gran número de propiedades de un sistema quedan determinadas por su estructura y no por sus elementos. Claro está los elementos determinan las relaciones entre ellos y, por consiguiente, la estructura. Pero las propiedades de los elementos y de la estructura corresponden a dos niveles de análisis diferentes. El énfasis en la determinación de las propiedades estructurales de un sistema no significa en modo alguno caer en posiciones estructuralistas. La diferencia con tales posiciones reside en el hecho de que, desde la perspectiva de los sistemas complejos, la identificación de las propiedades de la estructura en un período dado, que depende de la escala de los fenómenos a estudiar, adquiere importancia fundamental en el estudio de la evolución del sistema. En efecto, es la estructura del sistema quien determina su estabilidad o inestabilidad con respecto a cierto tipo de perturbaciones. La inestabilidad está, a su vez, asociada a los procesos de desestructuración y reestructuración del sistema. Son estos procesos, y no la estructura misma, quienes constituyen el objetivo fundamental de análisis. Se trata, pues, de un estudio de la dinámica del sistema y no un estudio de un estado en un momento dado (García, 2006). En la Figura 1 se observa el ejemplo de cómo está formada la estructura del sistema analizado.

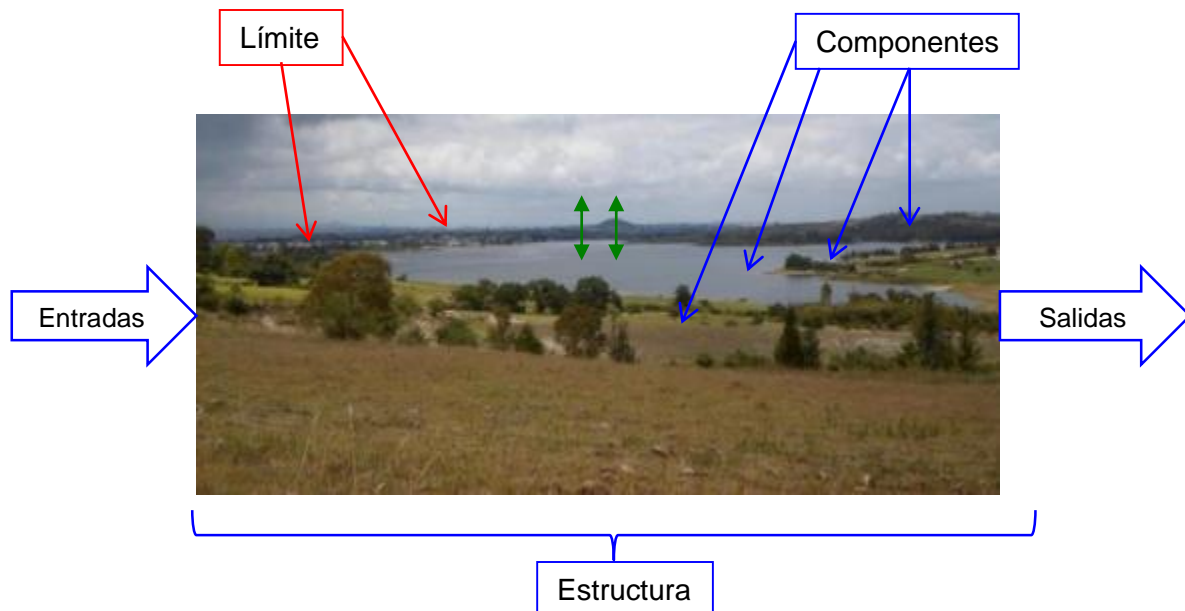


Figura 1. Representación de las interrelaciones del Sitio Ramsar No. 2027 (Presa Manuel Ávila Camacho) como sistema.

9. Ecosistema

El ecosistema es el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes. Las especies del ecosistema, incluyendo bacterias, hongos, plantas y animales dependen unas de otras. Las relaciones entre las especies y su medio, resultan en el flujo de materia y energía del ecosistema (Maass y Martínez, 1990).

El significado del concepto de ecosistema ha evolucionado desde su origen. El término acuñado en los años 1930, se adscribe a los botánicos ingleses Roy Clapham (1904-1990) y Sir Arthur Tansley (1871-1955). En un principio se aplicó a unidades de diversas escalas espaciales, desde un pedazo de tronco degradado, un charco, una región o la biosfera entera del planeta, siempre y cuando en ellas pudieran existir organismos, ambiente físico e interacciones.

Recientemente, se le ha dado un énfasis geográfico y se ha hecho análogo a las formaciones o tipos de vegetación; por ejemplo, matorral, bosque de pinos, pastizal, etc. Esta simplificación ignora el hecho de que los límites de algunos tipos de vegetación son discretos, mientras que los límites de los ecosistemas no lo son. A las zonas de transición entre ecosistemas se les conoce como “ecotonos” (Maass, 2012).

Los ecosistemas brindan diferentes servicios, los cuales no sólo son importantes para el humano, sino que además operan a gran escala, la tecnología no los puede reemplazar, se deterioran por la actividad humana, su deterioro ha alcanzado escalas globales, requieren de un gran número de especies para operar, y los servicios que se pierden por el deterioro de los ecosistemas son más valiosos que las ganancias que se obtienen por las actividades que los alteran (Daily *et al.* 1997).

Si los ecosistemas naturales constituyen el sistema de soporte de vida del planeta, y su degradación acelerada está generando la severa crisis ambiental en la que se encuentra, se vuelve imprescindible: 1) frenar el deterioro de los ecosistemas naturales; 2) restaurar los ecosistemas ya deteriorados y 3) diseñar sistemas productivos que imiten lo mejor posible a los ecosistemas naturales (Maass, 2012).

La mejor manera de definir un ecosistema es describiendo sus características y propiedades (Maass y Martínez, 1990). En primer lugar, en los ecosistemas como sistemas, esto es, en un conjunto de elementos, componentes o unidades relacionadas entre sí. Cada uno de sus componentes puede estar en diferentes estados o situaciones; el estado seleccionado del sistema, en un momento dado, es producto de las interacciones que se dan entre los componentes.

Los componentes del ecosistema son tanto bióticos como abióticos. Los componentes bióticos incluyen organismos vivos como las plantas, los animales y los microorganismos del suelo (Figura 2). Los componentes abióticos pueden ser de origen orgánico, como la capa de hojarasca que se acumula en la superficie del suelo (mantillo) y la materia orgánica incorporada en los agregados del suelo. De igual forma, los componentes abióticos incluyen elementos no orgánicos, como las partículas de suelo mineral, las gotas de lluvia, el viento y los nutrientes del suelo (Maass, 2012).

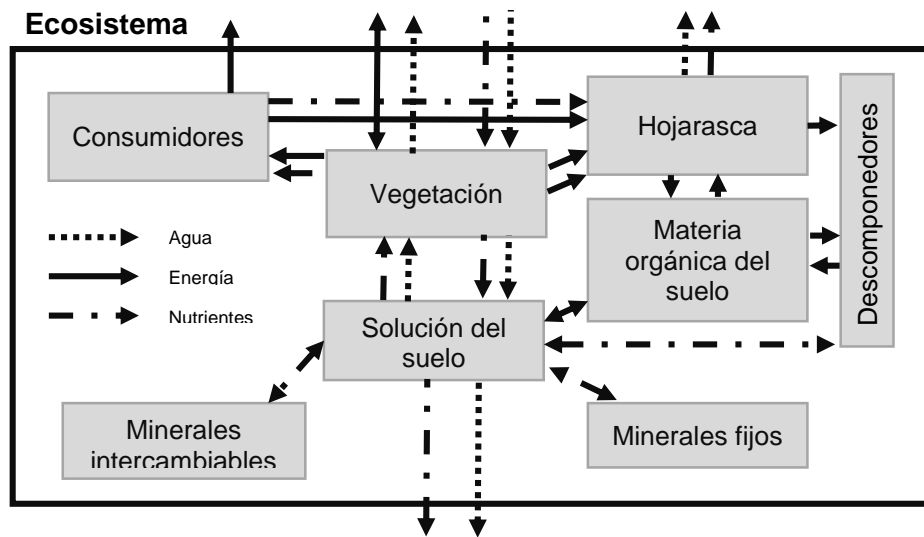


Figura 2. Modelo conceptual de un ecosistema
Fuente: Modificado de Aber y Melillo 1991.

Los ecosistemas son ambientes diversos y dinámicos. Lo que se aprecia como homogéneo y estático a una escala, se torna muy heterogéneo y cambiante a otra. Por ejemplo, un tipo de suelo parecerá relativamente homogéneo si analizamos una hectárea de terreno, pero si el estudio lo hacemos a escala de kilómetros cuadrados, nos daremos cuenta que existen una gran variedad de suelos con orígenes y propiedades marcadamente distintas. De igual forma, si analizamos la composición de especies de árboles en un bosque durante una

década, difícilmente veremos cambios significativos, sin embargo, un análisis del registro palinológico (de polen) en sedimentos lacustres, mostrará que han ocurrido cambios importantes en la composición de especies de la vegetación en lapsos de miles de años (Aber y Melillo 1991).

Los ecosistemas tienen propiedades emergentes, es decir, atributos funcionales que adquieren circunstancialmente, como producto de la interacción conjunta de sus componentes y procesos. Por ejemplo, la capacidad que tiene un ecosistema para resistir los embates de un huracán o de recuperarse después de un incendio, no es producto de una sola especie o proceso particular, sino del conjunto (Maass, 2012).

10. Humedal

Los humedales son zonas en donde el agua es el principal factor que controla el ambiente, así como la vegetación y fauna asociada. Existen en donde la capa freática se encuentra en o cerca de la superficie del terreno o donde el terreno está cubierto por agua.

La Ley de Aguas Nacionales define a los humedales como zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional, las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente 2014).

La Convención Ramsar hace uso de una definición más amplia ya que además de considerar a pantanos, marismas, lagos, ríos, turberas, oasis, estuarios y deltas, también considera sitios artificiales como embalses y salinas y zonas marinas próximas a las costas cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros, los cuales pueden incluir a manglares y arrecifes de coral (CONANP, 2013).

10.1. Clasificación de los humedales

Aunque existen varias clasificaciones de humedales, para el caso de México se adapta bien la clasificación propuesta por Berlanga *et al.* (2008) (Cuadro 1):

Los humedales como marismas, pantanos o ciénegas son ecosistemas que surgen cuando la saturación del terreno por agua produce sustratos hídricos (dominados por procesos anaeróbicos) y permite el establecimiento de biota, principalmente plantas enraizadas, con adaptaciones para tolerar la anegación (Keddy, 2004). Dadas las diferencias regionales en el régimen hidrológico, clima, procesos de formación del suelo y escenarios geomorfológicos, una vasta asociación de comunidades de plantas de humedales y tipos de suelos hídricos ha evolucionado en todo el mundo (Berlanga *et al.* 2008). Estos ambientes complejos y dinámicos se caracterizan por su alta productividad y diversidad biológica, jugando un papel fundamental al proporcionar un hábitat único para una amplia variedad de flora y fauna. Son fuente, sumidero y transformadores de materiales químicos y biológicos, ayudan a estabilizar los suministros de agua y contribuyen en la depuración de aguas contaminadas, en la protección de litorales y recarga de los mantos freáticos.

Cuadro 1. Esquema general de clasificación de humedales de México

Ámbito	Sistema	Clase
Marino-costero	Sistema Marino	Franja acuática costera Litoral
	Sistema Estuarino	Estero, laguna costera Marismas
Continental	Sistema Fluvial	Río, caverna Arroyo, riachuelo Canal
	Sistema Lacustre	Lago, ciénega, cenote Charca Cubeta inundada
	Palustre	Zanja Depresión húmeda Pantano, turbera, popal Llanura inundada Llanura húmeda Pendiente húmeda Montaña húmeda
Artificiales		Estanques de acuicultura Estanques artificiales Tierras de regadío Tierras agrícolas Zonas de explotación de sal Áreas de almacenamiento de aguas Excavaciones, canteras, piletas Áreas de tratamiento de agua Canales de transportación y de drenaje

Fuente: Berlanga *et al.* 2008.

10.2. Beneficios que aportan los humedales

Los humedales son ecosistemas altamente productivos, que proveen de variados e importantes beneficios a la sociedad. Estos beneficios pueden ser descritos como valores y servicios ambientales, funciones (recarga de acuíferos, control de inundaciones), el uso del humedal o sus productos (sitios para la colecta de especies o de investigación), o atributos del humedal (componentes estéticos, paisajes, religiosos, culturales) (Tabilo, 2003).

Los ecosistemas de humedales proporcionan una diversidad de servicios vitales para el bienestar humano y la mitigación de la pobreza (Cuadro 2). Está establecido que los servicios de aprovisionamiento de los humedales, tales como alimento (especialmente pescado) y fibra, son esenciales para el bienestar humano. Los servicios de apoyo y de regulación (como el ciclo de nutrientes) son fundamentales para mantener funciones vitales de los ecosistemas que brindan muchos beneficios a las personas. La provisión de agua dulce es un servicio directo e indirecto de particular importancia. Además, los humedales tienen importantes valores educacionales y otorgan oportunidades invaluable para la recreación y el turismo.

Cuadro 2. Servicios ecosistémicos proporcionados por los humedales.

Servicio	Comentarios y ejemplos
Humedales continentales	
Aprovisionamiento	
Alimento	Producción de pescado, caza, frutas y granos
Agua dulce	Almacenamiento y retención de agua; provisión de agua para irrigación y uso doméstico
Fibra y combustible	Producción de troncos, leña, turba, forraje, aglomerados
Productos bioquímicos	Extracción de materiales de la biota
Materiales genéticos	Medicinas; genes para la resistencia a patógenos de plantas, especies ornamentales, etc.
Regulación	
Regulación del clima	Regulación de gases de efecto invernadero, temperatura, precipitación y otros procesos climáticos; composición química de la atmósfera
Regímenes hidrológicos	Recarga y descarga de agua subterráneas; almacenamiento de agua para agricultura o industria
Control de la contaminación y detoxificación	Retención, recuperación y eliminación del exceso de nutrientes y contaminantes

Continuación Cuadro 2

Servicio	Comentarios y ejemplos
Humedales continentales	
Regulación	
Protección contra la erosión	Retención de suelos y prevención de cambios estructurales (como erosión costera, caída de barrancos, etc.)
Desastres naturales	Control de inundaciones, protección contra las tormentas
Culturales	
Espirituales y de inspiración	Sentimientos y bienestar personal; significado religioso
Recreativos	Oportunidades para turismo y actividades recreativas
Estéticos	Apreciación de las bellezas naturales
Educacionales	Oportunidades para la educación formal y no formal y para capacitación
De apoyo	
Biodiversidad	Hábitat para especies residentes o transitorias
Formación de suelos	Retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica
Ciclo de los nutrientes	Almacenaje, reciclaje, procesamiento y adquisición de nutrientes
Polinización	Apoyo a los polinizadores
Humedales costeros	
Aprovisionamiento	
Alimento	Producción de pescado, algas e invertebrados
Agua dulce	Almacenamiento y retención de agua; provisión de agua para irrigación y uso doméstico
Fibra, madera	Producción de troncos, leña, turba, forraje, combustible aglomerados
Productos bioquímicos	Extracción materiales de la biota
Materiales genéticos	Medicinas; genes para la resistencia a patógenos de plantas, especies ornamentales, etc.
Regulación	
Regulación del clima	Regulación de gases de efecto invernadero, temperatura precipitación y otros procesos climáticos; composición química de la atmósfera
Regulación biológica	Resistencia a invasiones de especies; regulación de las interacciones entre diferentes niveles tróficos; preservación de la diversidad funcional y las interacciones
Regímenes hidrológicos	Recarga y descarga de agua subterráneas; almacenamiento de agua para agricultura o industria
Control de la contaminación y desintoxicación	Retención, recuperación y eliminación del exceso de nutrientes y contaminantes
Control de la erosión	Retención de suelos

Continuación cuadro 2

Servicio	Comentarios y ejemplos
Humedales Costeros	
Regulación	
Desastres naturales	Control de inundaciones, protección contra las tormentas
Culturales	
Espirituales y de inspiración Recreativos	Sentimientos y bienestar personal Oportunidades para turismo y actividades recreativas
Estéticos Educativos	Apreciación de las bellezas naturales Oportunidades para la educación formal y no formal y para capacitación
De apoyo	
Biodiversidad Formación de suelos	Hábitat para especies residentes o transitorias Retención de sedimentos y acumulación de materia orgánica
Ciclo de los nutrientes	Almacenaje, reciclaje, procesamiento y adquisición de nutrientes

Fuente: Tabilo, 2003.

A pesar de la importancia económica, ecológica y cultural de los ecosistemas, estos siguen siendo afectados por los procesos de cambio provocados, por el cambio climático global (como el aumento del nivel del mar, las sequías y las inundaciones) y por el cambio en el uso del suelo, principalmente a través de la intensificación de la agricultura y el crecimiento urbano. Los humedales tienen un alto grado de complejidad biológica, que los hace realmente vulnerables al cambio. La mayoría de las transformaciones de los humedales costeros e interiores, se deben a cambios en el hábitat que tuvieron un mayor impacto sobre la biodiversidad en el siglo pasado (CONANP, 2013).

11. El suelo como ecosistema

El suelo es uno de los ecosistemas más complejos de la naturaleza contiene organismos que interactúan e intervienen en los ciclos globales que hacen posible toda forma de vida. En ningún lugar en la naturaleza están las especies tan densamente concentradas como en las comunidades del suelo. Como ejemplo, un solo gramo de suelo puede contener millones de individuos y varios miles de especies de bacterias. La biota del suelo incluye también las raíces que crecen en él e interactúan con otras especies sobre y bajo tierra (FAO, 2002).

Considerar al suelo como un ecosistema, es una nueva visión global, que permite conocer a mejor detalle los diversos subsistemas y ciclos que lo forman, pudiendo así obtener conclusiones de manejo y diseño de sistemas agrarios que puedan ser sustentables en el tiempo.

El suelo es fundamental, la estructura y funciones de sus componentes son básicas para los necesarios intercambios de energía y nutrientes que se producen en este medio y que permiten la continuidad de todo el sistema (FAO, 2002).

Como en todos los ecosistemas el ciclo de la materia y el ciclo de la energía están vigentes, y existen niveles distintos en las cadenas alimentarias (productores, consumidores primarios, consumidores secundarios, descomponedores). Todos los elementos que hay en este ecosistema están relacionados, de tal manera, que existen relaciones muy fuertes de dependencia, de parasitismo y de competencia. Cada hueco del suelo, o cada centímetro cúbico del mismo es un verdadero ecosistema donde habitan una serie de especies macro y microscópicas que van a permitir que la materia esté siempre circulando (Porcuna *et al.* 2010).

En la agricultura, el uso de abonos verdes, la labranza de conservación y las prácticas que contribuyen al aumento de la cubierta vegetal, como el uso de cultivos perennes impiden además la erosión (FAO, 2000). Por otro lado, la labranza convencional produce pérdidas de carbono orgánico del suelo (COS) al aumentar la descomposición y mineralización de la biomasa, debido a una mayor aireación y mezclado de los residuos vegetales. De esta manera, el COS previamente protegido por los agregados, queda expuesto a las pérdidas por erosión. La labranza de conservación aumenta el contenido de carbono en la capa superficial del suelo como consecuencia de la protección física que los agregados ejercen sobre la materia orgánica (Martínez *et al.* 2008). En estos sistemas, la mayor estabilidad de los agregados conjuntamente con la constitución de un mantillo de residuos vegetales incipiente, se traducen en una disminución del riesgo de erosión. Aunado a esto, dos actividades que tienen el potencial de afectar a los sumideros de carbono terrestres a escalas grandes y suficientes para estabilizar la concentración de dióxido de carbono (CO₂) de forma rápida, son la reforestación masiva y un alto a la deforestación (Galicia *et al.* 2016).

12. Convenio de RAMSAR

La Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional, llamada la Convención de Ramsar, es un tratado intergubernamental que sirve de marco para la acción nacional y la cooperación internacional en pro de la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos.

El convenio fue negociado en el año de 1960 por los países y organizaciones no gubernamentales preocupados por la creciente pérdida y degradación de los hábitats de humedales de las aves acuáticas migratorias, el tratado se adoptó en la Ciudad Iraní de Ramsar en 1971 y entró en vigor en 1975 (Ramsar s.f.).

La Convención emplea una definición amplia de los tipos de humedales abarcados por esta misión, incluidos pantanos y marismas, lagos y ríos, pastizales húmedos y turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, zonas marinas próximas a las costas, manglares y arrecifes de coral, así como sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, embalses y salinas (Ramsar s.f.).

En México el órgano encargado de los sitios RAMSAR, con apego a sus atribuciones, es la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), como órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), tiene el mandato de conservar las áreas naturales protegidas de ámbito Federal, entre ellas los ecosistemas de humedal, además de desempeñarse desde 2003 como el Punto Focal de la Autoridad Administrativa Ramsar en México, para los sitios inscritos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional (Lista Ramsar) (CONANP, 2013).

METODOLOGÍA

13. Metodología

Se hace uso de una metodología comparativa, ya que se realiza un análisis de la información en periodos de tiempo (Figura 3):

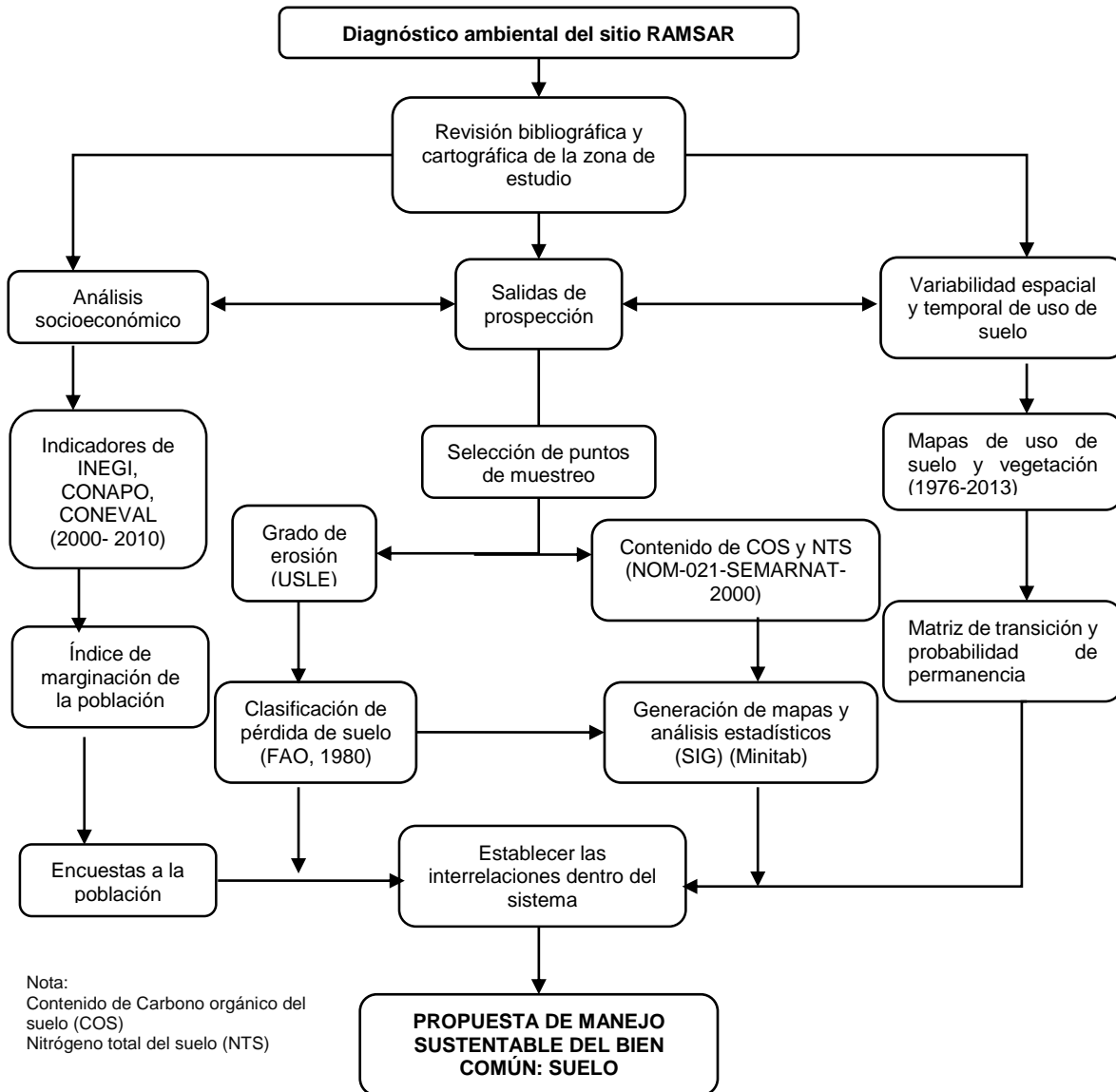


Figura 3. Diagrama metodológico del trabajo de tesis.

13.1. Caracterización del Sitio Ramsar

En esta etapa se realizó un inventario detallado de bien común vegetación y suelo, además de las condiciones biofísicas y socioeconómicas del sitio Ramsar y sus interrelaciones. Está dirigida fundamentalmente a cuantificar las variables que tipifican al sitio, con el fin de establecer la vocación, posibilidades y limitaciones de sus recursos y las condiciones socioeconómicas de las comunidades que la habitan; constituye una base sobre el cual se edifica la planificación e implementación de este proceso. Esta caracterización cumple tres funciones: a) describir y tipificar las características principales del sitio, b) servir de información básica para definir y cuantificar el conjunto de indicadores que sirven de línea base para el seguimiento, monitoreo y evaluación de resultados e impactos de la estrategia en el manejo del sitio, y c) servir de base teórica para el diagnóstico, donde se identificaron y priorizaron los principales problemas de la zona, así como sus causas, consecuencias y soluciones.

La recopilación de datos poblacionales y características de la zona en base a fuentes del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Consejo Nacional de Población (CONAPO), así como también de los habitantes de las localidades que se encuentran dentro del sitio.

13.1.1. Recopilación bibliográfica

En esta etapa se realizó la recopilación de toda la información disponible del área de estudio; dicha información se obtuvo de: publicaciones sobre investigaciones realizadas, mapas temáticos (vegetación, suelos, relieve, hidrología, paisajes, geológicos, etc.); mapas cartográficos (diferentes escala 1: 25 000; 1: 50 000; 1: 100 000 y 1: 250 000), datos básicos a diferentes niveles de procesamiento (hidrológicos, climáticos, geológicos, entre otros) (INEGI, 2009), sistemas de información geográfica y estadísticas realizadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

La información obtenida se respaldó, comprobó y actualizó con salidas prospectivas que se realizaron en campo, así como con información documentada que comprende la zona de estudio, finalmente se elaboró una base de datos en el Sistema de Información Geográfica Arc View Gis (ESRI,1999), a partir de la cual se elaboraron los mapas correspondientes a

cada temática.

Para la caracterización climática se recabó la información de las cartas temperatura y precipitación, así como de la red de estaciones meteorológicas ubicadas dentro y a 50 km del sitio Ramsar, donde se obtuvieron los registros históricos de los indicadores que se enuncian en el Cuadro 3. Con la información obtenida se realizó el climograma correspondiente al tipo de clima, durante el periodo de 1976 y 2015.

Cuadro 3. Indicadores climáticos.

Precipitación promedio mensual

Precipitación promedio anual

Temperatura máxima

Temperatura mínima

Temperatura promedio

13.1.2. Análisis de la población del sitio RAMSAR.

La caracterización socioeconómica del Sitio Ramsar No. 2027, se basó en la obtención de indicadores del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática en el XII Censo general de población y vivienda de los años 2000, 2005 y 2010 a nivel localidad del estado de Puebla (Cuadro 4). Además se obtuvo información del Consejo Nacional de Población (2005 y 2010) sobre los índices y grados de marginación a nivel de localidad.

Cabe resaltar que los datos que se presentan sobre la población en cada indicador obtenido resultan de la suma de los datos de las 24 comunidades (Cuadro 4) que son parte del Sitio Ramsar No. 2027.

Cuadro 4. Comunidades ubicadas dentro del Sitio Ramsar No. 2027

Municipio	Localidad
Puebla	*Heróica Puebla de Zaragoza
	Áfricam Safari
	El Oasis Valsequillo
	*San Baltazar Tetela
	*Guadalupe Victoria Valsequillo
	San José Chapulco
	Buenavista Tetela
	Las Playas
	Calderón (Crucero el Oasis)
	Guadalupe
	*San Pedro Zacachimalpa
	Los Ángeles Tetela
	San Antonio Arenillas
	*Santa María Guadalupe Tecola
	Santo Tomás Chautla
	*Resurgimiento Atotonilco
	Toluquilla (Los Cantiles)
	La Libertad Tecola
	*La Paz Tlaxcolpan
	*San José el Aguacate
San José Xacxamayo	
San Andrés Azumiatla	
San José Zetina	
San José el Rincón	
*Torija	

Fuente: INEGI 2000, 2005, 2010.

Nota: *Localidades consideradas para la encuesta.

13.1.3. Dinámica de cambio de uso de suelo

El periodo de estudio se basa en la cartografía disponible para el análisis del cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo provienen del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática para las fechas 1976, 1993, 2003, 2010 y 2013 (INEGI), así como del Inventario Nacional Forestal para el año 2000 (IGEO-INE, 2002). A través de cruces y aplicaciones en el sistema de información geográfica (SIG) Arc View 3.2a, se generaron mapas de cambio y se lograron detectar las modificaciones en la cobertura vegetal en el tiempo analizado para cada polígono. El Cuadro 5 presenta el sistema de clasificación que se siguió, así como los diferentes tipos de vegetación y uso del suelo.

Cuadro 5. Leyenda jerárquica de uso del suelo (1976-2013).

Formación	Tipos de cobertura y uso del suelo	Clave
Bosques	Bosque de Encino	BE
	Bosque Encino con vegetación secundaria arbórea	BEa
	Bosque Encino con vegetación secundaria arbustiva	BEA
Pastizal	Pastizal inducido	PI
Cultivos	Agricultura de Temporal	AT
Otros	Cuerpos de agua	CUA

Fuente: INEGI 1976, 1993, 2000, 2003, 2010, 2013.

El análisis de la tasa de cambio de las coberturas de uso del suelo y vegetación durante el periodo 1976-2000 se realizó con la siguiente ecuación utilizada por FAO (1995):

$$t = 1 - [1 - (S_1 - S_2/S_1)]^{1/n}$$

Donde t es la tasa de cambio, S_1 y S_2 son las superficies de las coberturas de uso de suelo y vegetación en el tiempo inicial (1976) y tiempo final (2013), respectivamente. La variable n equivale a la amplitud del período evaluado.

Se construyó una matriz de transición, la matriz se describe como una tabla con arreglos simétricos que contiene en uno de los ejes los tipos de vegetación y usos del suelo en el primer año base y en el otro eje (segundo año) estos mismos tipos. Dada una de las celdas de la diagonal principal de la matriz representa la superficie en hectáreas de cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo que permanece en la misma categoría durante el periodo considerado, mientras que en el resto de las celdas se estimó la superficie de una determinada cobertura o tipo de uso del suelo que pasó a otra categoría (López, 1999), lo que permite entender la dinámica de cambio en la cobertura y uso de suelo a nivel local y/o regional.

A partir de la matriz de transición se elaboró la matriz de probabilidad de transición para cada una de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo seleccionadas. Esta matriz surgió de dividir cada una de las celdas de la matriz de transición que representa la superficie en hectáreas de cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo entre el total de la superficie de la clase analizada.

Se consideró que la probabilidad de transición (P_{ij}) de cada clase de la matriz es proporcional a la superficie remanente de la misma clase entre 1976 y 2013. Su expresión matemática es:

$$P_{ij} = S_{ij}(1976)/S_j(2010)$$

Donde:

S_{ij} = Superficie del elemento "ij" de la matriz de transición de cobertura/uso del suelo en 1976.

S_j = Superficie de la clase de cobertura/uso del suelo "j" en 2013.

$$\sum P_{ij} = 1$$

Para la interpretación de los datos se utilizaron las siguientes clases de probabilidad: 0-33% (baja), 34-66% (media) y 67-100% (alta) (Sánchez *et al.*, 2003). Finalmente se llevó a cabo una serie de salidas al campo durante los meses de Febrero (2014) a Febrero (2015) con el objeto de establecer, por un lado reconocimientos generales de la zona, y por otro, para verificar los datos contenidos en las bases de datos empleadas.

13.1.4. Diagnóstico edáfico

Para estimar las pérdidas de suelo en toneladas/hectárea/año (t/ha/año) se siguió la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) establecido por Wischmeier y Smith (1978), y representa la metodología más idónea para el cálculo de las pérdidas de suelo en tierras agrícolas. De acuerdo a la USLE, la tasa de pérdidas de suelo por erosión hídrica, A , es una función de: el poder erosivo de la lluvia, R ; la erodabilidad de los suelos, K ; la cobertura vegetal, C ; la práctica conservacionista, P y el factor combinado de la pendiente y la longitud de la misma, LS ; todos estos factores conforman la USLE, la cual se expresa matemáticamente como:

$$A = RKCLPS$$

De estos factores, R no puede ser modificado; K depende fuertemente de la textura de los suelos, la cual no puede ser fácilmente mejorada. C , P y LS pueden ser cambiados mediante prácticas agronómicas comunes, como desechos y mejoramiento de los sistemas de siembra, barreras vegetativas, o con obras de conservación de suelos como terrazas, zanjas o acequias de ladera. La modificación del factor P está íntimamente ligado a la

reducción de la longitud de pendiente, **L**. Por último, la pendiente, **S**, sólo puede ser modificada mediante obras de estabilización del terreno, tales como terrazas. En función de las pérdidas de suelo en toneladas/hectárea/año, se categoriza el grado de erosión según el Cuadro 6:

Cuadro 6. Evaluación de la degradación de los suelos, establecida por la FAO.

Grado	Pérdida de suelo t/ha/año	Grado de erosión
1	< 5	Nula
2	5 – 10	Ligera
3	10 – 50	Moderada
4	50 – 200	Severa
5	> 200	Muy Severa

Fuente: FAO-PNUMA-UNESCO, 1980

13.1.5. Determinación del contenido de carbono orgánico y nitrógeno total del suelo

Para establecer los puntos de muestreo, se utilizó como base, la cartografía de INEGI (serie V) de clases de vegetación del año 2013. Se realizó un recorrido previo a la zona para conocer e identificar las zonas del sitio, así como para corroborar la información de gabinete, en la Figura 4 se observa las diferencias del paisaje que presenta el Sitio Ramsar.

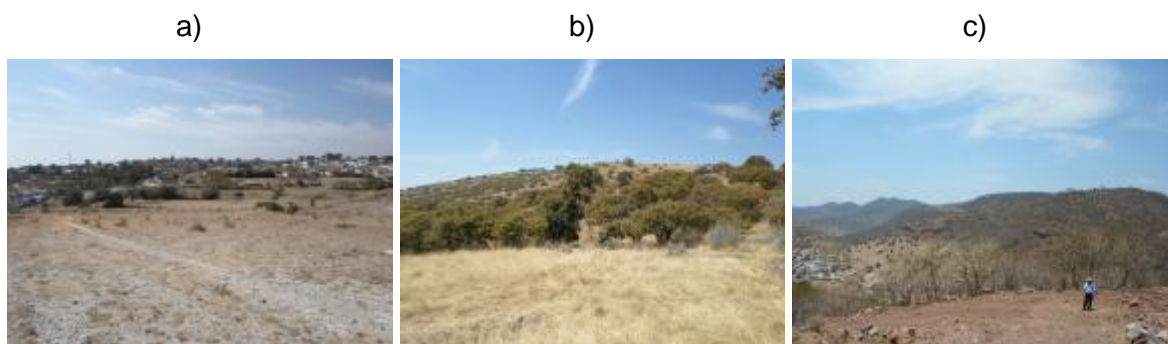


Figura 4. Reconocimiento del sitio Ramsar.

