



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

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

EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL DEL RECURSO AGUA Y SUELO DE LA LAGUNA DE ACUITLAPILCO

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

IVAN RODRÍGUEZ GARCÍA

Comité tutorial:

Director	Dr. José Víctor R. Tamaríz Flores
Co-Director	Dra. Filiberta Virginia Pérez Castillo
Integrante Comité Tutorial	Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega
Integrante Comité Tutorial	Dra. Sonia Emilia Silva Gómez
Integrante Comité Tutorial	Dr. Fernando Hernández Aldana

Diciembre 2019

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	5
III.MARCO TEORICO	6
3.1 El recurso agua	6
3.1.1 El recurso agua en México.....	7
3.1.2 El ciclo del agua.....	8
3.1.3 Calidad del agua.....	9
3.3.2 La importancia del manejo sostenible del agua.....	10
3.2 El Recurso Suelo	11
3.2.1 Los servicios ambientales del suelo	12
3.2.2 Principales causas de la degradación del suelo.....	13
3.5 Antecedente e importancia histórica de la laguna de Acuitlapilco	14
3.6 Tipos de investigación.....	17
3.6.1 Paradigma	18
3.6.2 Enfoque epistemológico	18
3.6.3 Teorías que soportan la Investigación	18

3.7 Marco legal competente a la Laguna de Acuitlapilco	19
3.7.1 Ámbito estatal	19
3.7.2 Ámbito Nacional.....	22
3.7.3 Ámbito Internacional	23
IV. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:	24
4.1 Pregunta de investigación	24
VI.OBJETIVOS	25
6.1 Objetivo general	25
6.2 Objetivos específicos	25
VII. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
7.1 Localización de la Laguna de Acuitlapilco	26
7.1.1 Demografía de la región	27
7.1.2 Relieve de la región	27
7.1.3 Clima de la región de Acuitlapilco	27
7.1.4 Edafología de la zona de Acuitlapilco	29
7.1.5 Microrregión de Acuitlapilco.....	30
VIII. METODOLOGIA.....	31

8.1 Etapa 1 – Caracterización social de las localidades de la zona de estudio	31
8.1.1 Santa María Acuitlapilco.....	32
8.1.2 San Sebastián Atlahapa.....	34
8.1.3 Santa Isabel Xiloxotla	36
8.1.4 San Francisco Tepeyanco	38
8.2 Actividades Económicas de la región:.....	40
8.3 Hidrología de la zona de estudio.....	43
8.3.1 Problemática de la zona de estudio	45
8.4 Flora de Acuitlapilco	48
8.5 Fauna de Acuitlapilco	49
8.2 Etapa 2 – Fase de Campo.....	50
8.2.1 Trabajo de Laboratorio	52
8.2.2 Muestreos de agua.....	53
8.2.3 Muestreos de suelo	54
8.2.4 Descripción de las Zonas de Muestreos.....	55
8.3 Resultados de parámetros fisicoquímicos evaluados en el Suelo.....	61
8.4 Resultados de metales pesados evaluados en suelos (mg/Kg).....	68

8.5 Análisis estadístico de suelos	¡Error! Marcador no definido.
8.5.1 Análisis de Componentes Principales	88
8.5.2 Análisis de regresión: pH vs. Conductividad, %C, %N, P	94
8.6 Resultados de parámetros fisicoquímicos en Agua	75
8.7 Resultados de metales evaluados en Agua	84
8.8 Discusión de Resultados	88
8.9 Conclusiones	99
IX. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	102
X. LITERTURA CITADA.....	103

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del medio ambiente plantea retos fundamentales para el desarrollo de las sociedades. La calidad de vida de los pueblos no puede sostenerse si no hay agua salubre para beber, suelos sanos para la producción de alimentos, aire limpio para respirar, y en general un medio ambiente estable en el que se sustente la vida (ONU, 2015). Los seres humanos siempre hemos pensado que los recursos naturales que nos rodean están disponibles para ser explotados y satisfacer únicamente nuestras necesidades, sin embargo hoy en día con el continuo crecimiento demográfico, la población se ha dado cuenta que los bienes naturales tan indispensables como el agua, comienzan a escasear y degradarse por lo que urge tomar medidas para preservarlos y cuidarlos (CEPAL, 2013).

El agua dulce es un recurso escaso y vital. La creciente demanda de agua para fines tanto domésticos como industriales amenaza la vida de los ecosistemas, utilizándose en actividades económicas como: la agricultura y la industria en general, de esta manera este recurso ha resultado contaminado a consecuencia de las diferentes actividades antropogénicas que a su vez afectan a la salud pública y al medio ambiente. Hoy en día las extracciones de agua para riego han aumentado en más del 60% desde el inicio de la revolución verde, se estima que aproximadamente el 70% de toda el agua dulce disponible para consumo humano se utiliza para riego agrícola (FAO, 2002), de esta manera los ecosistemas de agua dulce han sido severamente dañados, se estima que se ha perdido cerca de la mitad de los humedales a nivel global (Ramsar, 2015), por lo cual más del 20% de las especies conocidas de agua dulce en el mundo se han extinguido o están amenazadas (PNUMA, 2015). Por otro lado la erosión del suelo constituye una de las mayores preocupaciones ambientales. Las prácticas agrícolas deficientes y los usos inapropiados de la tierra han sido la causa de su degradación acelerada en muchos países en desarrollo (FAO, 2015). La Organización de Las Naciones Unidas ha destacado que la degradación del recurso suelo es uno de los retos ambientales más importantes para alcanzar la sostenibilidad de la producción de alimentos y el abastecimiento de agua en el siglo XXI (CEPAL, ONU, 2018).

La laguna de Acuitlapilco se localiza en la parte sur del estado de Tlaxcala, entre las laderas del volcán la Malinche, en la sierra del estado de Tlaxcala (INEGI, 2010). Este paisaje natural muestra un profundo deterioro y contaminación. En el centro de la Laguna solía haber un lago de agua dulce conocido como laguna de Acuitlapilco que brindaba a los habitantes el valioso recurso hídrico vital para el consumo humano, el ganado, el riego para los diferentes cultivos, la pesca de mojarra tilapia y carpa, así como la manufactura de petates, cerámica de barro y otros artefactos hechos con el tule que crecía en la orilla (Wauchope, 2015).

En el presente estudio se evaluaron diferentes parámetros fisicoquímicos, económicos y ambientales en el sistema lagunar de la Laguna de Acuitlapilco localizada en el Estado de Tlaxcala, México, una región que se ha caracterizado por ser impactada por las descargas de aguas residuales de origen urbano, agrícola e industrial. Las muestras de agua y suelo fueron colectadas a finales del invierno del año 2018, época de estiaje y a inicios del verano del 2018 en el mes de Junio, época de lluvias. Se seleccionaron 6 estaciones de muestreo a lo largo de la periferia de la laguna; En las muestras de agua se midieron, pH, Conductividad eléctrica, Temperatura, Nitrógeno Total, Fosforo Total, Dureza Total, Oxígeno Disuelto, para suelos se analizó, pH, Conductividad eléctrica, % de Materia Orgánica, Nitrógeno Total, Fosforo Total, y en ambos casos se analizaron 17 elementos metálicos (Arsénico, Beridio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Litio, Manganeseo, Molibdeno, Níquel, Plomo, Antimonio, Selenio, Estroncio, Titanio, Vanadio y Zinc) de acuerdo con la normatividad Nacional vigente NOM-021-SEMARNAT-2017. Los resultados mostraron que la calidad del agua de la laguna se encuentra eutrofizada por la entrada de materia orgánica de las descargas de aguas residuales, mientras que los suelos son moderadamente ácidos y con altas concentraciones de materia organiza y nitrógeno, el intervalo de concentraciones de metales pesados en agua y suelos están cerca de superar los niveles máximos permitidos en las normas nacionales e internacionales establecidas para agua de consumo humano y protección de la vida acuática. Los resultados sugieren un aporte antropogénico en algunas estaciones que se suma a la contaminación de origen natural.

Principales ríos, lagunas y Lagos de Tlaxcala

Ríos		Lagunas		Lagos	
Municipio	Nombre	Municipio	Nombre	Municipio	Nombre
Atlangatepec	Zahuapan	Atlangatepec	Atlangatepec	El Carmen	Totoloncingo
Lardizabal	Atoyac	Tlaxcala	Acuitlapilco	Calpulalpan	Tochac
Apizaco	Tequixquiatl				
Juan Cuamatzi	Dos arroyos				
Juan Cuamatzi	Matlahuapan				
Huamantla	Guadalupe				
Altzayanca	Altzayanca				
Españita-Ixtacuixtla	Atotonilco				
Españita-Ixtacuixtla	Ajejela				
Panotla Nativitas	Totolac				
Panotla Nativitas	Chichicazac				

Tabla 1 Fuente: CNA. Subgerencia de Ingeniería y Apoyo Técnico, 2000.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) señala que el Estado de Tlaxcala se ubica en tres regiones hidrológicas: Cuenca del Balsas, Río Atoyac (78.76%), Cuenca del Pánuco, Río Moctezuma (18.21%) y Cuenca de Tuxpan- Nautla, Río Tecolutla (3.03%). El principal Río del Estado de Tlaxcala es el Zahuapan, cuerpo de agua que recorre de norte a sur del Estado (Tabla 1). Los lagos más importantes del Estado de Tlaxcala son el Totoloncingo y el Tochac ubicados en el municipio del Carmen y Calpulalpan respectivamente, por otro lado se encuentran las lagunas de Atlangatepec en el municipio del mismo nombre y la laguna de Acuitlapilco en la capital del Estado (CONAGUA, 2000). En estos importantes humedales de la entidad tlaxcalteca se han encontrado numerosas especies de anfibios y plantas propias pertenecientes a estos lugares, algunas de estas se desarrollan en todos los cuerpos acuáticos antes citados, pero existen otras especies que solo prosperan en uno o dos cuerpos de agua particularmente, como por ejemplo el ajolote y distintas especies de aves que puede encontrarse solo en la Laguna de Acuitlapilco y que representan ser un sistema particularmente importante para el Estado de Tlaxcala y de sus habitantes.

A pesar de la gran importancia ecosistémica y socioeconómica que tiene la Laguna de Acuitlapilco en la región centro del estado, los proyectos desarrollados en materia ambiental en la Laguna son escasos, debido a la nula participación y falta de voluntad política de los gobiernos estatal, municipal y nacional que no han realizado ningún esfuerzo efectivo para asegurar la protección de este importante humedal, cuya misión del estado es promover acciones, establecer programas así como evaluar la factibilidad de proyectos que permitan fomentar el desarrollo de las comunidades, salvaguardar los derechos, fomentar la conservación de su cultura, tradiciones y el cuidado de su hábitat. Sin embargo actualmente se han pronunciado diversos grupos sociales como la organización denominada “Patos Verdes al rescate de la laguna de Acuitlapilco” que buscan que la laguna sea declarada como área natural protegida y que con esta acción se vea detenida la contaminación de la misma.

De igual manera existe muy poca información de estudios ambientales referentes a los recursos de la laguna de Acuitlapilco. Resaltan los estudios desarrollados por Alba Gonzalez, J. Fonseca Jácome y de Francisco Castro Reyes por parte de investigadores y un Programa Parcial de ordenamiento territorial publicando en 2016 a cargo de los Municipios involucrados en el rescate de la Laguna que sigue sin implementarse. Sin embargo la principal problemática no está únicamente relacionada con los gobiernos, sino en el mal uso y aprovechamiento de los bienes naturales que los habitantes y las empresas instaladas de la periferia al cuerpo de agua ejercen sobre este importante ecosistema, ya que la principal fuente de contaminación es la descarga del sistema de drenaje de las comunidades aledañas sin ningún tipo de tratamiento y la basura que suelen depositar en este humedal (practica que se ha vuelto común en los alrededores), lamentablemente, según datos de la Coordinación General de Ecología del estado de Tlaxcala, el crecimiento urbano en la región de influencia de la Laguna de Acuitlapilco, creció 2.2 veces en menos de 30 años (1970-2000) por lo cual de continuar con estos ritmos de crecimiento, se acelerara el proceso de desecación y contaminación, por lo que de no protegerse este vaso lagunar, este terminará desapareciendo y en su lugar será ocupado por mayoritariamente por predios agrícolas, urbanos e industriales.

II. JUSTIFICACIÓN

Es importante caracterizar las principales problemáticas ambientales que involucran a los recursos agua y suelo de la Laguna de Acuitlapilco, bienes naturales de una gran importancia ecosistémica que han sido contaminados en gran medida por el desarrollo de las distintas actividades antropogénicas de la región, por ello es necesario explicar el grado de degradación que permita generar información de la situación actual y futura, ya que la capacidad de monitorear y evaluar las cambiantes tendencias del medio ambiente y sus interacciones con el desarrollo humano se han convertido en una necesidad primordial por lo que este estudio busca crear interés y compromiso en las autoridades y habitantes de Tlaxcala, en especial de los municipios de Tlaxcala, Tepeyanco y Santa Isabel Xiloxotla, a fin de rescatar, preservar, conservar y difundir el patrimonio natural, cultural y ambiental del cual son depositarios.



Figura 1. Laguna de Acuitlapilco Tlaxcala (Octubre 20017)

III.MARCO TEORICO

3.1 El recurso agua

El agua es una sustancia excepcional que siempre ha sorprendido al ser humano, si bien su composición es muy básica al ser su molécula formada únicamente por 1 átomo de Oxígeno y dos átomos de Hidrogeno mediante un enlace covalente polar y la capacidad de realizar enlaces de tipo puente de hidrogeno las propiedades fisicoquímicas resultantes de este enlace han permitido que se desarrolle la vida misma y de esta manera todos los procesos naturales de la tierra, por lo que algunos consideran que el agua es el recurso natural más importante, ya que tiene un gran impacto en todos los aspectos de la vida, no se conoce ningún organismo vivo en nuestro planeta que no la necesite directa o indirectamente para satisfacer sus funciones biológicas (Carbajal y Gonzalez 2012).

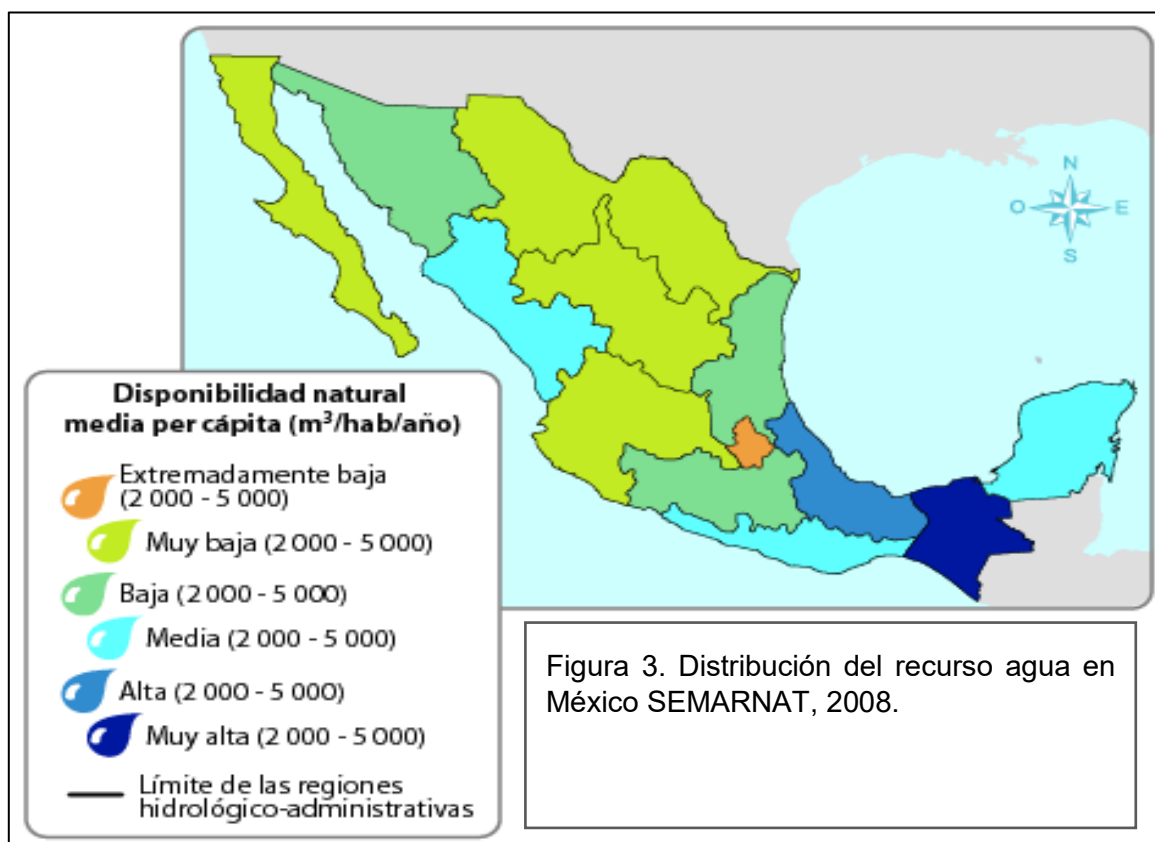


Figura 2. La crisis del agua es un problema a nivel mundial (ONU 2018)

La cantidad de agua con la que contamos en la el planeta no aumenta ni disminuye, pero la población humana sí ha crecido exponencialmente en las últimas décadas, y por lo tanto ha crecido también la necesidad que tenemos de este importante recurso. Además, si bien la cantidad de agua es constante, los océanos concentran aproximadamente el 97 % del agua total, la cual no es apta para el consumo humano, el 3 % restante es agua dulce adecuada para el consumo humano y de otras especies pero tan solo 1% de ella está disponible para el consumo a nivel mundial y sin embargo la forma en que se distribuye es generalmente irregular y dependiendo de las condiciones climáticas de cada lugar (fig. 2).

3.1.1 El recurso agua en México

México dispone aproximadamente tan solo del 0.1% del total de agua dulce disponible a nivel mundial (CONAGUA, 2012), lo que determina que un porcentaje importante del territorio esté catalogado como zona semidesértica (figura 3).



México es uno de los países con mayor disparidad y divergencia en volumen de agua disponible per cápita en el mundo, es por ello que algunas de las zonas en el país se consideran con alto estrés hídrico (ONU, 2015, SEMARNAT, 2008, CONAGUA, 2010). La disponibilidad de agua ha disminuido de manera considerable: en 1910 era de 31 mil m³ por habitante al año; para 1950 había disminuido hasta un poco más de 18 mil m³; y para 2010 disminuyó a 4 230 m³ anuales por cada mexicano. El incremento de la población en zonas urbanas y la frecuente migración en búsqueda de oportunidades hacia los centros urbanos incrementan el grado de presión sobre el recurso hídrico. De acuerdo con el *Atlas digital*, la zona metropolitana de nuestro país representa un total de más de 35 millones de habitantes que necesitan de agua (CONAGUA, 2012, INEGI 2015).

3.1.2 El ciclo del agua

Podemos decir que el agua, igual que la energía, no se crea ni se destruye, sólo se transforma mediante un ciclo termodinámico complejo. Este recurso natural siempre se encuentra en continua circulación y movimiento, cambiando de un estado a otro, pero su cantidad en el planeta permanece constante.

El agua que llueve, se almacena o evapora en los arroyos, ríos, lagos, lagunas y zonas costeras que finalmente llega a los océanos, forma parte de lo que se denomina el ciclo hidrológico, que básicamente consiste en tres fases principales: la precipitación, la evaporación y el flujo, tanto superficial como subterráneo.

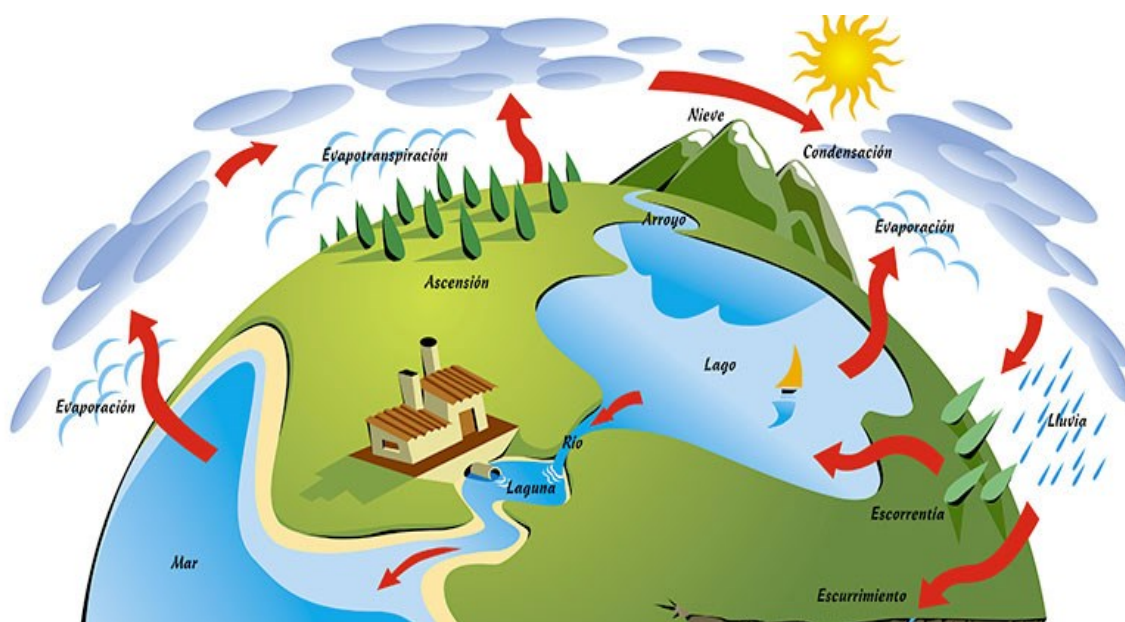


Figura 4. Etapas del ciclo del hidrológico (Uriarte 2017)

Cada una de estas fases involucra transporte, almacenamiento temporal y cambio de estado del agua (sólido, líquido y gaseoso), dependiendo de varios factores, como son la temperatura a la que se encuentra el agua, la latitud de la zona geográfica y la época del año. Sin embargo las reservas de agua dulce están siendo utilizadas por la especie humana a una tasa extremadamente veloz, mucho más rápido de lo que tardan en recuperarse, por lo que este recurso, considerado como renovable, se empieza a transformar en no renovable y el continuo crecimiento demográfico requiere cada vez de más agua para satisfacer las necesidades más básicas.