El trabajo de campo se realizó de enero a diciembre del 2014 y de Enero a Marzo del 2015. Los muestreos se recolectaron en tres temporadas (Febrero y Junio de 2014; Febrero de 2015) y se seleccionaron un total de 40 puntos. El muestreo consistió en tomar una porción de suelo a dos profundidades de 0-10 y 10-20 cm. Las muestras se introdujeron en bolsas de plástico, se rotularon y se trasladaron a laboratorio en donde se pusieron a secar para su posterior análisis (Vergara, 2004).

La densidad aparente (D_a) del suelo se evaluó *in situ* en muestras no alteradas de suelo utilizando cilindros de 7 cm de diámetro y 6 cm de altura, mediante el método del cilindro propuesto por Blake y Hartge (1986).

Una vez secas las muestras se molturaron en un mortero de porcelana y se tamizaron en una criba con malla 10 mm; posteriormente se guardaron en bolsas de plástico para su posterior procesamiento físico-químico.

El contenido de carbono orgánico total del suelo (COS) se evaluó por el método propuesto por Walkley y Black (NOM-021-SEMARNAT-2000). Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_4$) y ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). Para evitar interferencias por los iones de Fe^{3+} se adiciona ácido fosfórico terminada la reacción, y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso ($FeSO_4$ 1N. pH 7) (NOM-021-SEMARNAT-2000). Obteniéndose como resultado final el % CO en la muestra.

La determinación del nitrógeno total se realizó por el método de micro-Kjeldahl (NOM-021-SEMARNAT-2000) que involucra dos pasos: a) digestión de la muestra para convertir el nitrógeno a NH_4^+ y b) la determinación de NH_4^+ en la digestión. La digestión de la muestra es desarrollada por calentamiento de la muestra con ácido sulfúrico concentrado, sulfato de potasio (K_2SO_4), y catalizadores de cobre y selenio, que promueve la oxidación de la materia orgánica y la conversión del nitrógeno orgánico a iones amonio. El amonio en el digestado destilado y determinado por titulación con álcali.

El Contenido de carbono orgánico total y nitrógeno total del suelos por superficie se calculó con base en la ecuación propuesta por González *et al.* (2008):

$COS = CO (Da) Ps,$

$NTS = NT (Da) Ps,$

Donde:

COS= Carbono orgánico total en suelo por superficie (t/ha);

NTS= Nitrógeno total del suelo por superficie (t/ha)

CO= Carbono orgánico total (%);

NT = Nitrógeno total (%)

Da = Densidad aparente (t/m³);

Ps = Profundidad del suelo (m)

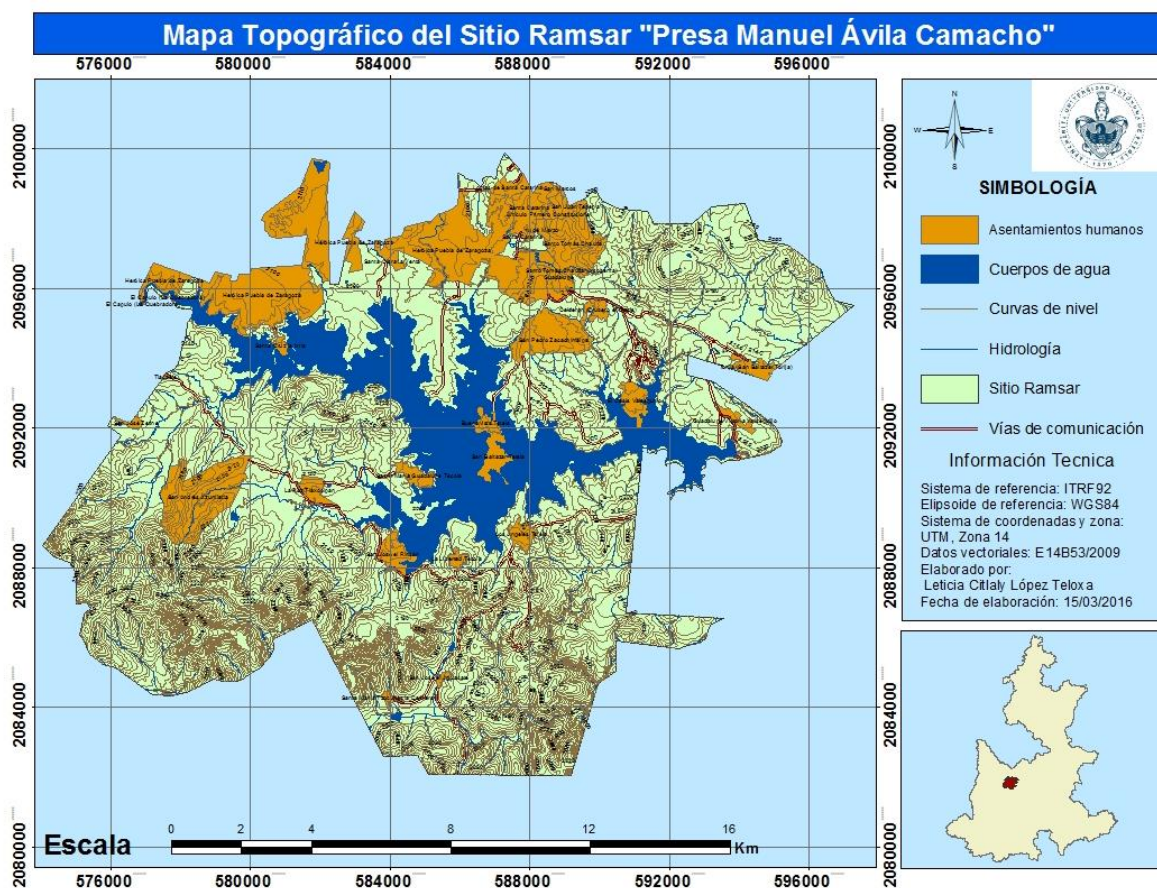
13.2. Análisis estadístico

La estadística descriptiva se realizó para cada muestreo, tipo de vegetación y suelo. Las pruebas de hipótesis se realizaron mediante una ANOVA de dos vías. La regresión lineal múltiple y coeficiente de correlación de Pearson, se emplearon para relacionar el almacenaje de carbono con cada variable evaluada ($p < 0.05$). Todas las pruebas se realizaron con el paquete estadístico Minitab 6.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

14. Ubicación de la zona de estudio

La Presa Manuel Ávila Camacho (Presa Valsequillo) y su zona de influencia, presenta una delineación de sus límites de forma irregular; el límite norte pasa por el extremo sur de la mancha urbana de la ciudad de Puebla; al este pasa por la cortina de la Presa Valsequillo; al sur corta por la Sierra del Tentzo; y al oeste intersecta el Río Atoyac donde éste entra a la Presa Valsequillo. También es pertinente mencionar que los límites este, oeste y sur del sitio coinciden con el límite del municipio de Puebla (Mapa 1).



La Presa Valsequillo se localiza en el estado de Puebla, en la parte sur del municipio de Puebla, en la Cuenca del Alto Balsas e incluye un valle aluvial formado por el Río Atoyac, sus coordenadas son al Centro de la Presa: 018°54'60 Norte / 098°10'58 Oeste. El sitio Ramsar consta de 24,042 hectáreas, de las cuales 2,832 ha pertenecen a la Presa Manuel Ávila Camacho; es el cuerpo de agua permanente más grande en el estado de Puebla.

15. Caracterización del sitio RAMSAR

15.1. Geología

La distribución de las unidades litológicas del sitio RAMSAR de acuerdo a INEGI (2009), se observan en el Mapa 2.

Gran parte de la superficie de la zona está representada por unidades pertenecientes al terciario superior, las cuales son principalmente rocas ígneas extrusivas (intermedia, básicas y volcanoclásticas). Las unidades intermedias constituyen la base del paquete de rocas volcánicas de la región de la faja volcánica mexicana o eje neovolcánico; incluye a varias unidades de composición andesítica de diversa textura, como brechas volcánicas, tobas y derrames, que sobreyacen discordantemente a rocas sedimentarias del Mesozoico.

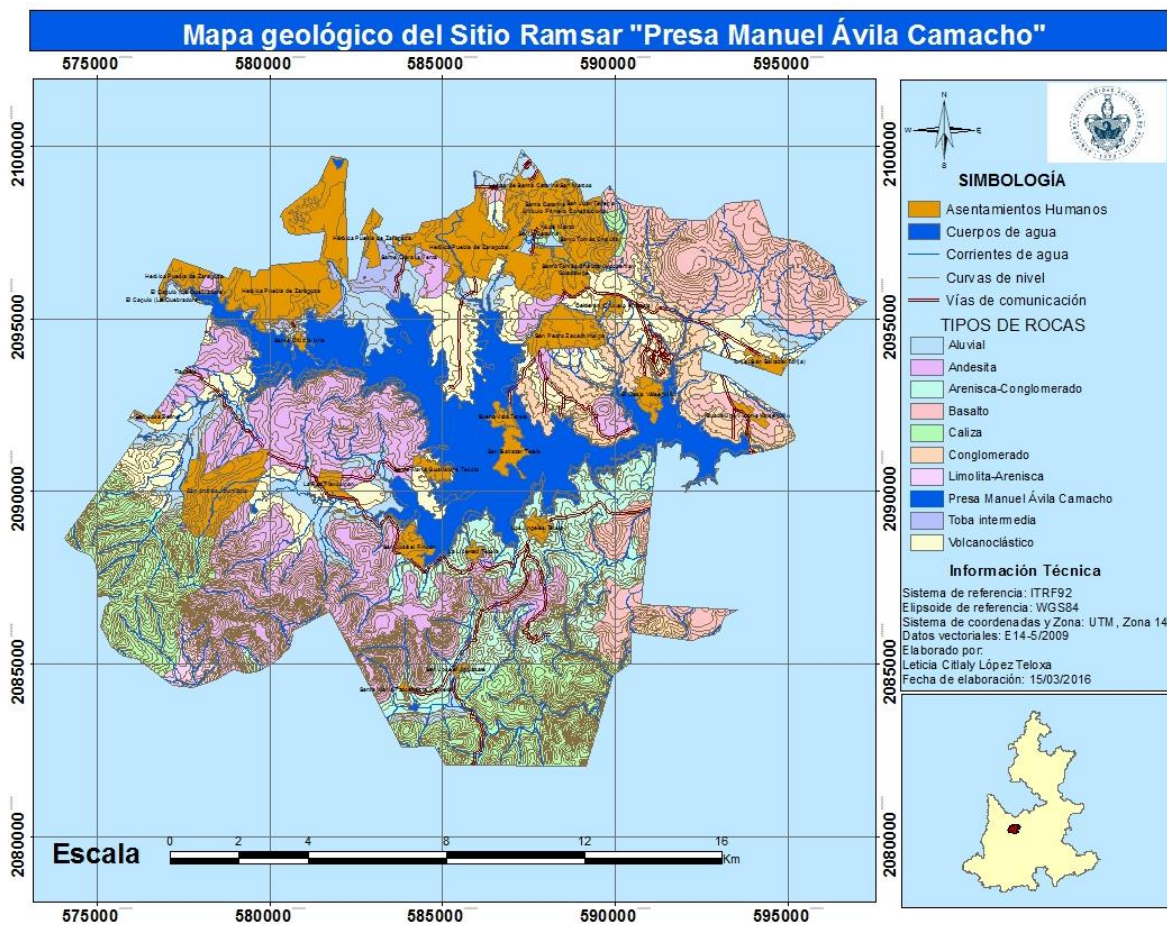
Por otro lado las unidades básicas se caracterizan por basaltos, brechas y depósitos piroclásticos, y por último, las volcanoclásticas son aquéllas producidas por actividad volcánica, generalmente explosiva, seguida de una remoción de materia.

Otra sección al sur-oeste de la zona, que también pertenece al terciario superior específicamente al plioceno, donde la unidad litológica es roca sedimentaria (arenisca-conglomerado). Los conglomerados y areniscas se formaron en el lecho de antiguos ríos como resultado de la consolidación de cantos rodados y arenas, respectivamente.

Al centro de la zona de estudio, en una pequeña superficie, el terciario inferior también se ve representado en la zona por las rocas sedimentarias específicamente está constituida por conglomerados rojos y calcáreos, con interdigitaciones y superposiciones de paquetes de areniscas y limolitas. Los conglomerados en su mayoría son masivos y bien compactados, compuestos por fragmentos de calizas, dolomías, areniscas, pedernal y rocas ígneas. Esta

unidad contiene intercalaciones de derrames de basalto y andesita, pertenece a la formación Balsas y aflora en varias zonas, al sur del estado.

El cretácico superior e inferior, al noreste y sur de la zona de estudio, respectivamente, se hacen presentes con la unidad de roca sedimentaria, la primera de ellas con rocas calizas, consiste en caliza microcristalina color gris crema, de facies que varían de talud a prearrecifal, y la última, con rocas tipo limolita y arenisca está formada por lutita calcárea intercalada con gruesos bancos de caliza fosilífera, y por lutita y arenisca calcárea con abundante fauna de moluscos, equinodermos, celenterados y otros organismos marinos.



Mapa 2. Mapa geológico del sitio RAMSAR.
Fuente: Elaboración Propia.

15.2. Edafología

De acuerdo a INEGI (2009), en el sitio RAMSAR “Presa Manuel Ávila Camacho”, se presentan 6 unidades de suelo (Mapa 3).

Cambisol

Los Cambisols combinan suelos con formación al menos de un horizonte subsuperficial incipiente. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructura y coloración principalmente parduzca, el aumento de porcentaje de arcilla, y/o remoción de carbonatos. Generalmente constituyen buenas tierras agrícolas y se utilizan intensivamente. La textura de estos suelos es de migajón arenoso en la superficie y de migajón arcilloarenoso a medida que aumenta la profundidad. Su capacidad de intercambio catiónico es moderada, pero cuando las capas son arenosas es baja; las partículas en las que se realiza este intercambio se encuentran saturadas con cantidades moderadas a altas de calcio y magnesio y moderadas de potasio; son ligeramente ácidos o ligeramente alcalinos (IUSS Working Group WRB, 2015). Estos suelos se localizan en la zona noroeste de la presa Manuel Ávila Camacho, abarcando aproximadamente el 10% de la superficie total y se desarrollan bajo pastizal inducido, principalmente.

Feozems

Suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Se caracteriza por tener un horizonte superficial oscuro, rico en humus y menos rico en bases; están libres de carbonatos secundarios o los tienen sólo a mayores profundidades (IUSS Working Group WRB, 2015). Estos suelos se localizan al este del sitio Ramsar y al suroeste de la Presa Manuel Ávila Camacho, abarcan aproximadamente el 10% de la superficie total del sitio. Su profundidad es muy variable. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, como los que se encuentra al este del Sitio. Los Feozems menos profundos, situados en laderas o pendientes, presentan como principal limitante la roca o alguna cementación muy fuerte en el suelo, además se erosionan con facilidad, sin embargo, pueden utilizarse para el pastoreo o la ganadería con resultados aceptables, como los que se encuentran al suroeste de la Presa (INEGI, 2004).

Leptosoles

Los Leptosols comprenden suelos muy delgados sobre roca continua, se desarrollan en regiones montañosas y son extremadamente ricos en fragmentos gruesos; son un recurso potencial para el pastoreo en temporada húmeda y como terrenos forestales. La erosión es su mayor amenaza, ya que se desarrollan en pendientes pronunciadas; sin embargo, presentan una mayor fertilidad en colinas que en terrenos llanos. Algunos cultivos podrían ser desarrollados en dichas pendientes pero a costa de una severa erosión, pero si se da un manejo adecuado como el cultivo en terrazas, la remoción de piedras a mano y el uso de éstas como frente de terrazas, podrían reducir este problema (IUSS Working Group WRB, 2015). A este grupo de suelos forman parte los Litosoles y las Rendzinas que se encuentran dentro del Sitio Ramsar.

Litosol

Los litosoles son suelos extremadamente delgados, menores de 10 cm, limitados en su profundidad por un estrato rocoso o tepetate. Esta escasa profundidad se debe, frecuentemente, a las condiciones topográficas de las zonas donde se desarrollan, pues las pendientes abruptas no permiten la acumulación de las partículas del suelo a medida que éstas se forman (IUSS Working Group WRB, 2015). La vegetación que los cubre en el sitio Ramsar es bosque de encino con vegetación secundaria (sur-oeste) y Pastizal inducido (noreste), principalmente, en este último se realiza el pastoreo. Abarcan aproximadamente el 15% de la superficie total del sitio.

Rendzinas

Las Rendzinas se caracterizan por su formación sobre materiales con abundantes cantidades de carbonatos de calcio como las rocas calizas, algunas lutitas y conglomerados, por lo cual tienen cantidades altas a muy altas de calcio. El horizonte superficial tiene un espesor entre 15-50 cm; debido a la formación de complejos órgano-minerales entre el calcio del suelo y la materia orgánica, se ha producido la melanización u oscurecimiento, dando colores oscuros como el pardo grisáceo y el gris. Su utilización se ve restringida ya que se encuentran limitados por un lecho rocoso o una capa de caliche a menos de 50 cm de profundidad; además, el que se encuentren en sierras y lomeríos

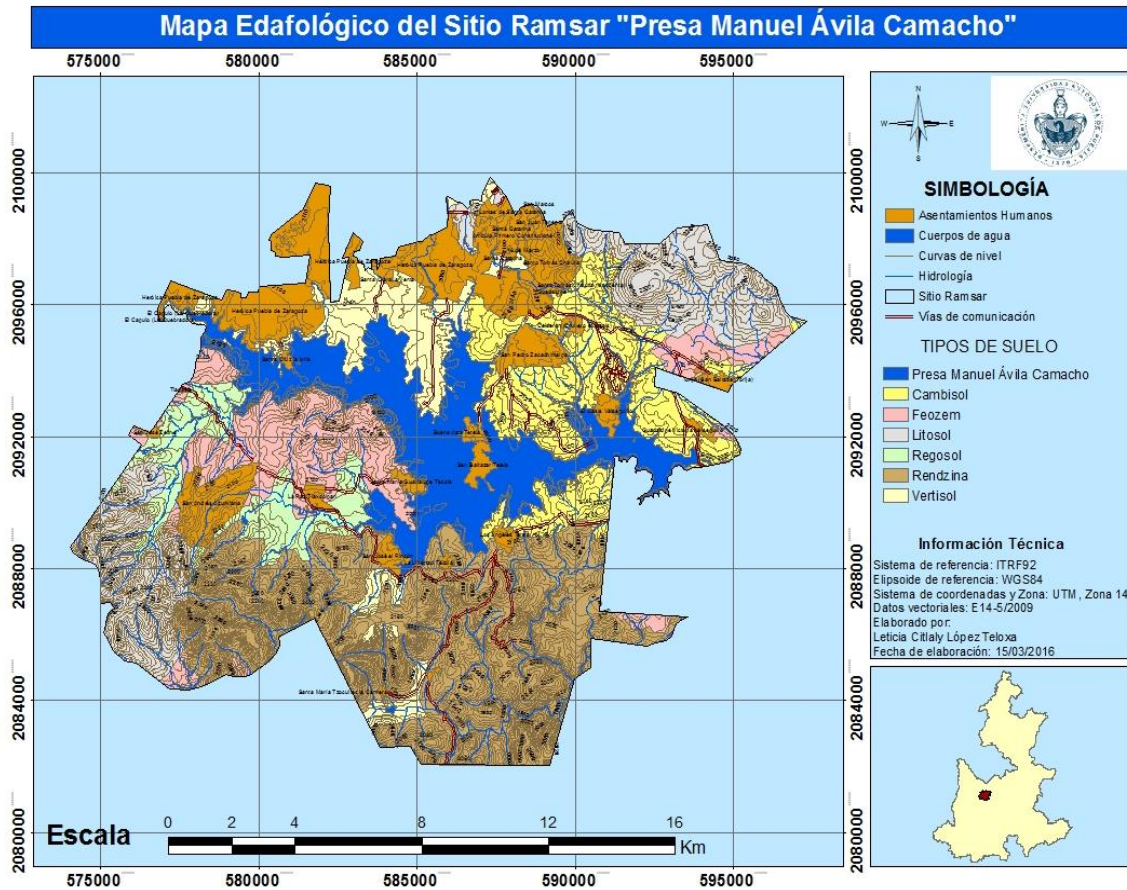
representa graves riesgos de erosión (IUSS Working Group WRB, 2015). Estos suelos se localizan al suroeste del Sitio Ramsar, abarcando aproximadamente el 40% de la superficie este; se desarrolla bajo pastizal inducido, agricultura de temporal, y sustentan bosques de encino, éste último, predomina como uso de suelo.

Vertisol

Estos suelos se caracterizan porque forman profundas y anchas grietas desde la superficie hacia abajo cuando se secan, lo cual sucede en la mayoría de los años. Esto se debe a el alto contenido de arcillas expandibles (montmorillonita); se han originado de rocas areniscas, calizas o ígneas básicas, las cuales al ser intemperizadas forman materiales moderadamente finos o muy finos. El color que presentan es gris oscuro a pardo. Son de ligera a moderadamente alcalinos, con una capacidad de intercambio catiónico alta o muy alta y están completamente saturados con cantidades muy altas de calcio, altas a muy altas de magnesio y bajas a moderadas de potasio. Dichas características les proporcionan una alta fertilidad; sin embargo, su utilización en las actividades agropecuarias se ve limitada con frecuencia (IUSS Working Group WRB, 2015). En el sitio Ramsar, estos suelos se desarrollan bajo pastizal inducido y agricultura de temporal, abarcan aproximadamente el 8% de la superficie, se localizan al norte del sitio, colindando con la mancha urbana, y en pequeños sectores al sur del mismo, rodeado por las Rendzinas; tienen gran potencial agrícola, pero un manejo adecuado es una condición previa para la producción sostenida, ya que sus características físicas pueden causar problemas de manejo (INEGI, 2004).

Regosol

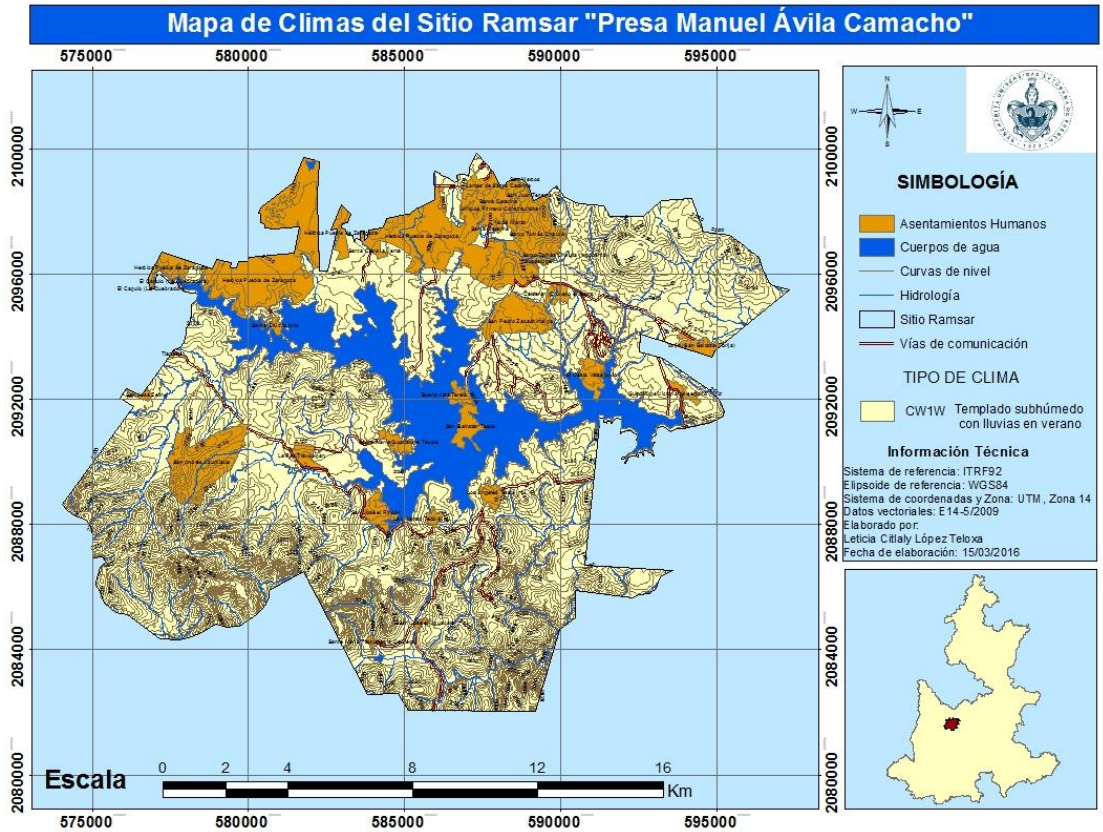
Estos suelos se caracterizan por tener poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí; son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. Se ubican en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve (IUSS Working Group WRB, 2015). Se localizan al este y oeste de la localidad de San Andrea Azumiatla, abarcan aproximadamente el 8% de la superficie, del Sitio Ramsar, bajo zonas de agricultura de temporal. Por sus características, frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad, así como también a la cantidad de lluvia que cae, ya que necesitan de riego para la producción de cultivos satisfactorios (INEGI, 2004).



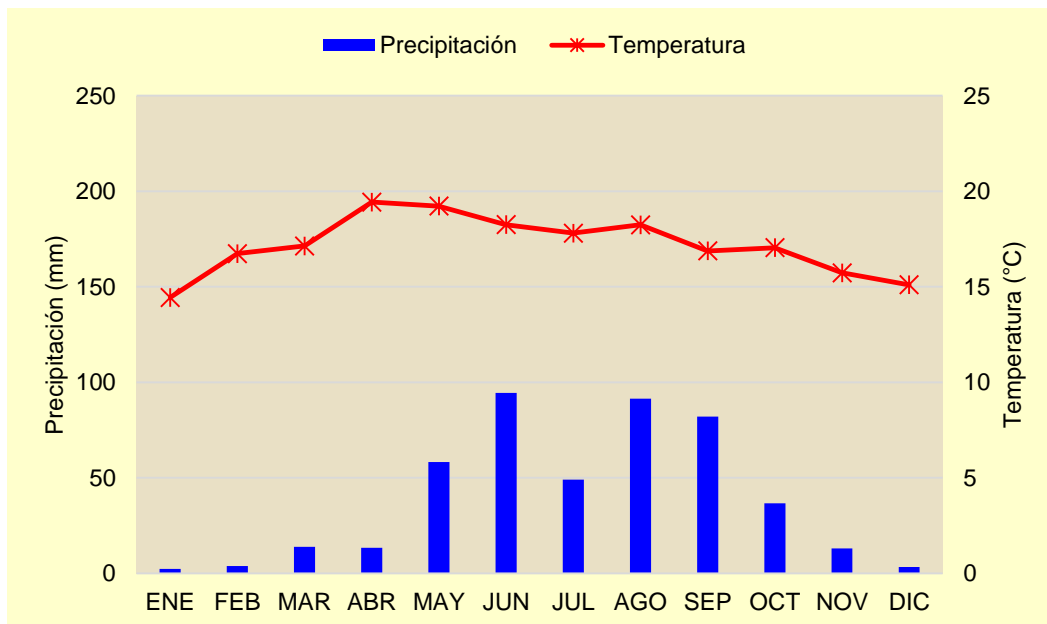
Mapa 3. Distribución de los suelos del sitio RAMSAR
Fuente: Elaboración Propia.

15.3. Clima

El clima de la zona de estudio es templado subhúmedo con lluvias en verano (Mapa 4). Se caracteriza por tener un periodo marcado de lluvias de mayo a octubre con promedio anual de 700 a 800 mm (INEGI, 2009); sin embargo, de acuerdo a datos obtenidos de las estaciones ubicadas dentro del sitio, la precipitación media anual es de 94.51 mm, y la temperatura media anual es de 17 °C (Gráfica 1). De acuerdo al sondeo realizado a la población, esto parece ser una limitante para los agricultores, ya que no pueden sembrar durante todo el año porque no tienen los recursos necesarios, como el riego, para hacerlo, por lo que deben esperar a la temporada de lluvia.



Mapa 4. Clima en el Sitio RAMSAR.
Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica 1. Temperatura y precipitación promedio mensual registrada para el periodo 2012-2017
FUENTE: Estaciones: San Andrés Azumiatla, AFRICAM. Clima y Urbanización en el Valle de Puebla. Departamento de Investigaciones Arquitectónicas y Urbanísticas (DIAU). Departamento de Apoyo en Ciencias Aplicadas (DACA-VIEP). Universidad Autónoma de Puebla.

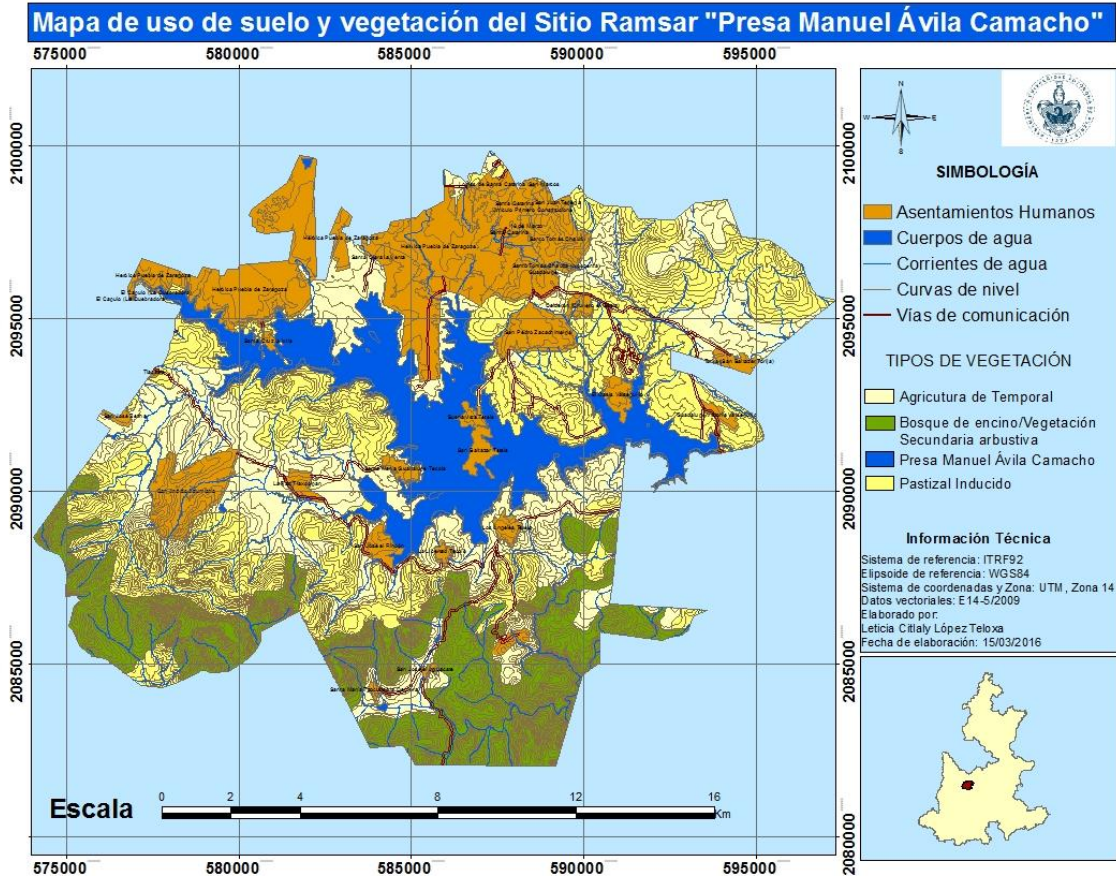
15.4 Vegetación y uso actual

En la zona de estudio, la agricultura de temporal se encuentra en diversas áreas, su máximo desarrollo se presenta hacia la región centro-norte (Mapa 5). En gran parte de los bosques, donde las condiciones climáticas son favorables, se han establecido pastizales y, en menor grado, cultivados, que sostienen una ganadería no muy vigorosa, sin embargo es aquí donde este tipo de actividad encuentra su mejor desarrollo (INEGI, 1999).

De acuerdo a INEGI (2009) la zona se caracteriza por una amplia distribución de agricultura de temporal en la parte central del sitio, así como en la parte sur y una combinación entre esta y pastizal inducido. Al oeste del sitio se encuentran áreas únicamente de pastizal; al norte se observa bosque de encino con vegetación secundaria y una combinación de este con pastizal inducido al sur colindando con los límites de sitio. Sin embargo, el 75 % de la superficie ha perdido su vegetación original, que de acuerdo a las condiciones de relieve, clima y suelos, correspondía a bosques de encino en la parte norte y a selva baja caducifolia en la región sur de la Sierra del Tentzo (IMPLAN, 2013).

De acuerdo al sondeo realizado a los habitantes, las áreas de pastizal inducido, se han creado debido a que son zonas que fueron abandonadas por la baja fertilidad del suelo para mantener a los cultivos o zonas creadas para la producción de pastos para el ganado.

Las constantes quemadas realizadas a los bosques de encino para la introducción de pastos han generado un proceso de sucesión secundaria (arbórea, arbustiva y herbácea), principalmente provocado por la falta de manejo de los hatos de ganado, que ocasiona el sobrepastoreo que tiempo después propicia la compactación (Cardoza et al. 2007). La explotación forestal se lleva a cabo en menor escala que en los bosques de pino, ya que la madera de los encinares es difícil de trabajar debido a su dureza o al porte bajo de los árboles, con troncos delgados, sinuosos y muchas veces ramificados desde la base, por lo que se utilizan a nivel local, para postes o como combustible en forma de leña o transformada en carbón. Los bosques de encino en Valsequillo son vestigios de bosques que cubrieron el valle de Puebla históricamente. Se presenta con frecuencia en cerros, lomeríos y barrancas de las localidades situadas al sur de La Cantera, Cerro Gordo, al norte y sur de El Aguacate, al sureste de Xaxamayo, y los alrededores de La Huerta (CIEMAD, 2010).



Mapa 5. Vegetación y uso actual del sitio RAMSAR.
 Fuente: Elaboración Propia.

16. Análisis de la población del sitio RAMSAR.

Para el análisis socio-económico del sitio RAMSAR, se basó en indicadores publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía en el XII Censo general de población y vivienda de los años 2000- 2010 del estado de Puebla, a nivel localidad (INEGI 2000, 2005, 2010), así como el índice de marginación de la población a nivel localidad establecido por el Consejo Nacional de Población (CONAPO 2000, 2010).

16.1. Población total

La población que habita dentro del Sitio RAMSAR ha variado con el paso de los años, para el 2000 era de 153,653 personas, de los cuales 73,792 corresponden al sexo masculino y 79,854 al sexo femenino, mientras que para el 2005 se presenta un incremento de aproximadamente 2,142 habitantes (155,794 habitantes) y para el año 2010 el incremento

fue aún mayor (aumento de 18,113 habitantes) alcanzando 173,540 habitantes, de los cuales 84,911 son hombres y 88,629 son mujeres. La máxima intensidad de migración de mexicanos hacia Estados Unidos fue en el quinquenio de 1992 a 2002, la tasa de empleo era de 5.7%, sin embargo, para el quinquenio de 2005 a 2010, la tasa de empleo cayó 0.78%, por lo que el flujo de mexicanos hacia Estados Unidos disminuyó 60% y por lo consiguiente genero el retorno de mucho migrantes (Rappo *et al.* 2015).

Cuadro 7. Población total del sitio RAMSAR.

INDICADOR	AÑO		
	2000	2005	2010
POBLACIÓN	153,653	155,794	173,540
MUJERES	79,854	80,955	88,629
HOMBRES	73,792	74,817	84,911

Fuente: INEGI 2000, 2005, 2010.

16.2. Migración

Un indicador que refleja la situación socioeconómica de una región es el número de migrantes y, en el Sitio Ramsar No. 2027, la población se ha visto en la necesidad de salir de sus hogares en busca de un mayor ingreso económico que mejore su calidad de vida. Datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística en el XII Censo general de población y vivienda de los años 2000-2010 del estado de Puebla revelan que la migración en el en el Sitio Ramsar No. 2027 es baja (Cuadro 8), el censo realizado en el 2005, muestra que para el 2000, 4,015 personas se encontraban en otra entidad; mientras que para 2010, expresa que 5 años antes 2,223 habitantes habían migrado fuera de la localidad; comparando estos datos con la población total del año 2005, existe la posibilidad que aproximadamente de 76,273 habitantes no se tenga reporte para esta encuesta, esto puede deberse a la falta de apoyo por parte de los habitantes que se niegan a informar sobre la ubicación de sus familiares o a la mala coordinación de dicha institución.

Cuadro 8. Población Migrante del sitio RAMSAR.

INDICADOR	AÑO	INDICADOR	AÑO	INDICADOR	AÑO
	2000		2005		2010
Residentes en otra entidad en 1995	5,181	Residentes en otra entidad en 2000	4,015	Residentes en otra entidad en 2005	2,223

Fuente: INEGI 2000, 2005, 2010.

16.3. Población indígena

México es un país caracterizado por una gran riqueza histórica y cultural, principalmente en el municipio de Puebla existen registros de que la población habla el lenguaje náhuatl, que además es uno de los elementos importante vinculados con su identidad. Sin embargo, con el paso del tiempo, los censos de población han aproximado el volumen de la población indígena, que poco a poco se ha comenzado a perder. En el Cuadro 9 se observan los datos obtenidos para cada año. En el 2005 se reportó que la Población que habla alguna lengua indígena únicamente es el 3% del total, y mientras que el 2% además de alguna lengua indígena también habla español. Para el 2010 los datos se incrementan ligeramente al igual que lo hace la población, por lo que el 4% del total habla alguna lengua indígena (7,654 personas), en comparación con el 2005 hubo un incremento de 2,941 habitantes para este año; los habitantes que hablaban alguna lengua indígena y español incrementó el 1% respecto del 2005. Esto demuestra que se está recuperado la cultura de los pueblos indígenas en los últimos años, ya que comenzaba a perderse, principalmente por discriminación o por que los padres consideran que sus hijos deben aprender el idioma inglés para tener un mejor futuro, así como también, desinterés por las nuevas generaciones. Lo anterior también puede deberse a las personas que migraron, han regresado a su lugar de origen para este mismo año.

Cuadro 9. Población indígena del sitio RAMSAR.

INDICADOR	AÑO		
	2000	2005	2010
Población de 5 años en adelante que habla alguna lengua indígena	4,189	4,713	7,654
Población de 5 años en adelante que habla alguna lengua indígena y español	3,937	4,487	6,753
Población de 5 años en adelante que habla alguna lengua indígena y no español	77	52	56

Fuente: INEGI 2000, 2005, 2010.

16.4. Características educativas

De acuerdo al Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE) (2007) Puebla presenta severos rezagos en educación básica, esto se observa en las localidades que se ubican dentro del Sitio Ramsar son muchos los jóvenes que no saben leer ni han terminado la primaria (Cuadro 10). Del 2000 al 2005, se presentó un incremento de 200 personas

analfabetas, demostrando que la educación en la zona tuvo retroceso, lo cual podría deberse a los bajos recursos de los padres para conservar a los hijos dentro de la escuela, y la necesidad de estos para entrar en el ámbito laboral para apoyar con los ingresos del hogar (SEDESOL, 2013). Sin embargo para el 2010, se reportó la disminución en el número de personas analfabetas de 500. A pesar de esto, mayor es el número de personas que han terminado la primaria para el 2010.

Cuadro 10. Población analfabeta y asistencia a la escuela.

INDICADOR	AÑO		
	2000	2005	2010
Población de 15 años en adelante con primaria completa	19,021	21,911	20,219
Población de 15 años en adelante con primaria incompleta	11,863	34,368	10,201
Población de 15 años en adelante, analfabeta	6,573	6,753	6,207

Fuente: INEGI 2000, 2005, 2010.

16.5. Servicios de salud

De acuerdo a los Censos de población y vivienda, es claro que en el Sitio Ramsar No. 2027 muy pocas personas cuentan con algún servicio de salud. Como se observa en el Cuadro 11, para el año 2000, alrededor del 53% de los habitantes carecían de algún servicio, mientras que el 43% contaban con algún servicio de salud, de esto el 83% derechohabientes del IMSS y el 11% del ISSSTE. Con el incremento de la población, para el 2005 también incremento el número de habitantes que no contaban con ningún tipo de derechohabiencia, aproximadamente el 58% del total de la población, y lo mismo ocurrió para el 2010 con aproximadamente el 69%. Para este mismo año, los habitantes que contaban con algún tipo de servicio social representaba únicamente el 8%, es el dato más bajo que se ha reportado seguido por los que pertenecen al ISSSTE. En este último año, aproximadamente 76% de la población pertenecen al Seguro Popular que fue un nuevo programa de salud, que permitió reducir la cantidad de población sin servicios de salud o que algunos se vieron en la necesidad de cambiar a este, dicho programa ofrece acceso igualitario de un aseguramiento médico público a la población no asalariada e inició como un proyecto piloto en 2001 en los estados de Aguascalientes, Campeche, Colima, Jalisco y Tabasco y a partir de febrero de 2005 se logró incorporar al resto del país. Además, el número de afiliados ha incrementado a partir del 2007 con 390,029 afiliaciones, y para el

2010 con 2,188, 072 afiliados únicamente en el estado de Puebla (SS Puebla, 2015).

Cuadro 11. Número de habitantes con servicios médicos.

INDICADOR	AÑO		
	2000	2005	2010
Derechohabiente del Seguro Popular	-	-	132,999
Sin derechohabiencia	80,855	89,885	119,466
Derechohabiente del ISSSTE	7,151	7,068	21,985
Con derechohabiencia	66,606	70,987	14,171
Derechohabiente del IMSS	55,440	56,600	9,438

Fuente: INEGI 2000, 2005, 2010.

16.6. Servicios básicos en viviendas

Se tiene un registro de 113,551 viviendas para el 2010, de las cuales 72% contaban con todos los servicios como energía eléctrica, agua entubada y drenaje (Cuadro 12). Cabe resaltar que para el 2010 los hogares con pisos diferente de tierra (27,213) son menores comparados con los del 2000 (37,650), esto se debe a que en los años 2013 y 2014 la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano ha organizado apoyos como el Programa Vivienda Digna exclusivamente a la población en condiciones de pobreza, de vulnerabilidad, rezago y de marginación, para mejorar los hogares de los habitantes en estas condiciones. A pesar de que la zona se encuentre cerca de la urbe de la ciudad de Puebla de Zaragoza, aproximadamente el 78% de las casas localizadas dentro del sitio RAMSAR todavía carecen de estos servicios básicos.

16.7. Población económicamente activa

La actividad económica de cada población es muy importante, ya que de eso depende la sobrevivencia de los habitantes. En el caso de la Población económicamente activa (Cuadro 13) del Sitio Ramsar, 53,187 personas de 12 años y más se encontraban laborando, tenían o buscaron trabajo en la semana de encuesta; por otro lado 81,743 personas de 12 años y más, eran pensionadas o jubiladas, estudiantes, dedicadas a los quehaceres del hogar, que tienen alguna limitación física o mental permanente que le impide trabajar en el momento de la encuesta; la población ocupada es de 51,342 personas que son las que trabajaban o estaban buscando trabajo en el momento de la evaluación y las personas desocupadas

eran 1,845, quienes no laboraban en el momento de la evaluación, esto de acuerdo a los indicadores y descripciones de INEGI (INEGI (s.f)).

Cabe resaltar que de acuerdo al sondeo realizado a la población, la principal actividad económica es la agricultura, la cual además es de temporal y se siembra principalmente maíz, frijol y calabaza. Tienen actividades alternas para subsistir como ser albañil, vender leche, sembrar pasto forrajero y la producción de mezcal a pequeña escala. Así como también a la venta de abarrotes, ropa y alimentos.

Cuadro 12. Número de viviendas con servicios básicos dentro del sitio RAMSAR.

INDICADOR	AÑO	
	2000	2010
Viviendas	41,200	113,551
Piso diferente de tierra	37,650	27,213
Disponen de excusado o sanitario	34,753	2,482
Disponen de agua entubada	35,131	88,708
Disponen de drenaje	35,389	82,220
Disponen de luz eléctrica	39,217	83,406
Todos los servicios	38,632	81,496
Sin ningún servicio	33,785	88,211
Disponen de radio	36,261	76,504
Disponen de televisión	36,828	62,830
Disponen de refrigerador	28,032	39,380
Disponen de lavadora	21,838	35,917
Disponen de teléfono	18,569	26,811
Disponen de automóvil	12,617	54,233

Fuente: INEGI 2000, 2010

Cuadro 13. Situación económica de la población (2010)

INDICADOR	No.
Económicamente inactiva	81,743
Económicamente activa	53,187
Ocupada	51,342
Desocupada	1,845

Fuente: INEGI, 2010.

16.8. Marginación y Rezago Social

La marginación y rezago social de la población que habita dentro de la delimitación del sitio Ramsar es muy variada, entre los años 2005 y 2010 (Cuadros 14 y 16). La población presenta los más graves niveles de carencia como acceso a la alimentación, a la salud, a la seguridad social y a la calidad de los servicios en la vivienda (CONAPO 2005, 2010). El entorno del sitio se encuentra estructurado por pequeñas localidades (Figura 5) que principalmente tienen un grado de marginación de muy bajo a muy alto, por ejemplo, San Baltazar Tetela para el 2005 indica un grado bajo, mientras que en 2010 un grado alto de marginación. Por otro lado, presentan rezago social de muy bajo a alto la localidad de Guadalupe que presenta poco o nulo progreso, ya que para ambos censos se conserva con un grado de rezago social alto. Esto demuestra las condiciones de carencias como la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas. Sin embargo, a pesar de que estas localidades se encuentran tan cercanas a la Ciudad de Puebla, no cuentan con la facilidad de acceder a los servicios básicos, para así poder mejorar las condiciones de vida de cada persona.



Figura 5. Localidad de San Francisco Jalapexco.

La marginación puede ser el efecto o la causa de la discriminación, ya sea por su rango económico, social o político, que dejan efectivamente a la clase social o grupo social al margen del funcionamiento de la ciudad de Puebla, o más indirectamente, ser provocada por la deficiencia de los procedimientos políticos e institucionales que aseguran la integración de las localidades del sitio en los factores sociales, garantizándoles la oportunidad de desarrollarse plenamente.

La marginación de acuerdo a los usos de suelo presentes dentro del Sitio Ramsar, se puede observar que las localidades que se encuentran en zonas de Bosque de encino con vegetación arbustiva, son las que presentan un grado de marginación alto, como son las localidades de San José el aguacate y San José Xacxamayo, esto se debe a que son lugares ubicados más lejos de la Ciudad de Puebla, y por lo tanto, con mayor dificultad para acceder a estas poblaciones y las que menos apoyos obtienen de parte de las instituciones gubernamentales (Cuadro 15). Es decir, que cuentan con pocos servicios a la vivienda, de salud y educación. De acuerdo al sondeo realizado, la población recibe poco apoyo por parte del gobierno, además aseguran que en temporada de campañas políticas, les prometen diversos apoyos que nunca llegan. Entre los pocos apoyos que mencionan ser proporcionados por alguna institución son PROSPERA, OPORTUNIDADES, TERCERA. EDAD, PROCAMPO, fertilizante para los agricultores, \$300.00 por vientre para compra de alimento, sin hambre.

16.9. Tenencia de la Tierra

El tipo de propiedad dentro del sitio y alrededor de la Presa incluyen propiedades privadas, propiedades ejidales (propiedad de uso colectivo) y propiedad del gobierno (los ríos y la Presa, infraestructura de transporte, parques, escuelas, etc.). La Presa representa en 12% (2,659 ha) del sitio, las propiedades ejidales (San Jose El Aguacate, San Andrés Azumiatla, San Baltazar Tetela, San Francisco Totimehuacan, San José Xacxamayo, San Pedro Zacachimalpa, Sta. Ma. Gpe. Tecola, y Santo Tomas Chautla) abarcan 40% (9,9441 ha.), y el 48% (11,942 ha.) restante corresponde a propiedades privadas. La Presa, los ríos permanentes y sus zonas federales se encuentran bajo la jurisdicción federal de la Comisión Nacional del Agua, de acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales vigente. El Área Natural Protegida (ANP) Reserva Estatal Sierra del Tentzo (57,815 ha total, 6,599 ha dentro del sitio) y la Zona de Preservación Ecológica Municipal Sierra del Tentzo (6,285 ha dentro del sitio), abarcan parte de las zonas que corresponden a las propiedades privadas y ejidales (Gráfica 2) (CIEMAD 2011).

Cuadro 14. Índice y grado de marginación de la población ubicada dentro del Sitio Ramsar.

Municipio	Localidad	2005		2010	
		Índice de marginación	Grado de marginación	Índice de marginación	Grado de marginación
Puebla	Heróica Puebla de Zaragoza	-1.62	Muy bajo	-1.40	Muy bajo
	Áfricam Safari	-1.54	Muy bajo	-1.36	Muy bajo
	El Oasis Valsequillo	-1.40	Muy bajo	-1.29	Bajo
	San Baltazar Tetela	-1.28	Bajo	-1.17	Bajo
	Guadalupe Victoria Valsequillo	-1.23	Bajo	-0.98	Medio
	San José Chapulco	-1.22	Bajo	ND	ND
	Buenavista Tetela	-1.18	Bajo	-0.90	Medio
	Las Playas	-1.12	Bajo	-0.69	Alto
	Calderón (Crucero el Oasis)	-1.10	Bajo	-0.68	Alto
	Guadalupe	-1.08	Bajo	-0.83	Medio
	San Pedro Zacachimalpa	-0.98	Medio	-0.89	Medio
	Los Ángeles Tetela	-0.82	Medio	-0.67	Alto
	San Antonio Arenillas	-0.74	Medio	-0.58	Alto
	Santa María Guadalupe Tecola	-0.71	Medio	-0.60	Alto
	Santo Tomás Chautla	-0.67	Alto	-0.63	Alto
	Resurgimiento Atotonilco	-0.42	Alto	-0.47	Alto
	Toluquilla (Los Cantiles)	-0.38	Alto	-0.73	Alto
	La Libertad Tecola	-0.36	Alto	-0.34	Alto
	La Paz Tlaxcolpan	-0.01	Alto	0.19	Alto
	San José el Aguacate	0.04	Alto	-0.12	Alto
	San José Xacxamayo	0.51	Alto	0.55	Alto
	San Andrés Azumiatla	0.60	Alto	0.51	Alto
	San José Zetina	1.05	Muy alto	0.76	Muy alto
	San José el Rincón	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Torija	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

FUENTE: CONAPO 2005 y 2010.

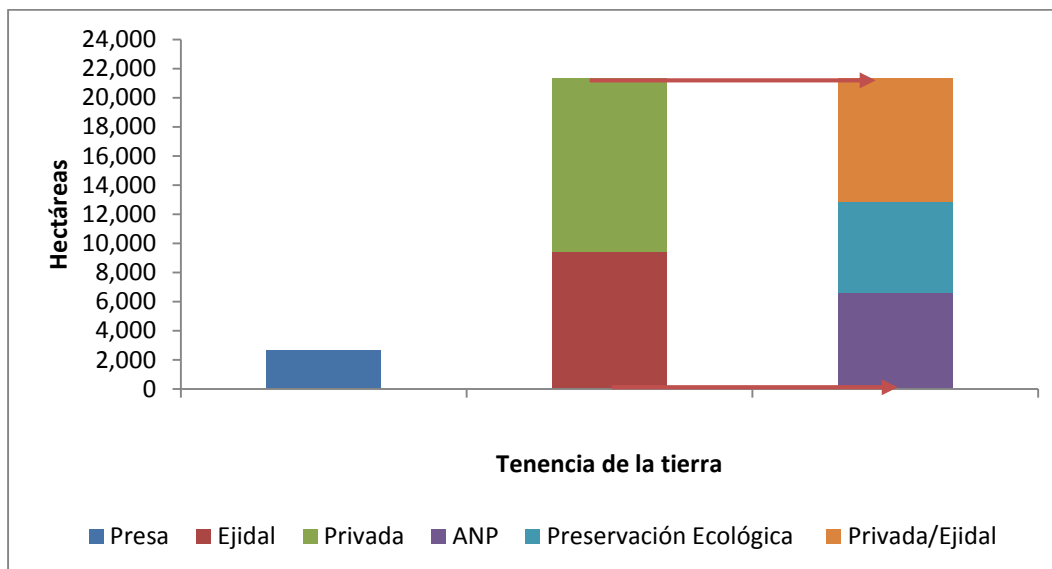
Cuadro 15. Índice y grado de marginación por uso de suelo.

Uso de suelo	2005		2010	
	Índice de marginación	Grado de marginación	Índice de marginación	Grado de marginación
BQ/VSa	0.28	Alto	0.22	Alto
PI	-1.15	Bajo	-0.98	Medio
AH	-0.98	Medio	-0.83	Medio
AT	-0.36	Medio	-0.30	Medio

Cuadro 16. Índice y grado de rezago social de la población ubicada dentro del Sitio Ramsar

Municipio	Localidad	2005		2010	
		Índice de Rezago Social	Grado de Rezago Social	Índice de Rezago Social	Grado de Rezago Social
Puebla	Heróica Puebla de Zaragoza	-1.85	Muy bajo	-1.66	Muy bajo
	San José el Aguacate	-1.67	Muy bajo	-1.45	Muy bajo
	Los Ángeles Tetela	-1.48	Muy bajo	-1.39	Muy bajo
	San Antonio Arenillas	-1.29	Muy bajo	-1.21	Muy bajo
	San Andrés Azumiatla	-1.18	Muy bajo	-0.97	Muy bajo
	Buenavista Tetela	-1.14	Muy bajo	-0.91	Muy bajo
	Calderón (Crucero el Oasis)	-1.03	Muy bajo	-0.83	Bajo
	Guadalupe Victoria Valsequillo	-1	Bajo	-0.83	Bajo
	La Libertad Tecola	-0.95	Bajo	-0.72	Bajo
	El Oasis Valsequillo	-0.91	Bajo	-0.64	Bajo
	La Paz Tlaxcolpan	-0.53	Bajo	-0.61	Bajo
	Resurgimiento Atotonilco	-0.51	Bajo	-0.57	Bajo
	San Baltazar Tetela	-0.44	Medio	-0.49	Bajo
	San José el Rincón	-0.44	Medio	-0.44	Bajo
	Santo Tomás Chautla	-0.4	Medio	-0.43	Bajo
	Santa María Guadalupe Tecola	-0.25	Medio	-0.35	Bajo
	San José Xacxamayo	-0.19	Medio	-0.27	Medio
	San Pedro Zacachimalpa	0.21	Medio	-0.07	Medio
	Áfricam Safari	0.25	Medio	0.1	Medio
	San José Zetina	0.31	Medio	0.57	Medio
	Toluquilla (Los Cantiles)	0.6	Medio	0.58	Medio
	Las Playas	N.D.	N.D.	0.92	Alto
	Guadalupe	0.72	Alto	0.92	Alto
	San José Chapulco	0.86	Alto	N.D.	N.D.
	Torija	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Fuente: CONEVAL 2005, 2010



Gráfica 2. Distribución de la tenencia de la tierra en el sitio RAMSAR.
Fuente: CIIEMAD 2011.

17. Dinámica de cambio espacio-temporal de uso de suelo

El cambio del uso del suelo se ha constituido como uno de los factores plenamente implicados en el cambio climático, alterando procesos y ciclos ecológicos. Lo anterior se vuelve trascendental si se considera que es a través de estos cambios donde se materializa la relación entre el humano y el medio ambiente (Lambin *et al.*, 1999).

La disminución de la vegetación (asociada frecuentemente con la sobreexplotación) puede ocasionar diversas alteraciones en una región, tales como la reducción de la recarga de mantos acuíferos, el incremento de la tasa de erosión, el aumento de inundaciones causadas por el desbordamiento de ríos y el cambio de las condiciones climáticas locales (Castelán *et al.* 2007). Por lo que en la actualidad los estudios sobre los procesos dinámicos de uso del suelo y deforestación son importantes y necesarios, ya que proporcionan información del comportamiento y las tendencias de los procesos de degradación en los que intervienen factores ecológicos y socioeconómicos (Velázquez *et al.* 2002; Priego *et al.* 2004; Guerra y Ochoa, 2006).

El uso del suelo en el sitio RAMSAR ha experimentado cambios sustanciales (Cuadro 17); entre el año de 1976 y 2013 se perdió más del 50% de la vegetación natural. En el primer año existían 356 ha de Bosque de encino (BE), las cuales desaparecieron para el año 2013,

dando paso al aumento en superficie de pastizal inducido (PI). Por otro lado, se observa la disminución de 810 ha de bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva en este mismo periodo. Además, se presenta una importante disminución de la superficie destinada a la agricultura de temporal, es decir, que para 1976 abarcaba casi 37% de la superficie y para el 2013 se redujo casi 14% con respecto al primer año, lo cual coincide con los periodos de la reforma agraria y la entrada en vigor del tratado de libre comercio de América del Norte (TLCAN); donde se clasifica la productividad del territorio en base en la redistribución de la tierra (privada, ejidal y comunal), y se marca la desigualdad en los habitantes (índices más altos de marginación y los más bajos de desarrollo humano), pero también donde habita la mayor proporción de pequeños productores rurales y grupos indígenas. Además los campesinos, principalmente de las localidades de San Baltazar Torija, Atotonilco, Guadalupe Victoria, San Francisco Totimehuacan, San José el Aguacate, Guadalupe Tecola, La Paz Tlaxcolpan, se han percatado que el suelo ya no produce como años anteriores, por lo que se han visto en la necesidad de utilizar fertilizantes químicos, sin embargo, con el tiempo este ha incrementado su costo, causando dificultad para su adquisición, trayendo como consecuencia el abandono de tierras.

Cuadro 17. Dinámica de cambio de uso del suelo, 1976-2013

Uso de suelo	Superficie (ha)											
	1976	%	1993	%	2000	%	2003	%	2010	%	2013	%
BQ	356	1	95	0	341	1	0	0	0	0	0	0
BQ/VSa	4,910	20	4,714	20	3,862	16	4,144	17	4,349	18	4,115	17
BQ/VSA	0	0	220	1	0	0	0	0	0	0	0	0
CUA	2,759	11	2,596	11	2,673	11	2,669	11	2,675	11	2,659	11
PI	6,273	26	6,233	26	4,726	20	7,953	33	7,189	30	7,207	30
AR	593	2	108	0	72	0	0	0	0	0	0	0
AT	8,880	37	7,460	31	9,785	41	6,616	28	5,699	24	5,575	23
AH	271	1	2,616	11	2,583	11	2,660	11	4,130	17	4,487	19
TOTAL	24,042	100	24,042	100	24,042	100	24,042	100	24,042	100	24,042	100

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

Fuente: Elaboración propia en base a las series I, II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación de INEGI, y del Inventario Nacional Forestal para el año 2000.

El análisis de la dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la zona de estudio en 5 periodos, esto con la finalidad de comprender a mayor detalle la fluctuación con el paso del tiempo: el primero comprende de 1976 al año 1993, el segundo de 1993 al 2000, el tercero del 2000 al 2003, el cuarto del 2003 al año 2010 y, por último, del 2010 al

2013. En los Cuadros 18 y 19 se muestran los porcentajes y tasas de cambio para cada período, y en los Mapas 6, 7, 8, 9 y 10 se observa la distribución espacial del uso del suelo de los mismos.

Durante el primer período (1976-1993), el cambio más importante es la pérdida de 5.9% de agricultura de temporal y 2.02% de agricultura de riego, (1,566 ha y 485 ha, respectivamente) territorio que fue absorbido por el crecimiento de los Asentamientos Humanos, así como también invadió sectores de pastizal inducido (203 ha), para 1976 la superficie inicial era de 271 ha, 17 años después era de 2,616 ha. Por otro lado se perdieron de 261 ha de Bosque de Encino (1.08%); 220 ha de esta pérdida se convirtieron en bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva. Además se observa la disminución del 0.68% de la superficie cubierta por agua (163 ha), de las cuales 86 ha fueron invadidas por PI y 77 ha por AT lo que pudo deberse a menores precipitaciones para ese periodo, provocando la expansión de pastizal inducido en esta superficie. Esto concuerda con lo comentado por la población, quienes dicen que la presa para ellos es un impedimento, ya que es espacio que no pueden aprovechar para sus cultivos. Lo contrario ocurrió con el BQ, que disminuyó 261 ha para 1993, aportando 41 ha al BQ/VSa y 220 ha a BQ/VSA (Cuadro 20).

Para el siguiente período (1993-2000) el cambio más importante observado se presentó en la agricultura de temporal, la cual se conservó y además incrementó 2,125 ha para el siguiente año, de las cuales con 1,573 ha eran de pastizal inducido y 852 ha de BQ/VSa. El incremento de 246 Ha de Bosque de encino, y la pérdida total del BQ/VSA, el cual pasó a formar parte del antes mencionado. Esto concuerda con la información obtenida del sondeo a la población del Sitio Ramsar, quienes comentan que aproximadamente hace 20 años, se reforestaron algunas zonas. Por otro lado, el bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva presentó disminución del 3.54%, es decir, que la superficie disminuyó de 4,910 ha iniciales a 4,714 ha; lo mismo ocurrió con el pastizal inducido que se redujo 6.27%, equivalente a 1,507 ha. La agricultura de temporal se incrementó 9.67%, lo que equivale a 2,325 ha, que es el cambio más importante observado. En este periodo se observó el importante crecimiento de la mancha urbana, que eliminó hectáreas a BQ/VSa, PI y AR. Posiblemente para este año, las lluvias fueron más fuertes y frecuentes, ya que el CUA recuperó superficie (Cuadro 21).

En el tercer período (2000-2003) no se observan superficies cubiertas por BQ/VSA, pero sí un considerable aumento del pastizal inducido del 13.42% respecto al periodo anterior; este se ve favorecido por la disminución de la agricultura de temporal que disminuyó 3,169 ha (aportando 2,941 ha a pastizal inducido y 100 ha a asentamientos humanos) y 72 ha de la agricultura de riego; así como también la pérdida de 341 ha de BQ, que son absorbidas por el BQ/VSa. De acuerdo a la tasa de cambio, el bosque de encino (localizado al sur del sitio Ramsar No. 2027) y la agricultura de riego (localizado al norte del sitio Ramsar No. 2027, sufrió un cambio negativo del 100%, lo que significó su pérdida total (Cuadro 22).

Para el cuarto período (2003-2010) no se observan superficies cubiertas de bosque de encino y agricultura de riego; los usos de suelo predominantes para este período fueron únicamente PI, AT y BQ/VSa. El cambio más importante es el incremento de los AH, que pasaron de 32% a 60% de la superficie del Sitio Ramsar, que corresponde a un incremento de 1,470 ha. Caso contrario ocurrió con AT y PI, que disminuyeron 3.82% y 3.18%, respectivamente, lo que sigue demostrando el abandono al campo agrícola. El pastizal inducido disminuyó 541 ha, de las cuales en 205 ha se desarrolló BQ/VSa y en 336 ha AH continuo con su crecimiento. Es claro el crecimiento poblacional tan importante y marcado que presenta el sitio, ya que 911 ha de AT se transformaron en AH (Cuadro 23).

Para el último período evaluado (2010-2013) (Cuadro 24) la agricultura de temporal y BQ/VSa aportaron 124 ha y 216 ha, respectivamente, a AH. La ciudad de Puebla de Zaragoza, presentó un incremento del 1.48%, equivalente a 357 ha, lo que favoreció la demanda de tierras para la construcción de viviendas, suceso que se puede comprobar con los censos de población y vivienda observados anteriormente. Ha presentado una dinámica importante a lo largo de los cinco periodos, invadiendo zonas cubiertas por AT y PI, principalmente, esto predomina en la zona norte, sin embargo, esta misma dinámica parece repetirse en la zona sur donde comienzan a desaparecer las áreas agrícolas de las familias que dependían de éstas, esto también se debe a que los suelos han perdido fertilidad, esto según la población.

Cuadro 18. Cambio de uso de suelo, 1976-2013.

Uso de suelo	Cambio (ha)				
	1976-1993	1993-2000	2000-2003	2003-2010	2010-2013
BQ	-260	246	-341	0	0
BQ/VSa	-196	-852	282	205	-234
BQ/VSA	220	-220	0	0	0
CUA	-162	77	-4	6	-16
PI	-40	-1,507	3,227	-763	17
AR	-485	-36	-72	0	0
AT	-1,420	2,325	-3,169	-917	-124
AH	2,344	-33	77	1,470	357

Uso de suelo	Cambio %				
	1976-1993	1993-2000	2000-2003	2003-2010	2010-2013
BQ	-1.08	1.02	-1.42	0.00	0.00
BQ/VSa	-0.81	-3.54	1.17	0.85	-0.97
BQ/VSA	0.92	-0.92	0.00	0.00	0.00
CUA	-0.68	0.32	-0.01	0.02	-0.07
PI	-0.17	-6.27	13.42	-3.18	0.07
AR	-2.02	-0.15	-0.30	0.00	0.00
AT	-5.91	9.67	-13.18	-3.82	-0.52
AH	9.75	-0.14	0.32	6.11	1.48

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

Fuente: Elaboración propia en base a las series I, II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación de INEGI, y del Inventario Nacional Forestal para el año 2000.

Cuadro 19. Tasa de cambio de uso de suelo, 1976-2013.

Uso de suelo	Tasa de cambio %				
	1976-1993	1993-2000	2000-2003	2003-2010	2010-2013
BQ	-7.45	19.95	-100	0	0
BQ/VSa	-0.24	-2.81	2.38	0.69	-1.83
BQ/VSA	0	-100	0	0	0
CUA	-0.36	0.42	-0.04	0.03	-0.20
PI	-0.04	-3.88	18.94	-1.43	0.08
AR	-9.53	-5.64	-100	0	0
AT	-1.02	3.95	-12.23	-2.11	-0.73
AH	14.26	-0.18	0.99	6.49	2.80

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

Fuente: Elaboración propia en base a las series I, II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación de INEGI, y del Inventario Nacional Forestal para el año 2000.

Al sur de la Presa Valsequillo, entre las localidades La Paz Tlaxcolpan y San José el Rincón, existe un pequeño relicto de bosque de encino que los habitantes han conservado y cuidado de la deforestación por parte de otros pobladores (Figura 6). Y aseguran que no reciben apoyo de alguna institución gubernamental, y que con los pocos recursos con los que cuentan han logrado mantener este sitio. También comentan que de tener más apoyo, se podría reforestar y cuidar más zonas arboladas.



Figura 6. Relicto de bosque conservado.

Cuadro 20. Matriz de transición 1976-1993.

Uso suelo		Año 1993								TOTAL 1976
		BQ	BQ/VSa	BQ/VSA	CUA	PI	AR	AT	AH	
Año 1976	BQ	95	41	220	0	0	0	0	0	356
	BQ/VSa	0	4,673	0	0	66	0	80	91	4,910
	BQ/VSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CUA	0	0	0	2,596	86	0	77	0	2,759
	PI	0	0	0	0	6,070	0	0	203	6,273
	AR	0	0	0	0	0	108	0	485	593
	AT	0	0	0	0	11	0	7,303	1,566	8,880
	AH	0	0	0	0	0	0	0	271	271
TOTAL 1993		95	4,714	220	2,596	6,233	108	7,460	2,616	24,042

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

Fuente: Elaboración propia en base a las series I, II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación de INEGI, y del Inventario Nacional Forestal para el año 2000.

Cuadro 21. Matriz de transición, 1993-2000.

Uso de suelo		Año 2000								TOTAL 1993
		BQ	BQ/VSa	BQ/VSA	CUA	PI	AR	AT	AH	
Año 1993	BQ	95	0	0	0	0	0	0	0	95
	BQ/VSa	0	3,762	0	0	0	0	852	100	4,714
	BQ/VSA	220	0	0	0	0	0	0	0	220
	CUA	0	0	0	2,596	0	0	0	0	2,596
	PI	26	0	0	42	4,486	0	1,573	106	6,233
	AR	0	0	0	0	0	72	0	36	108
	AT	0	100	0	35	240	0	7,085	0	7,460
	AH	0	0	0	0	0	0	75	2,541	2,616
TOTAL 2000		341	3,862	0	2,673	4,726	72	9,585	2,783	24,042

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

Fuente: Elaboración propia en base a las series I, II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación de INEGI, y del Inventario Nacional Forestal para el año 2000.

Cuadro 22. Matriz de transición, 2000-2003.

Uso de suelo		Año 2003								TOTAL 2000
		BQ	BQ/VSa	BQ/VSA	CUA	PI	AR	AT	AH	
Año 2000	BQ	0	341	0	0	0	0	0	0	341
	BQ/VSa	0	3,803	0	0	59	0	0	0	3,862
	BQ/VSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CUA	0	0	0	2,669	4	0	0	0	2,673
	PI	0	0	0	0	4,726	0	0	0	4,726
	AR	0	0	0	0	0	0	72	0	72
	AT	0	0	0	0	2,941	0	6,544	100	9,585
	AH	0	0	0	0	0	0	0	2,783	2,783
TOTAL 2003		0	4,144	0	2,669	7,730	0	6,616	2,883	24,042

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

Fuente: Elaboración propia en base a las series I, II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación de INEGI, y del Inventario Nacional Forestal para el año 2000.

Cuadro 23. Matriz de transición, 2003-2010.