3.1.3 Calidad del agua

La calidad del agua es una cuestión que preocupa en países de todo el mundo, por su repercusión en la salud de la población. El agua de consumo puede considerarse de buena calidad cuando es salubre y limpia; es decir, cuando no contiene microorganismos patógenos ni contaminantes químicos a niveles capaces de afectar adversamente la salud de los consumidores, sin riesgos para la salud, fácilmente accesible y en la cantidad requerida (OMS, 2017).

Actualmente la mayoría de los recursos hídricos del planeta se encuentran alterados desde sus características físicas, químicas y microbiológicas, por efecto de la disposición de residuos líquidos y sólidos, domésticos, agrícolas e industriales, en los cuerpos naturales, incrementado así las enfermedades, la inestabilidad social, los conflictos por su uso y los desastres ambientales (Pacheco, 2014), por lo que es necesario mantener un monitoreo constante de la calidad y cantidad del agua y conocer los factores que la afectan. De acuerdo con lo anterior, las fuentes de agua superficial son ejes vitales de desarrollo de los seres humanos, ya que éstas permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales, no obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas fuentes hídricas.

El problema de la contaminación no es un fenómeno reciente, entre sus principales causas está el desarrollo de la industria y la sobrepoblación. En el caso específico de las aguas residuales, se generan condiciones bastante desfavorables que perjudican la calidad del agua, la flora y la fauna normal que se presente en un determinado cuerpo de agua (Zúñiga, 1996), se estima que alrededor de dos millones de toneladas de desechos son arrojados diariamente a los distintos sistemas de almacenamiento de aguas, incluyendo residuos industriales, de fertilizantes y de plaguicidas (Mazarí, 2015). Sin embargo, el problema de la contaminación del agua se deriva principalmente debido a la falta de cultura ambiental por parte de la sociedad, ya que se le da un manejo y uso inadecuado, este valioso recurso es cada vez más vulnerable y escaso en los últimos años (UNESCO, 2003).

3.3.2 La importancia del manejo sostenible del agua

El mundo necesitará producir aproximadamente 60 por ciento más alimento para el 2050 a fin de garantizar una seguridad alimentaria global (FAO, 2009), y deberá lograrlo mientras conserva la base del recurso agua. Este recurso es el principal insumo de importancia en la provisión de alimento desde su producción en el campo y en todos los pasos de la cadena de valor (FAO, 2017). El agua también debe cumplir el requerimiento personal, doméstico e industrial, y para mantener importantes ecosistemas dependientes de agua y servicios ambientales. Sin embargo, con el incremento de la demanda y la competencia por el agua, los recursos hídricos del planeta se encuentran bajo un estrés creciente debido al cambio climático, su mal manejo y la contaminación (Fig. 5).

Más de 2000 millones de personas en el mundo carecen de acceso a los servicios básicos de agua y saneamiento, asegura el informe mundial de la ONU sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, un ejemplo preocupante es que África alberga a la mitad de la población que bebe agua de fuentes no protegidas. En el 2010, la Asamblea General de la ONU adoptó una resolución histórica que reconoce que el acceso al agua potable y al saneamiento es un derecho humano. Esta meta, es también uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible



Figura 5. La manera en que se reparte el agua en el mundo no es equitativa (ONU 2019)

3.2 El Recurso Suelo

El suelo es una parte fundamental del medio ambiente en el funcionamiento de los ecosistemas, el servicio ambiental más conocido que provee el suelo es el de provisión de alimentos, ya que es el sustrato para la obtención de cultivos comestibles, para forraje, fibras y combustible. Se estima que 95% de los alimentos se producen directa o indirectamente en los suelos, en este se realizan funciones tan importantes como los ciclos biogeoquímicos. Su formación involucra periodos que pueden llegar a miles de años, pero su degradación es irreversible y por lo regular se realiza en periodos considerablemente más cortos (FAO, 2015).



Figura 6. Campo de cultivo de Milpa en Tlaxcala: SEMARNAT/Aldonza Méndez

Tlaxcala es un estado esencialmente campesino y, aun cuando es un territorio pequeño, presenta innumerables casos de agricultura ecológica ligados a la milpa y al maíz (fig.5). Sin embargo, derivado de la pérdida de vegetación generada por la tala clandestina, plagas y enfermedades que aquejan a los bosques o áreas verdes del estado, el 83 % del territorio estatal sufre algún grado de desertificación de sus suelos, de acuerdo a datos del Departamento de Restauración de la Comisión Nacional Forestal Estatal.

3.2.1 Los servicios ambientales del suelo

Los servicios ambientales son los beneficios que la población obtiene de los ecosistemas. Comúnmente se clasifican en servicios de soporte, regulación, provisión y culturales. Entre estos servicios se encuentran la continuidad de los principales ciclos biogeoquímicos. Se sabe que el suelo es el sustrato donde las bacterias logran fijar el nitrógeno atmosférico que después es utilizado por las plantas, además también es uno de los principales reservorios de carbono en los ecosistemas terrestres. Los suelos contienen mucho más carbono que el que se encuentra en la vegetación y cerca de dos veces más que el que se encuentra en la atmósfera. Esta captura reduce su liberación a la atmósfera como CO₂, uno de los principales gases de efecto invernadero, por lo que no conservar la calidad del suelo trae consigo consecuencias adversas en la lucha contra el cambio climático (FAO, 2010). El suelo tiene también un papel muy importante en el ciclo hidrológico. El agua almacenada en el suelo, representa cerca del 90% del agua consumida por los cultivos alrededor del mundo. Este servicio, junto con la capacidad del suelo para absorber carbono y posteriormente emitir calor, lo convierten también en un importante regulador climático (Fig. 6)

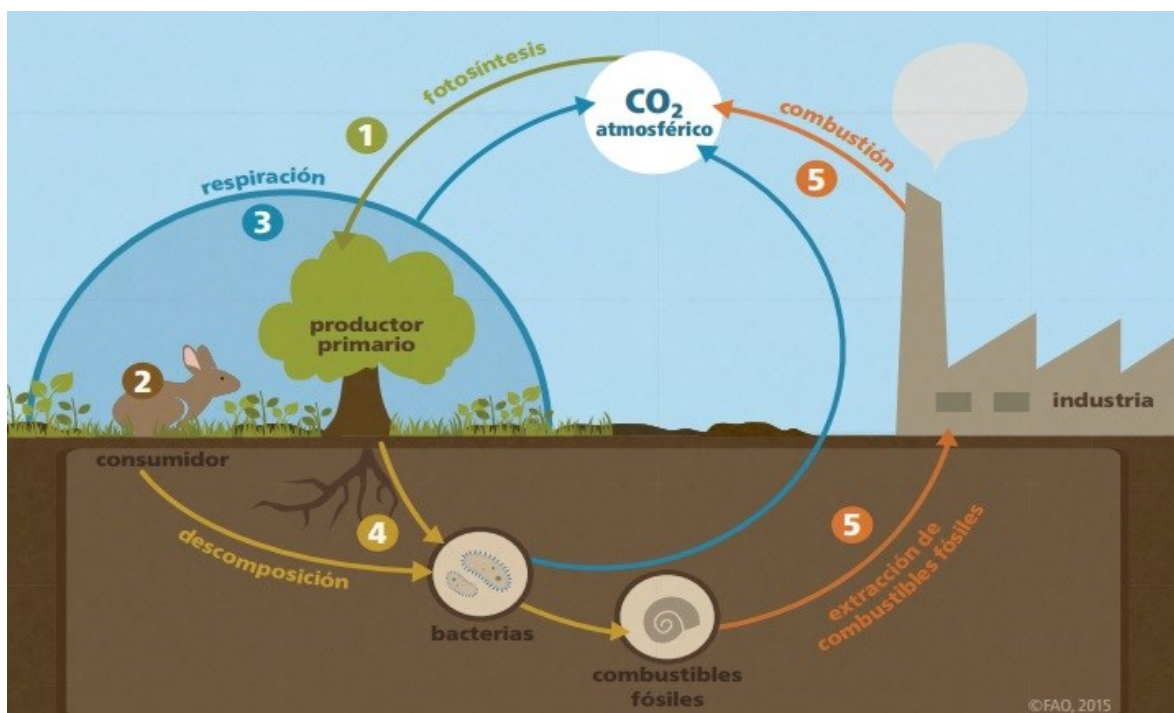


Figura 6. Diagrama representativo del Ciclo del Carbono en suelo (FAO 2015)

3.2.2 Principales causas de la degradación del suelo en México

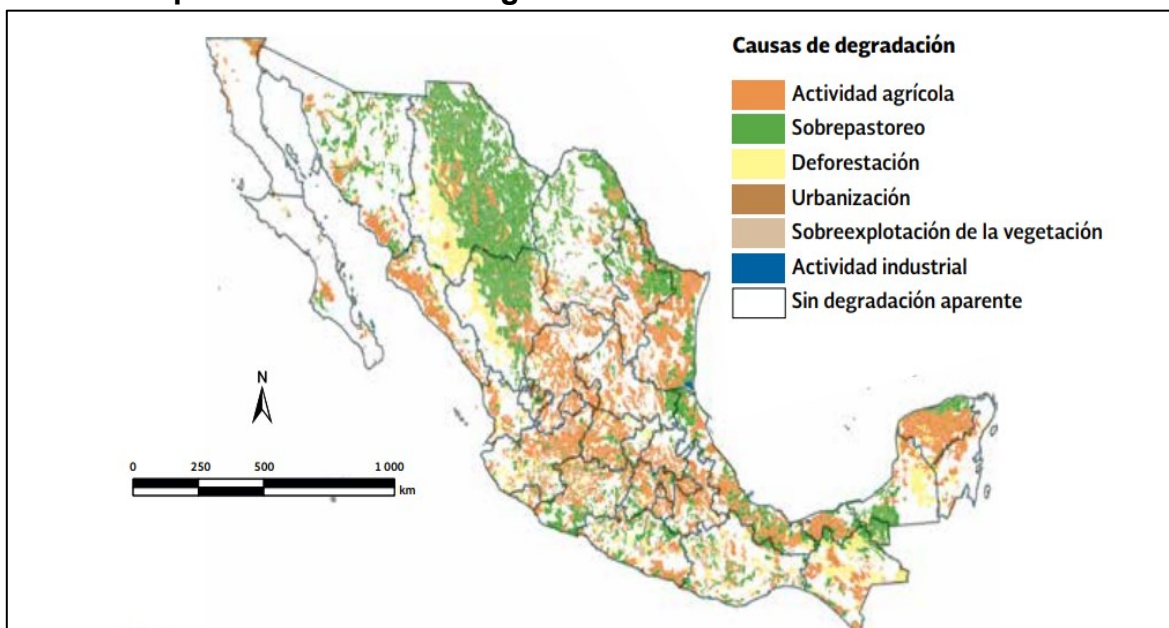


Figura 7. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional, México. 2003.

Actualmente la degradación química es el proceso de degradación del suelo más extendido en el país, con alrededor de 34.04 millones de hectáreas (17.8% del territorio). Considerando los niveles de degradación, el ligero está en 55% de la superficie nacional con este tipo de degradación; el moderado, en 43.2% y el fuerte y extremo en conjunto, sumaron el 1.8% (Fig. 3).

Los tipos de degradación química que se analizarán en el presente estudio serán: la disminución de la fertilidad, salinización, polución. La disminución de la fertilidad del suelo, representa el decremento neto de nutrimentos y materia orgánica disponibles en el suelo, que se debe a un balance negativo entre las entradas de nutrimentos y materia orgánica. La disminución de la fertilidad ha sido el tipo de degradación química más importante en el país, cubriendo el 92.7% de la superficie afectada. La polución es la contaminación del suelo que se debe a la concentración y efecto biológico adverso de algunas sustancias que pueden provenir de tiraderos a cielo abierto, derrames, residuos industriales, deposición de compuestos acidificantes y/o metales pesados tales como: Plomo, Cadmio, Cromo, Arsénico y Mercurio.

3.5 Antecedente e importancia histórica de la laguna de Acuitlapilco

La laguna fue uno de los asentamientos más importantes que existió en la época prehispánica, perteneció al Señorío de Ocotelulco, poseedor de los recursos naturales más abundantes del periodo prehispánico de todo Tlaxcala. La laguna era muy importante para los pobladores, pues de ella se obtenía pescado y en sus orillas se cazaban patos, que se incluían en la nutrición de los pueblerinos (González, 2008). La desecación de la laguna se aceleró por la extracción de agua mediante pozos artesanales de la época para el consumo doméstico, los cuales fueron construidos en los pueblos del área circundante y produjeron el abatimiento del manto freático. También se extraía agua para irrigación de los huertos por el arroyo Huactzinco, que desemboca en el arroyo del municipio de Tepeyanco, cuyo caudal se incrementaba con las lluvias de verano acumuladas durante su descanso por la ladera occidental del volcán La Malinche y que, junto con el agua de varios manantiales que nacen en San Francisco Tepeyanco, aumentaba el caudal de la zona. Ya reunidas las aguas de los arroyos convergían al río Zahuapan cerca de Aquíahuac al margen occidental del corredor Tlaxcala-Puebla (CONAGUA, 2010).

El proceso de desecación y contaminación de la Laguna inicia a finales del siglo XIX por la presión de los mismos pobladores (La mayoría campesinos). Sin embargo en la década de 1920 la dirección de aguas del Estado de Tlaxcala, propuso que la laguna fuese declarada propiedad privada y se comenzó a analizar el problema de la irrigación de los cultivos de la comunidad de Santa María Acuitlapilco que desde ya hace tiempo atrás ya aprovechaba las aguas del humedal ubicada en el citado pueblo. Ya en la década de los cuarenta, es evidente la presencia de un desfogue al sur de la laguna conectado con un canal que conduce el agua hacia el río Xiloat, que pasa al sureste de Tepeyanco y que desemboca en la barranca Briones. En las décadas de 1940 y 1950 varios políticos y habitantes de los pueblos consideraban que la laguna podría ser un buen lugar para el turismo, donde la gente tuviese al alcance lugares para comer y el sano esparcimiento (lancha, caminatas, pesca); sin embargo, esos planes no prosperaron y actualmente la laguna se encuentra altamente contaminada principalmente por la descarga ilegal de aguas residuales sin previo tratamiento (González, 2008).

Actualmente la Laguna de Acuitlapilco ha sido drenada para extender la superficie de los campos de cultivos del sistema milpa (Perez et al 2010), lo que ha repercutido en las actividades económicas que desarrollaban los pobladores de la cuenca, el ejemplo más significativo es que en la actualidad ya no es posible desarrollar la pesca de tilapia, la cual era una fuente de ingresos importante para los lugareños, así como la fabricación de petates hechos con tule que crecían en el área, todo esto es debido a los altos índices de contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales de las zonas habitacionales cercanas, así como de fuentes de origen industrial que son depositados en el cuerpo de agua (Gonzalez, 2013)

Hoy en día, pese a que muchos consideran a la laguna como extinta, todavía existen parvadas de patos de diversas especies que vuelan desde el sur de Canadá y norte de los EEUU, y que de manera regular llegan al área de la laguna de Acuitlapilco durante los meses de agosto y septiembre (Fig. 8), que aprovechan la humedad del terreno, ofreciendo un precioso paisaje acuático de este humedal y refleja la necesidad de un mayor número de estudios sobre el papel de las laguna como un importante reservorio de biodiversidad de Tlaxcala (Fonseca, 2012 et al) .

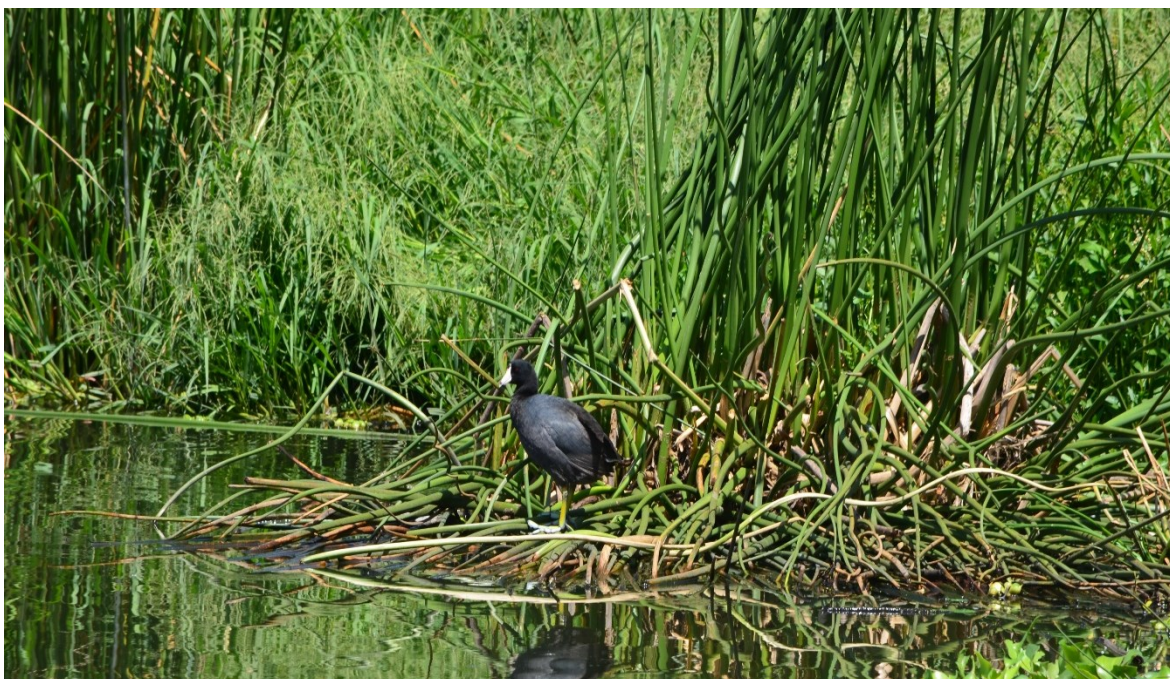


Figura 8. Gallareta Americana en la Laguna de Acuitlapilco Tlaxcala (Junio 2018)

3.5.1 Estudios previos realizados en la Laguna

El Programa Parcial de Desarrollo Urbano de la Laguna de Acuitlapilco y su Área de Influencia (PPDULA), es un intento en materia ambiental creado en el año 2016 bajo la dirección del gobierno estatal de Tlaxcala, que tiene como finalidad crear interés y compromiso en las autoridades y habitantes de Tlaxcala, en especial de los municipios de Tlaxcala, Tepeyanco y Santa Isabel Xiloxotla, a fin de rescatar, preservar, conservar y difundir el patrimonio natural, cultural y arquitectónico de que son depositarios.

Sin embargo a más de 2 años de su publicación en el diario oficial del Estado de Tlaxcala, aún se puede percibir el deteriorado estado ambiental en el que se encuentra la Laguna de Acuitlapilco, debido a que no se han realizado ningún trabajo de remediación por parte de las autoridades correspondientes.

Académicamente, se han desarrollado muestreos de la calidad del agua de la laguna por parte de investigadores de la Universidad Politécnica de Tlaxcala y de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, en el que se analizaron las concentraciones de Cadmio y Plomo en agua de la rivera de la Laguna por medio de espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito durante 3 muestreos y se encontraron que concentraciones eran más bajas a las reportadas por la normatividad nacional vigente, sin embargo los resultados no contemplaron el análisis de suelos, en donde muy probablemente se encuentren sedimentados una mayor concentración de estos contaminantes(Castillo et, al. 2016).

Por lo tanto es de vital importancia la realización de más estudios científicos que monitoreen la calidad de agua y suelo de la laguna de Acuitlapilco, enfocados al fortalecimiento de estrategias acordes con las políticas medio ambientales dando en conjunto una adquisición de conocimiento eficaz que lleve a la población y a las autoridades del Gobierno del Estado de Tlaxcala a resolver el problema de la contaminación de la laguna de Acuitlapilco en base a un enfoque de complejidad ambiental, puesto que el cuidado de los recursos naturales es una obligación en cada individuo y una responsabilidad ciudadana y ambiental que trasciende en el desarrollo de la región y en general de la sociedad,

3.6 Marco Conceptual

3.6 Tipos de investigación

El estado del conocimiento en el tema de investigación que revele la revisión de la literatura y el enfoque que el investigador le pretenda dar a su estudio se puede analizar en 4 tipos de investigación según Hernández (1997).

Los estudios exploratorios se efectúan, normalmente, cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes. Es decir, cuando la revisión de la literatura reveló que únicamente hay guías no investigadas e ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio.

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden y evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar.

Los estudios correlacionales pretenden responder a preguntas de investigación que tienen como propósito medir el grado de relación que existe entre dos o más conceptos o variables

Los estudios explicativos como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o por qué dos o más variables están relacionadas.

La metodología de la investigación se sustenta en el positivismo y de acuerdo con la clasificación es un estudio con condiciones exploratorias, descriptivas y explicativas. Exploratorio: es un problema poco investigado en la región de estudio. Descriptivo: pretende especificar características de la gestión del agua y el suelo, sometiéndolas a una medición, análisis y diagnóstico. Explicativo: a partir del conocimiento del fenómeno social y ambiental, se revisan las causas y relaciones que se analizan en la problemática ambiental de Acuitlapilco.

3.6.1 Paradigma

El paradigma que se empleará será el constructivismo debido a que la manera de generar el conocimiento es de manera autodidacta, la investigación será utilizando teorías de sistemas por medio de la interdisciplina, manejando un enfoque holístico de acuerdo a las Ciencias Ambientales (Moreno, et al, 2001).

3.6.2 Enfoque epistemológico

Se analizará el problema de investigación con base al enfoque Racionalista-Realista debido a que la existencia de la información percibida se debe de manejar de manera objetiva a través de la experiencia propia, la razón es la fuente principal del conocimiento. (Padrón, 2007).

3.6.3 Teorías que soportan la Investigación

La investigación se basará en la teoría general de sistemas, mediante el análisis del sistema complejo que representa ser la laguna de Acuitlapilco, estudiado el mayor número de las interrelaciones que conforman al objeto de estudio y así buscar explicar la realidad desde una perspectiva holística (Garcia, 2006)

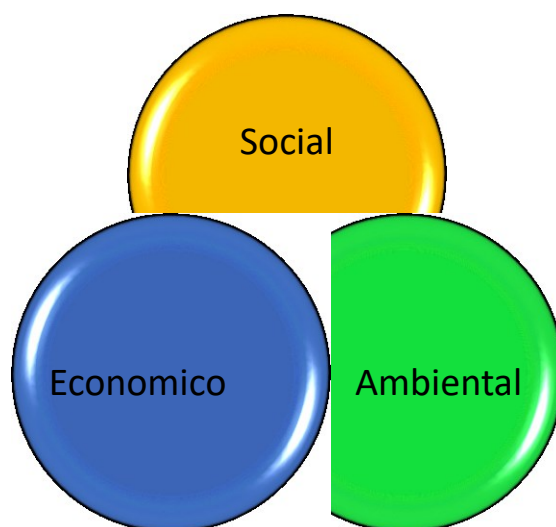


Figura 9. Sistemas estudiados en la Laguna de Acuitlapilco

3.7 Marco legal competente a la Laguna de Acuitlapilco

Las bases legales que competen el estudio ambiental de los recursos agua y suelo de la laguna de Acuitlapilco y su congruencia con los instrumentos de planeación vigentes a nivel estatal, nacional e internacional son los siguientes:

3.7.1 Ámbito Nacional

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 4º establece que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la Ley.

La Ley General de Aguas Nacionales es reglamentaria del Artículo 27º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral y sustentable, las disposiciones de esta Ley son aplicables a todas las aguas nacionales, sean superficiales o del subsuelo.

En su Artículo 85º prevé que las personas físicas o morales, incluyendo las dependencias, organismos y entidades de los tres órdenes de gobierno, que exploten, usen o aprovechen aguas nacionales en cualquier uso o actividad, serán responsables de realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso, para reintegrar las aguas referidas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su explotación, uso o aprovechamiento posterior y mantener el equilibrio de los ecosistemas vitales. En consecuencia, establece que dichas personas deben tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores y cumplir con lo dispuesto por las normas oficiales mexicanas.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su artículo 117° establece como criterios: que la prevención y control de la contaminación del agua es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país, que las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en aguas nacionales y que la participación de la sociedad es una condición indispensable para evitar la contaminación del agua. Asimismo, en su artículo 118° se establecen los criterios en la expedición de normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública.

El Plan Nacional de Desarrollo señala implementar un manejo sustentable del agua, haciendo posible que todos los mexicanos tengan acceso a ese recurso, el asegurar agua suficiente y de calidad adecuada para garantizar el consumo humano y la seguridad alimentaria; el sanear las aguas residuales con un enfoque integral de cuenca que incorpore a los ecosistemas, así como el fortalecer el marco jurídico para el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

El Programa Nacional Hídrico es un documento rector de la política en el país, que considera diversas acciones, entre ellas los planteamientos estratégicos del grupo directivo de la CONAGUA, talleres con expertos en materia hídrica, consultas con organizaciones no gubernamentales, como es el Consejo Consultivo del Agua, Consejos de Cuenca, Instituciones académicas, que buscan fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, cuya estrategia es mejorar la calidad del agua en cuencas y acuíferos, entre otras acciones que propone es la modificación a la normatividad sobre descargas de aguas residuales para contribuir a un marco de sustentabilidad de la calidad de dicho recurso, además de satisfacer las demandas de agua potable en las trece regiones hidrológicas del país, y de manera prioritaria en los 1,115 municipios de alta y muy alta marginación de acuerdo con la declaratoria de las zonas de atención prioritaria. Promover el acceso apropiado a toda la población, especialmente a la vulnerable, a servicios con cantidad y calidad de agua potable, drenaje y saneamiento, así como a la Prevención y Atención de riesgos provocados por eventos hidrometeorológicos extremos.

El Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales reconoce que gran parte del territorio mexicano es vulnerable al estrés hídrico, situación que podría agravarse por el cambio climático, y que dada la importancia de este recurso para las actividades humanas, así como para mantener la integridad de los ecosistemas, se debe implementar urgentemente el manejo adecuado del agua es dado que el no emprender acciones para solucionar los problemas de disponibilidad y calidad del recurso hídrico, se traducirá en el corto y mediano plazo, en un freno para el desarrollo económico y el bienestar de la sociedad mexicana. Razón por la que se estableció el objetivo de fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, garantizando su acceso a la población y a los ecosistemas, cuya estrategia consiste en fortalecer el abastecimiento de agua y acceso a servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, así como para la agricultura y cuyas líneas de acción son: revisar el marco jurídico para el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento y vigilar el cumplimiento de los términos de las condiciones particulares de descarga y la normatividad aplicable.

La Norma NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales", misma que cambió de nomenclatura en 20017 para quedar como la norma la NOM-001-SEMARNAT-2017, mediante parámetros como: pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto (OD), Nitrógeno Total, Fosforo Total y de los metales pesados tales como: As, Pb, Cd, Be, Sb, Cr, etc.

La Norma Oficial Mexicana, NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis mediante los parámetros: Acidez (pH), Conductividad eléctrica, Fertilidad, Materia Orgánica en suelo (MOS), Nitrógeno Total, Fosforo Total, etc.

3.7.2 Ámbito Estatal

La Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Tlaxcala dice en su artículo 26º que toda persona tiene derecho a gozar de un medio ambiente saludable. Por lo que el Estado de Tlaxcala a través de la ley determinará las medidas que deberán llevar a cabo las autoridades para protegerlo, preservarlo, restaurarlo y mejorarlo.

La Ley de Ordenamiento Territorial para El Estado de Tlaxcala menciona las disposiciones relativas a los asentamientos humanos y el desarrollo urbano de los centros de población, que expiden los municipios, en el que se deben respetar las bases relativas al ordenamiento territorial y tenderán a mejorar la calidad de vida, elevar la productividad, preservar los recursos naturales y proteger el medio ambiente. Además menciona que el estado está compuesto por las áreas constituidas por zonas urbanizadas, las que se reserven a su expansión futura y las que se consideren no urbanizables, por estar constituidas por elementos naturales que cumplen con una función de preservación ecológica, tal como la Laguna de Acuitlapilco.

La Ley de Aguas del Estado de Tlaxcala establece que toda persona que habite en el Estado de Tlaxcala tiene derecho al acceso suficiente, seguro e higiénico de agua disponible para su uso personal y doméstico, siempre y cuando se encuentre al corriente en de sus obligaciones fiscales. Las autoridades son las encargadas de garantizar este derecho, de acuerdo a la infraestructura con la que cuenten los organismos operadores, pudiendo el usuario presentar denuncia ante el organismo operador competente, cuando el ejercicio del mismo se limite por actos, hechos u omisiones de alguna autoridad o persona, tomando en cuenta las limitaciones y restricciones que establece. En genera la presente Ley, busca promover y propiciar la alineación de los programas y acciones de las diferentes instancias y órdenes de gobierno, así como sus reglas, normas u ordenamientos de cualquier tipo, a efecto de garantizar la gestión integral de los recursos hídricos del Estado de Tlaxcala.

3.7.3 Ámbito Internacional

La Agenda 2030 es un esfuerzo que en 2015, los países del mundo adoptaron para el Desarrollo Sostenible del planeta. En 2016, entró en vigor el Acuerdo de París sobre cambio climático, que responde a la necesidad de limitar el aumento de las temperaturas globales. Estos nuevos objetivos presentan la singularidad de instar a todos los países, ya sean ricos, pobres o de ingresos medianos, a adoptar medidas para promover la prosperidad al tiempo que protegen el planeta. Reconocen que las iniciativas para acabar con la pobreza deben ir de la mano de estrategias que favorezcan el crecimiento económico y aborden una serie de necesidades sociales, entre las que cabe señalar la educación, la salud, la protección social y las oportunidades de empleo, a la vez que luchan contra el cambio climático y promueven la protección del medio ambiente.

La Convención Ramsar es el tratado intergubernamental que ofrece el marco para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos. La Convención se adoptó en la ciudad iraní de Ramsar en 1971 y entró en vigor en 1975. Desde entonces, casi el 90% de los Estados miembros de las Naciones Unidas de todas las regiones geográficas del planeta se han adherido al tratado, pasando a ser "Partes Contratantes".

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) es el portavoz del medio ambiente dentro del sistema de las Naciones Unidas. El PNUMA actúa como catalizador, promotor, educador y facilitador para promover el uso racional y el desarrollo sostenible del medio ambiente mundial. La labor del PNUMA abarca evaluar las condiciones y las tendencias ambientales a nivel mundial, regional y nacional; elaborar instrumentos ambientales internacionales y nacionales; y fortalecer las instituciones para la gestión racional del medio ambiente. El PNUMA tiene una larga historia de contribuir al desarrollo y la aplicación del derecho del medio ambiente a través de su labor normativa o mediante la facilitación de plataformas intergubernamentales para la elaboración de acuerdos principios y directrices multilaterales sobre el medio ambiente, que tienen por objeto hacer frente a los problemas ambientales mundiales.

IV. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

4.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es el estado ambiental actual del recurso agua y suelo de la laguna de Acuitlapilco Tlaxcala?

V. HIPOTESIS:

Los recursos agua y suelo de la Laguna de Acuitlapilco se encuentran en un alto grado de degradación ambiental provocado en gran medida por las descargas de aguas residuales no tratadas provenientes de los domicilios cercanos a la periferia, las prácticas agrícolas no adecuadas, y la creciente desforestación y cambio de usos de suelo, lo cual ha impactado no solo en el medio biofísico de la región, sino también en el entorno socioeconómico ya que ha propiciado el incremento de la marginación de los grupos vulnerables de los habitantes de la laguna.

VI.OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

- Evaluar la situación ambiental actual del recurso agua y suelo de la Laguna de Acuitlapilco mediante los principales parámetros fisicoquímicos con base al análisis estadístico descriptivo y establecer las principales interrelaciones sociales y económicas. .

6.2 Objetivos específicos

- Evaluar la calidad del agua de la laguna en base a la NOM-001-SEMARNAT-2017 en la época de estiaje y lluvias.
- Analizar los suelos de la Laguna en base a la norma NOM-021-SEMARNAT-2001 en la temporada de estiaje y lluvias.
- Identificar la relación de las principales actividades socioeconómicas de la región con los recursos naturales mediante el uso de distintas bases de datos y visitas de campo.
- Establecer un antecedente de la situación ambiental de los recursos naturales agua y suelo de la Laguna de Acuitlapilco.

VII. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

7.1 Localización de la Laguna de Acuitlapilco

La laguna de Acuitlapilco se localiza en la parte sur del estado de Tlaxcala, entre los municipios de Tlaxcala (capital del estado) Santa Isabel Xiloxotla y San Francisco Tepeyanco, en las coordenadas (19°16'36"N, 98°16'30"O) (INEGI 2010).



Figura 10. Localización de la Laguna de Acuitlapilco (modificado del PPDULA 2016)

La superficie del cuerpo de agua es variable a lo largo del año y el aporte de agua es principalmente por lluvia. La laguna tiene una cuenca de captación de 10.3 km² con una precipitación media anual de 839.3 mm de acuerdo al Observatorio Meteorológico de la ciudad de Tlaxcala (PPDULA 2016). El volumen escurrido anual de la lluvias es de 1.97 millones de m³. El almacenamiento que llega a tener la laguna puede casi llegar a desaparecer en el estiaje, y en época de precipitaciones la laguna conserva un espejo de agua muy variable. Debido a que el principal aporte de agua depende exclusivamente de las precipitaciones, la superficie del cuerpo de agua es usualmente impredecible entre temporadas y a lo largo de los años, variando de 30 hasta 70 ha. En la temporada de lluvias, la profundidad puede llegar a alcanza un máximo de 1.8 m, y en época de secas un máximo de 0.8 m.

7.1.1 Demografía de la región

La población total de los municipios de Tepeyanco, Tlaxcala y Santa Isabel Xiloxotla que conforman el área de influencia de la Laguna de Acuitlapilco pasó de 67,434 a 105,279 habitantes en tan solo 20 años, mismos que representan casi un 10% de la población total del estado de Tlaxcala (INEGI, 2010). La dinámica de crecimiento de la población en esta microrregión ha mostrado una ligera disminución puesto que el crecimiento promedio anual de 2.4% que presentó en la década de los noventa se redujo a 2.2% entre 2000 y 2010 pudiendo ser el bienestar social de los habitantes una de las principales causas (Navarro, et al 2016)

7.1.2 Relieve de la región

Las topoformas localizadas en el área que conforma la Laguna de Acuitlapilco son manifestaciones de relieves suaves constituidos por lomeríos, presentando un alto grado de erosión hacia la parte sur por donde se encuentra ubicada la barranca Garzontla estos lomeríos están formados por depósitos de tobas andesíticas, en la zona que comprende la laguna se presenta en su forma original como una pequeña cuenca cerrada de tipo endorreica, dado que superficialmente no presenta una zona de descarga además está representada principalmente por un dominio morfo estructural de suaves lomeríos bien definidos, sobresaliendo en altura a la parte norte de la ciudad de Tlaxcala y también por el sur de Tepeyanco característico de tierras de cultivo (Rodríguez, 2008)

7.1.3 Clima de la región de Acuitlapilco

El clima es templado subhúmedo, C (w2) la precipitación media es 800 a 1,000 mm. La máxima incidencia de lluvias se presenta en los meses de junio a septiembre donde se registran de 150 a 160 mm de precipitación media mensual, de acuerdo al climograma realizado de la ciudad de Tlaxcala y Zacatelco (Figura 9, 10). Los meses más secos son enero y febrero con precipitaciones medias mensuales de 10 mm. La temperatura media anual es de 12° a 18° C, los meses más cálidos son marzo, junio, julio y agosto con temperaturas de 14° a 15 °C, mientras que los más fríos son enero y diciembre con -3°C (INEGI, 2015).

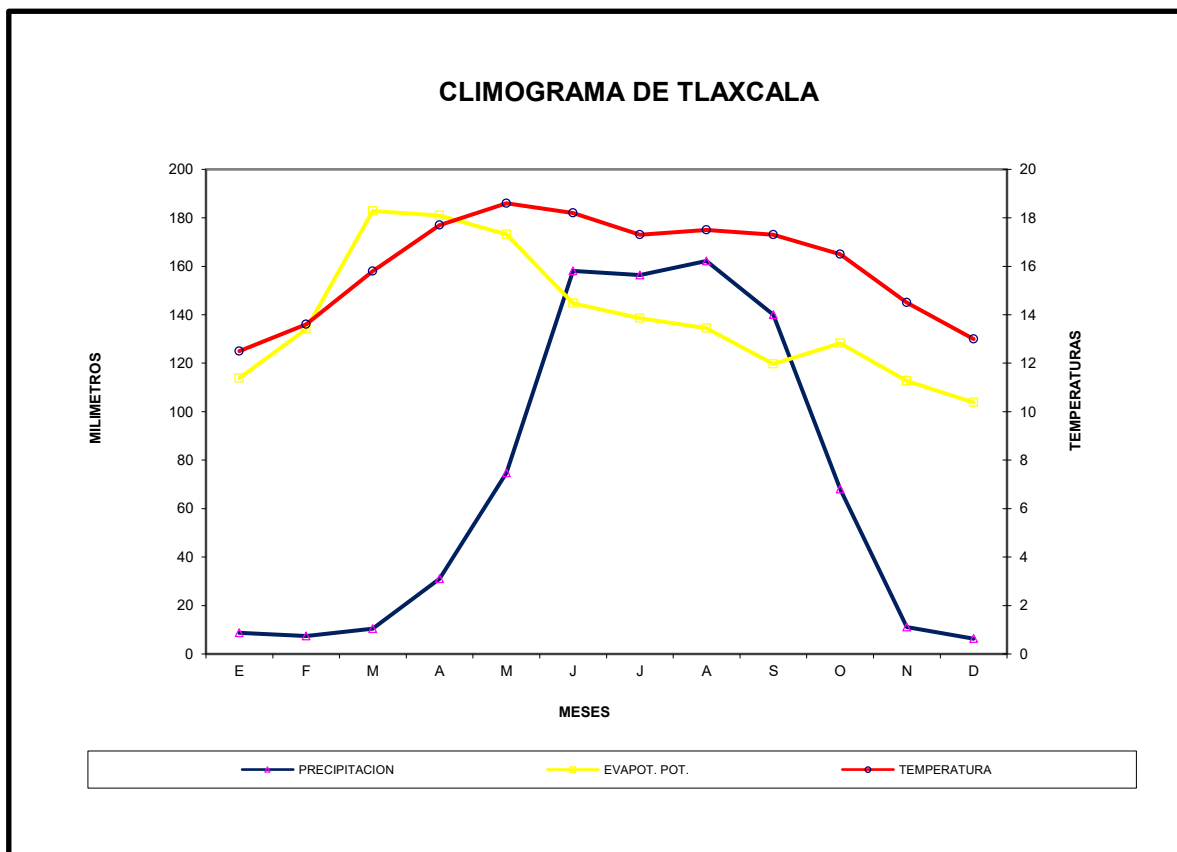


Figura 9. Climograma del estado de Tlaxcala (modificado de CONAGUA 2018)

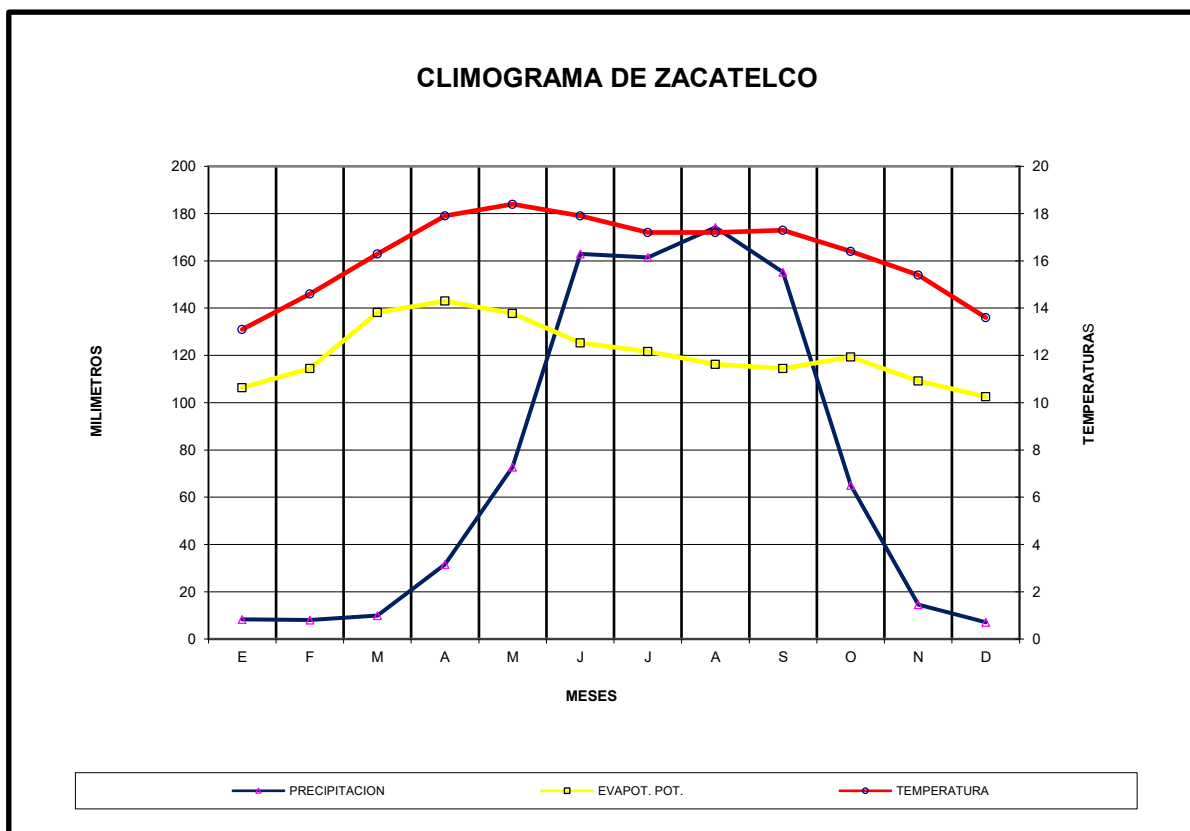


Figura 10. Climograma del Zacatelco (modificado de CONAGUA 2018)

7.1.4 Edafología de la zona de Acuitlapilco

Los suelos de la Laguna de Acuitlapilco son desarrollados sobre rocas eruptivas de composición andesítica y son de tipo:

Feozem (H). Estos suelos en la mayoría de los casos se encuentran bien drenados, a excepción de los que presentan estratos muy arcillosos, el material parental lo constituyen rocas ígneas intermedias llamadas andesitas (CONABIO, 2005).