Uso de suelo		Año 2010								TOTAL 2003
		BQ	BQ/VSa	BQ/VSA	CUA	PI	AR	AT	AH	
Año 2003	BQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BQ/VSa	0	4,144	0	0	0	0	0	0	4,144
	BQ/VSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CUA	0	0	0	2,669	0	0	0	0	2,669
	PI	0	205	0	0	7,189	0	0	336	7,730
	AR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AT	0	0	0	6	0	0	5,699	911	6,616
	AH	0	0	0	0	0	0	0	2,883	2,883
TOTAL 2010		0	4,349	0	2,675	7,189	0	5,699	4,130	24,042

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

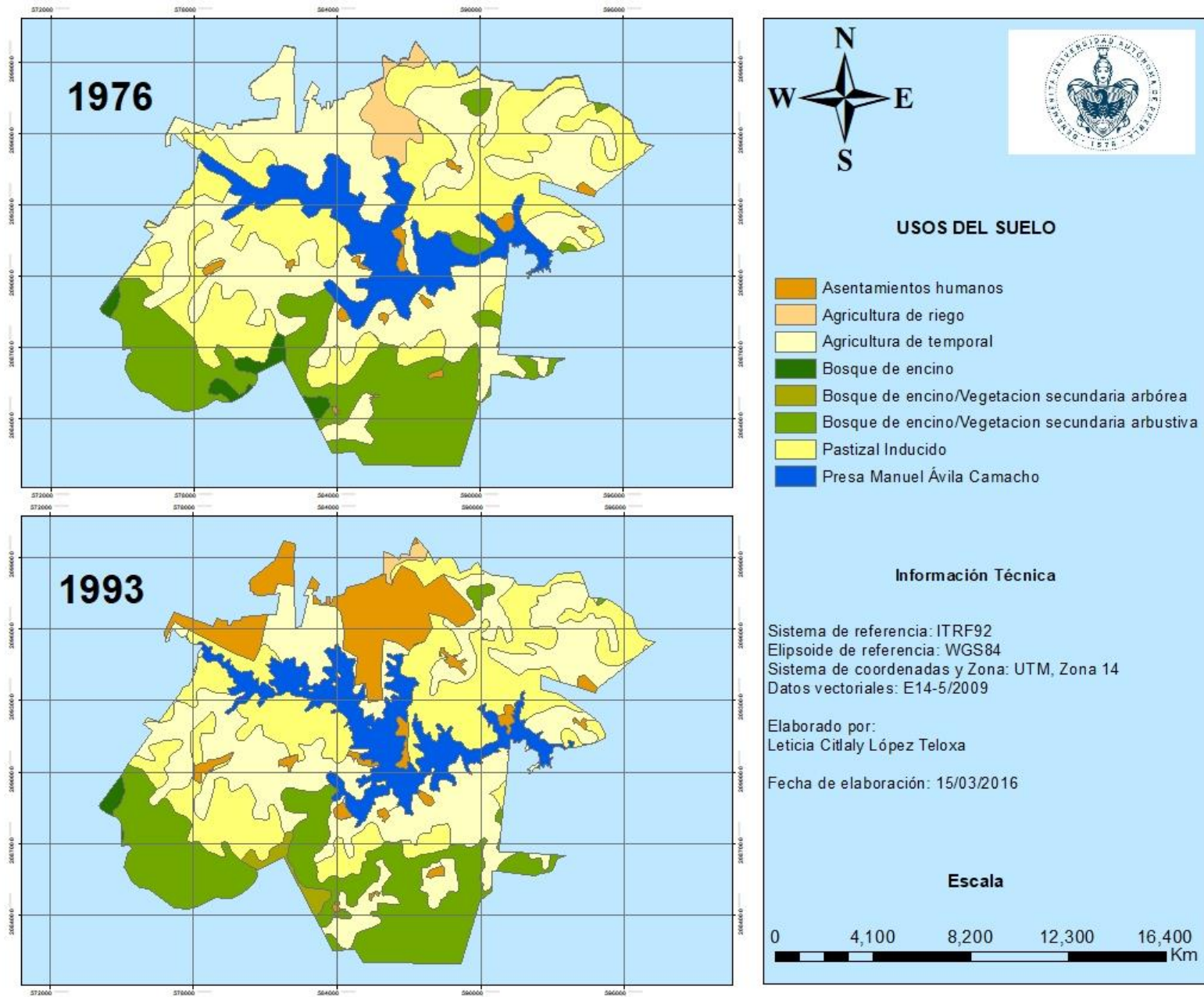
Fuente: Elaboración propia en base a las series I, II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación de INEGI, y del Inventario Nacional Forestal para el año 2000.

Cuadro 24. Matriz de transición, 2010-2013.

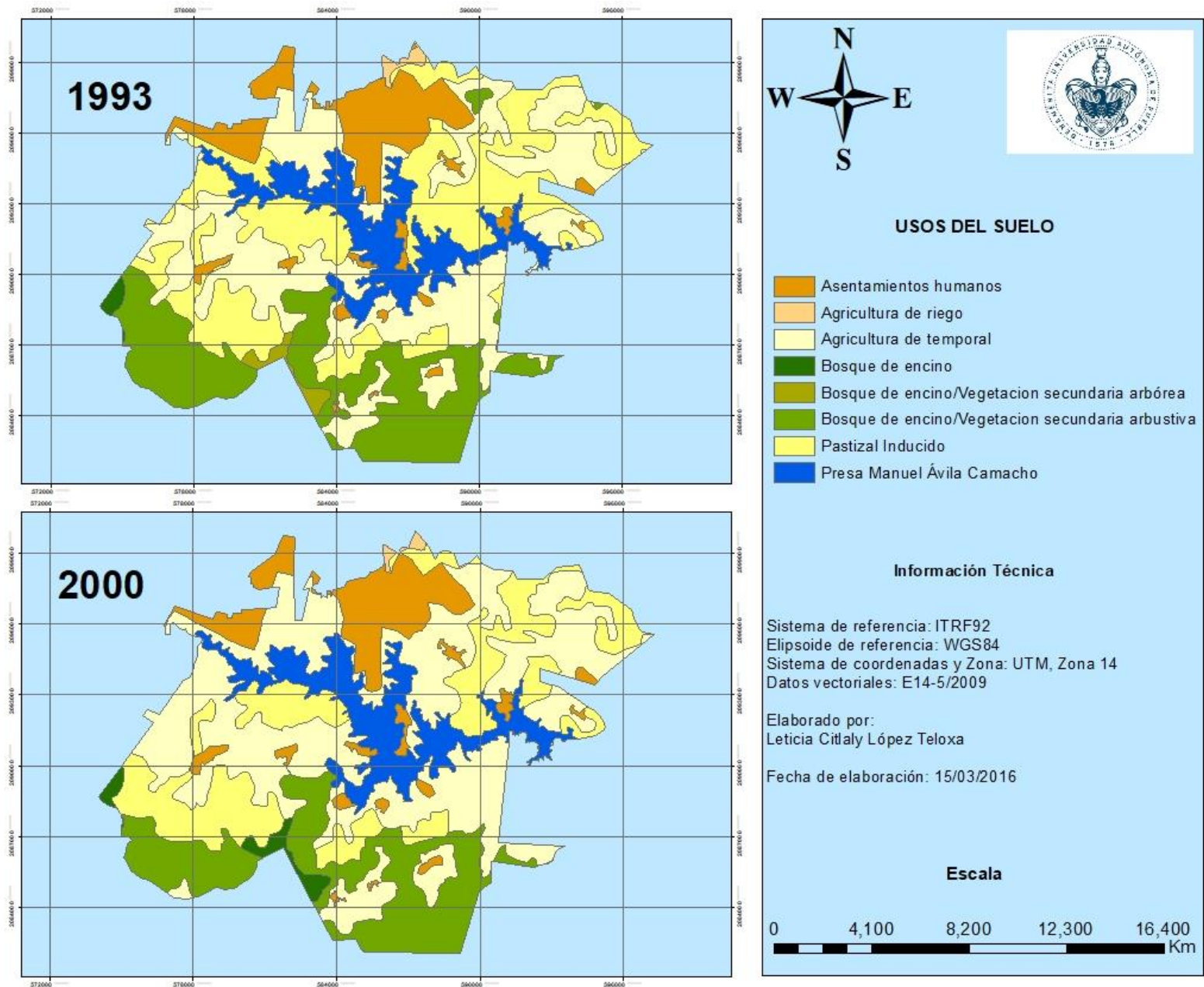
Uso de suelo		Año 2013								TOTAL 2010
		BQ	BQ/VSa	BQ/VSA	CUA	PI	AR	AT	AH	
Año 2010	BQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BQ/VSa	0	4,115	0	0	18	0	0	216	4,349
	BQ/VSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CUA	0	0	0	2,659	0	0	0	16	2,675
	PI	0	0	0	0	7,189	0	0	0	7,189
	AR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	AT	0	0	0	0	0	0	5,575	124	5,699
	AH	0	0	0	0	0	0	0	4,130	4,130
TOTAL 2013		0	4,115	0	2,659	7,207	0	5,575	4,486	24,042

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

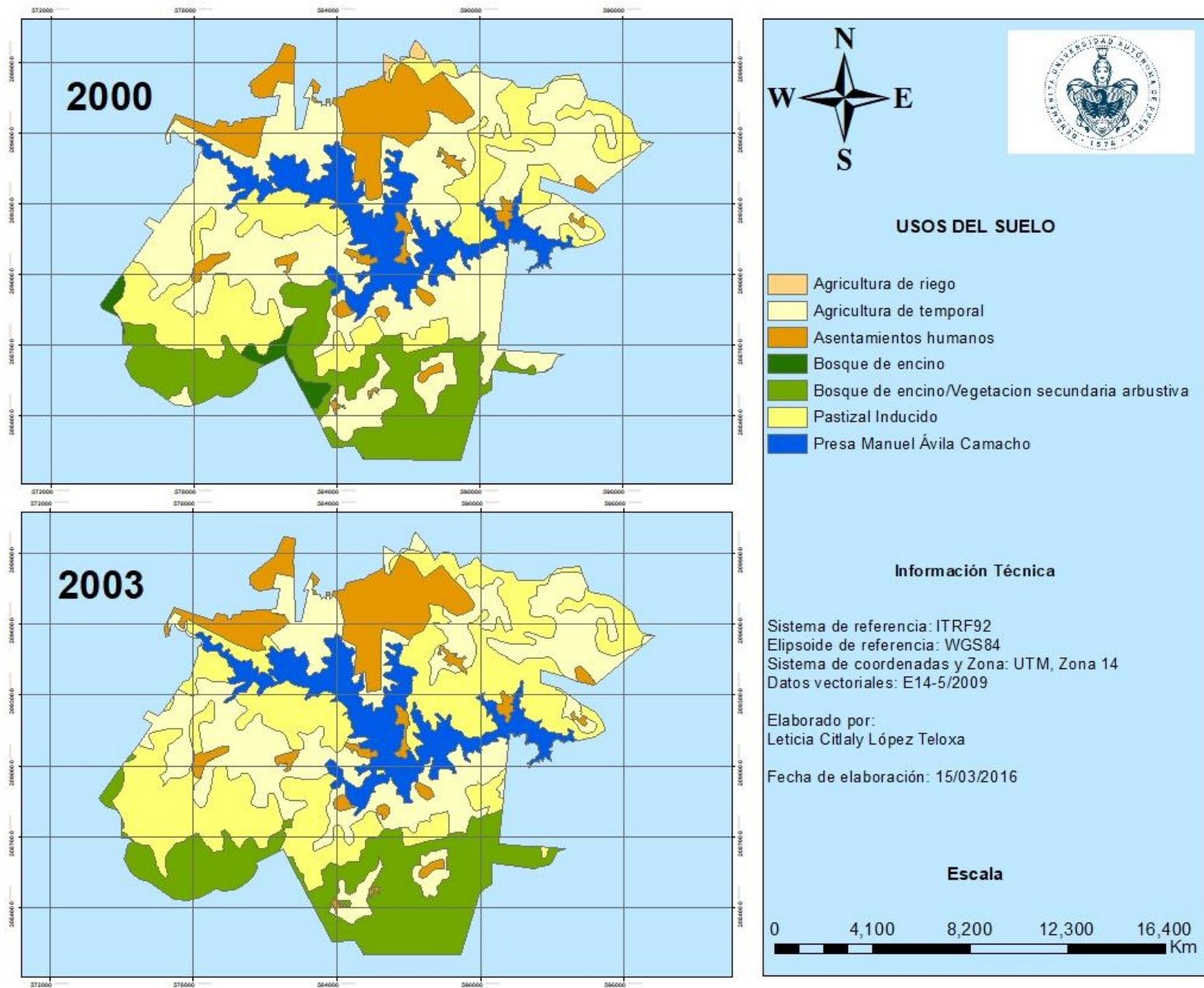
Fuente: Elaboración propia en base a las series I, II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación de INEGI, y del Inventario Nacional Forestal para el año 2000.



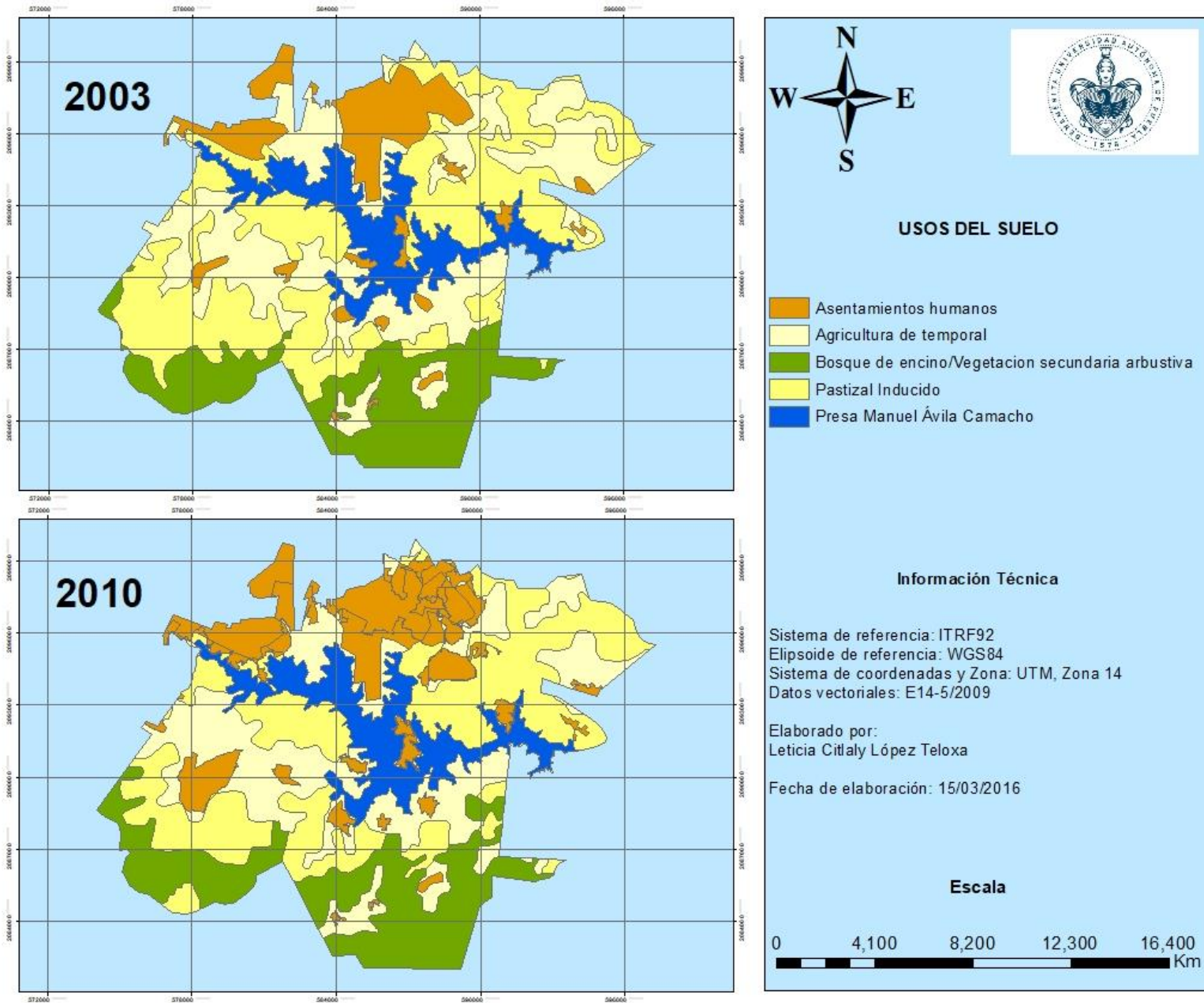
Mapa 6. Comparativo espacial de uso de suelo, 1976-1993.



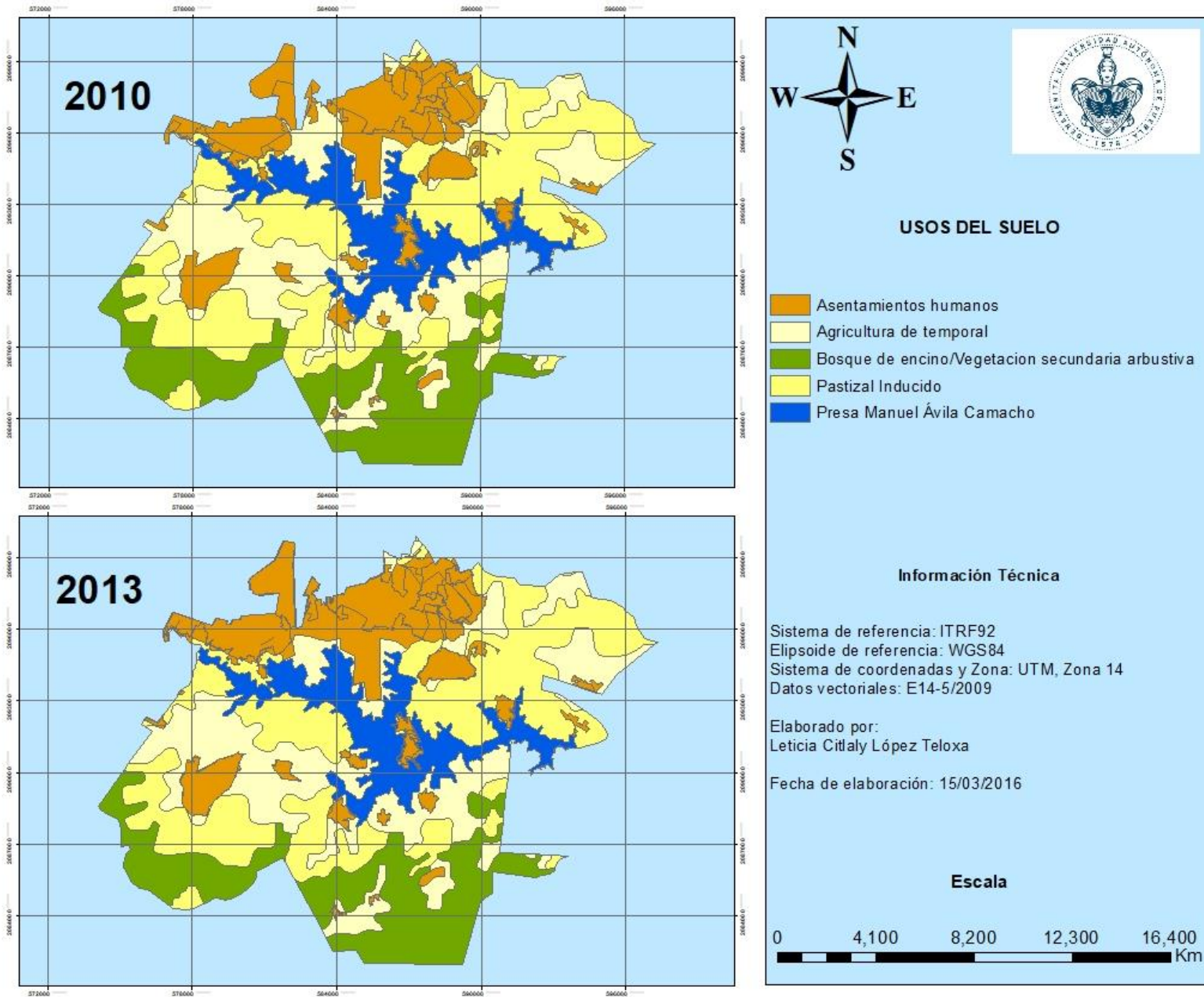
Mapa 7. Comparativo espacial de uso de suelo, 1993-2000.



Mapa 8. Comparativo espacial de uso de suelo, 2000-2003.



Mapa 9. Comparativo espacial de uso de suelo, 2003-2010.



Mapa 10. Comparativo espacial de uso de suelo, 2010-2013.

Los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la conversión de la cobertura del terreno y a la degradación e intensificación del uso del suelo (Lambin, 1997). Según Orozco *et al.*, (2004) el avance de la frontera agrícola hacia superficies forestales ha traído como consecuencia la aparición de una superficie de labor frágil y con alta susceptibilidad a los procesos erosivos y, por ende, con baja productividad.

Durante los 5 períodos se observa una alta tendencia a la deforestación de la vegetación natural para la introducción de Agricultura de temporal, Pastizal inducido y el crecimiento poblacional, este último tiende a ser mayor con el paso de los años (Cuadro 7), el cual además ha tomado superficie de estos dos usos de suelo. La transformación de áreas forestales perturbadas en pastizales parece responder no sólo a la accesibilidad, sino también a la facilidad de remoción de este tipo de cobertura con relación a las áreas forestales en buen estado de conservación.

Los Cuadros 25 y 26 muestran en resumen el estado crítico del cambio de uso de suelo de la zona de estudio. La variación más importante ocurrida es la desaparición al 100% del Bosque de encino, fue deforestado y actualmente se encuentran como BQ/VSa. A lo largo de los 5 periodos, la AT y PI presentaron importantes variaciones en cuanto a su superficie, se mantuvieron e incremento, además, son dominantes en la zona.

De 1976 a 2013 de los cuatro principales usos de suelos, tres presentan altas probabilidades de conservarse son: PI (87%), BQ/VSa (80%) y AH (100%), invadiendo superficies de AT y BQ, principalmente; mientras que AT presenta mediana probabilidad de conservarse con 58%. Desafortunadamente, la AT ha disminuido considerablemente a lo largo de los 5 periodos evaluados, principalmente porque el mundo rural en México ha sido prácticamente abandonado, sin embargo, todavía existe el reconocimiento de que la función primordial de la agricultura, es la de producir alimentos, y que el adecuado manejo de los suelos también generan una amplia gama de productos y servicios, que también afecta a los sistemas sociales y culturales, además contribuyen al crecimiento económico, porque la agricultura sigue siendo una fuerza económica importante aún en los países más industrializados.

Cuadro 25. Matriz de transición, 1976-2013.

Uso de suelo		Año 2013								TOTAL 1976
		BQ	BQ/VSa	BQ/VSA	CUA	PI	AR	AT	AH	
Año 1976	BQ	0	206	0	0	150	0	0	0	356
	BQ/VSa	0	3,909	0	0	795	0	206	0	4,910
	BQ/VSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	CUA	0	0	0	2,659	0	0	100	0	2,759
	PI	0	0	0	0	5,456	0	0	817	6,273
	AR	0	0	0	0	0	0	108	485	593
	AT	0	0	0	0	806	0	5,161	2,913	8,880
	AH	0	0	0	0	0	0	0	271	271
Total 2013		0	4,115	0	2,659	7,207	0	5,575	4,486	24,042

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

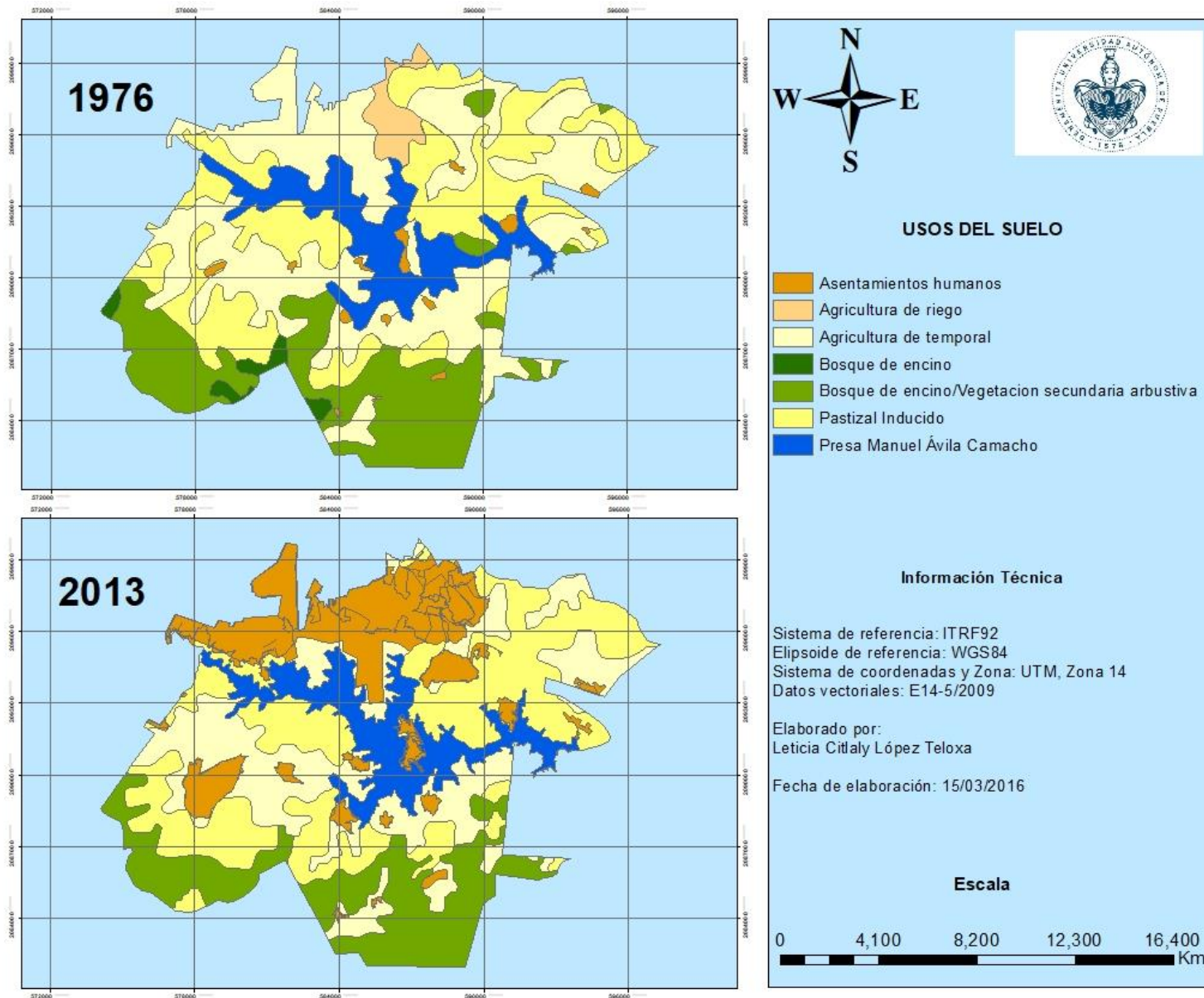
Fuente: Elaboración propia en base a las series I, II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación de INEGI, y del Inventario Nacional Forestal para el año 2000.

Cuadro 26. Matriz de probabilidad de permanencia de uso de suelo, 1976-2013.

Uso de suelo		Año 2013								TOTAL 1976
		BQ	BQ/VSa	BQ/VSA	CUA	PI	AR	AT	AH	
BQ	0	0.58	0	0	0.42	0	0	0	1	
BQ/VSa	0	0.80	0	0	0.16	0	0.04	0	1	
BQ/VSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CUA	0	0	0	0.96	0	0	0.04	0	1	
PI	0	0	0	0	0.87	0	0	0.13	1	
AR	0	0	0	0	0	0	0.18	0.82	1	
AT	0	0	0	0	0.09	0	0.58	0.33	1	
AH	0	0	0	0	0	0	0	1	1	

BQ=Bosque de encino, BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, BQ/VSA= Bosque de encino con vegetación secundaria arbórea, CUA=Cuerpo de agua, PI=Pastizal inducido, AR=Agricultura de riego, AT=Agricultura de temporal, AH=Asentamientos humanos.

Fuente: Elaboración propia en base a las series I, II, III, IV y V de uso de suelo y vegetación de INEGI, y del Inventario Nacional Forestal para el año 2000.

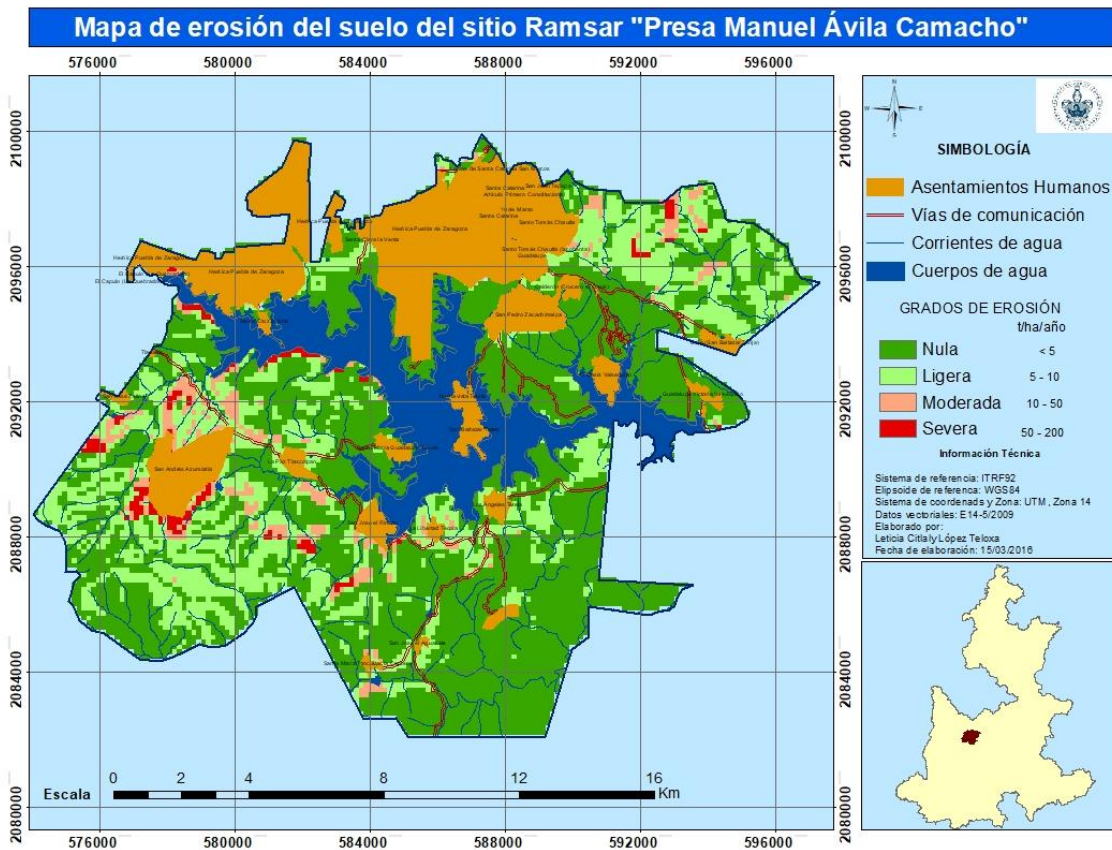


Mapa 11. Comparativo espacial de uso de suelo, 1976-2013.

18. Grado de erosión y estimación de la pérdidas de suelo

Uno de los principales procesos de degradación del suelo es la erosión, la cual depende de varios factores, entre ellos se encuentra la pendiente, la cobertura y el clima. Los procesos erosivos también pueden ocurrir de forma natural a causa del viento, la lluvia y los procesos fluviales marítimos. Sin embargo, así como existen los procesos erosivos de manera natural, existen aquellos provocados por el humano, también conocida como erosión antrópica, que es originada por suplir la vegetación original (deforestación), ya sea para materias primas para los diferentes procesos alimenticios e industriales; al hacerlo, causa desequilibrios en los ecosistemas de la Tierra, y los ciclos biogeoquímicos (Nuñez, 2001).

El Sitio Ramsar presenta más del 55% del territorio con grado de erosión nula, el cual abarca áreas dedicadas a la agricultura de temporal, donde después de pasar la temporada se quedan en una etapa de barbecho, quedando a expensas de las condiciones climáticas; 30% de la superficie presenta erosión ligera, en áreas de agricultura de temporal y pastizal inducido, además, el grado de pendiente es más elevado; 10% de la superficie con erosión moderada, en zonas de pastizal inducido, principalmente y por último, aproximadamente el 5% de la superficie, presentan erosión severo, que corresponde a las partes más altas del sitio, aunado a esto no se les ha dado un buen manejo llevando al incremento de la erosión de esos suelos (Mapa 12). Durante años, los suelos del ahora denominado Sitio Ramsar, han sido degradados principalmente por la siembra de maíz, siendo este cultivo prácticamente el único que se desarrolla en la zona, otras razones que pueden atribuirse a las condiciones de la zona es que los pobladores se dedican a cortar madera para producir carbón y leña, además de pastorear su ganado. Estas acciones han aumentado el proceso erosivo, ya que el suelo desprovisto de vegetación favorece el impacto directo de las gotas de lluvia en los suelos, acelerándolo por salpique de agua y por escorrentía laminar; otro factor que agrava el problema en gran medida, es el grado de inclinación de la pendiente, que aumenta la susceptibilidad de las partículas finas del suelo de ser arrastradas por el agua de lluvia. No se puede dejar a un lado el importante crecimiento de la ciudad de Puebla, que ha consumido parte de los suelos que anteriormente eran dedicados a la agricultura, y que ahora han perdido su estructura, imposibilitando el desarrollo de la vegetación.



Mapa 12. Grados de erosión en el Sitio RAMSAR.

18.1. Sectores con erosión nula

Los suelos de este grupo representan el 55% de la superficie del sitio, aproximadamente. Alcanza pérdidas de hasta 4.35 t/ha/año (Cuadro 27). De acuerdo a FAO (1980) las pérdidas menores a 5 t/ha/año se consideran como grado de erosión nula, se ubica en pendientes de entre 4 a 10% en zonas casi llanas. La vegetación donde se ha desarrollado este grado de erosión es principalmente bajo PI y BQ/VSa (Figuras 7 y 8), éste último ha generado que las pérdidas sean menores por la protección que representa al suelo.



Figura 7. Zona de Pastizal.



Figura 8. Zona de bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva.

Cuadro 27. Cálculo de pérdidas de suelo por erosión hídrica del sectores con erosión nula

Factor climático	Factor Edáfico		Factor topográfico	Factor cobertura	Pérdida t/ha/año	Tipo de cobertura
	Textura del suelo	Erodabilidad				
124.2	0.2	0.5	0.35	0.12	2.61	Pastizal
124.2	0.3	1	0.35	0.1	4.35	BQ/VSa

NOTA: BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva.

Fuente: Elaboración propia en base a la ecuación universal de pérdida de suelo.

El pisoteo del ganado es un factor que también impacta de manera negativa en el suelo, provocando su compactación, problema que se extiende por todo el sitio ya que no hay un lugar determinado para que el ganado paste (Figura 9).

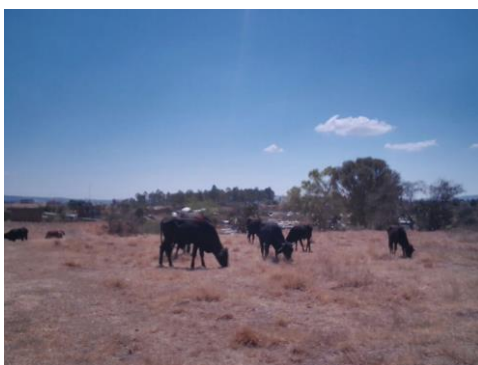


Figura 9. Ganado pastando en zonas de pastizal inducido con grado de erosión nula.

18.2. Sectores con erosión ligera

Las zonas con grado de erosión ligera representan el 30% de la superficie del sitio. Éstos se caracterizan por pérdidas de hasta 5.22 t/ha/año (Cuadro 28), aproximadamente, y se presenta en pastizal inducido (Figura 10); en pendientes que van desde 4 a 10%, lo que diferencia a esta zona con la anterior es el tipo de suelo, que por sus características tienden a sufrir más daños por la agresividad de la lluvia, Rendzina y Litosol, principalmente, es decir que tienen una mayor susceptibilidad a ser erosionados. Se observa que la vegetación comienza a disminuir, ya que las pérdidas de suelo son mayores y los nutrientes que las plantas necesitan se han perdido.



Figura 10. Pastizal inducido con erosión ligera.

Cuadro 28. Cálculo de pérdidas de suelo por erosión hídrica del sectores con erosión ligera

Factor climático	Factor Edáfico		Factor topográfico	Factor cobertura	Pérdida t/ha/año	Tipo de cobertura
	Textura del suelo	Erodabilidad				
124.2	0.3	1	0.35	0.12	5.22	Pastizal
124.2	0.3	1	0.35	0.12	5.22	Pastizal

Fuente: Elaboración propia en base a la ecuación universal de pérdida de suelo.