Litosol (I). Tienen un espesor menor a 10 cm, generalmente están limitados por un material duro continuo y coherente (roca). Su textura varia de migajón, arenoso a franca, el color que presenta es negro, café oscuro o gris, la estructura en bloques subangulares de tamaño medio, solamente tienen un horizonte A, son pobres en materia orgánica, el contenido de calcio y magnesio es moderado y del sodio, potasio y fósforo es bajo. Su espesor es una limitante para su uso en agricultura, siendo su uso potencial el de vida silvestre (Tabla 2).

Tabla 2. Uso del suelo en El Estado de Tlaxcala

Concepto	Nombre Local	Utilidad
Agricultura 75.21% de la superficie estatal	Maíz Frijol Cebada Trigo Papa	Comestible
Bosques 15.89% de la superficie estatal	Ocote Sabino Oyamel Encino	Madera
Pastizal 6.28% de la superficie estatal	Zacate banderita Zacate navajita	Forraje

Fuente: INEGI. Anuario Estadístico del Estado de Tlaxcala, edición 2006.

7.1.5 Microrregión de Acuitlapilco

El patrón de asentamiento que predomina en la zona de estudio es resultado de la dinámica de las actividades económicas de los centros urbanos más importantes de la microrregión Tlaxcala-Santa Ana Chiautempan y Zacatelco en donde predomina la industria textil, que presentan un proceso de expansión territorial hacia las localidades receptoras de población ubicadas en el área de influencia inmediata de la laguna como lo son: Tepeyanco, Santa María Acuitlapilco, La Magdalena Tlaltelulco, las cuales bordean las vías carreteras que delimitan la zona de estudio (Cuellar 1975, Gonzalez 1991, Rendón 1996, Trujillo 2017, PPDULA 2016).

En la actualidad la superficie total de la laguna de Acuitlapilco no se encuentra delimitada bajo los esquemas de manejo, debido a que los pobladores aledaños al manto acuífero continúan con el interés de ampliar sus tierras y al paso de los años se han adueñado de áreas consideradas federales. Esto, derivado de complicidad en que han incurrido las distintas autoridades municipales y presidentes de comunidad de varios mandatos, quienes expiden constancias de posesión para promover juicios para la obtención de escrituras de terrenos, sin considerar que dichos predios son propiedad federal, no privada (CONAGUA, 2010). La laguna solía alimentarse de los escurrimientos de agua que descendían por las barrancas de las colinas aledañas durante la época de lluvia, así como de 11 manantiales ubicados en el margen oriental del embalse, producto de estos mismos escurrimientos. A lo largo de la segunda mitad del siglo XX y en lo que va del presente siglo, la laguna ha sufrido un proceso de desecación debido a la construcción de pozos profundos, el uso de agua para actividades de riego, la presión histórica sobre la tierra que llevó a varios campesinos a solicitar que la superficie de la laguna fuese drenada con el propósito de extender la superficie de cultivo, así como el progresivo azolvamiento del lecho acuático, debido a la deforestación y consecuente erosión de los cerros aledaños (COLTLAX, 2010). A medida que bajó el nivel de la laguna quedó al descubierto un extenso llano cenagoso que en la actualidad se recarga parcialmente con los aguaceros del verano y se seca al cabo de unos meses (Castro et, al 2012).

VIII. METODOLOGIA

8.1 Etapa 1 – Caracterización social de las localidades de la zona de estudio

En esta etapa se busca un primer acercamiento al objeto de estudio por medio de la revisión bibliográfica disponible en diferentes fuentes y bases de datos con respecto al ámbito social como: INEGI, CONAPO, CONABIO. La importancia de caracterizar la Laguna mediante subsistemas conlleva a desarrollar un mejor marco metodológico que englobe resultados integrales.

Para la realización de este estudio se evaluarán los principales indicadores socioeconómicos de la población de la zona de la Laguna (tabla 3).

Tabla 3. Características sociales	
Indicadores sociales	Indicador
Población	Población total Masculina Femenina
Servicios	Número de viviendas Con agua potable Con drenaje Con Luz eléctrica
Educación	Población analfabeta Nivel de Escolaridad
Economía	Principales actividades económicas de la región

Este diagnóstico busca reconocer las principales características y necesidades de la población que habitan en la zona de la Laguna y como estos se pueden llegar a involucrar en la posible solución a la problemática ambiental. Este es un paso fundamental en el diseño de estrategias para analizar el sistema desde una perspectiva social, económica y ambiental.

8.1.1 Santa María Acuitlapilco

Es la localidad que rodea aproximadamente al 80% del total del área de la Laguna del mismo nombre, cuyo origen proviene del náhuatl *Atl = agua, Cuitlapilli = detrás* y es la población que tiene mayor influencia sobre este cuerpo de agua. En la localidad viven un total de 6,297 hombres y 7,089 mujeres, el índice de fecundidad es de aprox 2 hijos por mujer, el 26% de la población proviene de fuera del Estado

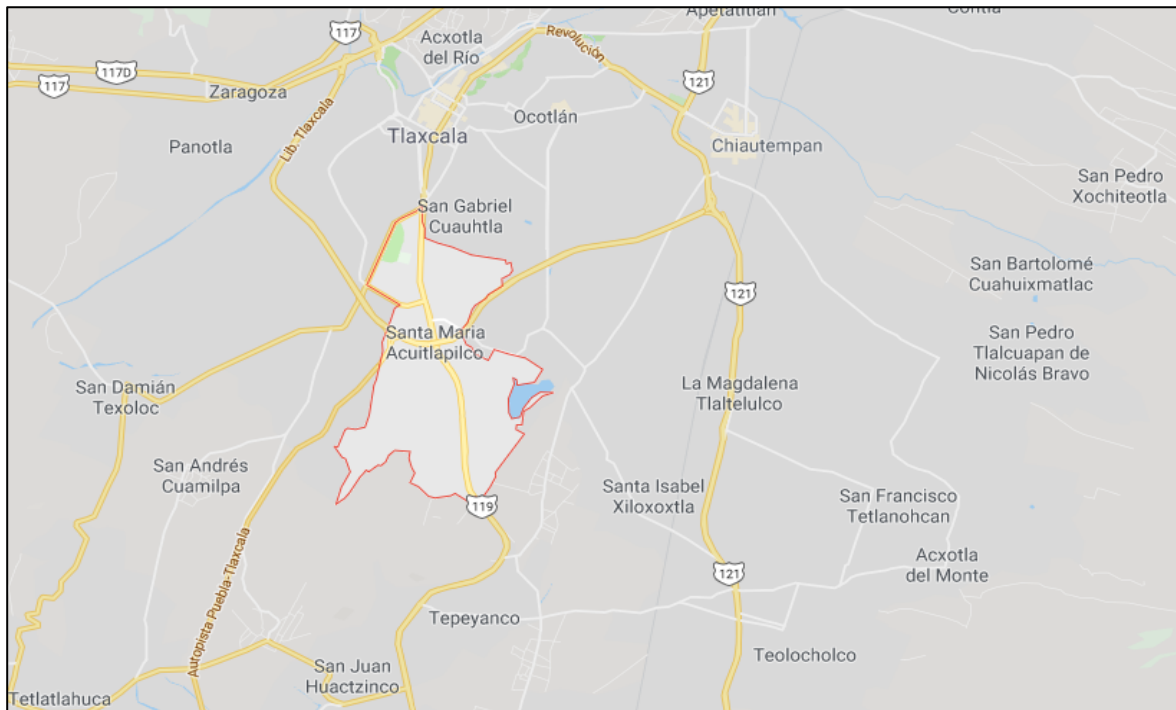


Figura 11. Localización de Acuitlapilco (modificado de Google maps 2019)

En cuanto a densidad de población, Santa María Acuitlapilco concentra la mayor población en la periferia de la zona de estudio, según datos del INEGI del 2015. El grado de marginación es muy bajo, el 1,64% de la población es analfabeta. En Santa María Acuitlapilco hay 4,740 viviendas, de la cuales el 99% cuentan con electricidad, el 97% tiene agua entubada, el 98% tiene excusado o sanitario, el 87% radio, el 96% televisión, el 83 % refrigerador, el 66% lavadora, el 50% automóvil, el 41 % posee una computadora, el 43% teléfono fijo, el 76% teléfono celular, y el 27,34% Internet (CONAPO 2015).

Equipamiento urbano de Santa María Acuitlapilco

En Santa María Acuitlapilco se estima una población de 13,386 habitantes, la cobertura de equipamiento es de nivel local, distribuido a lo largo de su vialidad principal (carretera federal Puebla-Tlaxcala) y el centro de barrio. Cuenta con lo siguiente:

- 14 escuelas (Kínder, Primaria y Secundaria)
- 5 áreas deportivas
- 1 Plaza (zócalo) - 1 Presidencia auxiliar
- 8 templos religiosos y 1 cementerio

Infraestructura complementaria en la localidad

- 4 pozos de agua y 1 tanque elevado
- 1 Canal revestido hidráulico que conduce las aguas pluviales a La Laguna



Figura 12. Imágenes de Santa María Acuitlapilco

8.1.2 San Sebastián Atlahapa

Ubicado al norte del área de estudio, forma parte del Municipio de Tlaxcala, La palabra Atlahapa proviene de origen náhuatl que significa entre barrancas y debe su nombre a las barrancas que la rodean, la localidad se encuentra en las coordenadas: Longitud: -98.222778 Latitud: 19.285556 a una altura media de 2,360 metros sobre el nivel del mar, su vía de comunicación más importante es el libramiento a Santa Ana (Figura 11), la población de San Sebastián Atlahapa está compuesta de 2,526 hombres y 2,560 mujeres, siendo esta la segunda localidad con mayor crecimiento demográfico de la capital Tlaxcalteca según datos del INEGI.



Figura 13. Localización de San Sebastián Atlahapa (modificado de Google maps 2019)

En Atlahapa el barro bruñido se ha utilizado desde la época prehispánica para producir piezas artesanales como las tinajas que se usan para almacenar agua (Figura 8), actualmente las principales actividades económicas de la región son la agricultura, los habitantes aprovechan el crecimiento de pasto y hierba que está presente durante todo el año, que permite a varias familias dedicarse al pastoreo, una actividad muy importante para la economía campesina que prevalece en toda la región desde hace bastante tiempo (Rodríguez 2008) seguido del comercio al por menor y por mayor, el sector manufacturero y en último lugar el de servicios (incluyendo los servicios financiero, inmobiliarios o de alquiler) según el Censo del INEGI de 2010.

Equipamiento urbano de San Sebastián Atlahapa

San Sebastián Atlahapa ubicado en el Municipio de Tlaxcala. Tiene aproximadamente 5,086 habitantes, concentra equipamiento urbano en su centro de barrio, de cobertura local.

- 3 escuelas (Kinder, Primaria y Secundaria)
- 1 Cementerio
- 1 Area deportiva
- 1 Plaza (zócalo)
- 1 Presidencia auxiliar
- 1 Templo religioso

Infraestructura complementaria en la localidad

- 1 pozo de agua y 1 tanque elevado
- 1 Canal revestido hidráulico que conduce las aguas pluviales a La Laguna



Figura 14. Imágenes de San Sebastián Atlahapa

8.1.3 Santa Isabel Xiloxoxtla

El patrón de distribución es semejante al descrito anteriormente; tiene una extensión de 5,410 km² de acuerdo al INEGI (Figura 9), su nombre deriva del náhuatl (lugar de mazorca tierna) sus habitantes han aprovechado los recursos naturales de la zona desde la época precolombina mediante la agricultura del tipo chinampa, la pesca y la recolección de frutos, además de ser artesanos de la cerámica blanca, es hacia el año 1541 cuando por mandato del Virrey Luis de Velasco delimita el espacio de Santa Isabel mediante un código que hasta hoy en día permanece en su iglesia fundada en 1539, donde aparece representada la laguna de Acuitlapilco.

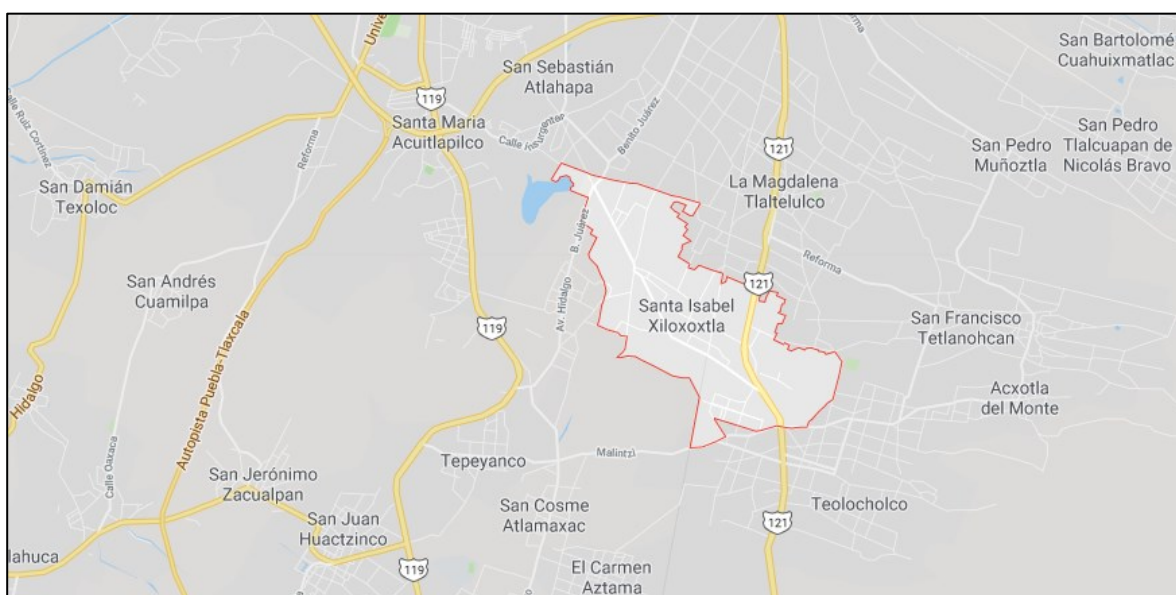


Figura 15. Localización de Santa Isabel Xiloxoxtla (modificado del Google maps 2019)

En cuanto a densidad de población, Santa Isabel Xiloxoxtla concentra la menor población en la periferia de la zona de estudio, con una población total de 1,082 habitantes y un grado de marginación moderado (SEDESOL, 2015). El 2.95% de la población es analfabeta, el 43.9 % no tiene derecho a servicios de salud, 8.9 % de las viviendas no cuentan con agua entubada y 3.1% sin una red de drenaje, 1.42 % de los hogares no cuentan con electricidad,

Equipamiento urbano de Santa Isabel Xiloxoxtla

Santa Isabel Xiloxoxtla tiene una población estimada de 4,436 personas concentradas en esta localidad, el nivel de equipamiento es municipal y el centro urbano cuenta con los siguientes servicios:

- 5 escuelas (Kínder, Primaria y Secundaria)
- 1 Biblioteca pública (en el centro urbano)
- 1 Cementerio (en la periferia)
- 1 centro de asistencia médica (Centro urbano)
- 2 áreas deportivas o recreativas (Canchas de uso múltiple)
- 1 Presidencia Municipal
- 1 Plaza principal (zócalo)
- 6 templos (uno por barrio además de la cabecera)



Figura 16. Imágenes de Santa Isabel Xiloxoxtla

8.1.4 San Francisco Tepeyanco

Se localiza al sur del área de estudio en el vértice que conforma la carretera federal Puebla-Tlaxcala y el entronque carretero a Teolochoholco, se trata de un núcleo urbano consolidado en la parte central y con una tendencia de dispersión en su periferia y sobre las vías carreteras de acceso.



Figura 17. Localización de Tepeyanco (modificado del Google maps 2019)

San Francisco Tepeyanco es un municipio que ha sido estudiado por diversos investigadores (González, 1985, 2003) debido a su amplia y profunda tradición agrícola. Los principales temas de investigación han girado en torno a los aspectos socioeconómicos, demográficos, políticos y de ecología humana presentes en las comunidades campesinas. A lo largo de cuatro décadas de investigaciones se han escrito una gran cantidad de textos que analizan los cambios y continuidades del medio tlaxcalteca. Al hacer una revisión más amplia de la literatura existente sobre San Francisco Tepeyanco, se entiende que esta localidad tiene un origen campesino y actualmente se encuentra en un proceso de modernización de sus actividades agrícolas, en la búsqueda de empleos asalariados, en la expulsión de sus habitantes mediante la migración nacional e internacional. Además de lo anterior, resulta latente la pérdida y/o deterioro de sus agroecosistemas tradicionales (Castañeda, 2007, Flores, 2010 y Juárez 2010). Un factor preocupante es la presión urbano- demográfica, situación que dificulta las posibilidades de un ordenado desarrollo urbano así como la fragilidad financiera y la falta de participación ciudadana. (Martínez, 2010, Vázquez y Sosa 2015).

Santiago Tlacoachcalco, localidad rural perteneciente al municipio de San Francisco Tepeyanco, tiene una población estimada 1,082 habitantes, el nivel de equipamiento es local inserto en centro barrio. Cuenta con los siguientes elementos:

- 1 Presidencia auxiliar
- 1 Plaza principal
- 1 Casa de salud
- 2 escuelas (primaria y secundaria)
- 1 Templo religioso
- 1 Cementerio (ubicado en el centro de barrio junto al templo)

En infraestructura complementaria cuenta con canal colector de aguas pluviales que descarga en la Laguna. Este poblado colinda con la localidad de Santa Isabel Xiloxotla, sin embargo, entre ambas localidades no hay servicios complementarios de carácter regional o intermunicipal.



Figura 18. Imágenes de San Francisco Tepeyanco

8.2 Actividades Económicas de la región:

El desarrollo socioeconómico del estado de Tlaxcala se ha capitalizado con más fuerza en la parte sur del estado, para ser más precisos, muy cerca de la zona de estudio. La concentración de la población en esta área se ha explicado, desde la época prehispánica, como una consecuencia de la ubicación de Tlaxcala en la cuenca hidrográfica formada por los ríos Zahuapan y Atoyac, caracterizada por un suelo fértil y el acceso al agua, estos factores fueron los principales ejes de la formación de la estructura urbana colonial a través de la fundación de la ciudad de Tlaxcala y el establecimiento de obrajes textiles que serían el motor del desarrollo económico de la entidad (Rendón, 1996).

A finales de los noventa el campo tlaxcalteca no había cambiado demasiado y se consideraba como uno de los ejemplos más característicos de la economía campesina con predominio de prácticas agrícolas tradicionales, acentuado minifundismo, carencia de agua potable, sobreexplotación de la tierra, mayor proporción de trabajo familiar y cultivos de autoconsumo (Marroni, 1998). Al mismo se reconoce que el campo de Tlaxcala se ha visto fuertemente transformado por las actividades industriales, entre ellas la maquila incorporada al trabajo domiciliario.

Las actividades económicas que se desarrollan en la región han variado en las últimas décadas. De ser una economía tradicional basada en el sector primario, el estado de Tlaxcala ha pasado a basar sus ingresos sobre todo en el sector servicios. Estos cambios se han producido de forma muy rápida. En el 2006 tan solo el 26 % del producto interior bruto se producía en este sector. Sin embargo, en el 2015 este porcentaje había crecido hasta el 63 %. Tlaxcala es una de las economías del país que tiene un mayor problema de desempleo. Alrededor del 40 % de la población no tiene un empleo formal, y el 18 % cobra por debajo del salario mínimo. Durante las últimas décadas, por otro lado la población de Tlaxcala ha crecido enormemente y se ha urbanizado. Por lo tanto, las actividades económicas más importantes del Estado se han visto transformadas por este proceso.

Industria textil en Tlaxcala

En Tlaxcala, la elaboración de textiles siempre ha existido una gran tradición entre la población, ya que desde la época prehispánica, los nativos adornaban sus ropas con variados colores que se obtenían de tinturas de origen animal y vegetal. La colonización española enriqueció esta actividad no solamente con nuevos materiales como la seda y la lana, sino también introduciendo nuevas técnicas y formas de organización del trabajo.

Dentro de las actividades económicas dedicadas a la manufactura de productos, la industria textil es la que mayor número de empleos crea en todo el estado de Tlaxcala. Sin embargo, esta rama del sector secundario es una de las que mayor número de problemas ha tenido recientemente. Factores como las prácticas de comercio desleales, el contrabando o la importación de productos extranjeros han reducido mucho los ingresos producidos por esta industria. La industria textil se centra en productos típicos del Estado, como trajes regionales utilizados en celebraciones, y en otro tipo de productos destinados a exportaciones y consumo interno. De hecho, el estado de Tlaxcala se encuentra actualmente entre las 10 regiones del país con una mayor producción textil de acuerdo a INEGI, 2015



Figura 19. Imágenes de Textiles en Tlaxcala

Sector servicios

Las actividades relacionadas con los servicios, como lo es el comercio al por menor y mayoreo son las que han experimentado mayor crecimiento en las últimas décadas en Tlaxcala. La mayor parte de los ingresos del estado provienen de este tipo de actividades económicas. El 27 % de la población actual de Tlaxcala se dedica a actividades del sector servicios.

Sector primario

Las actividades económicas del sector primario han vuelto a cobrar importancia últimamente en el estado de Tlaxcala. Las actividades más representativas del sector son la ganadería, la agricultura y la pesca. Sin embargo, un número bastante amplio de la población también se dedica a otras menos comunes, como la explotación forestal o la caza.

Turismo

El turismo se ha convertido en una actividad económica muy importante en Tlaxcala. En los últimos tiempos recibe una media de 140, 000 turistas nacionales y 8,000 internacionales cada año. Debido a esto, las empresas dedicadas a actividades recreativas, excursiones y turismo cultural y de aventura han aumentado su número enormemente en los tiempos más recientes.



Figura 20. Santuario de las luciérnagas en Tlaxcala, Fuente AlanxEIMundo 2018

8.3 Hidrología de la zona de estudio

Los recursos hídricos de la zona son escasos, existe pequeños arroyos que durante la temporada de lluvias recargan a la Laguna y a los 10 pozos de extracción que ya presentan problemas de abastecimiento para la población (CONAGUA 2010).