18.3. Sectores con erosión moderada

Las zonas con grado de erosión moderada representan el 10% de la superficie del sitio; se localizan en zonas con relieve ondulado, con pendiente de 24%. En este sector existen zonas dedicadas al cultivo de maíz (Figura 11) sin ningún tipo de medidas de conservación, aunado a esto la labranza, que es una parte integral de la producción de cultivos, y que consiste en el desplazamiento, acomodo y mezcla del suelo, se realiza en el mismo sentido de la pendiente, por lo que el arrastre del suelo se facilita. Esta práctica ha influenciado por años los procesos erosivos, además es la principal causa de la pérdida severa e insostenible de suelo (Mehuys *et al.*, 2009), de tal forma que las pérdidas en este uso alcanzan las 46 t/ha/año (Cuadro 29).



Figura 11. Agricultura de temporal con erosión moderada.

En este sector también se encuentran zonas de Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y pastizal inducido que alcanzan pérdidas de hasta 43 t/ha/año y 29 t/ha/año, respectivamente; lo anterior se debe a que la zona ha sufrido eventos de deforestación y abandono de tierras, y pastoreo para el caso de PI como puede observarse en las Figuras 12 y 13, donde además se puede apreciar que no se han aplicado medidas de conservación, lo que trae como consecuencias la pérdida del primer horizonte del suelo, así como también la presencia de pequeños surcos y cárcavas. La población comenta que realizado eventos de reforestación, pero las condiciones del suelo no permiten que los árboles se desarrollen, provocando su lento crecimiento, y además el ganado que pasta en las mismas áreas reforestadas, se come las pequeñas plántulas.



Figura 12. Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva con erosión moderada.



Figura 13. Pastizal inducido con erosión moderada.

Cuadro 29. Cálculo de pérdidas de suelo por erosión hídrica del sectores con erosión moderada

Factor climático	Factor Edáfico		Factor topográfico	Factor cobertura	Pérdida T/ha/año	Tipo de cobertura
	Textura del suelo	Erodabilidad				
124.2	0.1	2	0.35	0.12	10.43	Pastizal
124.2	0.2	0.5	0.35	0.53	11.52	Agrícola
124.2	0.3	1	0.35	0.53	23.04	Agrícola
124.2	0.3	1	2	0.1	24.84	BQ/VSa
124.2	0.3	1	2	0.1	24.84	BQ/VSa
124.2	0.3	1	2	0.12	29.81	Pastizal
124.2	0.3	1	2	0.12	29.81	Pastizal
124.2	0.3	1	3.5	0.1	43.47	BQ/VSa
124.2	0.3	1	3.5	0.1	43.47	BQ/VSa
124.2	0.1	2	0.35	0.53	46.08	Agrícola
124.2	0.1	2	0.35	0.53	46.08	Agrícola

NOTA: BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva.

Fuente: Elaboración propia en base a la ecuación universal de pérdida de suelo.

18.4. Sectores con erosión severa

Estos sectores representan el 5% de la superficie del sitio, aunque es el que menor superficie abarca, es el más grave de todos, ya que supera las pérdidas de 50 t/ha/año y se caracteriza por la desaparición del horizonte superior, abundantes surcos y cárcavas medianas a grandes. Los suelos con este grado de erosión se localizan en relieves alomados, con pendiente promedio de 30%, la cual es un factor importante que ha favorecido el proceso de erosión en esta zona. La evidente deforestación y erosión se observa en las Figuras 14 y 15 con PI y BQ/VSa, respectivamente, donde en ambos lugares es claro el afloramiento de la roca.



Figura 14. Pastizal inducido con erosión severa.



Figura 15. Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva con erosión severa.

Cuadro 30. Cálculo de pérdidas de suelo por erosión hídrica del sectores con erosión severa

Factor climático	Factor Edáfico		Factor topográfico	Factor cobertura	Pérdida T/ha/año	Tipo de cobertura
	Textura del suelo	Erodabilidad				
124.2	0.3	1	3.5	0.12	52.16	Pastizal
124.2	0.1	2	2	0.12	59.62	Pastizal
124.2	0.1	2	3.5	0.1	86.94	Pastizal
124.2	0.3	1	8	0.1	99.36	BQ/VSa
124.2	0.3	1	8	0.1	99.36	BQ/VSa

NOTA: BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva.
Fuente: Elaboración propia en base a la ecuación universal de pérdida de suelo.

19. Contenido de Carbono Orgánico en el sitio RAMSAR “Presa Manuel Ávila Camacho”

Se ha observado que el Sitio Ramsar presenta procesos de deforestación y diferentes grados de erosión, por lo que el reto medioambiental es limitar la deforestación, reducir la erosión, y con ello contribuir al aumento del almacenamiento de materia orgánica (MO) en suelos cultivados. Todos estos problemas antes mencionados, alteran al equilibrio del carbono orgánico (CO) que es indispensable para el sistema suelo-planta - atmósfera. Este desafío se puede tratar sólo a través de la aplicación de nuevas alternativas de uso de la tierra, a nivel de parcela, así como en las escalas más grandes (finca, terreno, cuencas hidrográficas, región natural o administrativa). Estas alternativas deben dar lugar a la restitución de la materia orgánica y mayor retención del carbono orgánico del suelo (COS) (Feller *et al.*, 2000).

De los recorridos realizados, se identificaron dos zonas ambientales, las que se encuentran más conservadas y alejadas de la zona urbana (Figura 16) y las que se encuentran con algún grado de degradación y erosión del suelo (Figura 17), con base a esto se pudieron seleccionar los puntos de muestreo (Mapa 13).

El primer muestreo realizado se llevó a cabo en el mes de febrero (Sequía₍₁₎), el segundo en el mes de julio (Lluvia) del 2014 (Gráfica 3), y el tercero se realizó en el mes de febrero del 2015 (Sequía₍₂₎) (Gráfica 4). En febrero (2014) no se registraron precipitaciones mientras que para el mes de Julio se reportó 78.9 mm, en cuanto a la temperatura reportada para febrero fue de 15.9°C y 17.75°C para el mes de Julio. Como se puede observar la precipitación más elevada se registró previas al 2^{do} muestreo (junio) con 235.45 mm y una temperatura de 17.2°C. Bajas temperaturas y precipitaciones se reportaron a la realización del 3^{er} muestreo; en el mes de Enero, 0.3 mm de lluvia y 13.7°C; mientras que para Febrero se registraron 1.6 mm de lluvia y 14.8°C de temperatura. Realizar el análisis del COS en diferentes temporadas es importante ya que las condiciones climáticas influyen de manera importante en su almacenamiento (Assefa *et al.*, 2017, Pal *et al.*, 2014).

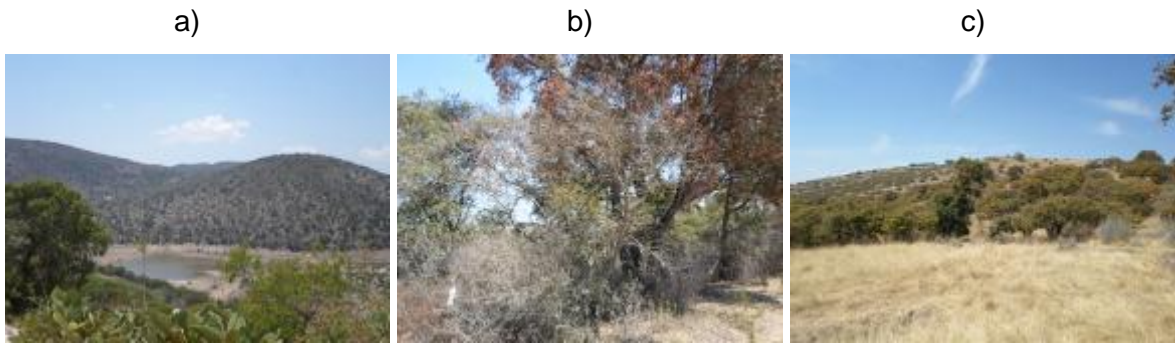


Figura 16. Zonas conservadas.

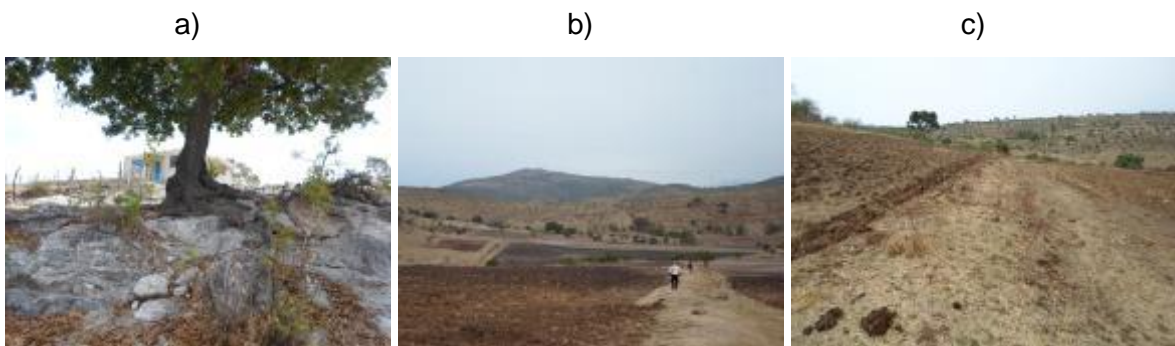
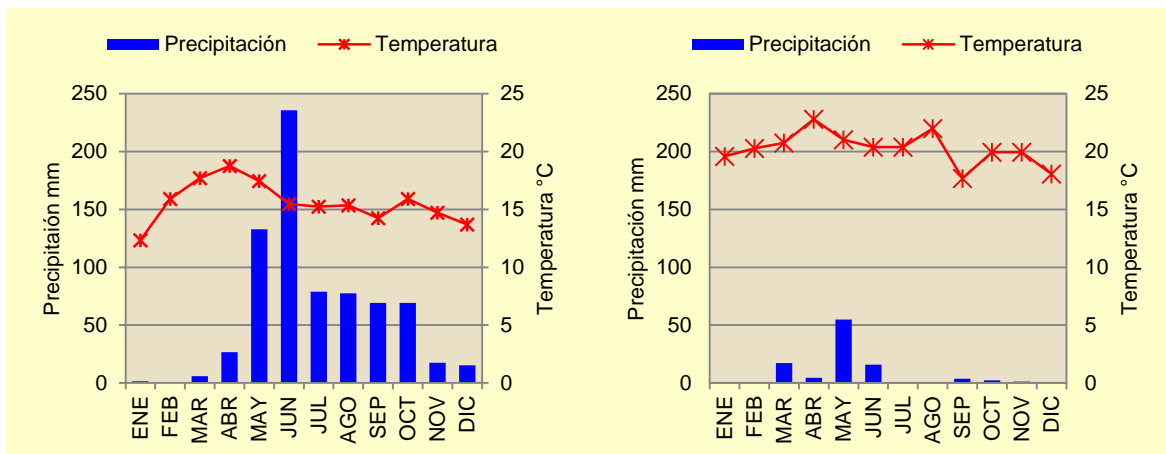


Figura 17. Zonas perturbadas.



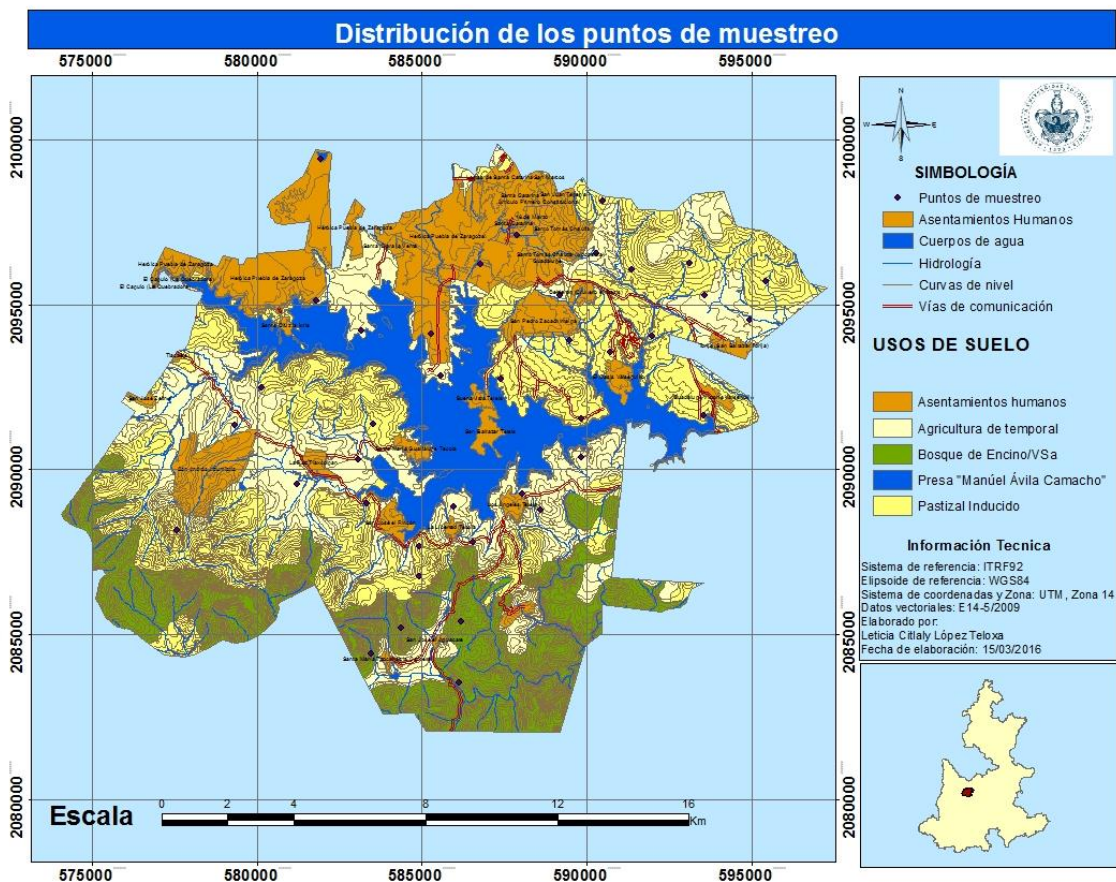
Gráfica 3. Temperatura y precipitación anual (2014). Gráfica 4. Temperatura y precipitación anual (2015).

Fuente: Estaciones: San Andrés Azumiatla, AFRICAM. Clima y Urbanización en el Valle de Puebla.

Departamento de Investigaciones Arquitectónicas y Urbanísticas (DIAU).

Departamento de Apoyo en Ciencias Aplicadas (DACA-VIEP).

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.



Mapa 13. Distribución de los puntos de muestreo.
 Fuente: Elaboración propia en base a la serie V de Uso de suelo y vegetación del INEGI.

En la Gráfica 5 se representan los resultados obtenidos para los tres muestreos: nitrógeno total (NTS) y carbono orgánico del suelo (COS) en ambas profundidades (0-10 y 10-20 cm). En el primer muestreo, a los primeros 10 cm de profundidad se observa que los suelos con mayor contenido de COS y NTS son los que se encuentran cubiertos por vegetación de bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y pastizal inducido, mientras que los valores más bajos son los que se encuentran bajo la influencia de la zona urbana; esto mismo ocurre con el contenido de COS y NTS a los 20 cm de profundidad.

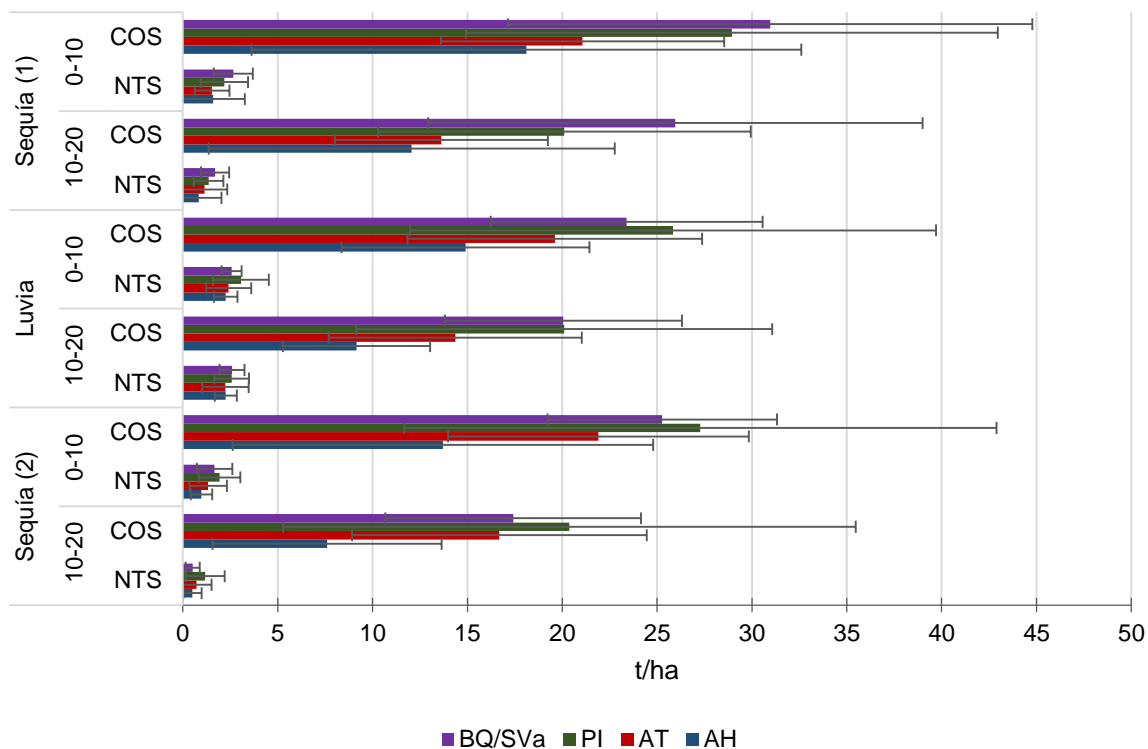
En el segundo y tercer muestreo, los resultados presentan cierta diferencia con respecto al primero, se puede observar que los suelos son mayor contenido de COS son los cubiertos por pastizal inducido y con menores concentraciones se encuentran bajo la influencia de asentamientos humanos, esto mismo ocurre con el contenido de COS a los 20 cm de profundidad. Sin embargo, a diferencia del primero, los dos últimos muestreos presentan importantes pérdidas de COS, aproximadamente 17 t/ha.

Vela *et al.* (2012) reportan datos de las concentraciones encontradas, en t/ha, en suelos de conservación del Distrito Federal (Cuadro 31), donde concentraciones < 50 son bajas, 50-100 son medias, de 100-150 son altas y > 150 son muy altas; comparando estos datos con los obtenidos en los suelos del sitio RAMSAR, para el primer muestreo únicamente el bosque de encino con vegetación arbustiva presentan una concentración media de COS, mientras que las zonas restantes son de concentración baja. Sin embargo para la temporada de sequía ⁽²⁾ todas las zonas son de concentración baja. La temperatura y la humedad tienen un papel importante en el almacenamiento de carbono en el suelo, el aumento en la temperatura acelera la mineralización y disminuye la síntesis de humus, mientras que un exceso de humedad provoca que la mineralización se lleve mediante un proceso más lento. Generalmente, el contenido de COS es más alto en climas fríos que en climas cálidos, el contenido se incrementa con el incremento de la lluvia efectiva (Tisdale *et al.*, 1993). Es por esto la importancia del estudio en diferentes temporadas del año, y los datos de las Gráficas 3 y 4, ayudan a comprender aún mejor las variaciones de las concentraciones de carbono orgánico y nitrógeno total en el suelo.

Cuadro 31. Niveles de concentración de Contenido de Carbono Orgánico

Categoría	Concentración (t/ha)
Bajo	< 50
Medio	50-100
Alto	100-150
Muy Alto	>150

Fuente: Vela *et al.*, 2012.



Gráfica 5. Carbono Orgánico y nitrógeno total almacenado por uso de suelo y profundidad.

NOTA:

Sequía (1)=Muestreo 1;Lluvia=muestreo 2; sequía (2)=muestreo 3; COS= Carbono orgánico del suelo; NTS= Nitrógeno total del suelo; BQ/SVa= Bosque de encino con vegetación arbustiva; PI= Pastizal inducido; AT= Agricultura de temporal; AH = Asentamientos humanos

La concentración promedio de COS, NTS, pH y densidad aparente (DA) en el sitio Ramsar son las siguientes: el COS con media de 20.36 t/ha \pm 11.02; mientras que el NTS su media de 1.67 t/ha \pm 1.14. Para el caso del pH presenta una media de 6.56 \pm 0.70 y DA con una media de 1.03 g/cm³ \pm 0.11. De las 4 variables, las que mayor coeficiente de variabilidad presentan de acuerdo a su media, son NTS (68 %) seguido por COS (57 %), mientras que el pH y DA presentan una menor variabilidad (10.74 y 10.50 %, respectivamente) (Cuadro 32).

Cuadro 32. Estadística descriptiva: COS, NTS, pH, DA

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	COEF. VAR %	MÍNIMO	MÁXIMO
COS	20.36	11.02	54.13	0.34	57.66
NTS	1.67	1.14	68.37	0.04	5.96
pH	6.56	0.70	10.74	3.92	7.98
Densidad Aparente (DA)	1.06	0.11	10.50	0.70	1.55

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenido y con apoyo del paquete estadístico Minitab 6.

El COS no presenta diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la temporada, y a las interacciones entre temporada*profundidad, temporada*uso de suelo, temporada*tipo de suelo, profundidad*uso de suelo y profundidad*tipo de suelo; profundidad, uso de suelo, tipo de suelo y la interacción entre uso de suelo*tipo de suelo sí presentan diferencias significativas, es decir, generan un efecto en la cantidad de COS. El NTS presenta diferencias significativas en cuanto a la temporada, profundidad, uso de suelo, tipo de suelo y en la interacción entre uso de suelo*tipo de suelo, pero no las presenta entre las demás interacciones. Cabe mencionar que el nitrógeno puede fijarse en pequeñas cantidades al suelo por eventos de alta energía natural, tales como relámpagos, fuegos forestales y hasta flujos de lava. Además también puede llevarse a cabo por procariotas tanto aerobias como anaerobias. Mientras tanto los valores de pH presentan diferencias significativas en temporada, uso de suelo, tipo de suelo y la interacción entre uso de suelo*tipo de suelo pero no en profundidad y sus interacciones. La densidad aparente presenta diferencias significativas de acuerdo a la profundidad, uso de suelo, tipo de suelo y la interacción entre las dos últimas, sin ningún efecto adicional por temporada o entre sus interacciones.

Cuadro 33. Valores p del análisis multivariante de la varianza, a un nivel de confianza del 95%

FACTOR	VARIABLE	COS	NTS	pH	Densidad aparente
TEMPORADA		0.33	0.00	0.00	0.83
PROFUNDIDAD		0.00	0.01	0.83	0.01
USO DE SUELO		0.00	0.00	0.00	0.00
TIPO DE SUELO		0.00	0.00	0.00	0.00
TEMPORADA*PROFUNDIDAD		0.61	0.05	0.50	0.42
TEMPORADA*USO DE SUELO		0.78	0.13	0.44	0.55
TEMPORADA*TIPO DE SUELO		0.16	0.02	0.34	0.20
PROFUNDIDAD*USO DE SUELO		0.40	0.86	0.82	0.47
PROFUNDIDAD*TIPO DE SUELO		0.57	0.74	0.98	0.68
USO DE SUELO*TIPO DE SUELO		0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenido y con apoyo del paquete estadístico Minitab 6.

De acuerdo al análisis de correlación de Pearson (Cuadro 34) existe correlación positiva entre el contenido de COS y el NTS, es decir, a mayor concentración de carbono orgánico mayor nitrógeno total; por otro lado, existe una fuerte correlación negativa entre COS-DA, lo cual se expresa que a mayor contenido de COS la densidad aparente del suelo tienden a disminuir. Es decir, al incrementar el COS, aumentan los poros de mayor diámetro.

Cuadro 34. Correlación de Pearson de las variables NTS, COS, pH y DA.
Valor p.

VARIABLES	VARIABLES			
		COS	NTS	pH
NTS		0.585		
Valor p		0.000		
pH		-0.323	-0.014	
Valor p		0.000	0.837	
DA		-0.654	-0.370	0.260
Valor p		0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenido y con apoyo del paquete estadístico Minitab 6.

En el Cuadro 35 se muestran las toneladas por hectárea de COS y NTS, así como el pH y densidad aparente, en las diferentes temporadas de muestreo, profundidad (0-10 cm y 10-20 cm) y uso de suelo.

En las diferentes temporadas de muestreo estadísticamente no se presentaron cambios significativos de la densidad aparente ($p = 0.557$), ni en COS ($p = 0.155$), a pesar de que la temperatura y la precipitación ejercen una influencia dominante sobre la cantidad de COS que hay en el suelo (Assefa *et al.*, 2017, Pal *et al.*, 2014), los valores reportados para ambas temporadas de sequía son diferentes, se esperaba que presentaran valores similares, sin embargo, el muestreo realizado en la época de lluvia y el de sequía⁽²⁾ presentan similitud, esto puede deberse a la erosión que presenta el sitio y a las variaciones climáticas de la zona.

Por otro lado, se observan diferencias significativas en el contenido de NTS ($p < 0.05$), las medias fueron diferentes para cada muestreo, y pH ($p < 0.05$), en ambas temporadas de sequía la media fue similar pero diferente de la temporada de lluvia, esta variación del pH es importante desde el punto de vista agronómico, ya que modifica el grado de solubilidad de los nutrientes en el suelo, es decir, en un suelo ácido hay más disponibilidad de nutrientes que en un suelo alcalino. Esta variación se debe a cambios en el tiempo que de manera natural se dan en el suelo según las épocas de lluvia y estiaje, por el efecto de dilución, el contenido de sales y/o el aporte de CO₂ debido a la actividad biológica de los organismos en el suelo, en términos generales, se modifica con respecto a los períodos de sequía; el pH del suelo es menor (más ácido) que en la época de humedad (Jaramillo, 2002). Lo que se complementa con lo indicado por Castellanos *et al.* (2000), la acidez de

los suelos del sitio RAMSAR se encuentra entre moderadamente ácido a neutro, donde se encuentra la máxima disponibilidad de la mayoría de los nutrientes.

Las concentraciones de COS y NTS presentan diferencias significativas de acuerdo a la profundidad ($p = 0.001$ y $p = 0.003$, respectivamente), al incrementar la profundidad la concentración de ambos disminuye, esto se explica cuando muchos de los residuos orgánicos, tanto en suelos cultivados como en suelos sin perturbar, se incorporan o son depositados en su superficie (Weil y Brady, 1999), esta disminución también puede deberse a pérdidas por lixiviación; caso contrario ocurre con la densidad aparente que también presenta diferencias significativas ($p = 0.001$), ésta incrementa conforme la profundidad es mayor, esto es un patrón de distribución natural entre la disminución del COS y NTS y el aumento de la densidad. Por otro lado en cuanto al pH no se observan diferencias significativas ($p = 0.77$).

La cantidad de carbono que un suelo puede secuestrar y su distribución están en función de las características del tipo y uso del suelo (FAO, 2002). Dentro del sitio RAMSAR se ubican 4 tipos de usos de suelo (agricultura de temporal, pastizal inducido, asentamientos humanos y bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva), y 5 grupos de suelo (Leptosol (Litosol y Rendzina), Cambisol, Feozem, Regosol y Vertisol). De acuerdo a los usos de suelo, no se observan diferencias significativas en cuanto al contenido de NTS ($p = 0.133$), pH ($p = 0.12$) y densidad aparente ($p = 0.146$); sin embargo, para el caso del COS si se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto al uso de suelo; las medias de BQ/VSa y PI no presentan diferencias y son los valores más altos reportados. Ibrahim *et al.*, (2007) en un estudio reportan que los bosques secundarios mostraron significativamente los mayores valores comparados con los pastizales. Esta misma relación la explican Hontoria *et al.*, (2004), en base a que el contenido de carbono orgánico del primer horizonte del suelo depende del tipo de uso, donde los bosques son los que contienen mayor contenido de CO (3.9 %), seguido por pastizales (3.3 %) y por último, los suelos cultivados (1.1 %). Por otro lado de acuerdo a los tipos de suelo, se observan diferencias significativas en COS, NTS pH y Densidad aparente ($p < 0.05$). Donde los Leptosoles son los valores más altos registrados, ya que esos suelos se localizan principalmente bajo BQ/VSa y PI, seguidos por los Cambisoles, Feozems y Regosol que son cubiertos por PI y utilizados para fines agrícolas, por último y con los valores más bajos, se encuentran los Vertisoles, que han sufrido mayor degradación, ya que son suelos

utilizados para la agricultura y la población empieza a expandirse sobre estos. Estos datos son muy parecidos con lo encontrado por Muñoz *et al.* (2012) donde los valores más altos se encuentran en Cambisol (110.1 t/ha) y Leptosoles (104.7 t/ha), seguidos por, Regosol (84.1 t/ha) y Vertisol (53.3 t/ha), mientras que Batjes (2014) reportó que los suelos con mayor contenido de COS son Leptosoles (136 t/ha), seguidos por Cambisoles (35 t/ha), Feozems (28 t/ha) y Regosoles (7 t/ha). Los contenidos de carbono en el suelo dependen de los principales factores a largo plazo relacionados con la formación del suelo pero pueden ser fuertemente modificados por los cambios en el uso y el manejo de la tierra.

Cuadro 35. Análisis de Varianza por temporada, profundidad, uso y tipo suelo para el COS, NTS, pH y Densidad aparente.

Factor	Variable	COS	NTS	pH	Densidad aparente
		(t/ha)	(t/ha)	H ₂ O	(g/cm ³)
Temporada	Sequía ₍₁₎	25.16 ± 15.5 a	2.05 ± 1.73 a	6.54 ± 0.66 a	1.05 ± 0.13 a
	Lluvia	21.29 ± 11.08 a	2.82 ± 1.15 b	6.82 ± 0.74 b	1.07 ± 0.08 a
	Sequía ₍₂₎	21.91 ± 13.24 a	1.31 ± 1.07 c	6.37 ± 0.63 a	1.06 ± 0.10 a
Profundidad	0-10 cm	25.85 ± 13.82 a	2.36 ± 1.62 a	6.56 ± 0.69 a	1.04 ± 0.11 a
	10-20 cm	19.85 ± 11.68 b	1.76 ± 1.28 b	6.59 ± 0.71 a	1.09 ± 0.10 b
Uso de suelo	BQ/VSa	28.44 ± 13.08 a	2.26 ± 1.25 a	6.40 ± 0.67 a	1.05 ± 0.11 a
	PI	26.77 ± 14.97 a	2.29 ± 1.38 a	6.51 ± 0.78 a	1.05 ± 0.10 a
	AT	20.42 ± 8.42 b	1.77 ± 1.29 a	6.62 ± 0.63 a	1.09 ± 0.87 a
	AH	13.67 ± 10.42 c	1.91 ± 2.11 a	6.78 ± 0.63 a	1.07 ± 0.14 a
Tipo de suelo	Lep-Litosol	29.63 ± 13.11 a	2.23 ± 1.40 a	5.80 ± 0.63 a	1.03 ± 0.11 a,b
	Lep-Rendzina	25.76 ± 11.96 a,b	2.10 ± 1.06 a	6.36 ± 0.62 b	1.03 ± 0.12 b
	Cambisol	18.93 ± 9.21 c	1.80 ± 1.23 a,b	7.08 ± 0.47 c	1.05 ± 0.10 a,b
	Feozem	16.38 ± 9.71 c,d	1.49 ± 1.14 a,b	6.47 ± 0.38 b	1.12 ± 0.06 a
	Regosol	15.88 ± 7.99 b,c,d	0.78 ± 0.54 b	6.33 ± 0.65 a,b	1.11 ± 0.08 a,b
	Vertisol	12.75 ± 8.07 d	1.31 ± 0.91 b	6.50 ± 0.71 b	1.08 ± 0.12 a,b

NOTA:

Sequía (1)=Muestreo 1;Lluvia=muestreo 2; sequía (2)=muestreo 3; COS= Carbono orgánico del suelo; NTS= Nitrógeno total del suelo; BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación arbustiva; PI= Pastizal inducido; AT= Agricultura de temporal; AH= asentamientos humanos

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenido y con apoyo del paquete estadístico Minitab 6.

Álvarez *et al.* (2016) y Pérez *et al.* (2013) informaron que los suelos de los bosques de encino pueden almacenar hasta 164 t C/ha y rodales aprovechados hasta 39 t C/ha. Comparando estos datos con los obtenidos en este trabajo con BQ/VSa se puede concluir que el COS almacenado (28 t C/ha) es bastante bajo, lo que indica una baja capacidad de las áreas para secuestrar carbono. Por otro lado, los ecosistemas de pasturas inducidas pueden almacenar hasta 50 a 90 t C/ha (Wang *et al.* 2016), mientras que en el área PI del

Sitio Ramsar 2027 las reservas de COS fueron de 26 t C/ha, lo que sugiere una baja capacidad del sitio para almacenar carbono. Por último, los suelos para AT almacenaron 20 t C/ha, lo que es menor que los valores reportados por Yang *et al.* (2016), y Yu *et al.* (2012), que informaron valores promedio de 35-46 t C/ha en áreas con el mismo uso de suelo. La degradación que presenta el Sitio Ramsar, reduce la productividad actual e inclusive puede afectar a la producción potencial de los ecosistemas, debido principalmente a que disminuye la disponibilidad del agua y nutrientes del suelo (Celaya *et al.*, 2015).

La capacidad del suelo para el secuestro de carbono varía de acuerdo con el uso de suelo, su manejo y factores ambientales (McGrath y Zhang, 2003, Singh *et al.*, 2015). La manipulación de algunos factores, especialmente los relacionados con el manejo, puede usarse para mantener o mejorar el contenido de carbono orgánico del suelo (SOC) (McGrath y Zhang, 2003). En el sitio Ramsar se presentan diferencias significativas del contenido de COS ($p = 0.00$) y pH ($p = 0.04$), entre temporada de sequía₍₁₎ y usos de suelo; eNTS y densidad aparente no muestran diferencias significativas ($p = 0.138$ y $p = 0.302$, respectivamente). Entre temporada de lluvia y usos de suelo se presentaron valores significativamente diferentes en cuanto al contenido de COS ($p = 0.01$), pero no se muestran cambios significativos en el resto de las variables analizadas (NTS $p = 0.393$; pH $p = 0.873$; DA $p = 0.09$). Para el caso de la temporada de sequía₍₂₎ se observan cambios significativos en COS ($p = 0.00$) y en NTS ($p = 0.02$), pero no observan cambios significativos en pH y densidad aparente ($p = 0.75$ y $p = 0.114$, respectivamente) (Cuadro 36).

Por lo anterior es importante optar por prácticas de manejo del suelo que ayuden a la captura de carbono orgánico, tal es el caso de la labranza de conservación o labranza cero, que de acuerdo a Álvarez (2006) registra un aumento de 480 kg C /ha/año sobre la labranza convencional. Ya que con la labranza de conservación no se produce la reducción de los macroagregados, lo que ocurre con la labranza convencional que contribuye al aumento de los gases efecto invernadero por la mineralización de C orgánico y favorece los procesos erosivos de los suelos (Sandoval *et al.*, 2007). Por otro lado King *et al.* (2006) afirman que un cambio del 10% de los cultivos y pastizales a bosques permanentes podría ascender a 9 Mt C año⁻¹ en los primeros años. Cambios en la gestión de cultivo podrían hacer una contribución significativa a una estrategia de reducción si se lleva a cabo en conjunto con una mayor utilización de los márgenes permanentes de conservación sobre el terreno, el

aumento de los rendimientos de los residuos de cultivos y sistemas de labranza reducida, aportando 1.3 Mt C año⁻¹.

De los valores obtenidos se demuestra que los valores más altos de COS se encuentran en BQ/VSa y PI. Los bosques representan un importante reservorio de carbono que corresponde al 80% del total contenido en los ecosistemas terrestres. En el Sitio Ramsar, se observa que para el primer muestreo, las concentraciones son elevadas en la zona sur del área de estudio, que es donde se encuentra el bosque de encino con vegetación arbustiva. Mientras que en el 2do y 3er muestreo existen concentraciones similares en la parte norte y sur, donde se encuentran zonas de PI y BQ/VSa, respectivamente.