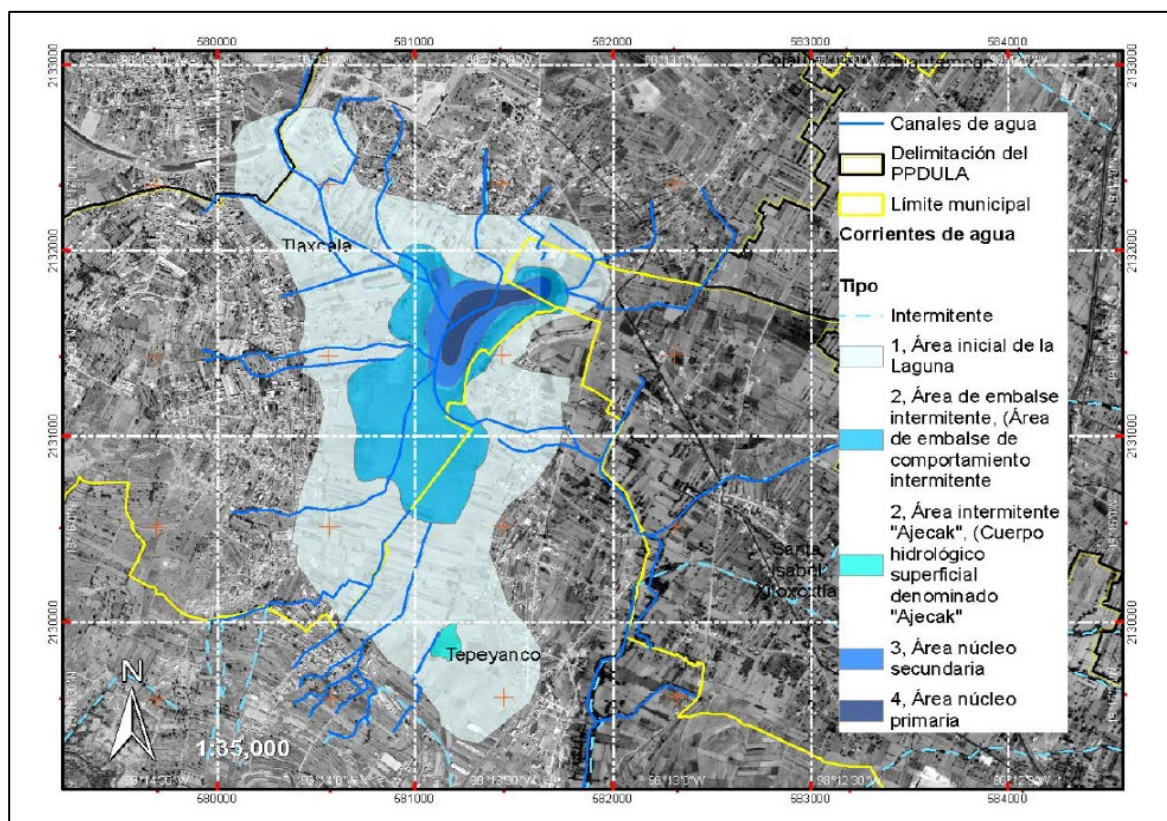


Figura 20. Zona de influencias del cuerpo de agua de la Laguna de Acuitlapilco

Los escurrimientos de agua superficiales provenientes de los cerros cercanos y principalmente de La Malinche fueron llenando la depresión formada. Una parte importante del llenado del embalse, fue el aporte de agua subterránea proveniente de las partes más altas de La Malinche a través de la red de fracturas formada a finales del cretácico y durante los periodos volcánicos (Imagen 12).

Esta red geo-hidráulica propició que las aguas infiltradas a causa de las lluvias en las partes altas alimentaran también el embalse de la Laguna. A través del tiempo el aporte de sedimentos por la erosión de los suelos en las partes altas ha azolvado el vaso inicial, por lo que, en la actualidad el embalse se ha reducido considerablemente a como era en un pasado (PPDULA 2016).

Las aportaciones provenientes de los lomeríos del poniente son mínimas y no representan un peligro de inundación en los alrededores de la laguna. El vaso original de la laguna ha sido transgredido por la urbanización y agricultura. Los resultados indican que el nivel de peligro por inundación con el gasto de $16.59 \text{ m}^3/\text{s}$ es muy bajo y por lo tanto el nivel del agua de la Laguna se incrementó 0.20 m . Se estima que en 100 años, para este caso el nivel de agua se incrementara solo en 0.30 m , por lo que también lo consideramos como un nivel de peligro por inundación bajo.

En la región de la Laguna de Acuitlapilco el nivel de sequía es severo (Fig.21). Esta resulta de la ausencia total de lluvias durante un período de tiempo variable o en su defecto, escasez de la misma. La presencia de sequía en la región afectaría a los cultivos, ya que pierden agua por evaporación.



Figura 20. Sequía presente en la Laguna de Acuitlapilco

8.3.1 Problemática de la zona de estudio

El problema de la contaminación de los metales pesados como es el caso del plomo, arsénico, cadmio, cromo, selenio etc en los suelos y en el agua de la laguna se puede relacionar con las partículas y gases emitidos por fuentes naturales como las actividades volcánicas, combinado con los efectos de la población como emisiones vehiculares e industriales, una combinación que durante las primeras lluvias limpian la atmósfera de contaminantes y metales pesados, pero que al final estos contaminantes se depositan en los suelos y aguas superficiales (CCA, 2018). Además uno de los problemas emergentes que han surgido en la periferia de Acuitlapilco es la instalación de diversos comercios conocidos como “Deshuesaderos” los cuales están dedicados a la compra y venta de partes automotrices, estos lugares presentan algunos problemas ambientales ya que los automóviles generalmente se encuentran a la intemperie, por lo cual la población cercana esta propensa al desprendimiento de vapores del ácido de los acumuladores o combustibles que contienen los tanques de almacenamientos de los vehículos, el escurrimiento al suelo de los líquidos de los radiadores y frenos, así como a la generación de partículas de óxidos de diferentes metales.

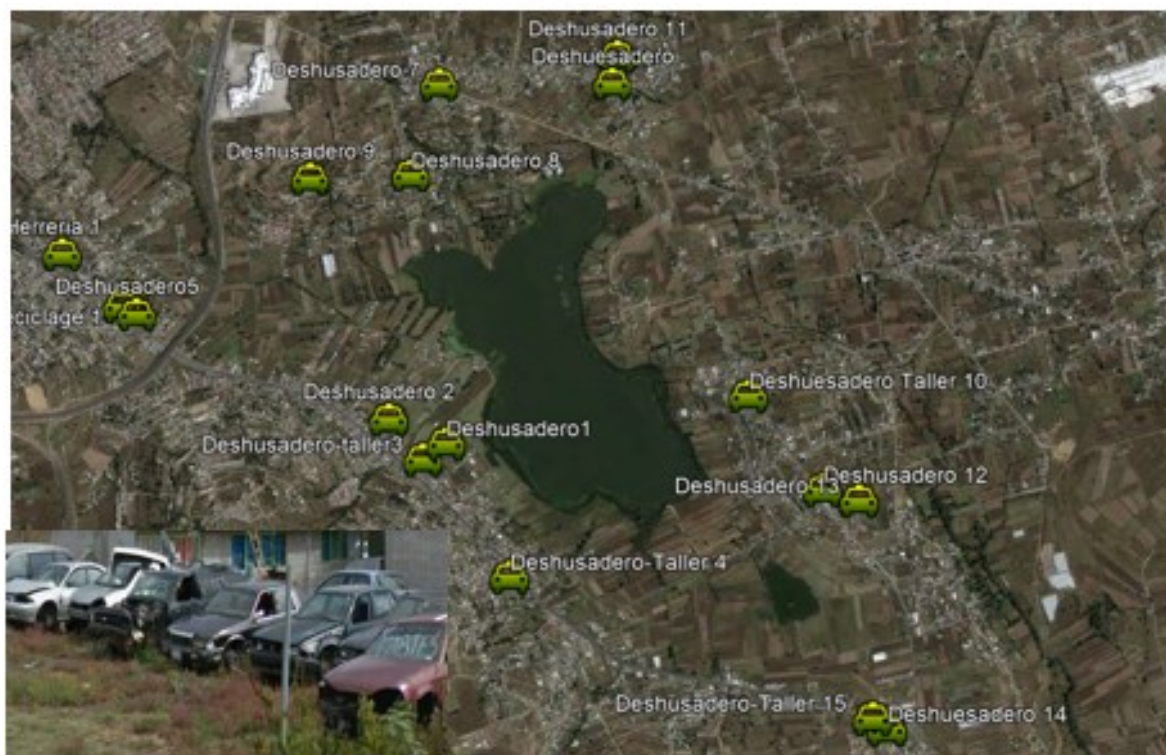


Figura. 21 Deshuesaderos localizados en la Laguna de Acuitlapilco (Google Earth 2018)

En la actualidad, los desechos de los equipos electrónicos son la principal causa de la contaminación del suelo en el mundo, superando en sólo diez años a todos los demás agentes que lo degradan. Aunque los países industrializados son los principales generadores de estos desechos, entre otros, ellos no se hacen responsables de la basura electrónica, llevando un riesgo de salud mucho mayor a las personas de escasos recursos, al intentar lucrar con este tipo de desechos.

Muchos de estos establecimientos operan sin ningún tipo de plan de manejo, de acuerdo con la Secretaría de Economía, en nuestro país solo existen diez empresas autorizadas para la destrucción de autos chatarra, con 27 sitios para su recepción, sin embargo a los alrededores de la laguna existen por lo menos 10 deshuesaderos que aparentemente operan en la ilegalidad (Figura 15) lo que pone como una necesidad apremiante de tener por lo menos un sitio receptor en nuestra entidad que cumpla con todos los controles necesarios a fin de evitar afectaciones a la salud, tan sólo algunos de los agentes tóxicos a los que se exponen estas personas son: plomo, cadmio, mercurio, selenio y cromo, pesar de las recomendaciones hechas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y otras organizaciones que luchan por frenar estas prácticas, los países desarrollados siguen deshaciéndose, valiéndose de tratados y convenios internacionales, entre los cuales México se encuentra suscrito, según una investigación de The Washington Post, muchos gobiernos alientan el reciclaje para evitar que los residuos metálicos se incorporen al agua potable. Sin embargo, conseguir que los componentes de las computadoras por ejemplo se conviertan en materia prima reutilizable es una tarea compleja y cara, es por ello prefieren no hacerlo, por lo que los que realmente pagan el verdadero costo de todo esto son los que viven en el lugar de recepción de los desechos. México ocupa el lugar en la fabricación de productos electrónicos en América Latina, después de Brasil, sin embargo pese a la importancia de México en este mercado global, no hay cifras claras sobre los problemas de salud que enfrentan o pueden llegar a enfrentar por estar en contacto con este tipo de desechos. Sin embargo, se sabe que los materiales que más afectan la salud de son los solventes, los metales pesados y los retardadores de flama bromados.

El problema de la contaminación por vehículos automotores ha incrementado exponencialmente en nuestro país desde la entrada en vigor de los acuerdos del Tratado de Libre Comercio para América del Norte (TLCAN). Esto representó un incremento exponencial del parque vehicular en México y una serie de problemas que debieron preverse, por ejemplo: Los deshuesaderos son lugares generalmente insalubres ya que ocasionan la aparición de mosquitos, que pueden producir enfermedades como el dengue, plagas de ratas y serpientes; además, esos depósitos pueden incendiarse y causar graves daños al ecosistema. En Acuitlapilco estos negocios han crecido rápidamente debido a que la zona de estudio se encuentra bien localizada en el tramo federal de la Carretera Puebla-Tlaxcala, lo que permite que estos establecimientos tengan ganancias redituables, sin embargo muchos de estos sitios se encuentran a escasos metros de la laguna lo que crea un problema de contaminación por metales pesados que debe de atenderse urgentemente por las autoridades.



Figura 22. Deshuesaderos localizados en la Laguna de Acuitlapilco (Google Earth 2018)

8.4 Flora de Acuitlapilco

Debido al rápido crecimiento urbano e industrial que ha experimentado la región, mucha de la vegetación silvestre ha desaparecido, por lo que predomina únicamente la vegetación arbórea del tipo secundario, así como cultivos como el maíz, calabaza, ejote, nopal etc, también se pueden ver; grandes extensiones de pastizales, lirio acuático fresnos, sauces, zapote blanco, tepozán, trueno eucalipto, arboles de capulín, tejocote, cedro blanco y algunas especies frutales recién introducidas tales como la pera, durazno y chabacano (Figura 16).



Figura 23. Flora presente en la Laguna de Acuitlapilco (2018)

8.5 Fauna de Acuitlapilco

La continua expansión de la mancha urbana en la región, ha permeado en la fauna presente del sistema lagunar, sin embargo aún es común encontrar animales silvestres entre los que destacan; el conejo (*Silvilagus florindaus*), la liebre (*Lepus californicus*), el cacomixtle (*Bassariscus astutus*), la ardilla, víboras, el tlacuache, la tuza, la salamandra, ajolotes , (inclusive tortugas), y varios tipos de peces etc por otro lado se han registrado hasta el momento 36 especies de aves acuáticas (figura 10), 12 de ellas son residentes, 10 son migratorias y 14 son transitorias lo que hace que la laguna actúe como un importante reservorio de la biodiversidad (Fonseca 2012.)



Figura 24. Fauna presente en la Laguna de Acuitlapilco (2018)

8.2 Etapa 2 – Fase de Campo

En esta etapa se realizó la colecta de muestras de agua y suelo en la temporada de sequía y lluvias del periodo 2018 – 2019 en 6 sitios de la ribera de la laguna, se consideraron las zonas en donde se aplican descargas industriales, municipales y agrícolas; con la finalidad de intentar discernir la aportación de contaminantes inorgánicos y orgánicos provenientes de actividades antropogénicas incluyendo el afluente y efluente de la laguna (Figura 18) En donde se desarrollan actividades agrícolas y/o ganaderas en la zona de los sitios de muestreo 1, 3, 4 y 6; mientras que en el sitio 2 constituye una entrada de agua residual urbana de la población de Acuitlapilco y el sitio 5 la salida del agua de la laguna.



Figura 25. Localización de los 6 sitios de muestreo en Google Earth (2017)

A continuación se presentan la metodología con la que se obtuvieron los datos de cada zona de muestreo (agua y suelo) con sus respectivas coordenadas geográficas a lo largo de la laguna de Acuitlapilco (Tabla 4 y 5).

Tabla 4. Georreferenciación de las Zonas de Muestreo de Agua			
Zona	Nombre del sitio	Coordenadas	Altitud (Mt)
1	Santa María Acuitlapilco	N 19° 16'498" W 98° 13'819"	2,271
2	Santa María Acuitlapilco	N 19° 16'.696" W 98° 13'777"	2,269
3	San Sebastián Atlahapa	N 19° 18'729" W 98° 13'507"	2,276
4	San Sebastián Atlahapa	N 19° 16'.295" W 98° 13.468'	2,274
5	Santa Isabel Xiloxotla	N 19° 16'.231" W 98° 13'519"	2,269
6	Santa Isabel Xiloxotla	N 19° 16'077" W 98° 13.801"	2,270

Tabla 5. Georreferenciación de las Zonas de Muestreo de Suelo			
Zona	Nombre del sitio	Coordenadas	Altitud (Mt)
1	Santa María Acuitlapilco	N 19° 16'452" W 98° 13'822"	2,271
2	Santa María Acuitlapilco	N 19° 16'.673" W 98° 13'767"	2,269
3	San Sebastián Atlahapa	N 19° 18'742" W 98° 13'521"	2,276
4	San Sebastián Atlahapa	N 19° 16'.212" W 98° 13.436'	2,274
5	Santa Isabel Xiloxotla	N 19° 16'.235" W 98° 13'577"	2,269
6	Santa Isabel Xiloxotla	N 19° 16'102" W 98° 13.875"	2,270

8.2.1 Trabajo de Laboratorio

Tabla 6. Parámetros Fisicoquímicos Evaluados en Agua		
Parámetro	Método	Determinación
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016	Potenciómetro
Temperatura	NMX-AA-007-SCFI-2013	Termométrico
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000	Conductímetro
Oxígeno Disuelto	NMX-AA-012-SCFI-2001	Colorimétrico
Nitrógeno Total	NMX-AA-026-SCFI-2010	Kjeldahl
Fosforo Total	NMX-AA-026-SCFI-2001	Espectrofotométrico
Dureza Total	NMX-AA-072-SCFI-2001	Titulación
Metales Pesados	NMX-AA-051-SCFI-2001	Espectrometría de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)

Los parámetros fisicoquímicos dan una información de las propiedades químicas del agua y suelo, la ventaja de usarlos como indicadores se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia.

El trabajo de Laboratorio se realizó en el Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas (DICA) en el periodo Enero-Diciembre del 2018 mediante la etapa de caracterización de la calidad del agua y suelos en la temporada de sequía y lluvias, se determinará si las concentraciones detectadas durante los muestreos se encuentran dentro de los límites permisibles que marcan las Normas Oficiales Mexicanas.

8.2.2 Muestreos de agua

Criterio para la selección del punto de muestreo

- Accesibilidad.- el punto de muestreo debe estar en un lugar fácilmente accesible con las vías de acceso vehicular y peatonal que sean necesarias, de tal manera que faciliten obtener las muestras y transportar la carga que implican los equipos y materiales de muestreo.
- Representatividad.- el punto de recolección de las muestras debe ser lo más representativo posible de las características totales del cuerpo de agua, esto significa que el cuerpo de agua debe estar mezclado totalmente en el lugar de muestreo, relacionado específicamente con la turbulencia, velocidad y apariencia física del mismo, adquiriendo que la muestra sea lo más homogénea posible.
- Seguridad.- el punto de muestreo, sus alrededores y las condiciones meteorológicas deben garantizar la seguridad de las personas responsables del muestreo, minimizando los riesgos de accidentes y de lesiones personales, es por esto que es recomendable tomar siempre todas las precauciones y utilizar los equipos de seguridad y de protección personal.



Figura 26. Realizando una campaña de muestreo (Junio de 2018)

8.2.3 Muestreos de suelo

El muestreo se realizó en base a la norma NOM-021-RECNAT-200 y constituyó la etapa inicial y fundamental para la adecuada fuente de los resultados obtenidos en el laboratorio. Pero debido a que el suelo es un material muy heterogéneo, con diferentes condiciones de origen, topografía, manejo, tipos de vegetación, etc.; es necesario definir unidades con características más o menos similares, que permitan establecer lo que se conoce como unidades de muestreo. La exactitud y la precisión del muestreo, es decir, la calidad del mismo, depende del número de muestras que se tomen en cada zona, así como de la profundidad del muestreo y la característica o propiedad del suelo que se pretende cuantificar. Por ejemplo, la materia orgánica y el pH se miden habitualmente en capa superficial (0-20 cm) ya que es la profundidad donde ejercen mayor influencia (figura 19). Por otro lado, los métodos de diagnóstico consideran en general el nitrógeno en capas profundas, pero no siempre se recurre a esa técnica para medirlo, sino que se estiman a partir del contenido en capa superficial de suelo, al igual que los metales pesados.



Figura 27. Muestreo de Suelo usando una barrena (Junio 2018)

8.2.4 Descripción de las Zonas de Muestreos

Zona de muestreo 1

El sitio de muestreo se ubica en la parte baja de la cuenca (Figura 21). El estado de conservación de esta zona ubicada en la Comunidad de Acuitlapilco es moderadamente perturbado por las distintas actividades humanas que se desarrollan, ya se pueden ver a los alrededores diversos terrenos dedicados a la agricultura de temporal principalmente de maíz, ejote, calabaza, tomate y árboles frutales, que han desplazado a la vegetación principal que predominaba y que ha sido desforestada paulatinamente para dar paso a mas terrenos de cultivo. Su principal actividad económica es la agricultura de temporal y la cría de ganado bovino en las cercanías de la laguna, en el pasado también se podían pescar tilapias



Figura 28. Zona de muestreo 1

Zona de muestreo 2

Esta zona de muestreo se encuentra muy cercana al sitio anterior. El estado de conservación de esta zona es muy perturbado principalmente porque aquí se localiza la principal entrada de contaminantes provenientes de las descargas de aguas residuales de los domicilios colindantes y agrícolas a la periferia de la laguna y de pequeñas industrias. Las principales actividades económicas realizadas en la región son la agricultura de temporal, principalmente de maíz, calabaza y árboles frutales como manzana, duraznos, pera, entre otros, los suelos son del tipo fluvisol y se encuentran moderadamente degradados, mientras que el recurso agua de esta zona es la que presenta la peor calidad (Figura 22).



Figura 29. Zona de muestreo 2

Zona de muestreo 3

En este sitio, el paisaje está dominado por pastizales y terrenos de cultivo de maíz, por esta razón la principal actividad económica es la agricultura y la ganadería, a sus alrededores se pueden apreciar una gran cantidad de aves migratorias que ocupan la laguna como hogar principalmente en la temporada invernal.

La vegetación original ha sido prácticamente eliminada para darle paso a una mayor extensión de terrenos agrícolas, por lo cual es considerada una de las zonas más intervenidas por causas antropogénicas, ya que los habitantes generan vados y canales para aprovechar la humedad de la laguna para así poder cultivar sus terrenos (Figura 23).



Figura 30. Zona de muestreo 3

Zona de muestreo 4

Este sitio de muestreo localizado en la parte alta de la comunidad de San Sebastián Atlahapa es uno de los mejor conservados en toda la laguna, ya que desde hace algunos años los pobladores de esta localidad se han organizado en una asociación denominada “Patos verdes al recate de la Laguna” para rescatar los alrededores del humedal, por lo que a simple vista se puede apreciar que la calidad de los suelos y del agua son de las mejor conservadas. Al igual que las demás zonas muestreadas la vegetación original ha sido removida para darle paso a terrenos agrícolas, sin embargo existen varios proyectos a futuro como la construcción de un museo y casas ecológicas que busquen crear mayor conciencia ambiental en los pobladores de la zona lagunar (Figura 24).