En los Mapas 14, 15 y 16 se observa la distribución del carbono orgánico y en los Mapas 17, 18 y 19 se observa la distribución del nitrógeno total del suelo almacenado para los muestreos realizados, así como a las profundidades de 0-10 y 10-20 cm.

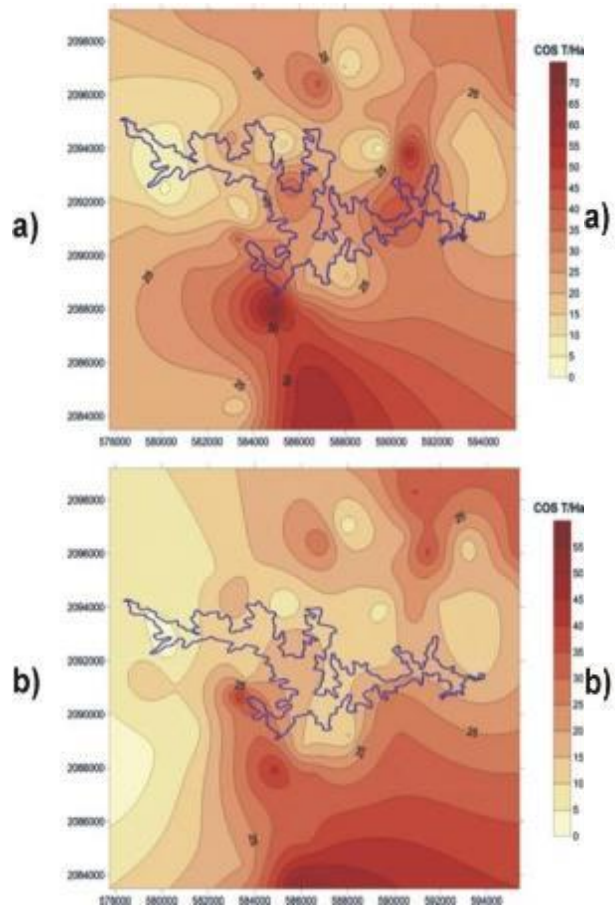
Cuadro 36. Análisis de Varianza por temporada y uso de suelo para el COS.

Temporada de muestreo	Uso de suelo	COS	NTS	pH	Densidad aparente
		t/ha	t/ha	H ₂ O	g/cm ³
Sequía ⁽¹⁾	AT	20.71 ± 8.94 b	1.57 ± 1.13 a	6.63 ± 0.51 a,b	1.08 ± 0.10 a
	BQ/VSa	38.79 ± 15.03 a	2.93 ± 1.14 a	6.12 ± 0.85 b	1.05 ± 0.11 a
	PI	27.57 ± 15.5 a,b	2.01 ± 1.38 a	6.47 ± 0.71 a,b	1.02 ± 0.14 a
	AH	16.31 ± 13.06 b	2.56 ± 3.52 a	6.94 ± 0.44 a	1.10 ± 0.18 a
Lluvia	AT	19.72 ± 8.44 a,b	2.66 ± 1.29 a	6.90 ± 0.65 a	1.09 ± 0.06 a
	BQ/VSa	22.95 ± 9.43 a,b	2.75 ± 0.76 a	6.78 ± 0.58 a	1.06 ± 0.11 a
	PI	25.5 ± 12.91 a	3.11 ± 1.22 a	6.74 ± 0.93 a	1.05 ± 0.10 a
	AH	13.48 ± 7.6 b	2.51 ± 0.91 a	6.89 ± 0.54 a	1.11 ± 0.05 a
Sequía ⁽²⁾	AT	20.76 ± 8.09 a,b	1.13 ± 0.99 a,b	6.33 ± 0.64 a	1.09 ± 0.09 a
	BQ/VSa	23.02 ± 6.73 a,b	1.16 ± 0.96 a,b	6.34 ± 0.40 a	1.03 ± 0.11 a
	PI	27.17 ± 16.74 a	1.78 ± 1.20 a	6.33 ± 0.64 a	1.08 ± 0.07 a
	AH	11.66 ± 10.83 b	0.77 ± 0.57 b	6.56 ± 0.81 a	1.01 ± 0.16 a

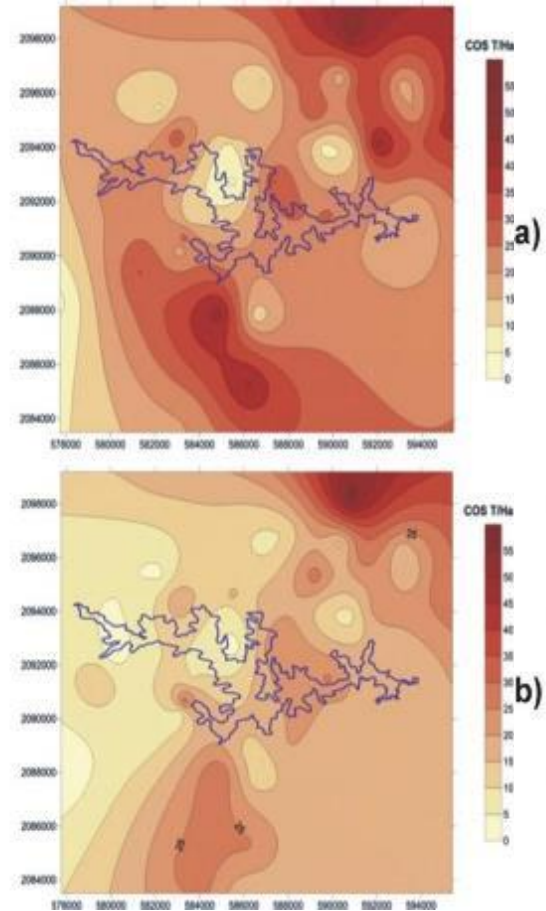
NOTA:

Sequía (1)=Muestreo 1;Lluvia=muestreo 2; sequía (2)=muestreo 3; COS= Carbono orgánico del suelo; NTS= Nitrógeno total del suelo; BQ/VSa= Bosque de encino con vegetación arbustiva; PI= Pastizal inducido; AT= Agricultura de temporal; AH = Asentamientos humanos

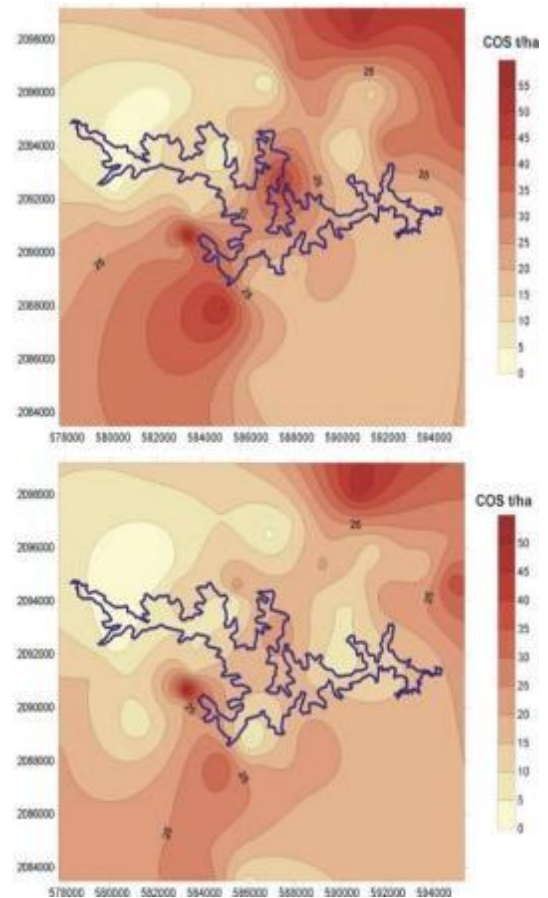
Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenido y con apoyo del paquete estadístico Minitab 6.



Mapa 14. Sequía₍₁₎: Contenido de carbono orgánico en suelo: a) profundidad 0-10 cm. b) profundidad 10-20 cm.

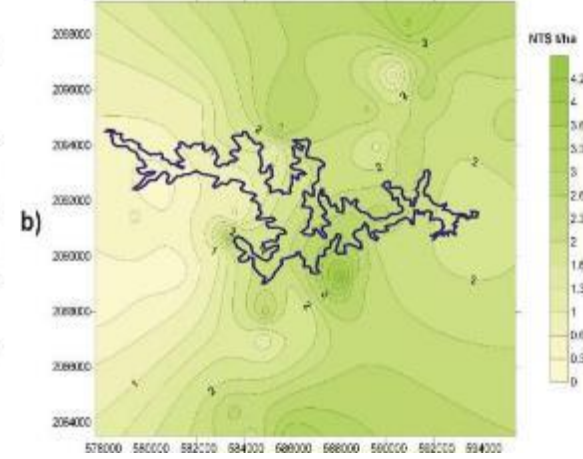
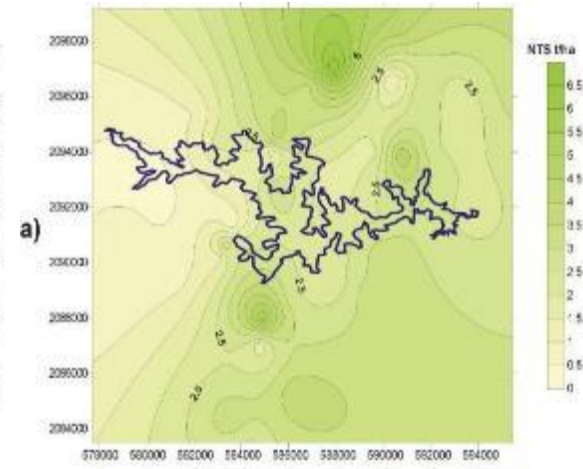
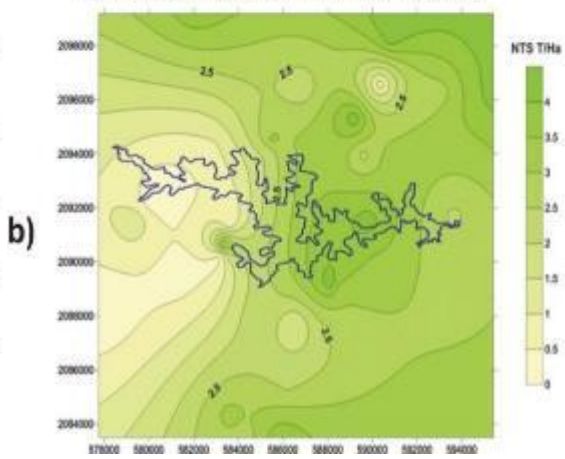
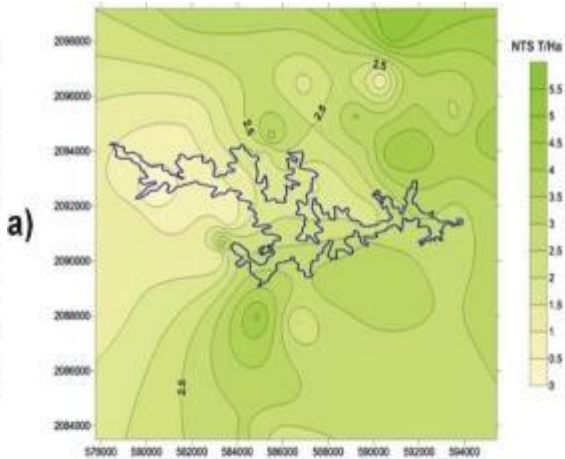
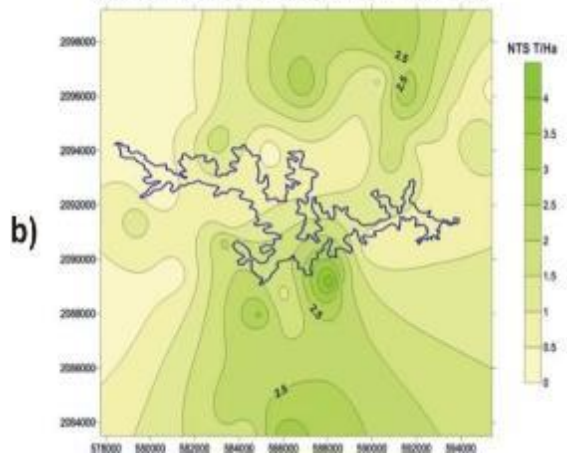
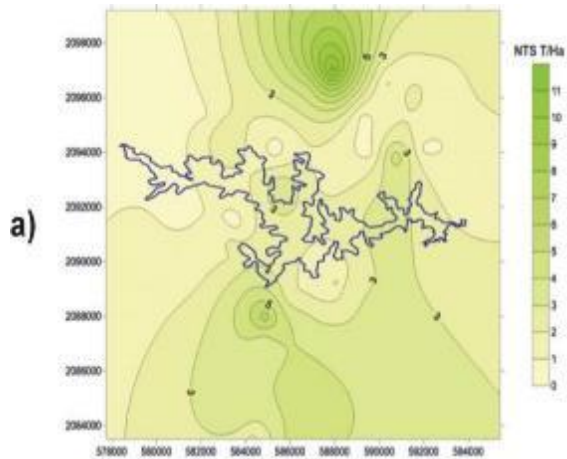


Mapa 15 . Lluvia: Contenido de carbono orgánico en suelo: a) profundidad 0-10 cm. b) profundidad 10-20 cm.



Mapa 16. Sequía₍₂₎: Contenido de carbono orgánico en suelo: a) profundidad 0-10 cm. b) profundidad 10-20 cm.

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenido y con apoyo del software Surfer.



Mapa 17. Sequía(1): Nitrógeno total en suelo: a) profundidad 0-10 cm b) profundidad 10-20 cm

Mapa 18. Lluvia: Nitrógeno total en suelo: a) profundidad 0-10 cm. B) profundidad 10-20 cm.

Mapa 19. Sequía(2): Nitrógeno total en suelo: a) profundidad 0-10 cm. B) profundidad 10-20 cm.

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenido y con apoyo del software Surfer.

19.1. Relación de carbono orgánico entre uso de suelo y grados de erosión

Golchin *et al.*(1998) y Kay (1998) aseguran que la erosión hídrica es un proceso selectivo que moviliza preferencialmente los componentes edáficos de menor tamaño y densidad, los sedimentos se enriquecen en partículas de menor tamaño como limo y arcilla que constituyen las reservas más estables de CO, debido a su protección física en el interior de los agregados (Arbelo *et al.*, 2003). El contenido de carbono orgánico del suelo no presenta diferencias significativas de acuerdo al uso de suelo y a la interacción entre Grado de erosión*Uso del suelo, pero si las presenta de acuerdo al grado de erosión; cabe resaltar que la relación estadística es diferente del Cuadro 33, donde se muestra que si hay diferencias de COS de acuerdo a uso de suelo, ya que se hace la comparación entre todos los factores (profundidad, temporada de muestreo, tipo y uso de suelo, y sus interacciones. El NTS presenta diferencias significativas en cuanto al grado de erosión, pero no las presenta en uso de suelo y sus interacciones. Mientras que pH presenta diferencias significativas en los tres factores. Los valores de la Densidad aparente presentan diferencias significativas de acuerdo a la grado de erosión y a la interacción entre Grado de erosión* Uso de suelo, de acuerdo a uso de suelo no las presenta (Cuadro 37).

Cuadro 37. Valores p resultantes del análisis multivariante de la varianza, a un nivel de confianza del 95%

Factor	Variable	COS	NTS	pH	Densidad aparente
	Uso de suelo	0.45	0.80	0.11	0.20
	Grado de erosión	0.03	0.02	0.05	0.90
	Grado de erosión* Uso de suelo	0.30	0.76	0.00	0.37

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenido y con apoyo del paquete estadístico Minitab 6.

El proceso de la erosión está estrechamente vinculado con la desertificación, el cambio climático y la pérdida de la biodiversidad, lo que acentúa los índices de pobreza y migración, disminución de la productividad del suelo e incrementa la frecuencia de eventos extremos como lluvias torrenciales, abandono de tierras por efectos de la sequía (Bolaños *et al.* 2016). De acuerdo a lo anterior, el COS presenta una importante variación de acuerdo a los grados de erosión, éste disminuye a mayor grado de erosión y lo mismo pasa con NTS (Cuadro 38), lo que coincide con lo encontrado con Kirkels *et al.* (2014) quienes afirman que la erosión, el transporte y la deposición alteran las concentraciones de COS. Proceso que se

agrava con las actividades antrópicas que conducen a la pérdida del COS debido a la reducción en la producción de biomasa y bajas cantidades de residuos que se integran al suelo. Los habitantes del Sitio Ramsar, se han comenzado a dar cuenta de este importante cambio que ocurre en el suelo, ya que ellos mismos comentan que el suelo ya no produce como antes, por esta razón los propietarios han decidido abandonar y hasta vender sus terrenos. Proceso que se ha observado desde antes del inicio de este trabajo (Figura 18). Además, cabe recalcar que de acuerdo al H. Ayuntamiento de Puebla (2007), en el programa municipal de desarrollo urbano sustentable de Puebla, se genera un polígono de preservación ecológica con proyectos especiales “Valsequillo”, que se refiere específicamente a la zona localizada en la parte sur de la mancha urbana, cuyo principal función es dotar de suelo para el crecimiento urbano del municipio, siempre y cuando sea saneado el Lago de Valsequillo.

Cuadro 38. Promedios de resultados obtenidos de las variables COS, NTS, pH y densidad aparente contra grados de erosión. a, b, indican diferencias significativas medidas por prueba de Tukey.

Variables Grados de erosión	COS (t/ha)	NTS (t/ha)	pH H₂O	Densidad aparente (g/cm³)
Nula	21.22±11.59 a	1.87±1.16 a	6.56±0.78 a	1.05±0.12 a
Ligera	18.85±11.43 a	1.74±1.27 a	6.61±0.57 a	1.09±0.09 a
Moderada	16.02±4.31 a,b	0.94±0.67 b	6.49±0.53 a	1.10±0.06 a
Severo	7.82±6.61 b	0.37±0.36 b	6.65±0.30 a	1.11±0.12 a

Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenido y con apoyo del paquete estadístico Minitab 6.



Figura 18. Venta y lotificación de parcelas dentro del Sitio Ramsar.

19.2. Relación Carbono /Nitrógeno del suelo

La materia orgánica (MO) y el nitrógeno total (NT) son dos propiedades fundamentales para evaluar la fertilidad del suelo. La importancia del estudio del N se debe a que es uno de los elementos más limitantes en la producción de cultivos. Así como también es uno de los más dinámicos en los suelos por lo que responde rápidamente a manejos diferentes. La acción microbiana puede mineralizar o inmovilizar el nitrógeno. El principal factor que determina cuál de los dos procesos va a ocurrir es la relación carbono/nitrógeno (C/N). Si la relación es mayor, parte del nitrógeno del suelo se inmoviliza; si es menor, ocurre la mineralización al tiempo que se descompone la materia orgánica (Thompson y Troeh, 1988).

En el Cuadro 39 se muestran los datos para ambos muestreos y profundidades de la relación C:N, donde de acuerdo a Ortiz y Ortiz, C. (1987) se encuentran en rango medio para la descomposición adecuada de la materia orgánica y proporciona una cantidad relativamente grande de humus y nitratos. Sin embargo existen algunas zonas que presentan una relación C/N muy baja, lo que indica una lenta descomposición de la materia orgánica, dejando al nitrógeno desprotegido por lo que se favorece su mineralización.

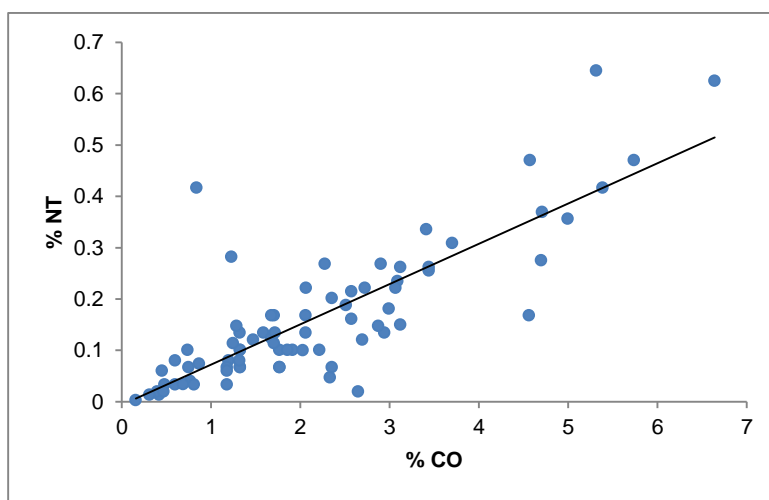
Una de las razones que es importante considerar para determinar la razón por la cual ha variado el contenido de carbono orgánico en los suelos del sitio Ramsar, es el tipo de vegetación que está presente, ya que la relación C/N que presenta la vegetación también interviene en el almacenamiento de COS. Cuando se añaden al suelo residuos con alta relación C/N, la flora heterótrofa se vuelve activa y se reproduce activamente liberando CO₂ en grandes cantidades, el nitrógeno en forma de nitratos desaparece debido a la demanda inusitada e insistente de los microorganismos, la relación C/N de los residuos vegetales decrece ya que el C se pierde y el N se conserva, esto persiste hasta que se lleva a cabo la humificación (Weil y Brady, 1999). Es por esto que existe una estrecha relación entre el contenido de COS y de NTS, es decir, a medida que aumenta el porcentaje de carbono orgánico, al mismo tiempo lo hace el nitrógeno total. El análisis de correlación entre estas variables para las tres temporadas muestreadas presentan un alto grado de asociación (sequía₍₁₎ $r = 0.824$ y $p = 0.0$ (Gráfica 6); lluvia $r = 0.709$ y $p = 0.0$ (Gráfica 7); sequía₍₂₎ $r = 0.774$ y $p = 0.0$ (Gráfica 8)).

Cuadro 39. Relación carbono/nitrógeno

Uso de suelo	Temporada de muestreo					
	Sequía ⁽¹⁾		Lluvia		Sequía ⁽²⁾	
	Relación C/N		Relación C/N		Relación C/N	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
BQ/VSa	13.11	15.90	9.43	8.00	8.50	9.25
PI	13.91	22.23	10.09	8.56	13.21	12.50
AT	16.91	21.20	12.27	9.33	13.70	12.33
AH	12.21	17.16	6.63	3.95	4.39	3.75

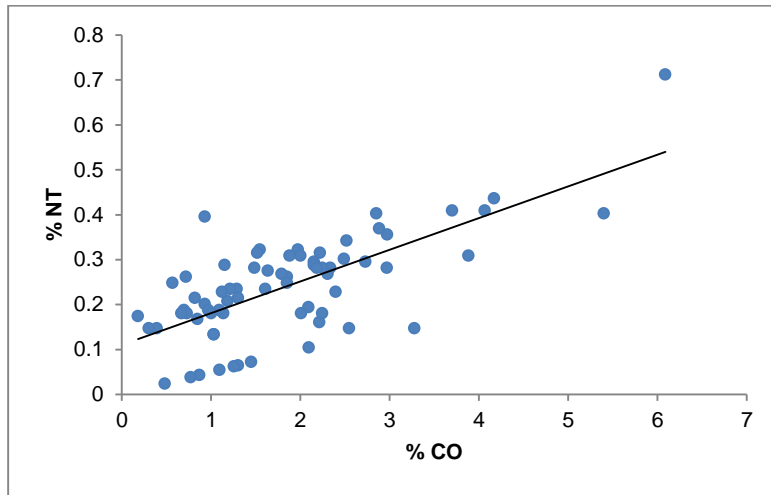
Fuente: Elaboración propia en base a los datos obtenido de carbono orgánico y nitrógeno total.

Si se relaciona lo anterior, con los contenidos de carbono orgánico reportados para este trabajo, de acuerdo a diversos autores (Weil y Brady (1999); Oliver (2002); Rocha y Ramírez (2009); FAO (s.f.)) la relación C/N de encino es de 60, lo que indica que la descomposición de los residuos de materia orgánica es más lenta, por lo tanto, la incorporación de CO al suelo es menor; por otro lado, con el maíz, los pastos y leguminosas ocurre todo lo contrario ya que presentan una relación mucho más baja (relación C/N de 31 para maíz; 10 - 20, para pastos y leguminosas). Esta es la razón por la cual en la temporada de sequía⁽²⁾ el valor de COS en el BQ/VSa no se incrementa sino que se mantiene, mientras que para PI los residuos tienden a descomponerse con mayor rapidez, por lo que en la temporada de lluvia y sequía⁽²⁾ se incrementa su concentración; para el caso de AT los valores no variaron considerablemente en las tres temporadas; sin embargo, en esta zona se practica la labranza convencional, por lo que el factor que condiciona se debe a que los agricultores preparan la tierra para su cultivo.

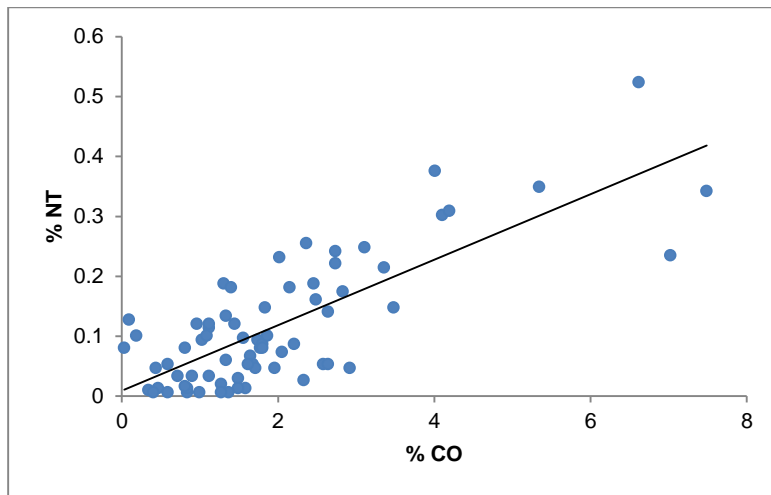


Gráfica 6. Correlación % NT y % CO, Sequía⁽¹⁾.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 7. Correlación % NT y % CO, Lluvia.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 8. Correlación % NT y % CO, Sequía(2).
Fuente: Elaboración propia.

19.3. Relación del carbono orgánico y densidad aparente del suelo

La materia orgánica es un indicador clave de la salud del suelo y de las funciones ambientales; es decir, la actividad biológica que esta genera tiene gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas del suelo (Alvarado *et al.*, 2013). La densidad aparente del suelo es un factor importante en lo que a contenido de materia orgánica del suelo se refiere, a mayor contenido de materia orgánica menor densidad aparente y, por ende, mayor

porosidad, lo cual favorece el ambiente para el desarrollo de la raíz (Castellanos *et al.*, 2000).

Alvarado *et al.* (2013) encontraron una relación inversa entre la densidad aparente del suelo y el contenido de carbono orgánico a la profundidad de 0-30 cm; es decir, a medida que se incorpora carbono orgánico al suelo se disminuye su densidad aparente y, por ende, su compactación (Figura 19).

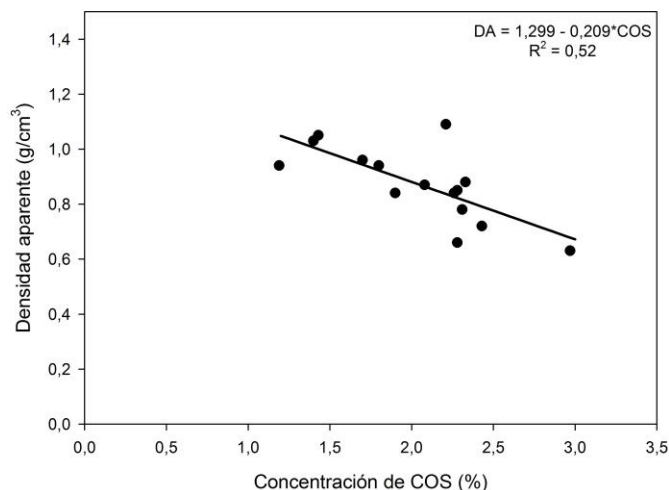


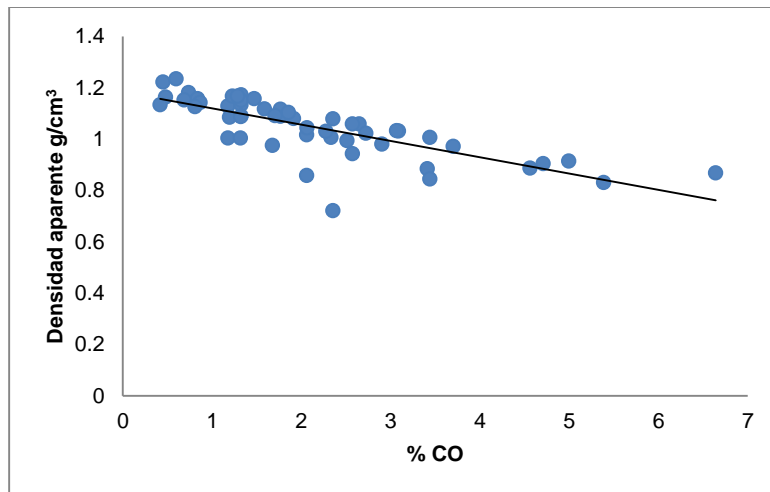
Figura 19. Relación entre la densidad aparente (DA) y el contenido de carbono orgánico en suelos
Fuente: Alvarado *et al.*, 2013

Se realizó esta misma comparación con los resultados obtenidos de densidad aparente y el contenido de carbono orgánico del suelo (Gráficas 9, 10 y 11) donde se puede apreciar que hay correlación entre las variables densidad aparente y % carbono orgánico. Sin embargo, existen algunas excepciones donde la DA es menor, a pesar de que el contenido de COS sea bajo, los suelos del sitio Ramsar ya han sido degradados, por ejemplo: el paso del ganado en suelos bajo pastizales inducidos ha provocado su compactación, además al estar desprotegidos de vegetación se han erosionado, lo mismo ocurre con los suelos bajo agricultura de temporal, donde la labranza convencional modifica la estructura de la capa superficial del suelo, disminuyen los espacios porosos y la reducción del COS. Por otro lado, la maquinaria para la apertura de caminos para el paso de los vehículos y la remoción de suelo para la instalación de infraestructura como es el caso de tubería, todo para beneficio de los pobladores, agravan la compactación del suelo (Figura 20).

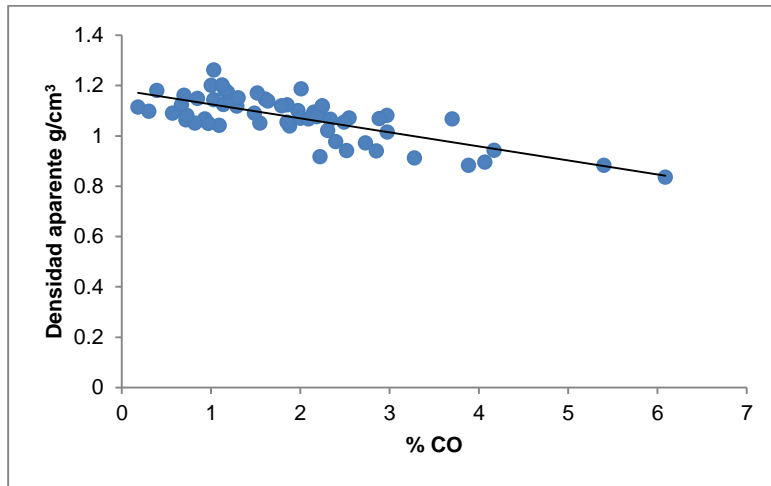


Figura 20. Alteración del suelo en el sitio Ramsar.

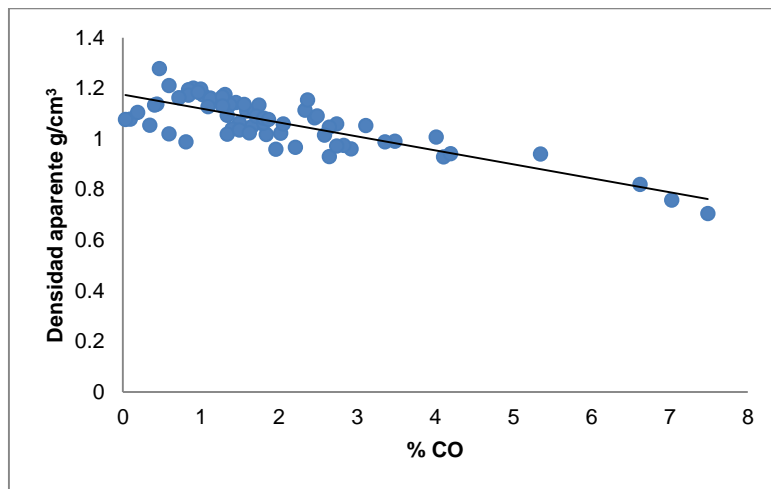
A pesar de lo antes explicado, para las tres temporadas muestreadas se presenta alto grado de correlación entre la variable densidad aparente y % CO (sequía₍₁₎ $r = -0.762$ y $p = 0.0$ (Gráfica 9); lluvia $r = -0.738$ y $p = 0.0$ (Gráfica 10); sequía₍₂₎ $r = -0.814$ y $p = 0.0$ (Gráfica 11)). Esta correlación, proporciona información de la importancia que tiene la presencia del carbono orgánico en el suelo, ya que a medida que se incorpora al suelo, la densidad aparente del suelo tiende a disminuir, lo cual además, favorece al crecimiento radicular y el desarrollo de la planta (Alvarado *et al.* 2013).



Gráfica 9. Correlación entre densidad aparente y % CO, Sequía₍₁₎.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 10. Correlación entre densidad aparente y % CO, Lluvia.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 11. Correlación entre densidad aparente y % CO, Sequía₍₂₎.
Fuente: Elaboración propia.

DIAGNÓSTICO GENERAL

20. Diagnóstico general

Se realizó la evaluación del uso de los bienes naturales del Sitio Ramsar, su estado y condición actual, en especial del bien común suelo, además del servicio ecosistémico de captura de carbono que tiene como beneficio mitigar los efectos del cambio climático que contribuye a regular el clima local y regional, esto solo puede llevarse a cabo si el ecosistema se mantiene conservado. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto el acelerado estado de degradación socio-ambiental del sistema. Por lo que en base a lo anterior, se determinaron las interrelaciones que estructuran al Sistema Complejo sitio Ramsar “Presa Manuel Ávila Camacho”, las cuales se describe en el siguiente diagrama (Figura 21). El sistema se dividió en dos subsistemas (socio-económico y ambiental), los cuáles a la vez se dividen en tres niveles de procesos que describen los cambios que tienen lugar en el sistema, el *1^{er} nivel* son cambios producidos en los métodos de producción y en las condiciones de vida asociados a modificaciones del sistema productivo en la región; el *2^{do} nivel* son las modificaciones en el sistema productivo, que indujeron cambios significativos en el primer nivel y el *3^{er} nivel* son políticas nacionales de desarrollo que determinan la dinámica de los procesos de segundo nivel.