Figura 31. Zona de muestreo 4

Zona de muestreo 5

El estado de conservación de esta zona es moderadamente perturbado, ya que aquí se localizan diversas entradas de contaminantes provenientes de descargas de aguas residuales de los domicilios colindantes y agrícolas, en sus orillas los pobladores suelen pescar carpas y tilapias como un mero pasatiempo, sin embargo esta era una actividad económica que en el pasado era muy importante para la región y que tristemente en la actualidad está prácticamente cancelada por los altos niveles de contaminación. Otra de las actividades importantes es el cultivo de maíz ya que los suelos son altamente aprovechados por ser fértiles (Figura 25).



Figura 32. Zona de muestreo 5

Zona de muestreo 6

Este sitio de muestreo localizado en la parte alta de la comunidad de Santa Isabel Xiloxoxtla se encuentra moderadamente intervenido, a sus alrededores es fácil ver que la cobertura vegetal original ha sido desplazada poco a poco por los terrenos de cultivos que los pobladores aprovechan al bajar el nivel del humedal, los suelos presentan degradación moderada, ya que están cubiertos por grandes extensiones de pastizales, por otro lado el agua de la laguna presenta una gran cantidad de lirio acuático durante gran parte del verano y otoño (característico de un humedal eutrofizado) Las principales actividades económicas realizadas en la región son la agricultura de temporal, principalmente de maíz y se espera que en un futuro no muy lejano se pueda construir un corredor turístico en la zona (figura 26).



Figura 33. Zona de muestreo 6

8.3 Resultados de parámetros fisicoquímicos evaluados en el Suelo

La siguiente tabla son observaciones realizadas de los principales parámetros fisicoquímicos de los suelos muestreados en 6 sitios de la Laguna de Acuitlapilco durante la temporada de sequía (febrero de 2018). Se observa que el valor promedio del pH en el suelo es moderadamente ácido (5.5) provocado por la entrada de sustancias químicas de los drenajes de los pueblos que desembocan en la laguna.

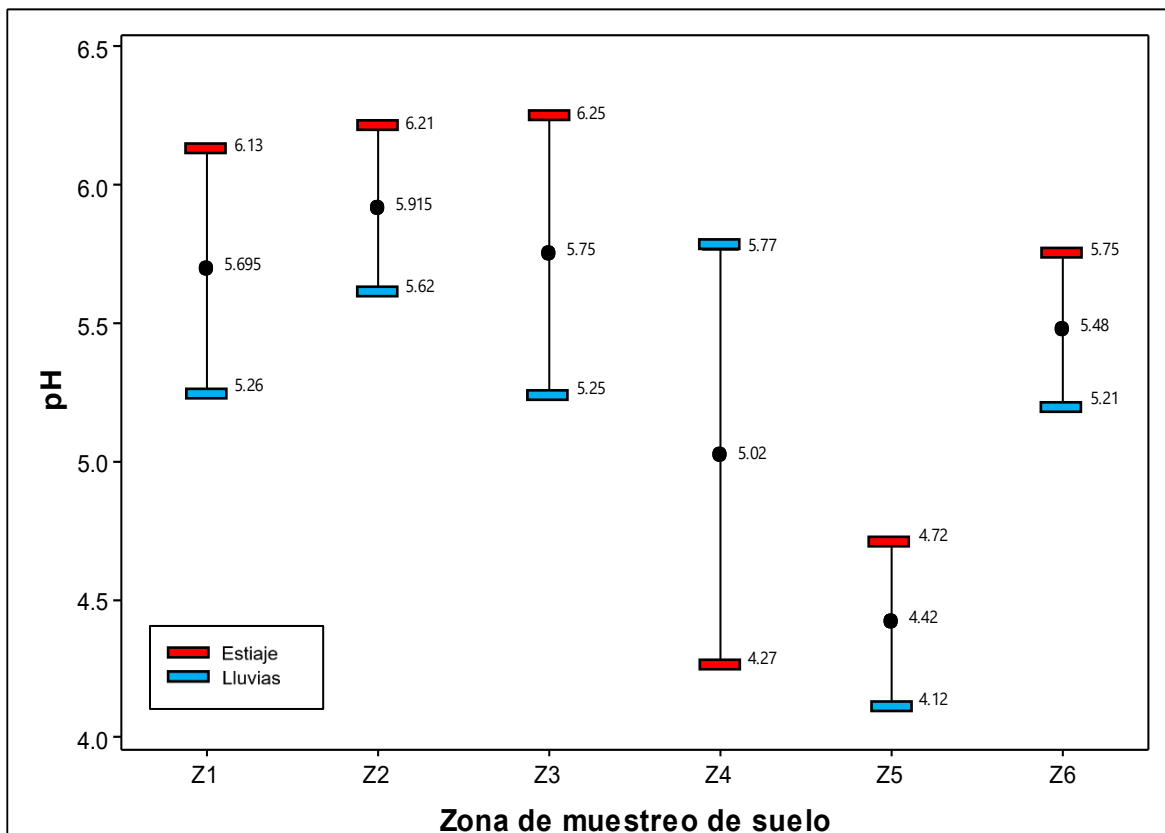
Tabla 8.- Parámetros Fisicoquímicos del Suelo					
Medidos durante la Temporada de Estiaje					
Suelo	<i>pH</i>	<i>Conductividad dScm⁻¹</i>	<i>%MOS</i>	<i>%N</i>	<i>P mg/Kg</i>
Zona 1	6.13	0.8	12.2	0.056	22.8
Zona 2	6.21	2.0	10.34	0.084	6.57
Zona 3	6.25	1.82	5.2	0.049	7.0
Zona 4	4.27	2.2	38.9	0.238	4.07
Zona 5	4.72	1.97	34.01	0.203	17.82
Zona 6	5.75	2.4	30.18	0.182	21.72
Promedio	5.6	1.8	21.8	0.1	13.3

El valor medio de la conductividad de los suelos es de 1.8 $dScm^{-1}$, un valor moderadamente alto para un humedal con vida acuática. El contenido de materia orgánica en suelo (MOS) promedio es alto (21.8%) debido a que la humedad de la laguna incrementa la velocidad en la descomposición de materia orgánica presente y al aporte de la entrada de las descargas del drenaje municipal de la periferia.

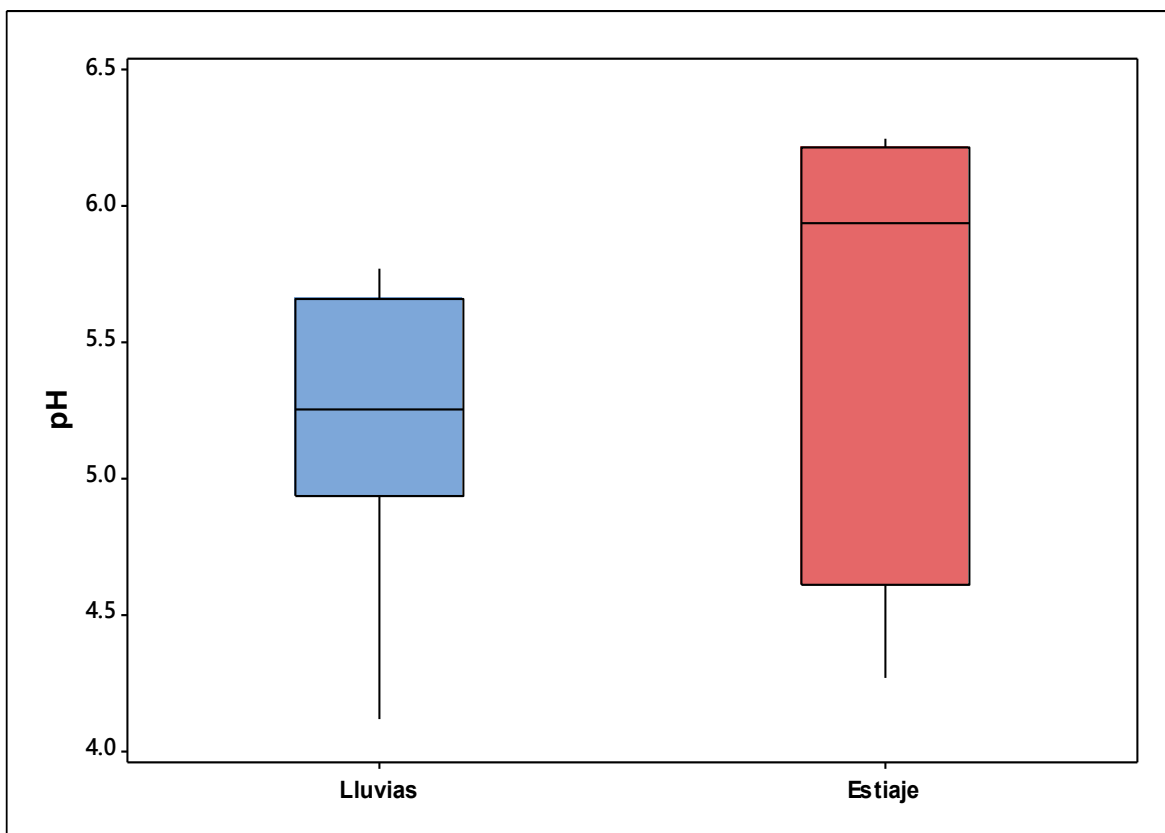
De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 los suelos de la Laguna de Acuitlapilco durante la temporada de Lluvias (Junio 2018) tienen un comportamiento ligeramente más ácido que en la temporada de estiaje (5.2) debido principalmente al aporte de lluvia ácida proveniente de la cercanía que existe con el área metropolitana, también los suelos presentan una conductividad moderadamente más alta en los sitios de muestro que promedian 1.91 dScm^{-1}

Tabla 9.- Parámetros Fisicoquímicos del Suelo Medidos durante la Temporada de Lluvias					
Suelo	pH	Conductividad dScm^{-1}	%MOS	%N	P mg/Kg
Zona 1	5.26	0.9	20.4	0.062	21.3
Zona 2	5.62	2.12	15.6	0.095	8.52
Zona 3	5.25	1.8	12.6	0.064	6.6
Zona 4	5.77	2.11	44.2	0.325	2.08
Zona 5	4.12	1.80	43.1	0.227	15.62
Zona 6	5.21	2.4	41.3	0.193	22.3
Promedio	5.2	1.91	29.5	0.2	12.7

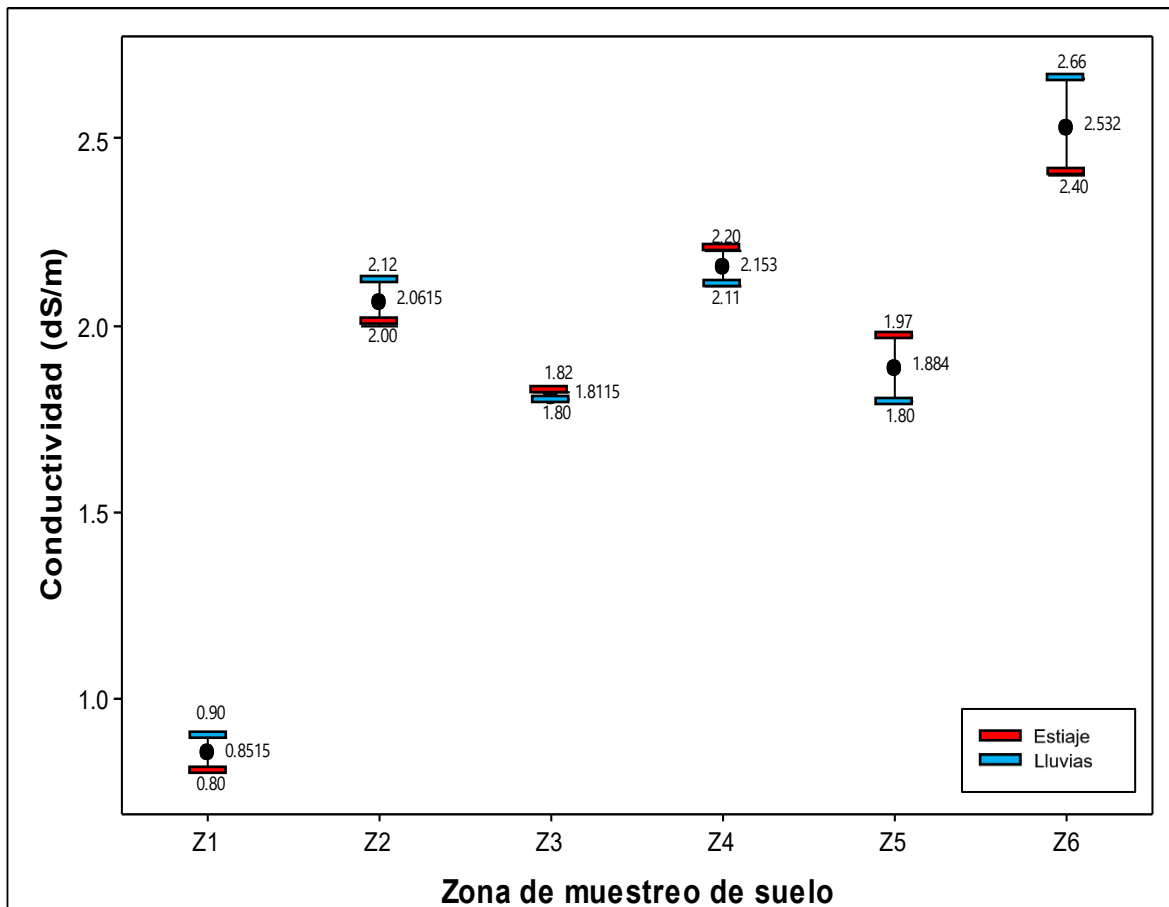
El contenido de Materia orgánica en suelo es mayor que al reportado en la temporada de sequía, con un valor promedio de 29.5% debido a que el agua de la actúa como un medio catalizador que incrementa la velocidad en la descomposición de materia orgánica presente en los suelos y la entrada de las descargas de aguas residuales incrementa durante este periodo por la entrada de agua pluvial, a continuación se presentan gráficos estadísticos que resumen la tendencia.



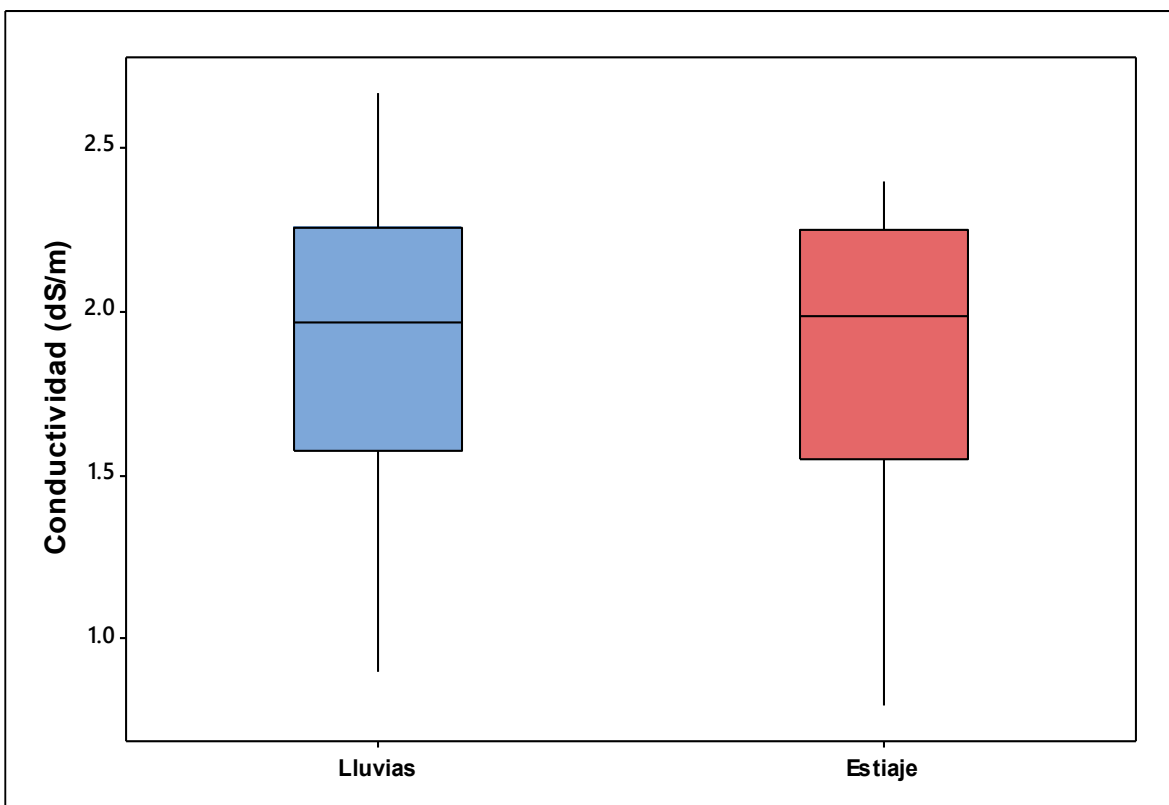
Gráfica 1. Intervalos del valor de pH en suelos durante la temporada de sequía y lluvias



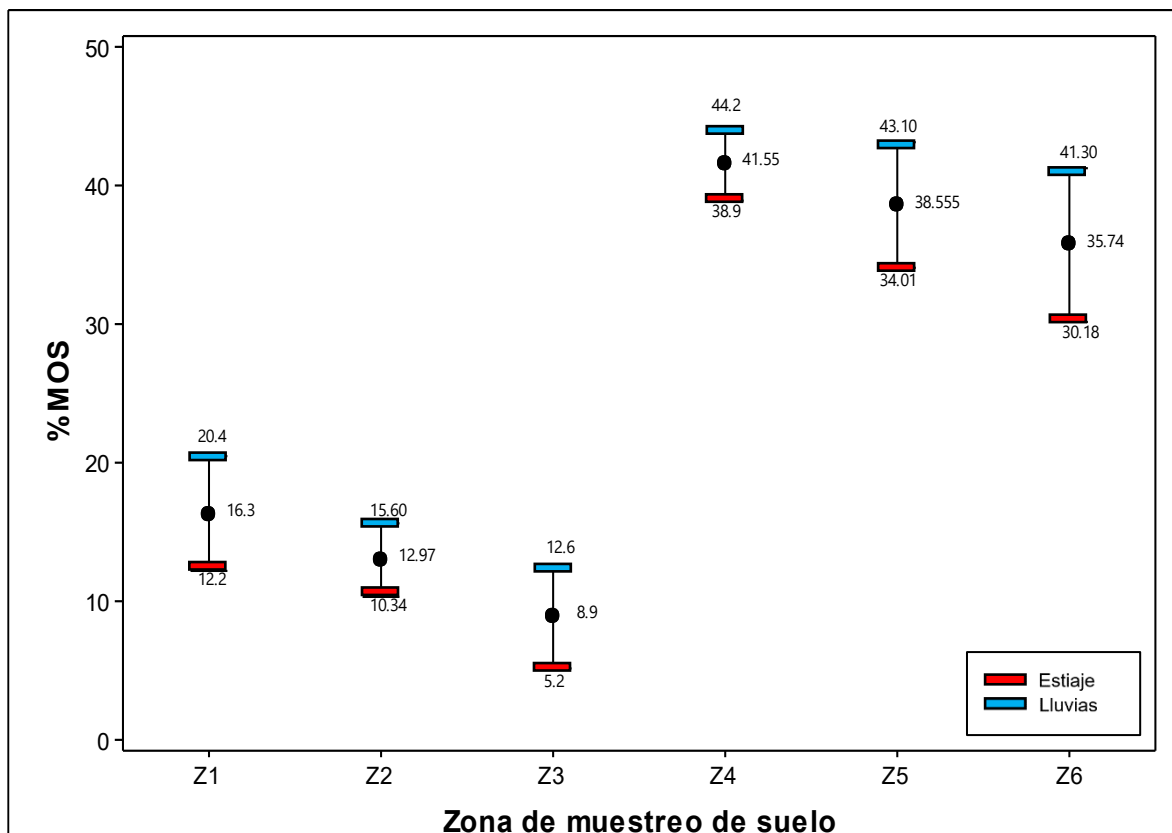
Gráfica 2. Box Plot del valor de pH en suelos durante la temporada de sequía y lluvias