1^{er} Nivel

Desde hace más de 30 años ha existido en el sitio la tala inmoderada de árboles, ya sea para su venta como carbón o para abrir nuevas áreas agrícolas o de pastoreo, dejando al suelo desprotegido, favorecido su degradación y la pérdida constante de sus principales elementos y por consiguiente, el carbono orgánico del suelo (COS), proceso que se ha incrementado con el transcurso del tiempo. Estas acciones han favorecido la pérdida de la biodiversidad, el rompimiento de los ciclos biogeoquímicos y alterado los servicios ecosistémicos, como es el caso del almacenamiento del carbono orgánico, lo cual además se agrava por la falta de un adecuado manejo del suelo y la carencia de prácticas de conservación y recuperación del mismo. Esto ha incrementado la pérdida del suelo por erosión hídrica trayendo como consecuencia un empobrecimiento y disminución en su capacidad productiva. De acuerdo a lo observado y analizado en campo, el grado de erosión en la zona se divide en cuatro sectores, el primero de

ellos con erosión nula, se localiza en la parte norte y centro del sitio Ramsar, abarcando aproximadamente el 60% de la superficie del territorio, donde se pierden 4 t/ha/año por la eliminación de la cubierta vegetal para la introducción de cultivo de maíz, principalmente. El segundo sector, con erosión ligera, abarca 20% de la superficie del terreno, presenta pérdidas mayores de 5 t/ha/año el uso del suelo es agricultura de temporal y pastizal inducido, que se ubican en zonas con un grado de pendiente de aproximadamente 10%. El tercer sector, con erosión moderada, abarca 10% de la superficie del terreno, presenta pérdidas de hasta 46 t/ha/año, principalmente en zonas de pastizal inducido y bosque de encino/VSa, en pendientes de 24%. Por último, el cuarto sector, con erosión severa, se localiza en la zona sur en las partes más altas del sitio RAMSAR, abarcando 10% del terreno, presenta pérdidas de hasta 99 t/ha/año, se caracteriza por la pérdida del horizonte superior; abundantes surcos y cárcavas medianas a grandes. Los suelos con este grado de erosión se localizan bajo una vegetación de PI y BQ/VSa en una pendiente promedio de 30%.

Por otro lado, la transformación de pastizales y áreas forestales en zonas agrícolas o de pastoreo que ha presentado el sitio RAMSAR, han dado como resultado las pérdidas de COS. De acuerdo a los resultados obtenidos de los recorridos en campo y análisis de las muestras realizadas, en promedio, se perdieron 17 t/ha en los suelos cubiertos por BQ/VSa entre la temporada de sequía⁽¹⁾ y la de lluvia, ya que para la temporada de sequía⁽²⁾ la concentración no aumentó, pero se mantuvo. Es importante considerar, para determinar la razón por la cual ha variado el COS del sitio RAMSAR, es conocer el tipo de vegetación que está presente, ya que la relación C/N de esta, interviene en el almacenamiento de COS. La relación C/N que presentan los encinos es de 60, por lo que su descomposición es mucho más lenta, y aunado a los procesos de erosión que presentan los suelos, ha provocado la disminución y evitado el incremento del COS. Por otro lado, de acuerdo al análisis estadístico, se presentan cambios significativos en cuanto al almacenamiento de COS de acuerdo al tipo de uso de suelo y la profundidad, con respecto a los muestreos realizados en las diferentes temporadas.

Si se continúa con esta tendencia en cuanto a la disminución el COS, los suelos no tendrán los elementos necesarios para que los seres vivos lleven a cabo sus funciones, así como para el crecimiento de la vegetación, ya que el suelo habrá llegado a un proceso de desertificación. Provocando la disminución de la biodiversidad, la carencia de alimento tanto para los seres humanos como para los demás seres vivos que dependen del sitio RAMSAR, como las aves migratorias, que después de su largo viaje, buscan un lugar para descansar y donde anidar.

Además, el constante incremento de CO₂, considerado uno de los principales gases de efecto invernadero, a la atmosfera contribuye al cambio climático, lo cual ejercerá influencia sobre los suelos, alterando los procesos de la fotosíntesis y la descomposición de la materia orgánica.

Existe una preocupante falta de apoyo técnico, económico, de capacitación y transferencia de tecnología sustentable en el manejo de la agricultura y la ganadería. Además, de no aplicar las medidas necesarias y cumplir con la planificación para la conservar o restauración de las características ecológicas del Sitio Ramsar a la que el Estado se comprometió para su enlistado, puede causar la retirada o la reducción de los límites del Sitio. De continuarse con esta dinámica, la pérdida del humedal es inminente.

2^{do} Nivel

Existen conflictos sociales dentro del sitio, por tierras y aguas de buena calidad, ya que por las concentraciones altas de mercurio, plomo, zinc y cobre, 90, 60, 170 y 50 mg/L, respectivamente (Larenas, 2010), que presenta el agua de la presa prohíbe su uso; así como el desconocimiento por los mismos para la denominación Ramsar del sitio, las comunidades se alzan en defensa de sus tierras amenazadas, pero al mismo tiempo la mayoría de los jóvenes rurales se alejan física, espiritual e ideológicamente del campo. Algunos agricultores están revalorando las antiguas prácticas prehispánicas del cultivo y explorando alternativas dejando de lado la preservación del ambiente, los jóvenes deciden migrar, proceso que se refleja con resultados de los censos de población y vivienda 2005 y 2010, donde para el primero 4,015 y para el segundo 2,223 personas habitaban en otra entidad. Aunado a esto, la demanda de tierras debido al aumento de la población (para el 2005 habitaban 155,794 personas y para el 2010, 173,540 personas) también resulta en procesos de migración y marginación, que de acuerdo a CONAPO (2010) el sitio tiene un índice entre alto a muy alto, lo que trae como consecuencia la ruptura de generaciones de tradiciones.

El importante crecimiento que ha presentado la Ciudad de Puebla ha traído como resultado la deforestación en el sitio la cual es alarmante, de las 24,042 ha de la superficie, 2,737 ha corresponden a la mancha urbana del municipio de Puebla, y de las pequeñas localidades dispersas en el sitio. Para el año 2000, existían 318 ha de bosque de encino, de los cuales 252 ha pasaron a formar parte del pastizal inducido; mientras que para el 2003, 63 ha pasaron a una etapa de sucesión secundaria (BQ/VSa). Actualmente, 4,122 ha están cubiertas por bosque de

encino con vegetación secundaria arbustiva (BQ/VSa), sin embargo las que abarcan una mayor superficie en la zona son pastizal inducido y agricultura de temporal, 7,861 ha (33%) y 6,663 ha (28%), respectivamente. Además las tierras que eran destinadas para la agricultura han disminuido su superficie ya que han recibido poco apoyo por parte del gobierno estatal y federal quienes desde su perspectiva e intereses, lo campesino no representa ninguna opción económica y social, sin embargo, los recursos que poseen son atractivos para la acumulación capitalista. Aunado a esto, existe un proyecto que fue autorizado el 8 Diciembre de 2015 para la construcción de dos puentes que conectarán la zona sur de la Presa Manuel Ávila Camacho con la avenida 11 sur y la carretera a Tecali de Herrera, los cuales atravesarán la Presa, a la conclusión de este trabajo de tesis las obras no han comenzado, la autorización fue publicada en la Gaceta Ecológica de la Secretaría de Medioambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (SEPARATA N° DGIRA/051/15). Por todo esto, existe desestabilización social y económica de la población que habita dentro del Sitio Ramsar.

3^{er} Nivel

Se identificó la mala visión de las políticas públicas, tanto internas como externas (condiciones del contorno) sistema que afectan al mismo, de acuerdo a García (2006) son política nacionales e internacional, que si bien no se crean dentro del sistema, afectan al mismo en los elementos del 1^{er} y 2^{do} nivel. Estas políticas apoyan a los grandes productores de maíz que se ubican fuera del sistema, por ejemplo Libres Oriental, dejando de lado a los productores de subsistencia como es el caso del sitio Ramsar. Hecho que ha favorecido el aumento de las condiciones de rezago social y marginación entre la población, que de acuerdo a CONAPO (2010), el sitio tiene de alto a muy alto, para ambos casos. Lo que ha provocado el uso de prácticas agrícolas no aptas, así como también, la mala distribución de las tierras. Problemas que se agravan por la carencia de programas de natalidad que ha generado el incremento de la población. Además, el agua de los ríos principales (Atoyac y Alseseca) que convergen en la presa, presentan altos porcentajes de contaminantes principalmente de origen industria y urbano. Integrado a lo anterior, no existen sinergias ni articulación entre sociedad y gobierno.

Del diagrama anterior se pueden destacar una serie de elementos donde se interrelacionan los elementos del subsistema socioeconómico y ambiental, que ayudan a comprender la complejidad del sistema propuesto, resaltando los principales problemas que afectan al mismo (Figura 22).

Las Políticas públicas ineficientes han generado la separación y el descontento de la sociedad civil para con el gobierno, provocando acciones separadas entre estos sectores; por ejemplo, no comunicar a la población las acciones y decisiones que se aplican sobre el territorio, como el decreto de áreas naturales protegidas, como es el caso del Sitio Ramsar, así como también el despojo de tierras o cambio de usos del suelo para fines privados. Por otro lado, el apoyo al campo es ineficiente, por lo que los agricultores se han visto en la necesidad de utilizar prácticas que no son aptas para el suelo como la siembra en sentido de la pendiente, dejar al suelo desprotegido de vegetación y en algunos casos el uso de maquinaria para preparar el suelo. Aunado a lo anterior, con el incremento de la población, se generan mayores conflictos entre la sociedad y surge la necesidad de migrar fuera de la zona de origen para tener mejores condiciones de vida, generando la pérdida de sus tradiciones y herencias. Además, se requieren de mayores superficies de tierras, que ya las que poseen ya no tienen la capacidad de producir, por lo que se fomenta la deforestación. Dicho proceso ocasiona el incremento de uno de los principales gases causantes del calentamiento global, dióxido de carbono (CO₂), lo que después de muchos años y su acumulación en la atmósfera, ha provocado cambios en el clima. Esto último es un proceso que se ha acumulado a lo largo de muchos años, y uno de sus principales efectos además del incremento de la temperatura, es la variación de la lluvia, generando temporadas de lluvia torrencial o sequía extremas. La deforestación y el cambio climático, provocan condiciones ambientales inadecuadas para la sobrevivencia de flora y fauna, lo que conlleva a su disminución hasta llegar a la pérdida total de la biodiversidad. Por lo que de seguir con la misma tendencia y el desacuerdo entre la sociedad y el gobierno, se llegará a la pérdida del humedal.

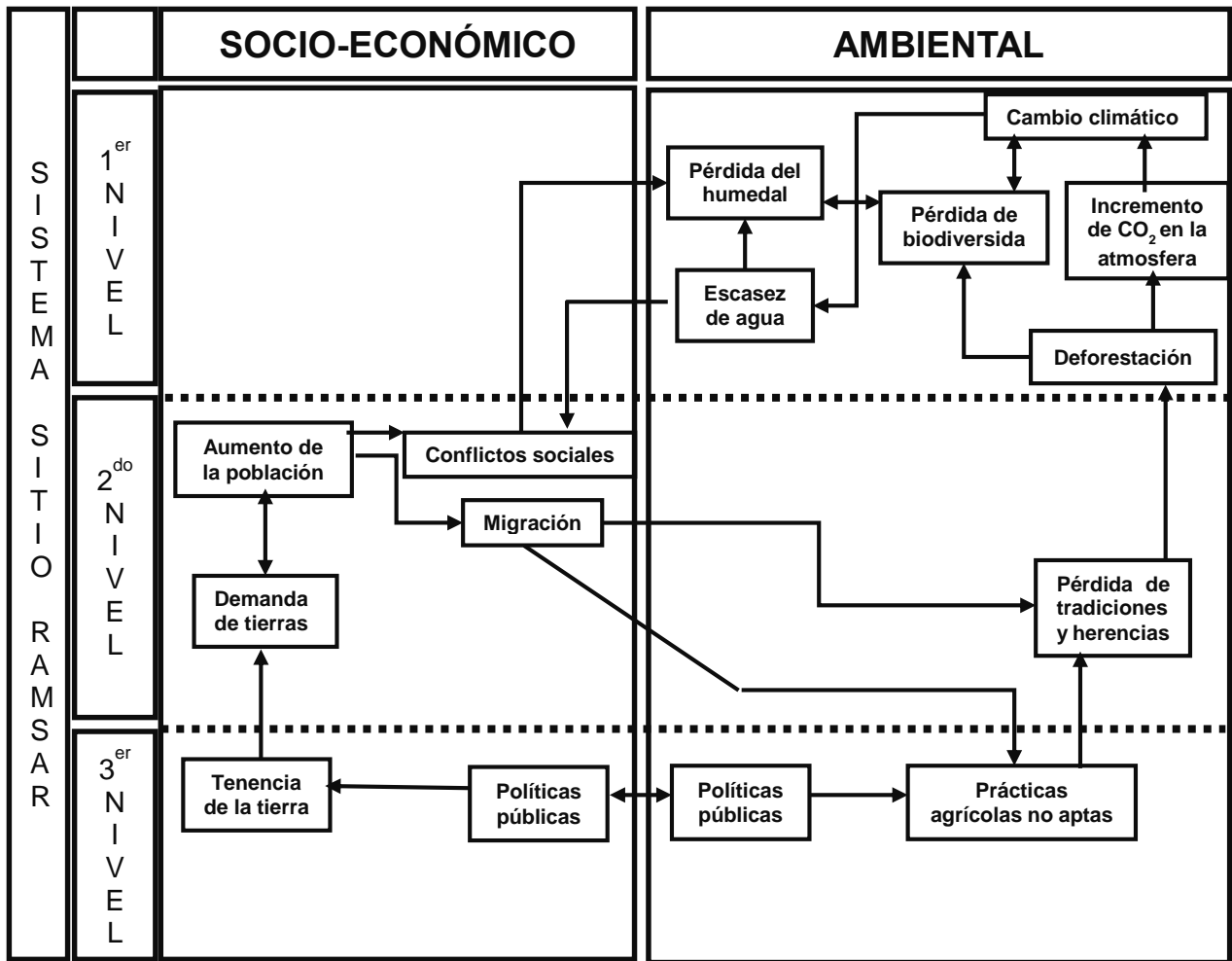
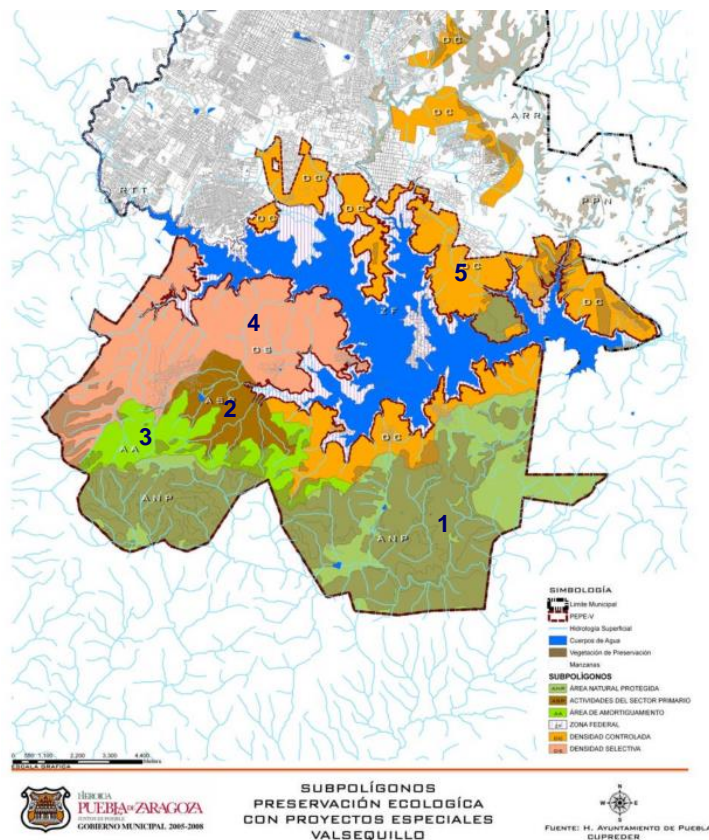


Figura 22. Diagrama de la complejidad del sistema propuesto en el Sitio Ramsar.

**PROPUESTAS DE MANEJO PARA LA
RECUPERACIÓN Y CONSERVACIÓN
DEL SITIO RAMSAR NO. 2027 “PRESA
MANUEL ÁVILA CAMACHO”**

Las propuestas se encuentran jerarquizadas con clave del 1 al 5 de acuerdo al Programa Municipal de Desarrollo Urbano Sustentable Puebla, que establece 5 subpolígonos para el área de Valsequillo, descritos a continuación.



Fuente: H. Ayuntamiento de Puebla, 2007.

Clave	Subpolígonos	Descripción
1	Área Natural Protegida	Esta área se caracteriza por contener una importante riqueza biótica y una importante densidad arbórea
2	Área Natural de Amortiguamiento y Restauración	Sirve como área de amortiguamiento para el ANP o estratégica para el medio ambiente.
3	Área de actividades del sector primario	Área de uso agrícola para la actividad que se genera actualmente, además de que en el área se encuentra la mayor cantidad de peligros o desastres por los flujos y deslizamientos, peligros por hundimiento y densidad por fracturamiento.
4	Área de densidad selectiva	Área de crecimiento urbano con DS la cual debe aplicarse de acuerdo a los reglamentos vigentes en materia de Asentamientos Humanos
5	Área de densidad controlada	Se caracteriza por encontrarse en forma horizontal en la mitad del perímetro sur oriente del lago de Valsequillo, donde existe un deterioro considerable del ecosistema y además se encuentran localidades suburbanas inscritas.

21. Propuestas y acciones de manejo para la recuperación y conservación el Sitio Ramsar 2027 “Presas Manuel Ávila Camacho.

Problemas detectados:

- Malas prácticas agrícolas.
- Pérdida de tradiciones y herencias.

Objetivo esperado 1: Uso racional del Sitio Ramsar “Presas Manuel Ávila Camacho”.

ESTRATEGIAS	ACTORES	BENEFICIOS ESPERADOS	ZONA DE IMPACTO	FACTIBILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> • En zonas de pastizal inducido aplicar la siembra en fajas de leguminosas que cubran una pequeña parte del total de la superficie y alternando el pastoreo con períodos de reposo de la tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir/evitar la compactación. • Evitar el uso de fertilizantes químicos. • Reduce la erosión al desarrollar una cubierta vigorosa de pastos. • Aumenta la cantidad y calidad del forraje. • Mejora la salud y nutrición del ganado. • Proveer alimento y albergue para la vida silvestre. 	3	<ul style="list-style-type: none"> • 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Ejemplo de Costo aproximado para frijol 25,000.00 (2,000 kg/ha). Fuente: http://www.aarfs.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=142&Itemid=578
<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar las prácticas de producción en las zonas de cultivo para evitar la apertura de nuevas áreas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir o evitar el incremento de la deforestación. • Evitar el incremento de nuevas áreas erosionadas. 	2, 3	<ul style="list-style-type: none"> • 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. • El costo depende de la práctica que se aplique.
<ul style="list-style-type: none"> • Establecer áreas destinadas para que el ganado patee. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar la compactación del suelo. 	2	<ul style="list-style-type: none"> • 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Costo aproximado de instalación de corrales por m² \$100.00. Fuente: http://teca.fao.org/node/8337
<ul style="list-style-type: none"> • Implementar la agricultura de policultivos utilizando leguminosas como: habas, alfalfa, frijol, ejotes, lentejas, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Fijar nitrógeno al suelo. • Evitar el uso de fertilizantes químicos. 	3	<ul style="list-style-type: none"> • 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Ejemplo de Costo aproximado para frijol 25,000.00 (2,000 kg/ha). Maíz 28,000.00 (11 t/ha). Fuente:

ESTRATEGIAS	ACTORES	BENEFICIOS ESPERADOS	ZONA DE IMPACTO	FACTIBILIDAD
				http://www.aarfs.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=142&Itemid=578
<ul style="list-style-type: none"> Implementar el cultivo en contorno, hacer hileras siguiendo las curvas de nivel; y el uso de abonos orgánicos como estiércol o residuo vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar el uso de fertilizantes químicos. Conservan la capa fértil de los predios y la calidad del agua. Aumentan el agua disponible para las plantas. controlar la erosión hídrica y reducir el deterioro de la capacidad productiva del suelo. 	3	<ul style="list-style-type: none"> 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. Costo aproximado de aplicación de abonos verdes de \$268 por hectárea. Fuente: <i>Cardoza et al. (2007)</i>
<ul style="list-style-type: none"> Implementar la labranza de conservación y cero. 	<ul style="list-style-type: none"> Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> Cubrir el suelo por más tiempo para reducir el impacto erosivo de la lluvia. Conservan el agua y reduce la evaporación. 	3	<ul style="list-style-type: none"> 93% los involucrados está de acuerdo en participar. Reduce tiempo de producción, combustible y mano de obra. El costo de la cero labranza es de \$58.685/ha. Fuente: <i>Baker et al. 2007</i>
<ul style="list-style-type: none"> Establecer rodales forestales para el aprovechamiento de leña y cobertura. 	<ul style="list-style-type: none"> Ejidatarios Campesinos SEDUSU 	<ul style="list-style-type: none"> Evitar la deforestación de la vegetación original. 	1, 2	<ul style="list-style-type: none"> 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. Convocatoria CONAFOR 2017: convocatoria en el estado de Puebla para la solicitud y asignación de apoyos del componente VI. Plantaciones forestales comerciales del programa nacional forestal (PRONAFOR) 2017

- Corto plazo (1 año)
- Mediano plazo (1-3 años)
- Largo plazo (1-5 años)

Problemas detectados:

- Contaminación del agua.
- Deforestación y cambio de uso de suelo.
- Degradación por erosión hídrica superficial y pérdida de la capa arable del suelo.
- Perdida del carbono orgánico almacenado en el suelo.


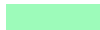

Objetivo esperado 2: Evitar, detener e invertir la pérdida y degradación de los humedales.

ESTRATEGIAS	ACTORES	BENEFICIOS ESPERADOS	ZONA DE IMPACTO	FACTIBILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> • Regular la calidad del agua que entra al Sitio Ramsar desde las fuentes de origen. 	<ul style="list-style-type: none"> • PROFEPA • CONAGUA • CEAS 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la calidad del agua de la presa. 	Presa	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Plan Estatal de Desarrollo 2011-2017, tiene como compromiso revertir los altos índices de contaminación que presentan los mantos acuíferos en el Estado, lo cual se observa en el OBJETIVO 1, en la Estrategia 1.2 “Sanear las cuencas del Alto Atoyac y Necaxa”, en la línea de acción 1.2.4. “Promover la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales”.
<ul style="list-style-type: none"> • Evitar que el ganado entre en áreas con vegetación reforestada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campesinos • Ejidatarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenir el pisoteo del sotobosque y plantas en desarrollo, la compactación del suelo y la defoliación de arbustos. 	1	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Costo aproximado de instalación de corrales por m² \$100.00. Fuente: http://teca.fao.org/node/8337
<ul style="list-style-type: none"> • Establecer áreas destinadas para que el ganado pastee, y así evitar que abarquen más superficie, 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejidatarios • Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar la compactación del suelo. 	2	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Costo aproximado de instalación de corrales por m² \$100.00. Fuente: http://teca.fao.org/node/8337

ESTRATEGIAS	ACTORES	BENEFICIOS ESPERADOS	ZONA DE IMPACTO	FACTIBILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> • Instalar biodigestores a base de residuos caseros o estiércol de ganado. 	<ul style="list-style-type: none"> • SEDUSU • SEDESOL • Ejidatarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de los problemas de contaminación de las aguas residuales por excretas • Contribuir a reducir los niveles de deforestación por uso de leña con fines energéticos. 	<p>4, 5</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • El costo varía de acuerdo al número de vacas o cerdos con los que cuenta la familia, desde \$25,000.00 <p>Fuente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Programa de Sanitarios con Biodigestores de la Secretaría de desarrollo social.
<ul style="list-style-type: none"> • En zonas de pastizal inducido aplicar la siembra en fajas de leguminosas que cubran una pequeña parte del total de la superficie y alternando el pastoreo con períodos de reposo de la tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la erosión al desarrollar una cubierta vegetal. • Aumenta la cantidad y calidad del forraje que protege al suelo. • Provee alimento y hábitat para la vida silvestre. 	<p>3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Ejemplo de Costo aproximado para: Frijol 25,000.00 (2,000 kg/ha). Maíz 28,000.00 (11 t/ha). <p>Fuente: http://www.aarfs.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=142&Itemid=578</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Reforestar con especies nativas las áreas de pastizal inducido como: encinos de las especies: <i>Quercus laurina</i>, <i>Quercus rugosa</i> y <i>Quercus cassifolia</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejidatarios • Campesinos • CONAFOR 	<ul style="list-style-type: none"> • Proteger y recuperar los suelos que se encuentran con algún estado de degradación. • Recuperar la vegetación originaria del lugar, así como incrementar los niveles de carbono orgánico al suelo 	<p>1, 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Convocatoria CONAFOR 2017: Convocatoria nacional para la solicitud y asignación de apoyos del programa nacional forestal (PRONAFOR) 2017
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar barreras muertas con las piedras y rocas, u otro material que se encuentre disponible en la zona, de acuerdo a las líneas de contorno del terreno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la velocidad del agua de escorrentía y evitar la erosión de los suelos. • Reducción de costos. 	<p>3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Costos aproximados de instalación y mantenimiento \$371.25 por 100 metros. <p>Fuente: Cardoza <i>et al.</i> (2007)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Proteger y conservar los bosques que aún se mantienen en la zona, creando planes de manejo involucrando a la población. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejidatarios • Campesinos • SEDUSU 	<ul style="list-style-type: none"> • Protegen el suelo contra la erosión, ya con sus raíces y la cobertura evitan los deslizamientos y el arrastre. 	<p>1, 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Convocatoria CONAFOR 2017: Convocatoria nacional para la solicitud y

ESTRATEGIAS	ACTORES	BENEFICIOS ESPERADOS	ZONA DE IMPACTO	FACTIBILIDAD
		<ul style="list-style-type: none"> • Dar cobertura y alimento a la fauna silvestre. • Incrementar o conservar los niveles de carbono orgánico almacenado en suelo. 		asignación de apoyos del programa nacional forestal (PRONAFOR) 2017
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar hileras vegetativas con pastos (como té limón), maguey o árboles de la familia de leguminosa, preferiblemente especies, que se pueden podar periódicamente para la obtención de leña. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejidatarios • Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservar la capa fértil de las parcelas de cultivo. • Reducir la cantidad de sedimento que llega a los cuerpos de agua. • Frenar la fuerza de la escorrentía y evitar la erosión. 	1, 2, 3	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Costos aproximados de instalación y mantenimiento \$1,380.00 por hectárea Fuente: Cardoza <i>et al.</i> (2007)
<ul style="list-style-type: none"> • Implementar la practicas agroforestales con especies nativas de la zona. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejidatarios • Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservar la vegetación y obtener recursos como madera, leña, frutos. 	2	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Costo aproximado de instalación y mantenimiento \$895.00 por hectárea. Fuente: Cardoza <i>et al.</i> (2007)
<ul style="list-style-type: none"> • Construir zanjas derivadoras de escorrentía para acortar el largo del predio y disponer de la escorrentía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejidatarios • Campesinos 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducen la erosión y el transporte de sedimento a los cuerpos de agua. • Conducen el agua de forma controlada hacia un desagüe protegido. • Reducen la escorrentía y aumentan la infiltración de agua. • Facilitar el recogido de la cosecha y el establecimiento de otras prácticas agrícolas. 	2, 3	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Costo aproximado de instalación y mantenimiento \$388.00 por 100 metros de zanja. • Fuentes: Cardoza <i>et al.</i> (2007)
<ul style="list-style-type: none"> • Priorizar la protección de áreas con grado de erosión muy severo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejidatarios • Campesinos • SEDUSU 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la erosión y la escorrentía en los diques, taludes, orillas de caminos y cárcavas. • Estabilizar las áreas susceptibles a derrumbes. • Reforestar las áreas desprovistas de vegetación. 	2, 3	<ul style="list-style-type: none"> • 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. • El costo depende de la práctica que se aplique.

ESTRATEGIAS	ACTORES	BENEFICIOS ESPERADOS	ZONA DE IMPACTO	FACTIBILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> En zonas urbanas, crear áreas verdes como: parques, huertas, traspacios. 	<ul style="list-style-type: none"> SEDUSU IMPLAN Sector académico 	<ul style="list-style-type: none"> Beneficiar a la población con áreas recreativas y convivencia familiar. Producción de algunos alimentos y reducir costos para la compra de los mismos. Reducen la huella de carbono en las ciudades y el efecto "isla de calor." 	4, 5	<ul style="list-style-type: none"> 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. Dentro del Plan municipal de desarrollo 2014-2018 del Municipio de Puebla, Eje 1 "Bienestar Social y Servicios Públicos", Programa 6 "Crecimiento Sustentable", se contempla en sus acciones y estrategias la construcción.
<ul style="list-style-type: none"> En las zonas urbanas crear terrazas verdes o muros verdes en viviendas. 	<ul style="list-style-type: none"> SEDUSU 	<ul style="list-style-type: none"> Reducen la huella de carbono en las ciudades y el efecto "isla de calor." 	4,5	<ul style="list-style-type: none"> 90% de los involucrados está de acuerdo en participar. El precio oscila en un rango de \$1,200.00 pesos y \$3,500.00 por m² Fuente http://azoteasverdes.com.mx/wp/precios/

-  Corto plazo (1 año)
-  Mediano plazo (1-3 años)
-  Largo plazo (1-5 años)

Problemas detectados:

- Conflictos sociales
- Falta de educación ambiental en la sociedad

Objetivo esperado 3: Informar sobre las funciones de los ecosistemas y los servicios que brindan a las personas y la naturaleza.

ESTRATEGIAS	ACTORES	BENEFICIOS ESPERADOS	ZONA DE IMPACTO	FACTIBILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar a la población sobre sus derechos; 	<ul style="list-style-type: none"> • CDI • RAN 	<ul style="list-style-type: none"> • Dominio pleno en sus tierras. 	4,5	<ul style="list-style-type: none"> • 96% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Programa de Derechos Indígenas de Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas • Modernización del Catastro Rural Nacional (PMCRN) del Registro agrario nacional
<ul style="list-style-type: none"> • Atender y solucionar los conflictos agrarios que se presentan en la zona, ya que constituyen focos de inestabilidad social; 	<ul style="list-style-type: none"> • RAN • CDI 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir los conflictos sociales provocados por el despojo de tierras. • Los núcleos agrarios operen acciones derivadas de ordenamientos locales, integrados a nivel regional. 	4,5	<ul style="list-style-type: none"> • 96% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Programa de Derechos Indígenas de Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas • Modernización del Catastro Rural Nacional (PMCRN) del Registro agrario nacional
<ul style="list-style-type: none"> • Promover y realizar difusión de los objetivos que tiene un sitio RAMSA y el valor de los humedales entre la sociedad. 	<ul style="list-style-type: none"> • SEDUSU • CONANP • Sector académico 	<ul style="list-style-type: none"> • Concientizar a la población para promover la conservación del humedal y de la zona circundante a éste. • El humedal sea un icono de para los habitantes del sitio Ramsar. • Conocer que los humedales son fuente de agua limpia, producción primaria de especies vegetales y animales, hábitat para ciertas especies, por mencionar algunos. 	4,5	<ul style="list-style-type: none"> • 96% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Costo aproximado \$1000.00 considerando transporte y material

ESTRATEGIAS	ACTORES	BENEFICIOS ESPERADOS	ZONA DE IMPACTO	FACTIBILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> Impartir pláticas y talleres a la población con el objetivo de que comprendan la importancia que tiene la conservación y recuperación del bien común. 	<ul style="list-style-type: none"> SEDUSU Sector académico 	<ul style="list-style-type: none"> Exista la unión de esfuerzos para construir una sociedad informada, consciente y activa, con instituciones coordinadas capaces de enfrentar los retos ambientales resultado del desarrollo de la sociedad. Refuerce los esquemas de colaboración interinstitucional y diálogos multi, inter y trans disciplinarios de los actores involucrados en el manejo y conservación de la biodiversidad 	<p>4,5</p>	<ul style="list-style-type: none"> 96% de los involucrados está de acuerdo en participar. Costo aproximado \$1000.00 considerando transporte y material.
<ul style="list-style-type: none"> Cosecha aguas lluvias desde los techos 	<ul style="list-style-type: none"> SEDUSU SEDESOL 	<ul style="list-style-type: none"> Acumulación de agua prácticamente sin pérdidas. Disponibilidad de agua para bebida y para riego durante los meses secos. 	<p>4,5</p>	<ul style="list-style-type: none"> 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. El costo de instalación de este sistema es de \$800.000 Fuente: UNEA-FAO 2011.

- Corto plazo (1 año)
- Mediano plazo (1-3 años)
- Largo plazo (1-5 años)

Problema detectado:

- Marginación y rezago social

Objetivo esperado 4: Fortalecer y respaldar la participación plena y efectiva de los interesados.

ESTRATEGIAS	ACTORES	BENEFICIOS ESPERADOS	ZONA DE IMPACTO	FACTIBILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> • Implementar programas de planificación familiar para el control de la natalidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • SSGP 	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar el aumento de la población. 	4,5	<ul style="list-style-type: none"> • 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Programas implementados por el Seguro Popular, IMSS
<ul style="list-style-type: none"> • Protección a la sociedad económicamente mediante programas. 	<ul style="list-style-type: none"> • SEDUSU • SEDESOL 	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuir al bienestar socioeconómico de la población. 	4,5	<ul style="list-style-type: none"> • 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. • Convocatorias Secretaría de Desarrollo Social “Programa de Fomento a la Economía Social” • Programa de Empleo Temporal y el Programa Especial de Comunidades Indígenas de la Secretaría de comunicaciones y transporte.
<ul style="list-style-type: none"> • Cultivar en suelos de ladera y/o poco profundos con las prácticas necesarias de manejo del suelo promoviendo su conservación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campesinos • SAGARPA 	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar la productividad y mejorar la situación económica. 	3	<ul style="list-style-type: none"> • 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. • El costo depende de la práctica que se aplique.
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar prácticas de mejoramiento del manejo del suelo y el control de la degradación y la deforestación. 	<ul style="list-style-type: none"> • SEDUSU 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la pobreza mejorando las condiciones del suelo para una mayor producción. • Promover un desarrollo sustentable del sitio Ramsar. 	2,3	<ul style="list-style-type: none"> • 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. • El costo depende de la práctica que se aplique.
<ul style="list-style-type: none"> • Cosecha de agua lluvia desde los techos 	<ul style="list-style-type: none"> • SEDUSU • SEDESOL 	<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de agua prácticamente sin pérdidas. • Disponibilidad de agua para bebida y para riego durante los meses secos. 	4,5	<ul style="list-style-type: none"> • 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. • El costo de instalación de este sistema es de \$800.000 Fuente: UNEA-FAO 2011.
<ul style="list-style-type: none"> • Instalar biodigestores a base de residuos caseros o estiércol de ganado. 	<ul style="list-style-type: none"> • SEDUSU • SEDESOL • Ejidatarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Cada hogar producirá gas metano y reducir gastos en la compra de gas LP. • Aumentar la fertilidad del suelo permitiendo así el 	4,5	<ul style="list-style-type: none"> • 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. • El costo varía de acuerdo al número de vacas o cerdos con los que cuenta la familia, desde \$25,000.00 Fuente:

ESTRATEGIAS	ACTORES	BENEFICIOS ESPERADOS	ZONA DE IMPACTO	FACTIBILIDAD
		aumento de la producción de las plantas cultivadas.		<ul style="list-style-type: none"> Programa de Sanitarios con Biodigestores de la Secretaría de Desarrollo Social.
<ul style="list-style-type: none"> Establecer rodales forestales para el aprovechamiento de leña y cobertura. 	<ul style="list-style-type: none"> Ejidatarios Campesinos SEDUSU 	<ul style="list-style-type: none"> Aprovechamiento de leña para venta o consumo en los hogares. Mejorar la situación económica de la población. 	2	<ul style="list-style-type: none"> 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. Convocatoria CONAFOR 2017: convocatoria en el estado de Puebla para la solicitud y asignación de apoyos del componente VI. Plantaciones forestales comerciales del programa nacional forestal (PRONAFOR) 2017
<ul style="list-style-type: none"> Regular la calidad del agua que entra al Sitio Ramsar desde las fuentes de origen. 	<ul style="list-style-type: none"> PROFEPA CONAGUA CEAS 	<ul style="list-style-type: none"> La población pueda beneficiarse del agua o de los peces de la presa. 	Presa	<ul style="list-style-type: none"> 93% de los involucrados está de acuerdo en participar. Plan Estatal de Desarrollo 2011-2017, tiene como compromiso revertir los altos índices de contaminación que presentan los mantos acuíferos en el Estado, lo cual se observa en el OBJETIVO 1, en la Estrategia 1.2 "Sanear las cuencas del Alto Atoyac y Necaxa", en la línea de acción 1.2.4. "Promover la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales".