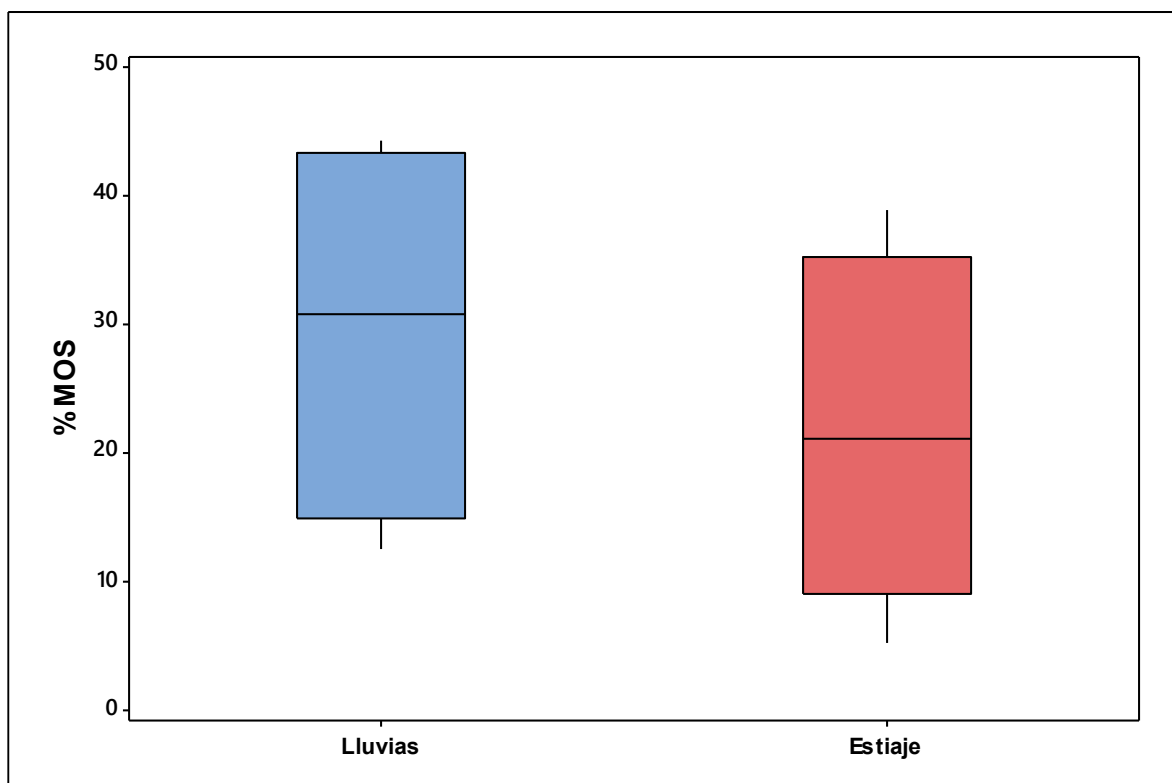
Grafica 3. Intervalos del valor de C.E en suelos durante la temporada de sequía y lluvias



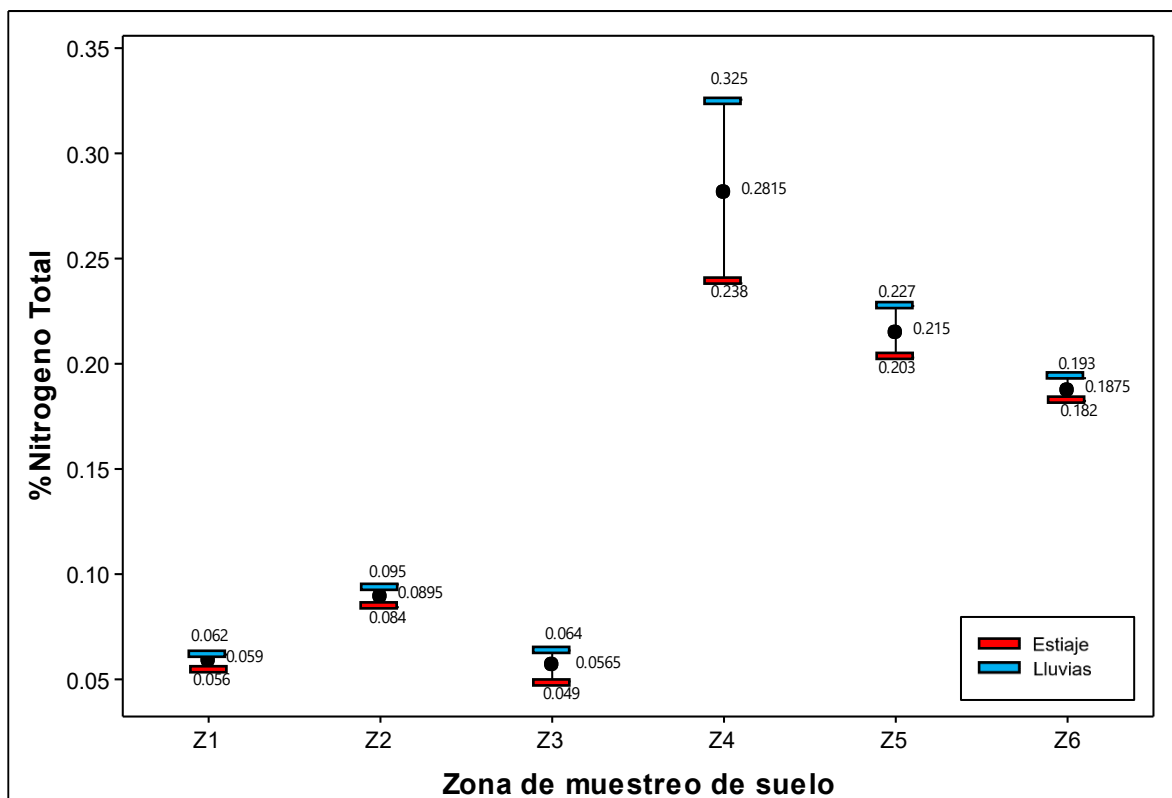
Grafica 4. Box Plot del valor de C.E en suelos durante la temporada de sequía y lluvias



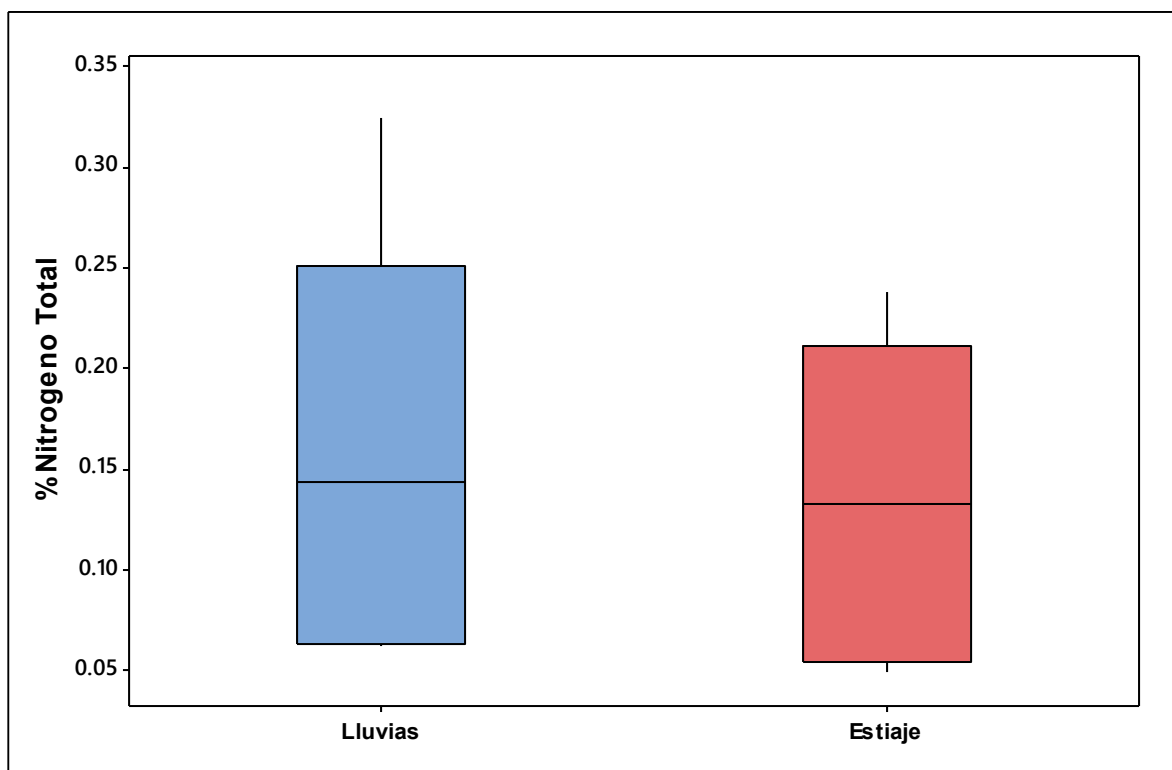
Grafica 5. Intervalos del valor de % MOS en suelos en temporada de sequía y lluvias



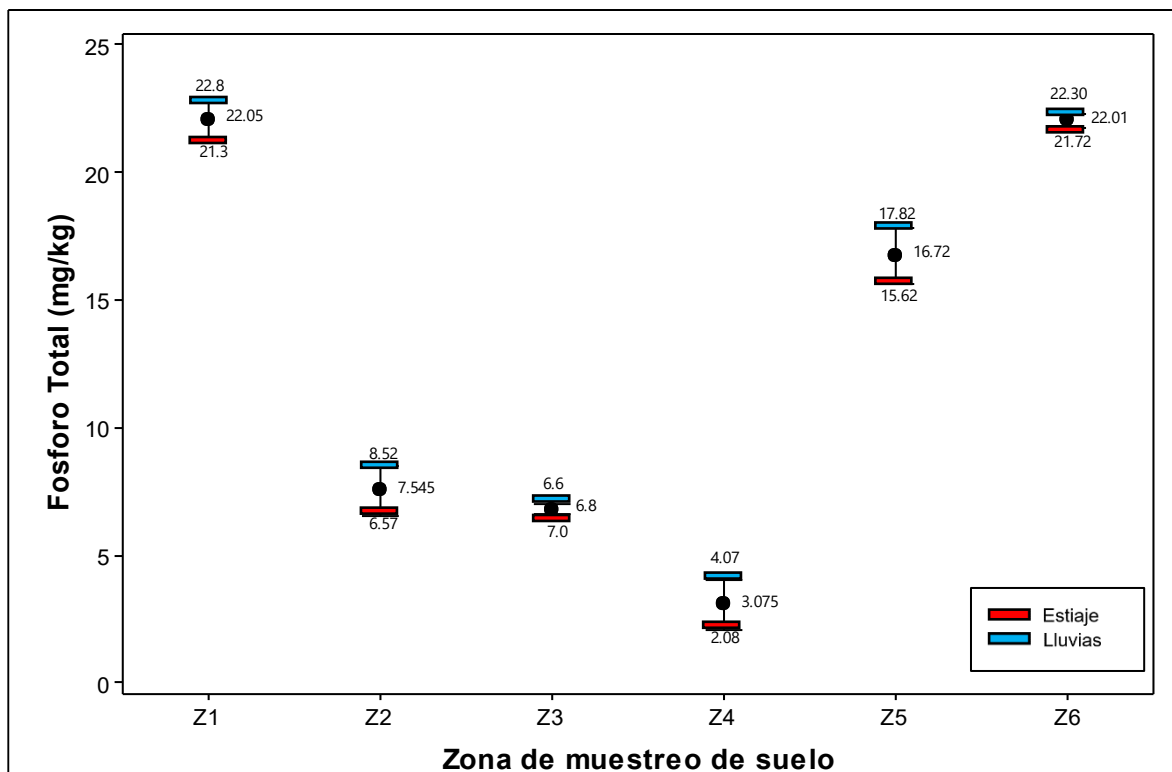
Grafica 6. Box Plot del valor % MOS en suelos en temporada de sequía y lluvias



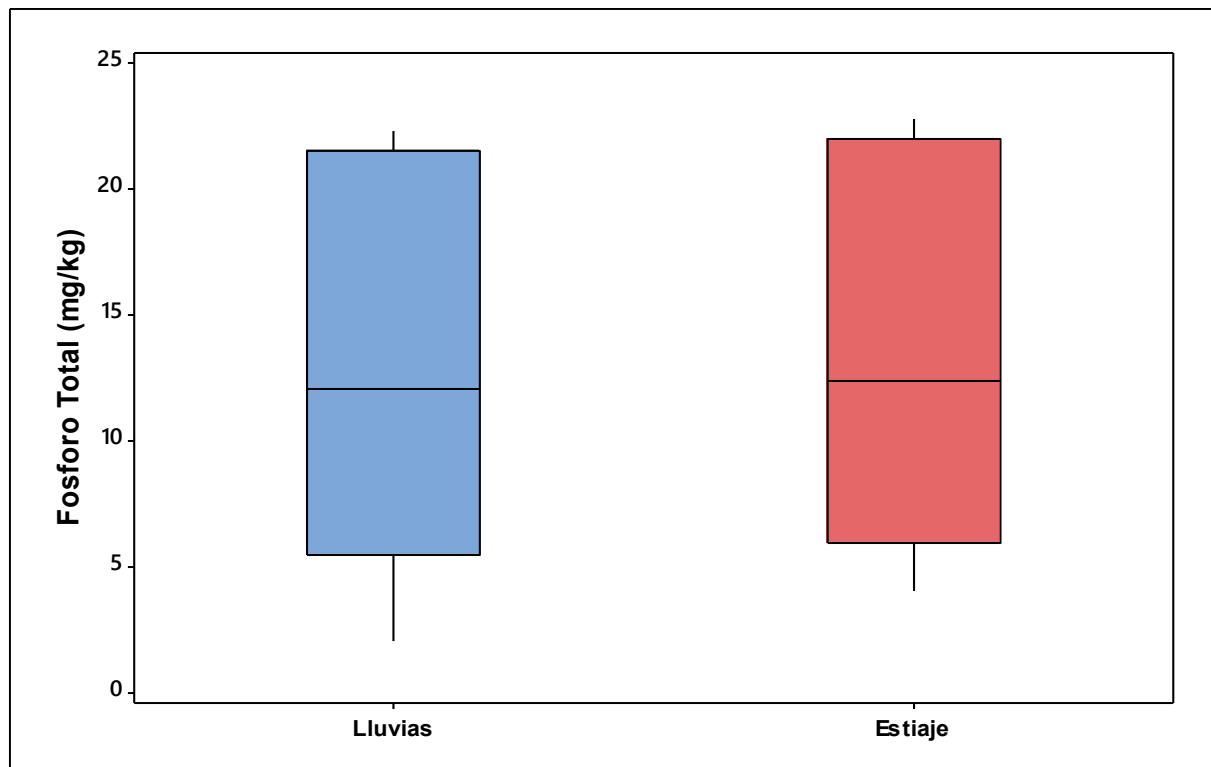
Grafica 7. Intervalos del valor del % NT en suelos en temporada de sequía y lluvias



Grafica 8. Box Plot del valor del % NT en suelos en temporada de sequía y lluvias



Grafica 9. Intervalos del valor del Fosforo en suelos en temporada de sequía y lluvias



Grafica 10. Box Plot del valor del Fosforo en suelos en temporada de sequía y lluvias

8.4 Resultados de metales pesados evaluados en suelos (mg/Kg)

Los siguientes son observaciones de la concentración de metales pesados en los suelos de Acuitlapilco en una profundidad de 20 a 40 cm, analizados en el Centro de Vinculación y Transferencia de Tecnología de la BUAP (Fig.34) por medio de Espectrometría de Plasma Inducido con un equipo Variant AA240FS (ICP) una técnica analítica que proporciona una rápida identificación y detección del contenido de metales tanto en suelos como en agua mediante una digestión acida previa.



Figura 34. Trabajo de Laboratorio en el CUVyTT

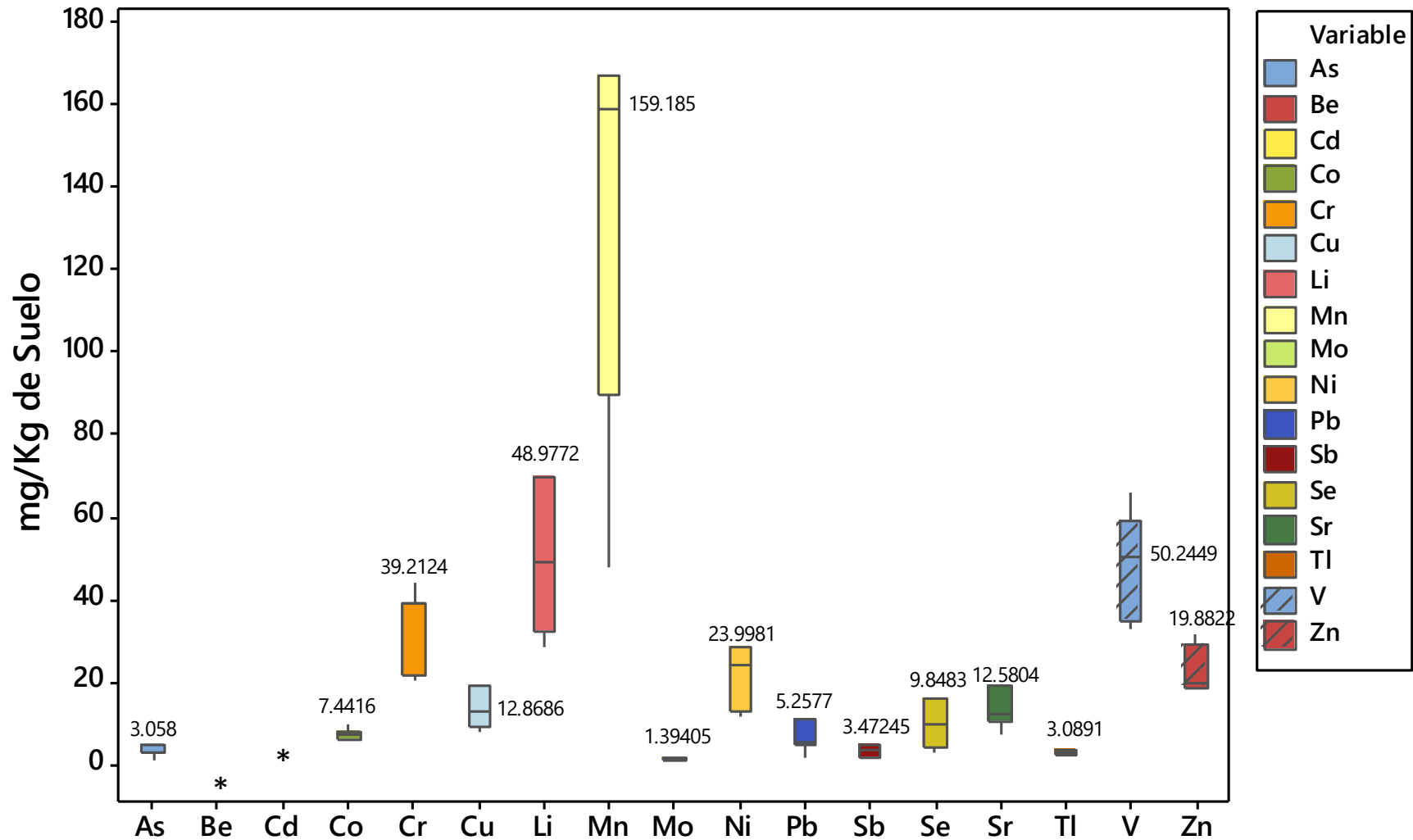
8.5 Resultados de metales en suelos durante lluvias en mg/Kg

Elemento	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
As	3.058	2.7234	1.3973	4.9221	1.7566	0.2444
Be	0.1027	0.1257	0.0513	0.0357	0.1419	0.168
Cd	0.4244	0.774	0.5953	0.6705	0.6388	0.8802
Co	6.146	7.2192	6.1352	7.4416	7.9761	9.9385
Cr	21.8881	21.0444	20.1216	39.2124	43.898	39.2766
Cu	7.9268	9.2833	8.3231	12.8686	19.3626	14.6699
Li	28.6159	31.5806	32.3419	52.2207	69.8838	48.9772
Mn	108.282	159.185	89.516	61.9534	48.1196	167.092
Mo	1.6393	1.3472	1.2689	1.4613	1.4409	1.3092
Ni	11.5285	12.9301	12.9529	20.8101	28.4337	27.1861
Pb	1.7143	2.9687	0.6661	4.8934	10.8868	5.2577
Sb	0.3673	2.039	1.2515	1.0622	0.5644	4.9059
Se	3.0336	16.1991	2.682	4.4488	9.8483	4.2035
Sr	10.6399	18.9441	13.3419	8.5442	7.3082	12.5804
Tl	2.5844	2.096	2.8487	3.0891	3.9411	3.7192
V	33.2549	34.9758	32.7253	58.9382	66.1228	50.2449
Zn	18.5626	19.0461	18.7688	19.8822	31.5565	29.4049