- Corto plazo (1 año)
- Mediano plazo (1-3 años)
- Largo plazo (1-5 años)

SIGLAS	INSTITUCIÓN QUE ACTÚA
SEDUSU	Secretaría de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad
RAN	Registro Agrario Nacional
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
CONANP	Comisión Nacional De Áreas Naturales Protegidas
PROFEPA	Procuraduría Federal De Protección Ambiental
CEAS	Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de Puebla
CDI	Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
IMPLAN	Instituto Municipal de Planeación Puebla
SSGP	Secretaría de Salud del Gobierno de Puebla

21.1. Impacto de las propuestas frente a la problemática del sistema complejo

Las propuestas que de este trabajo surgen, son con la finalidad de que el Sistema Sitio Ramsar se recupere y conserve los criterios que lo han llevado a ser enlistado en el convenio de Ramsar. Además, visto como un sistema complejo, el impacto de la propuesta impacte en todo el sistema donde los principales beneficiados sean los subsistemas ambientales y social-económico. En el Figura 23 se esquematiza la dinámica que ocurrirá cuando se implementen las propuestas.

Implementar políticas públicas enfocadas a la transferencia de tecnología y prácticas de manejo y conservación del suelo, tales como agricultura de policultivos utilizando leguminosas o la aplicación de la labranza de conservación y retornar a prácticas milenarias que se han perdido por procesos de migración, aunado a esto reforestar con especies nativas, proteger y conservar los bosques ayudará a evitar el incremento de la deforestación y disminuir el dióxido de carbono de la atmosfera combatiendo el cambio climático. Aunado a lo anterior, la Implementación de prácticas agroforestales con especies nativas de la zona y la reforestación, no solo ayudan a evitar la pérdida de la biodiversidad, sino que también ayudará a la población, para reforzar esto, los sistemas de cosecha de aguas lluvias desde los techos y la difusión del listado de Ramsar, reducirán los conflictos entra la población como fuera de ella. Por otro lado, programas como la planificación familiar controlará el crecimiento de la población y reducir inestabilidad entre ellos. Asi también, generar políticas públicas enfocadas a regular conflictos agrarios de tenencia de la tierra, al hacer esto, se capacitará a los pobladores sobre los derechos que tienen sobre sus propiedades. Y generar protección a la sociedad económicamente mediante programas como empleos temporales para evitar o reducir el número de personas que migran fuera del Sistema. Estas propuestas ayudarán a lograr los objetivos planteados por la política nacional de humedales y la estrategia mexicana de comunicación, educación, concienciación y participación (CECoP) en humedales 2010-2015, para así evitar que el Sitio Ramsar Presa Manuel Avila Camacho sea retirado del listado del Convenio Ramsar.

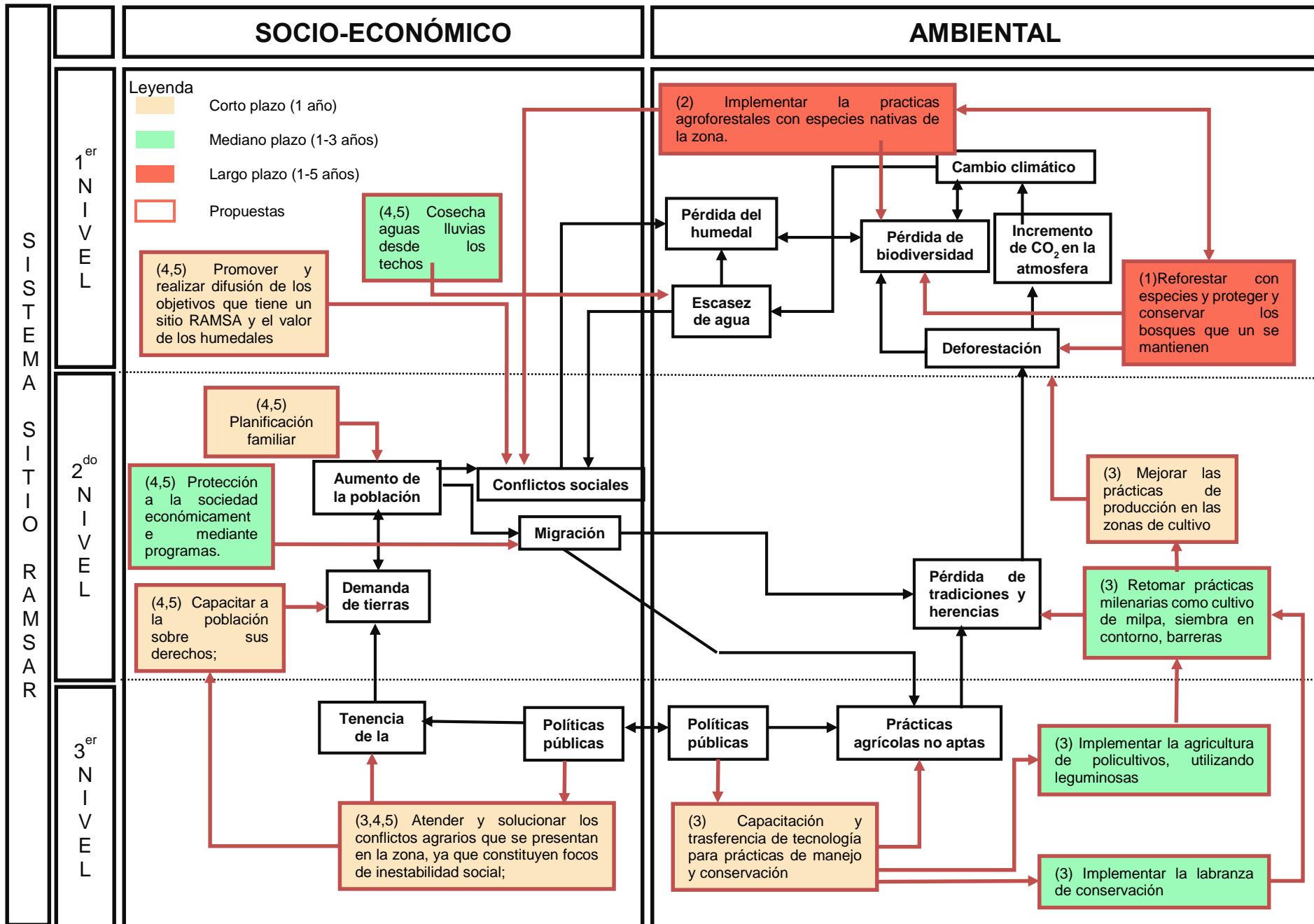


Figura 23. Impacto de las propuestas frente a la problemática del sistema complejo.

CONCLUSIONES

22. Conclusiones

Se demuestra que existe un acelerado estado de degradación del bien común suelo, debido al constante cambio de uso del suelo y a la expansión de la frontera agrícola, pecuaria y urbana; hecho que ha favorecido las condiciones de marginación en la región, ya que no ha existido una estrategia de manejo que promueva la sustentabilidad de la zona de estudio; resultados que generan las siguientes conclusiones:

- La población que habita dentro del Sitio Ramsar No. 2027 ha presentado un considerable aumento en los últimos diez años.
- La migración de los habitantes del sitio ha presentado una disminución, esto representa que el regreso de la población a sus tierras.
- El grado de marginación y rezago social demuestran las condiciones en las que vive la población, es decir, carencias como la falta de acceso a la educación, viviendas inadecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas.
- El grado de marginación de la población del Sitio Ramsar No.2027 es muy variada entre los años 2005 y 2010. La localidad de San José Zetina presenta un grado de marginación muy alto para ambos años.
- El grado de rezago social de la población del sitio Ramsar varía entre muy bajo a alto. La localidad de Guadalupe presenta poco o nulo progreso ya que para ambos censos se conserva con un grado de rezago social alto.
- La dinámica de cambio de uso refleja el panorama de deforestación que ha sufrido el Sitio Ramsar.
- El cambio más drástico se observa en el período del 2000-2003 donde se ha perdido el 100% del bosque de encino convirtiéndose en pastizal inducido.
- El 30% de la superficie del sitio se encuentra cubierto por pastizal inducido, 23% por agricultura de temporal y 17% por bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, sin embargo, este último es superado por los asentamientos humanos con el 19% de cobertura.

- Debido a diversas prácticas agrícolas y procesos de deforestación, el suelo presenta diversos grados de erosión: ligero, moderado, severo y muy severo, siendo el área destinada para agricultura de temporal que presenta los cuatro grados.
- El contenido de carbono orgánico es elevada en los bosques de encino con vegetación arbustiva que se localizan al sur del sitio, comparado con las zonas circundantes a la mancha urbana localizada al norte del sitio.
- No se presentan diferencias significativas en cuanto al contenido de COS, pero si se presentan en NTS, pH y DA de acuerdo a la temporada de muestreo.
- El uso de suelo es un factor importante que determina la concentración de COS, NTS y la densidad aparente.
- Los valores más altos en contenido de COS y NTS se obtuvo en la temporada de sequía⁽¹⁾ en suelos cubiertos por bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva, mientras que los valores más bajo se observan en la zonas de agricultura de temporal, y más aún en los suelos que han sido rodeados por el crecimiento poblacional.
- Se observó una disminución considerable en cuanto al COS y NTS del sitio RAMSAR para el segundo muestreo, esto se debe principalmente a la erosión del suelo, provocando la pérdida de los principales nutrientes del suelo y el arrastre de las partículas del suelo, llevando consigo la materia orgánica.
- En el segundo muestreo se observa una concentración uniforme en cuanto al contenido de COS en todo el sitio, esto se debió a que los suelos fueron preparados para los cultivos.
- Existe correlación inversamente proporcional entre la densidad aparente y el contenido de carbono orgánico.
- Existe correlación directamente proporcional entre el contenido de nitrógeno total y el carbono orgánico.
- La relación C:N para ambos muestreos y profundidades, se encuentran en un valor medio para la descomposición adecuada de la materia orgánica y proporciona una cantidad relativamente grande de humus y nitratos.
- El grado de erosión es un importante determinante de la concentración de Carbono orgánico en suelo.
- La concentración de COS en suelo ha presentado una importante variación entre cada muestreo realizado.

- La principal actividad económica de la población del Sirio Ramsar es agrícola, la cual es de temporal y de subsistencia. Siembran principalmente maíz, frijol y calabaza, en ocasiones pasto forrajero, alfalfa y maguey.
- La población tiene ingresos extras a parte de la agricultura mediante la venta de leche, albañilería, comercios (ropa, abarrotes, comida), producción y venta de mezcal.
- Pocos son los habitantes que tienen conocimiento sobre el listado del Sitio Ramsar, ya que aseguran el gobierno no les proporciona información, así como tampoco sobre las medidas de conservación del suelo.
- El diagrama de las interrelaciones del sistema complejo Sitio Ramsar “Presa Manuel Ávila Camacho” es de suma importancia, ya que refleja el estado de degradación de sus elementos.
- El Sitio Ramsar “Presa Manuel Ávila Camacho” visto como un sistema complejo permite interpretar la interdefinibilidad y determinar la dependencias de elementos que lo conforman.
- Las propuestas y estrategias que en este trabajo se plasman, son con la finalidad de que puedan llevarse a cabo en las tesis de otros estudiantes, con la esperanza que no sean palabras escritas que se quedan en el olvido. Para así, recuperar y conservar el Sitio Ramsar No. 2027 para las generaciones futuras.

23. Referencias bibliográficas

- Aber, J.D. y Melillo, J.M. (1991). *Terrestrial Ecosystems*. Saunders C. Pu., Philadelphia, USA
- Alvarado, J.; Andrade, H. y Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*Coffea Arabica L.*) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia Forestal* 16(1): 21 - 31
- Álvarez, R. (2006). A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management* 21(1):38–52.
- Alvarez, S.; Ortiz, C.; Díaz, E. y Rubio, A. (2016) Influence of tree species composition, thinning intensity and climate change on carbon sequestration in Mediterranean mountain forests: a case study using the CO2Fix model. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 21(7), 1045–1058.
- Arbelo, C.; Rodríguez, A.; Mora, J.; Guerra, J. y Armas, C. (2003). Pérdidas De Carbono Orgánico Por Erosión En Andosoles Forestales De Las Islas Canarias. *EDAFOLOGIA*, Vol. 10 (2), pp. 221-227, 2003.
- Assefa, D.; Rewald, B.; Sandén, H.; Rosinger, C.; Abiyu, A.; Yitaferu, B. y Godbold, D. L. (2017) Deforestation and land use strongly effect soil organic carbon and nitrogen stock in Northwest Ethiopia. *Catena* 153, 89–99.
- Baker, C.; Saxton, K.; Ritchie, W.; Chamen, W. ; Reicosky, D.; Ribeiro, M.; Justice S. y Hobbs, P. R. (2007). Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia
- Batjes, N. H. (2014) Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil Sci.* 65(1), 10–21.
- Becerril, J.; Saldaña, J.; Pérez, L.; Ruiz, L. y Mangas, E. (2012). Fuente de Producción de Gases de Efecto Invernadero en la Presa de Valsequillo, Puebla, Mexico y su Contribución ante el Problema del Cambio Climático. Facultad de Ingeniería Química, BUAP.
- Berlangua, C.; Ruiz, A. y Lanza, G. (2008). Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín 66. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611.*
- Bertalanffy, L. (1976). *Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones.* Traducción Juan Almela. ISBN 978-968-16-0627-5.
- Bolaños, M.; Paz, F.; Cruz, C.; Argumedo, J.; Romero, V. y Cruz, J. (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 271-288
- Bonilla, N.; Vázquez, L.; Silva, S.; Cabrera, C. (2013). Estudio fisicoquímico de la calidad del agua para riego del canal principal que abastece al distrito de riego 030 “Valsequillo”. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 2º Congreso Virtual sobre Tecnología, Educación y Sociedad.
- Bridgham, S.; Megonigal, J.; Keller, J.; Bliss, N. y Trettin, C. 2006. The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands* 26:889–916.
- Cardoza, R.; Cuevas, L.; Samuel, J.; Guerrero, J.; González, J.; Hernández, H.; Lira, M.; Nieves, J.; Tejeda, D. y Vázquez, C. (2007). Manual de obras y prácticas. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).
- Castelán, R.; Ruiz, J.; Linares, G.; Pérez, R. y Tamariz, V. (2007). Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, Núm. 64, 2007, pp. 75-89*
- Castellanos, J.; Uvalle, J. y Aguilar A. (2000). Manual de Interpretación de análisis de suelo y aguas. 2ª Edición.

- Castro, A.; Cruz, J., y Ruiz, L. (2009). Educar con ética y valores ambientales para conservar la naturaleza. *Convergencia*, 16(50), 353-382.
- Cedeño, P.; Tellez, D.; Pacheco, F.; Rosano, G. y Ascencio, J. (2005). Química y Fitoremediación de La Presa Manuel Ávila Camacho "Valsequillo", Puebla, Pue. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Facultad de Química.
- Celaya, H.; García F.; Rodríguez, J. y Castellanos, A. (2015). Cambios en el almacenamiento de nitrógeno y agua en el Suelo de un matorral desértico transformado a sabana de Buffel (*Pennisetum ciliare* (L.) Link). *Terra Latinoamericana*. Volumen 33 número 1.
- Centro interdisciplinario de investigaciones y estudios sobre medio ambiente y desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). (2009). Diagnóstico del Plan Estratégico para el Desarrollo Sustentable del Valsequillo y Su Zona de Influencia: Parte 1. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Delegación Puebla.
- Centro interdisciplinario de investigaciones y estudios sobre medio ambiente y desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). (2010). Memoria del Estudio Técnico Justificativo para la Declaratoria de Área Natural Protegida a la Sierra del Tentzo. Anexo 2. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Delegación Puebla.
- Centro interdisciplinario de investigaciones y estudios sobre medio ambiente y desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional. (2011). Programa Parcial de Desarrollo Urbano Sustentable de Valsequillo: Versión Ejecutiva Final. Puebla: SEDESOL, Gobierno del Estado de Puebla, SEMARNAT, Ayuntamiento de Puebla.
- Checkland, P. (1993). Pensamiento de sistemas, practica de sistemas. Departamento de sistemas Universidad de Lancaster.
- Collins, M. E. y R. J. Kuehl. 2000. Organic matter accumulation and organic soils. pp. 137-162. In: J. L. Richardson and M. J. Vepraskas (eds.). *Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes and classification*. Lewis Publishers. Boca Raton, FL, USA.
- Comisión nacional de áreas naturales protegidas (CONANP) (2012). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar sitio núm. 2027. PDF.
- Comisión nacional de áreas naturales protegidas (CONANP) (2013). Humedales de México. Disponible en: http://ramsar.conanp.gob.mx/la_conanp_y_los_humedales.php
- Daily, G.; Alexander, S.; Ehrlich, P.; Goulder, L.; Lubchenco, J.; Matson, P.; Mooney, H.; Postel, S.; Scheneider, S.T.; Tilman D. y G.M. Woodwell. 1997. *Ecosystem Services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems*.
- Evangelista, E.; López, J.; Caballero, J. y Martínez M. (2010). Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla. *Investigaciones geográficas n.72*, versión impresa ISSN 0188-4611.
- Feller, C.; Albrecht, A.; Blanchart, E.; Cabidoche, Y.M.; Chevallier, T.; Hartmann, C.; Eschenbrenner, V.; Larré-Larrouy, M.C. y Ndandou, J.F. (2000). Soil organic carbon sequestration in tropical areas. General considerations and analysis of some edaphic determinants for Lesser Antilles soils. Institut de Recherche pour le Developpement (IRD), Laboratoire d'E'tude du Comportement des Sols Cultive's (LCSC), BP 5045, 34032 Montpellier Cedex, France; Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61: 19-31, 2001.
- Finlayson, C.; D'Cruz, R. y Davidson, N. (2005). *Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. Informe de síntesis*. World Resources Institute, Washington, DC. ISBN 1-56973-597-2.
- Galicia, L.; Gamboa, A.; Cram, S.; Chávez, B.; Peña, V.; Saynes, V. y Siebe, C. (2016). Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México. *Terra Latinoamericana* 34: 1-29.

- García, R. (2006). *Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Editorial Gedisa.
- Gaspari, F.; Delgado, M. y Denegri, G. (2009). Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. *Terra Latinoamericana*, 27(1), 43-51.
- Gliessman, S. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE, 359 P. ISBN 9977-57-385-9.
- González, M.; Etchevers B. y Hidalgo M. (2008), "Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo", *Agrociencia*, núm. 42, pp. 741–751.
- González, S. y Huddart, D. (2008). *The Late Pleistocene Human Occupation of México*. Memoria de Simposio Internacional de FUMDHAM, 2008. Rio de Janeiro, Brasil.
- H. Ayuntamiento de Puebla (2007). Programa municipal de desarrollo urbano de Puebla. Tomo 3.
- Hernández, E. (2013). La conservación de la biodiversidad en los sistemas agrarios. *Ecosistemas: revista científica de ecología y medio ambiente*. ISSN: 1132-6344.
- Instituto de Geografía y Estadística (INEGI) (s.f). Serie histórica censal e intercensal. Descripciones de los proyectos de consulta interactiva de datos. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpvsh/descripciones.aspx>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (1999). Síntesis geográfica del Estado de Puebla. Anexo cartográfico.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2000). XII Censo de Población y Vivienda. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2000/iter_2000.aspx
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2005). II Censo de Población y Vivienda. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/tabentidad.aspx?c=33706&s=est>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2010). Censo de Población y Vivienda. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/iter2010.aspx?c=27329&s=est
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2004. Guía para la Interpretación de Cartografía Edafológica. Pp. 11-24
- 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. FAO, Roma.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional De Colombia Facultad De Ciencias, Medellín.
- Juman, R. A. and Ramsewak, D. (2013) Land cover changes in the Caroni Swamp Ramsar Site, Trinidad (1942 and 2007): Implications for management. *J. Coast. Conserv.* 17(1), 133–141.
- King, J.; Bradley, R.; Harrison, R. y Carter, A. (2006). Carbon sequestration and saving potential associated with changes to the management of agricultural soils in England. *Soil Use and Management*. 20(4):394–402.
- Kirkels, F.; Cammeraat. L. y Kuhn, N (2014). The fate of soil organic carbon upon erosion, transport and deposition in agricultural landscapes-A review of different concepts. *Geomorphology* 226 (2014) 94–105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.07.023>
- Lambin, E. (1997). *Modelling deforestation processes: a review tropical ecosystem environment observations by satellites*, European Commission Joint Research Centre- Institute for Remote Sensing Applications- European Space Agency, Luxembourg, TREE Series B., Research Report No.

- Lambin, E. F.; Baulies, N.; Bockstael, G.; Fisher, T.; Krug, R.; Lemmans, E. F.; Moran, R. R.; Rindfuss, Y.; Sato, D.; Skole, B. L.; Turner II y Vogel, C. (1999), Land use and land cover change implementation strategy, IGBP report, 48, IHDP, report 10, Estocolmo.
- Larenas, N. (2010). Determinación de la concentración de metales pesados en agua, suelo y cultivos regados con agua de la Presa Manuel Ávila Camacho. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Campus Puebla.
- López, E. (1999), *Cambio de uso de suelo y crecimiento urbano en la ciudad de Morelia*, tesis de Maestría en Ciencias en Conservación y Manejo de Recursos Naturales. Facultad de Biología. UMSNH, México.
- López, L. (2013). Diagnóstico Ambiental de una microcuenca en San Andrés Azumiatla, Puebla. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.
- Lozada, A.; Saldaña, J.; Torres E.; Reyes, B. (2010). Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero en suelos cercanos a la presa de Valsequillo, Puebla, México. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Maass, J. M. y Martínez, A. (1990). Los ecosistemas: definición, origen e importancia del concepto. En: *Ecología y Conservación*. J. Soberón y C. Bonfil (Eds.). Número especial de la revista *Ciencias* No. 4:10-20.
- Maass, J.M. (2003). Principios generales sobre manejo de ecosistemas. En: Sánchez, Ó., E. Vega-Peña, E. Peters y O. Monroy-Vilchis. *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México*. INE, U. S. Fish & Wildlife Service, Ford Foundation., México, D. F. Pp:117-136.
- Mabwoga, S. and Thukral, A. (2014) Characterization of change in the Harike wetland, a Ramsar site in India, using landsat satellite data. *Springerplus* 3(1), 576.
- Mangas, E.; Sánchez, M.; Molina, H.; García, L.; Muñoz, I. y Zumaquero, J. (2006). Análisis de las políticas de rehabilitación de presas: el caso de la “presa de valsequillo” en el estado de Puebla. Asociación Mexicana de Ciencias Para el Desarrollo Regional, A.C. Disponible en:<http://www.eumed.net/jirr/1/AMECIDER2006/PARTE%208/248%20Ernesto%20Mangas%20Ramirez%20et%20al.pdf>.
- Martínez, E.; Fuentes, J. y Acevedo, E. (2008). Carbono Orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96
- Mitsch, W.J. y Gosselink, J.G. 2000. *Wetlands*. John Wiley y Sons Inc. New York. 920 pp.
- Moreno, G.; Cerón, J.; Cerón, R.; Guerra, J.; Amador, L. y Endañú, E. (2010). Estimación del potencial de captura de carbono en suelos de manglar de isla del Carmen. Unacar tecnociencia.
- Muñoz, M.; Jordán, A.; Zavala, L. M.; la Rosa, D. De; Abd-Elmabod, S. K. y Anaya-Romero, M. (2012) Organic carbon stocks in Mediterranean soil types under different land uses (Southern Spain). *Solid Earth* 3(2), 375–386. Retrieved from <http://digital.csic.es/handle/10261/72163>
- Navarro, J. (2001). Las Organizaciones como Sistemas Abiertos Alejados del Equilibrio. Tesis de Doctorado. División de Ciencias de la Salud Facultad de Psicología Departamento de Psicología Social Universitat de Barcelona.
- Núñez, J. (2001). Manejo y conservación de suelos. San José, Costa Rica, EUNED. 267 p.
- Oliver, L.; Pérez, M. y Bermúdez, F. (2002). Degradación de la hojarasca en un pastizal oligotrófico mediterráneo del centro de la Península Ibérica. *Anales de Biología* 24: 21-32.
- Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), (2000). Manual de prácticas integrales de manejo y conservación de suelos.
- Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Roma.

- Organización Mundial de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. FAO-PNUMA-UNESCO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Publicaciones de la FAO. Roma-Italia. 86 p
- Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2007). Secuestro de carbono en tierras áridas. Informe sobre recursos mundiales del suelo. Roma.
- Organización Mundial de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (s.f.). Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. Materia orgánica y actividad biológica. Disponible en: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/ba/organic_matter.pdf
- Orozco, H. E.; Peña, V.; Franco, R. y Pineda N. (2004), "Atlas Agrario Ejidal del Estado de México", Cuadernos de Investigación, núm, 34, UAEM, Toluca, México.
- Ortiz, B. y Ortiz, C. (1987). Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. 7ª. Edición.
- Pal, S., Manna, S., Aich, A., Chattopadhyay, B. and Mukhopadhyay, S. K. (2014) Assessment of the spatio-temporal distribution of soil properties in East Kolkata wetland ecosystem (A Ramsar site: 1208). *J. Earth Syst. Sci.* 123(4), 729–740.
- Pal, S.; Manna, S.; Aich, A.; Chattopadhyay, B. y Mukhopadhyay, S. K. (2014) Assessment of the spatio-temporal distribution of soil properties in East Kolkata wetland ecosystem (A Ramsar site: 1208). *J. Earth Syst. Sci.* 123(4), 729–740.
- Pérez, S.; Ramírez, M. I.; Jaramillo, P. F. y Bautista, F. (2013) Soil organic carbon content under different forest conditions: monarch butterfly biosphere reserve, Mexico. *Rev. Chapingo Ser. Ciencias For. y del Ambient.* 19(1), 157–173.
- Porcuna, J.; Gaude, M.; Castejón, P. y Roselló, J. (2010). Guía de agricultura ecológica de cultivos hortícolas al aire libre. Federación de cooperativas agrarias de la comunidad valenciana (FECOAVI).
- Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (2014). México protege sus Manglares. Disponible en: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/5117/1/mx/mexico_protege_sus_manglares.html
- Ramsar s.f. La Convención de Ramsar y su misión. Disponible en: http://ramsar.rgis.ch/cda/es/ramsar-about-mission/main/ramsar/1-36-53_4000_2__
- Rappo, S.; Cortés, S. y Vazquez, R. (2015). Transformaciones, migración y conflictos socio-ambientales de la Zona Metropolitana de Puebla. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 113 p.
- Real Academia Española. Extraído de: <http://lema.rae.es/drae/?val=sistema>. Enero, 17, 2014.
- Rocha, A. y Ramírez, N. (2009). Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Bol.Soc.Bot.Méx.* 84: 1-12 (2009)
- Rodríguez, P.; Morales, S.; Jonathan, M.; Navarrete, M.; Bernal, A.; González, A.; Muñoz, N. (2011). Servicio Ambiental de la Presa Valsequillo para las cuencas de los Ríos del Atoyac-Sahuapan y Alseseca, Puebla, Tlaxcala, México. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD). Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/2011_cnch2_mon_prodriguez
- Sánchez, G. (2011). Crisis rural, Cambio Climático y Pobreza: Hacia la búsqueda de Alternativas para la definición de Políticas Públicas en México. Primera edición. Oxfam México. Investigación de Carla Zamora.
- Sánchez, J. (2015). LA POLÍTICA AGRÍCOLA EN MÉXICO, IMPACTOS Y RETOS. Revista Mexicana de Agronegocios [en línea] 2014, XVIII (Julio-Diciembre).
- Sánchez, J., G. Bocco, J. Fuentes y A. Velázquez (2003), "Análisis de cobertura y uso del terreno en el contexto de su dinámica espacio-temporal", en Velázquez, A., A. Torres y G. Bocco

- (comps.), *Las enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales*, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 36-42.
- Sandoval, M., Stolpe, N., Zagal, E., Mardones, M. y Celis, J. (2007). Aporte de carbono orgánico de la labranza cero y su impacto en la estructura de un Andisol de la precordillera Andina Chilena. *Agrociencia*. Volumen 42, número 2.
- Saynes, V.; Etchevers, J.; Paz, F.; De Jong, B.; Cruz, C.; Carrasco, M.; Hidalgo, C. y Padilla, J. (2011). Carbono en los suelos forestales de México: revalorando nuestros almacenes. En F. Paz y R. Cuevas (Comps.), *Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2011* (pp. 422-429). Programa Mexicano del Carbono, Universidad Autónoma del Estado de México e Instituto Nacional de Ecología, 2012.
- Secretaría de desarrollo social (SEDESOL), 2013. Diagnóstico de la situación de los jóvenes en México. Instituto Mexicano de la Juventud Dirección de Investigación y Estudios sobre Juventud. Recuperado de: http://www.imjuventud.gob.mx/imgs/uploads/Diagnostico_Sobre_Jovenes_En_Mexico.pdf.
- Secretaría de infraestructura y transporte (SIT) (2015). Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Regional. Proyecto de saneamiento y conectividad de la zona de sur de Puebla: Estudios ambientales de la zona de sur de Puebla. (Modernización y Ampliación del camino que intercomunica la zona sur de la Presa Manuel Ávila Camacho con la Avenida 11 sur y la carretera a Tecali de Herrera). Disponible en : <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/pue/estudios/2015/21PU2015V0019.pdf>
- Secretaría De Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2013). Política Nacional de Humedales. Disponible en: http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/PNH_Consulta.pdf
- Secretaría De Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2010). La Estrategia Mexicana de Comunicación, Educación, Concienciación y Participación (CECoP) en humedales 2010-2015. Disponible en: http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/Estrategia%20CECoP_en_humedales_2010_Final.pdf
- Secretaría de salud (SS), Gobierno del estado de Puebla (2015). Seguro popular: Estadísticas de población asegurada. Recuperado de: <http://ss.puebla.gob.mx/index.php/seguro-pop-front/2013-04-09-18-13-20>.
- Secretaría del Medio Ambiente (SMA) (2008). Bases de Diagnóstico: Identificación de Zonas Susceptibles a la Erosión en el Estado de México. Gobierno del Estado de México.
- Secretariat, R. C. (Ed.). (2013) *The Ramsar convention manual: a guide to the convention on wetlands*, 6Th ed. Gland, Switzerland.
- Segura, M., Sánchez, P., Ortiz, C. y Gutiérrez, M. (2005). Carbono orgánico de los suelos de México. *Terra Latinoamericana*, 23(1) 21-28.
- Solís, A.; Nájera, J.; Méndez, J.; Vargas, B. y Álvarez, M. (2014). Carbono orgánico del suelo en rodales silvícolas del ejido La Victoria, Pueblo Nuevo, Durango. *Investigación y Ciencia*, Septiembre-Diciembre, 5-11.
- Tabilo, E. (1999). El Beneficio de los Humedales en América Central: el potencial de los humedales para el desarrollo. 2da edición, San José, Costa Rica. 58pp.
- Tabilo, E. (2003). El Beneficio de los Humedales en la Región Neotropical. Centro Neotropical de Entrenamiento en Humedales, La Serena, Chile. 73pp.
- Thompson, L. y Troeh, F. (1988). Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverté. Cuarta edición.
- Toledo, V. y González, M. (2007) El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. El paradigma ecológico en las ciencias sociales. Pp. 85-112.
- Unidad nacional de emergencias agrícolas y gestión del riesgo agroclimático (UNEA). Subsecretaría de agricultura, ministerio de agricultura del gobierno de Chile. Organización

- de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) (2011). Prácticas de conservación de suelos y agua para la adaptación productiva a la variabilidad Climática. Secano de la región de o'higgins
- Vela, G.; López, J y Rodríguez, M. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México Investigaciones Geográficas (Mx), Instituto de Geografía Distrito Federal, México núm. 77, 2012, pp. 18-30
- Wang, T.; Kang, F.; Cheng, X.; Han, H. y Ji, W. (2016) Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a hilly ecological restoration area of North China. *Soil Tillage Res.* 163, 176–184.
- Weil, R., y Brady, N. (1999). *The nature and properties of soil* (12th Ed). Prentice Hall, Inc.
- Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses*. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration.
- Yang, P.; Byrne, J. M. y Yang, M. (2016) Spatial variability of soil magnetic susceptibility, organic carbon and total nitrogen from farmland in northern China. *Catena* 145, 92–98.
- Yu, J.; Wang, Y.; Li, Y.; Dong, H.; Zhou, D.; Han, G.; Wu, H.; *et al.* (2012) Soil organic carbon storage changes in coastal wetlands of the modern Yellow River Delta from 2000 to 2009. *Biogeosciences* 9(6), 2325–2331.

ANEXO 1 ENCUESTA

Tesis: Manejo sustentable del recurso suelo: propuesta para el Sitio Ramsar "Presa Manuel Ávila Camacho" Fecha: / /

Junta auxiliar: _____

Ocupación del entrevistado: _____

SITUACIÓN

- | | | |
|--|----|----|
| 1. ¿Tiene tierras de cultivo? | SI | NO |
| 2. ¿Qué cultivo siembra? _____ | | |
| 3. ¿Tiene otro ingreso aparte de la agricultura? | SI | NO |
| 4. ¿Aplica fertilizantes en sus cultivos? | SI | NO |
| 5. ¿Realiza alguna práctica de conservación del suelo? | SI | NO |

CONOCIMIENTO DEL ÁREA Y DE LAS PRÁCTICAS

- | | | |
|--|----|----|
| 6. ¿Sabe qué es la erosión del suelo? | SI | NO |
| 7. ¿Sabe lo que es un Sitio Ramsar? | SI | NO |
| 8. ¿Sabe que esta área está dentro de la delimitación del Sitio Ramsar "Presa Manuel Ávila Camacho"? | SI | NO |

POLÍTICAS PÚBLICAS

- | | | |
|--|----|----|
| 9. ¿El gobierno o alguna institución han hablado con usted sobre la protección del suelo? | SI | NO |
| 10. ¿Conoce o tiene algún apoyo gubernamental? | SI | NO |
| 11. ¿Cuáles? _____ | | |
| 12. ¿El gobierno o alguna institución han hablado con usted sobre la protección de los animales (fauna silvestre)? | SI | NO |

PROPUESTAS DE LOS HABITANTES

13. ¿Qué haría usted para mejorar el suelo? _____
14. ¿Qué sugiere para mejorar el Sitio Ramsar? _____
15. ¿Qué propone para mejorar el humedal? _____
16. ¿Qué propone para que los campesinos participen en el desarrollo del sitio? _____

SOBRE SU PARTICIPACIÓN

- | | | |
|--|----|----|
| 17. ¿Estaría de acuerdo en instalar o aplicar en sus tierras algunas prácticas de conservación como reforestación, policultivos, siembra de acuerdo a curvas de nivel, labranza cero, etc? | SI | NO |
| 18. ¿Estaría de acuerdo en participar en proyectos de conservación? | SI | NO |
| 19. ¿Le gustaría recibir pláticas o talleres sobre la importancia de la conservación de suelo? | SI | NO |
| 20. ¿Le gustaría recibir pláticas o talleres sobre lo que es un sitio Ramsar y de sus beneficios? | SI | NO |