8.5.1 Resultados de metales en suelos durante el estiaje en mg/Kg

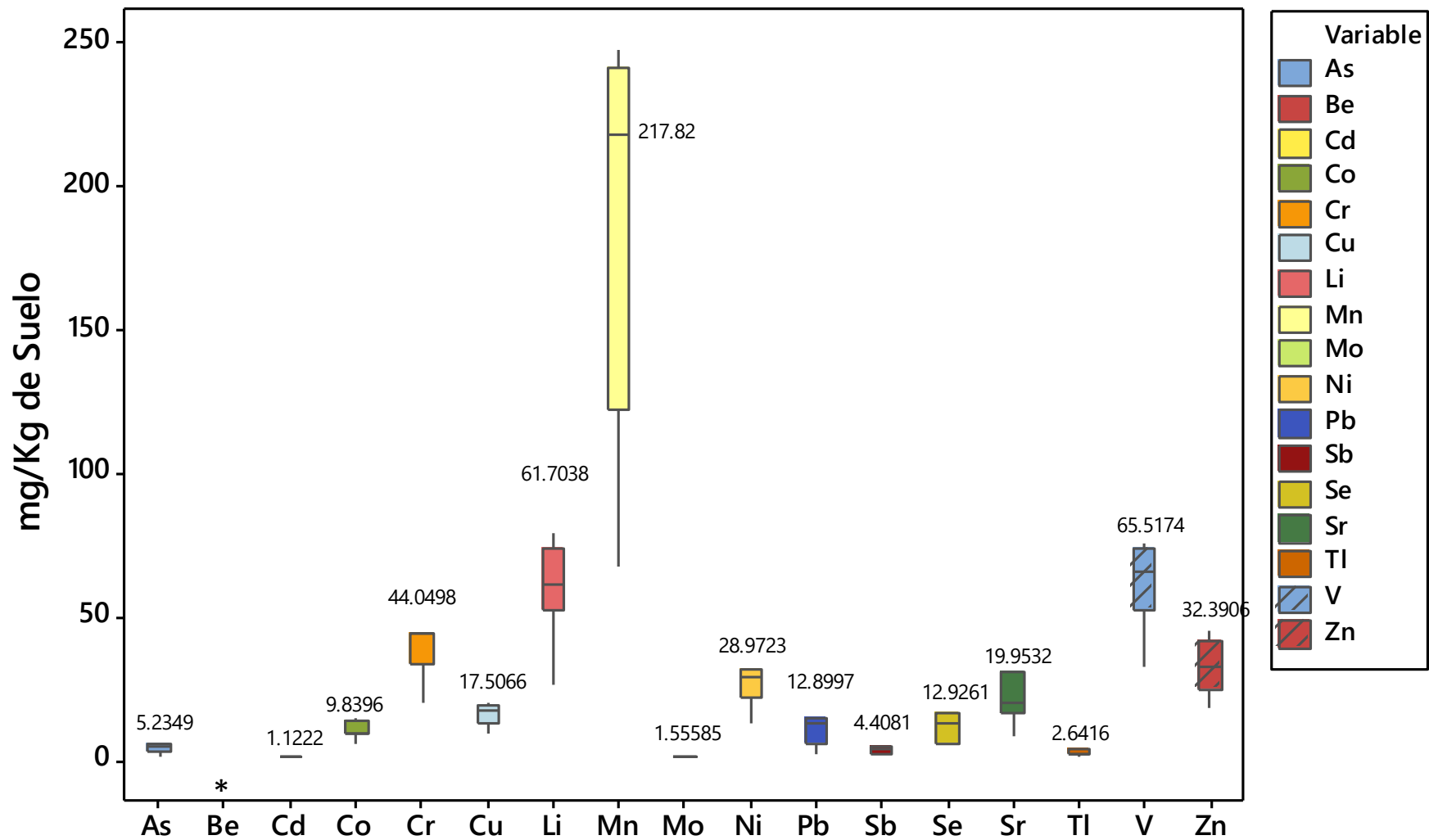
Elemento	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
As	0.6082	1.3442	2.1378	0.904	5.2349	5.9241
Be	0.2222	0.1128	0.0504	0.0808	0.1319	0.1936
Cd	1.0778	1.1313	0.7621	0.6443	1.1222	0.83
Co	14.6667	9.8396	6.3533	7.5924	9.7255	12.6208
Cr	45.5738	29.3345	20.5906	34.0331	44.7159	44.0498
Cu	17.5066	12.972	9.2737	9.1626	20.2872	18.9713
Li	61.7038	52.4624	26.6809	30.1639	79.4221	74.224
Mn	247.099	234.838	122.287	102.52	67.6388	217.82
Mo	1.4948	1.6169	1.0566	1.9452	1.6309	1.343
Ni	31.7816	21.9891	12.8806	15.4511	28.9723	32.4931
Pb	14.846	0.1736	2.5387	4.0096	12.8997	5.574
Sb	2.8276	2.767	4.4081	4.6904	2.3543	5.2855
Se	5.4302	5.8518	5.0026	0.2009	16.4555	12.9261
Sr	30.8378	16.3958	13.3913	16.7327	8.5554	23.1736
Tl	2.6416	1.5386	4.1906	2.7474	2.5015	2.5286
V	75.7184	44.4779	32.6666	52.5096	73.8028	65.5174
Zn	45.1011	25.1493	18.7808	21.2722	32.3906	41.1198

Distribución de metales en Suelos durante epoca de Lluvias



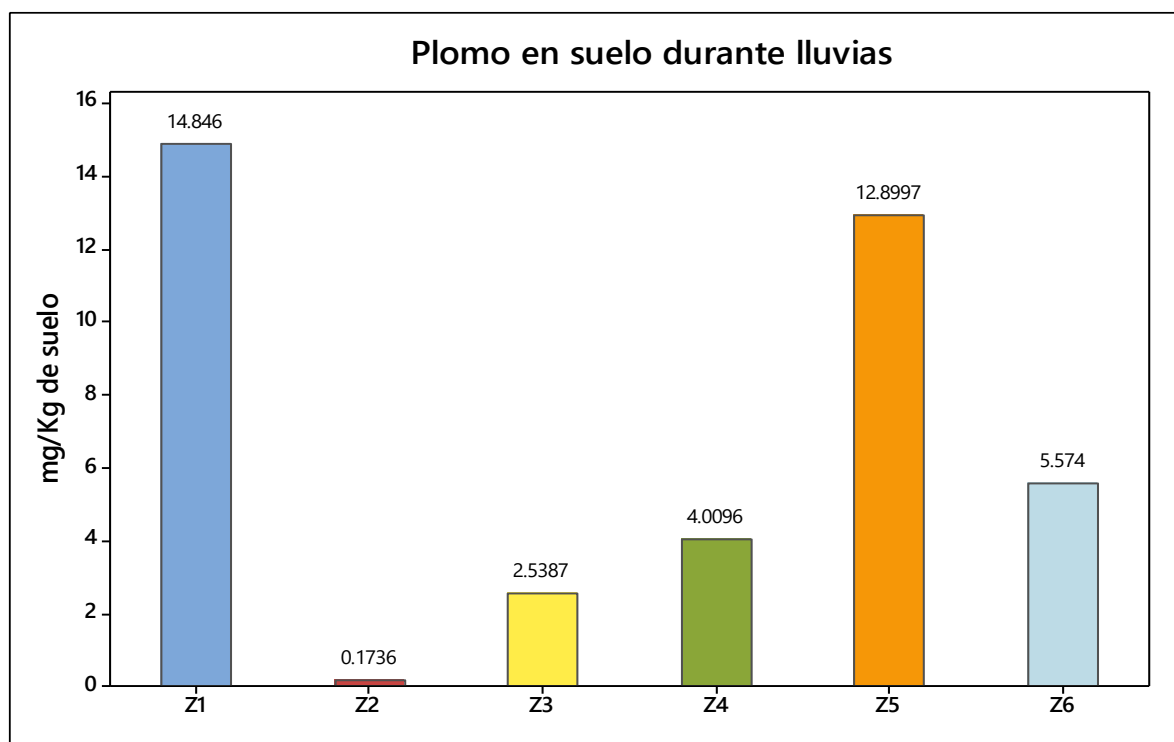
Grafica 11. Box Plot de concentración de metales en suelos en temporada de lluvias

Distribución de metales en Suelos durante epoca de sequia



Grafica 12. Box Plot de concentración de metales en suelos en temporada de lluvias

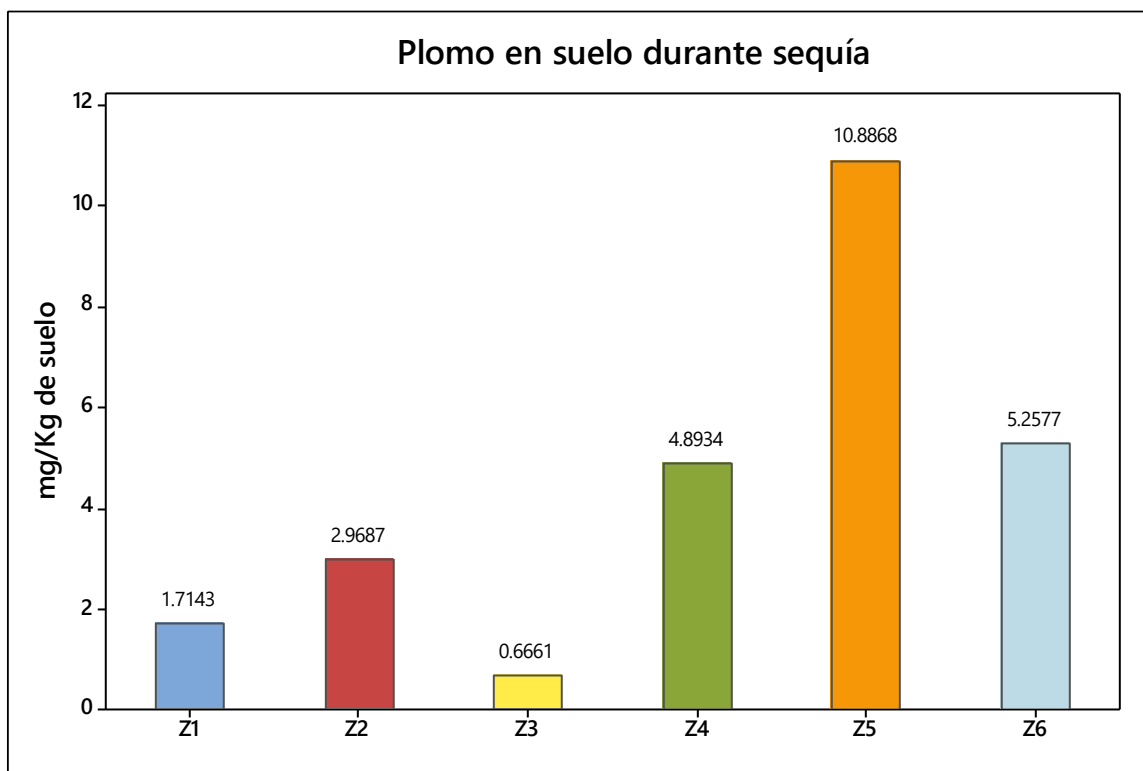
En la gráfica 11 se aprecia el comportamiento de los suelos superficiales de la laguna de Acuitlapilco, los datos revelaron concentraciones de Pb que oscilaron en 0.173 – 14.84 mg·kg⁻¹ en la época de lluvias y 0.66 – 10.8 mg·kg⁻¹, en la época de sequía. El mayor nivel de concentración de plomo fue localizado en la zona 1 en la época de lluvias, mientras que en el estiaje fue la zona 5.



Grafica 11. Distribución del metal plomo en los suelos de la Laguna

En nuestro país, no existen normativas específicas que regulen la calidad de los suelos de las lagunas, con respecto a los límites permitidos de metales pesados, por lo cual se decidió utilizar los criterios internacionales de calidad (NJDEP, 1998; CCME, 1999) para evaluar la contaminación en los suelos superficiales recolectados. En 2 de los 6 sitios de muestreo de la laguna, el nivel de As en suelo superó la norma para la protección de la vida acuática establecida por el Departamento de Protección Ambiental de New Jersey (NJDEP, 1998); que propone un Límite Máximo Permitido de 6 mg·kg⁻¹. Mientras que ninguna de las muestras, rebasaron el LMP de 17 mg·kg⁻¹ indicada por el Ministerio Ambiental del Cónsul de Canadá (CCME, 1999).

El plomo tiene la capacidad de biomagnificarse (García–Hernández *et al.*, 2005; Rubio–Franchini *et al.*, 2008), por lo que su presencia en suelo, representa un peligro potencial al incorporarse a la cadena trófica. Márquez *et al.* (2008) En algunas estaciones de la laguna los suelos superficiales son utilizados para enriquecer los suelos agrícolas, esto aunado al desbordamiento de la laguna en época de lluvia provoca que los suelos se dispersen en los campos. La NOM–147–SEMARNAT/SSA1–2004 establece un valor de 22 mg·kg^{–1} de plomo en suelo agrícola como criterio para su remediación, ninguna de las muestras del suelo superan este valor, sin embargo su carácter bioacumulativo las hace peligrosas. Calzada–Mendoza y Carrillo–Chávez (2005), reportaron concentraciones de Pb en suelos de Tlaxcala que van desde no detectables hasta 96.9 mg·kg^{–1}. El intervalo más elevado (38.6 a 96.9 mg·kg^{–1}) se encontró al oriente del estado; en la zona industrial de Huamantla, Alzayanca, Cuapixtla, Zitlaltepec y Teolocho, municipios que se ubican fuera de los límites de la subcuenca del Atoyac, y por lo tanto, de la zona de influencia de la Laguna de Acuitlapilco la cual registro una mayor concentración de este metal en la temporada de lluvias (Grafica 11).



Grafica 12. Distribución del metal plomo en los suelos de la Laguna

8.6 Resultados de parámetros fisicoquímicos en Agua

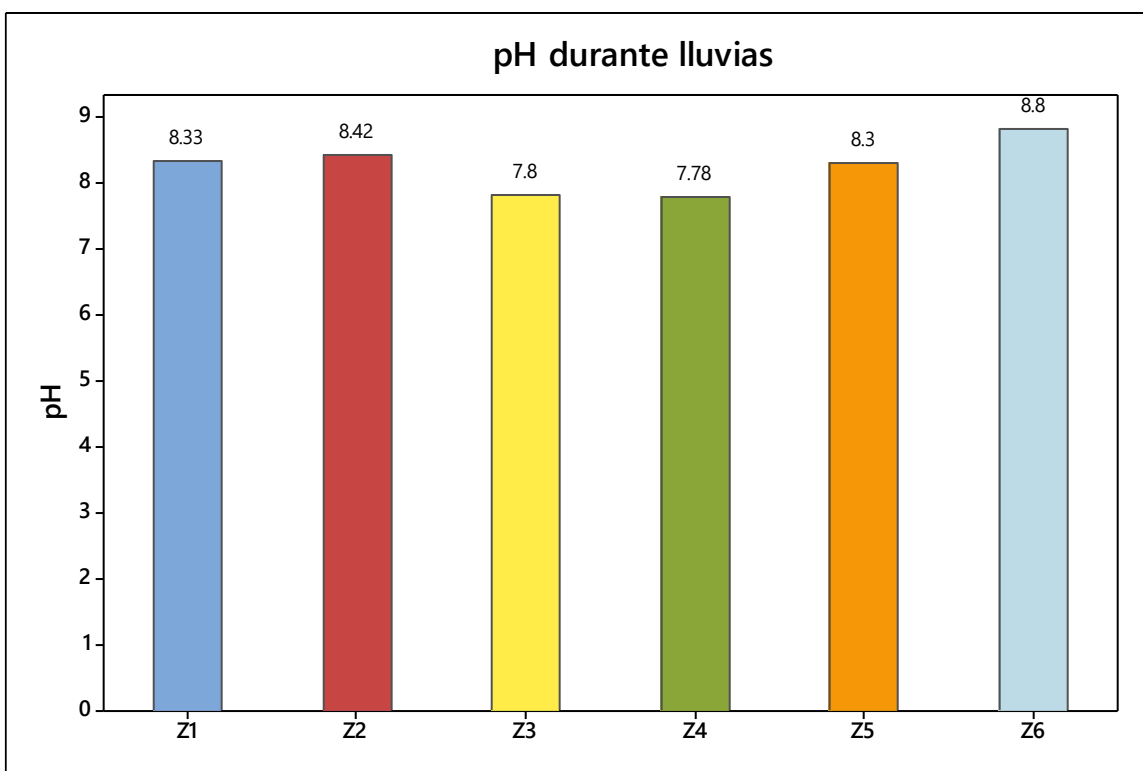
Tabla 15. Parámetros Fisicoquímicos del agua durante las lluvias							
Zona	pH	C.E (μ S)	Dureza Total (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Temperatura °C
1	8.33	422	111.9	6.5	5.9	16.1	21.2
2	8.42	941	125.3	5.6	8.6	23.5	22.6
3	7.80	463	112.6	7.1	7.1	19.4	22.4
4	7.78	430	105.1	6.0	6.0	16.4	21.9
5	8.30	425	113.3	6.9	6.9	18.8	22.1
6	8.25	412	118.63	6.6	6.6	17.9	20.9
X	8.10	515.5	114.5	6.4	6.8	18.7	21.9
LMP	5 a 9	≤ 750	≤ 200	6 a 8	≤ 5	≤ 15	≤ 35

Tabla 16. Parámetros Fisicoquímicos del agua durante el estiaje

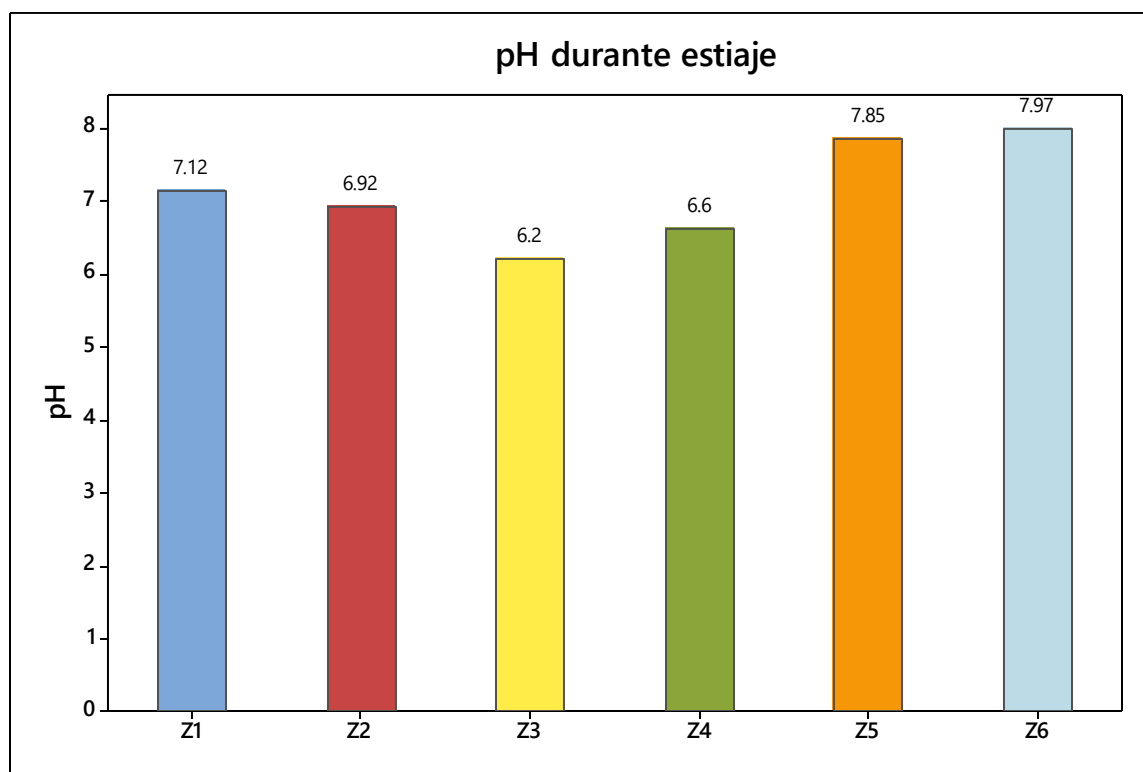
Zona	pH	C.E (µS)	Dureza Total (mg/L)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	Fosforo Total (mg/L)	Nitrógeno Total (mg/L)	Temperatura °C
1	7.12	465	121.2	5.9	6.1	17.2	22.4
2	6.92	985	133.4	4.8	8.9	23.6	21.6
3	6.2	502	123.7	6.6	7.4	20.2	22.4
4	6.20	472	110.4	6.2	6.3	17.8	22.6
5	7.85	463	132.5	6.5	6.6	19.2	22.2
6	7.97	421	126.7	6.1	6.3	18.2	21.3
X	7.0	551.3	124.7	6.0	6.9	19.4	22.1
LMP	5 a 9	≤750	≤200	6 a 8	≤5	≤15	≤35

Abreviaciones

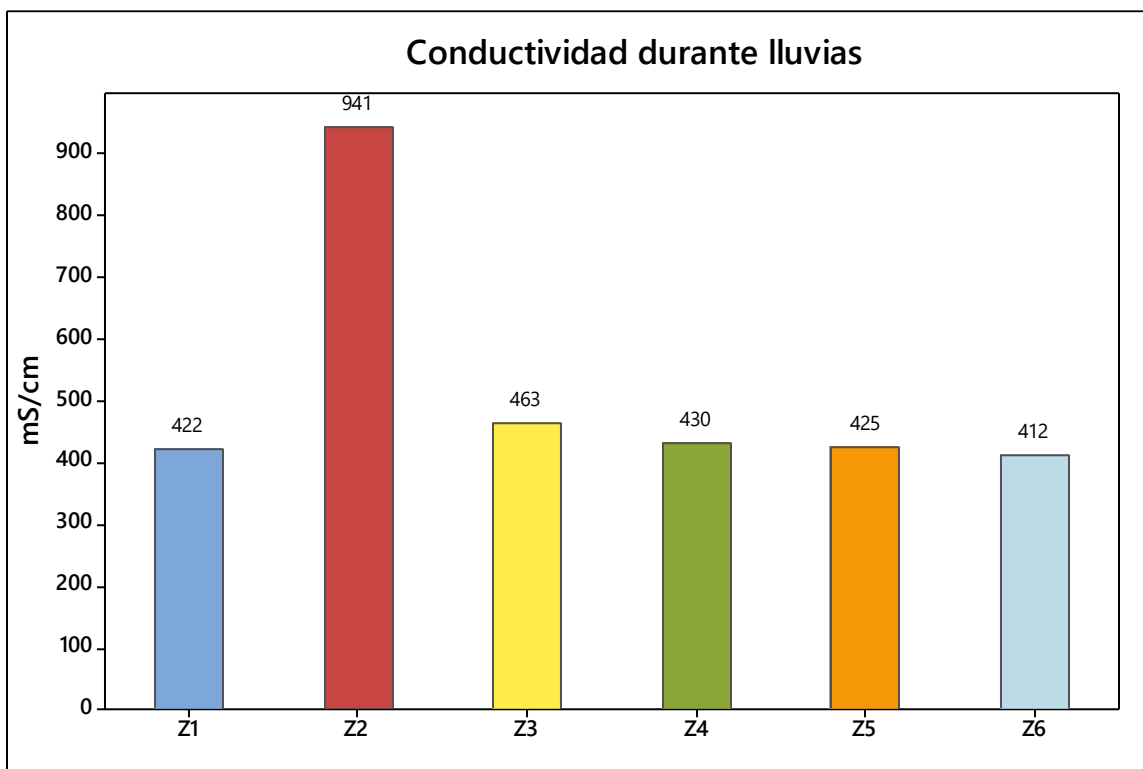
X= Promedio Aritmético **LMP=** Límite Máximo Permisible para calidad de agua



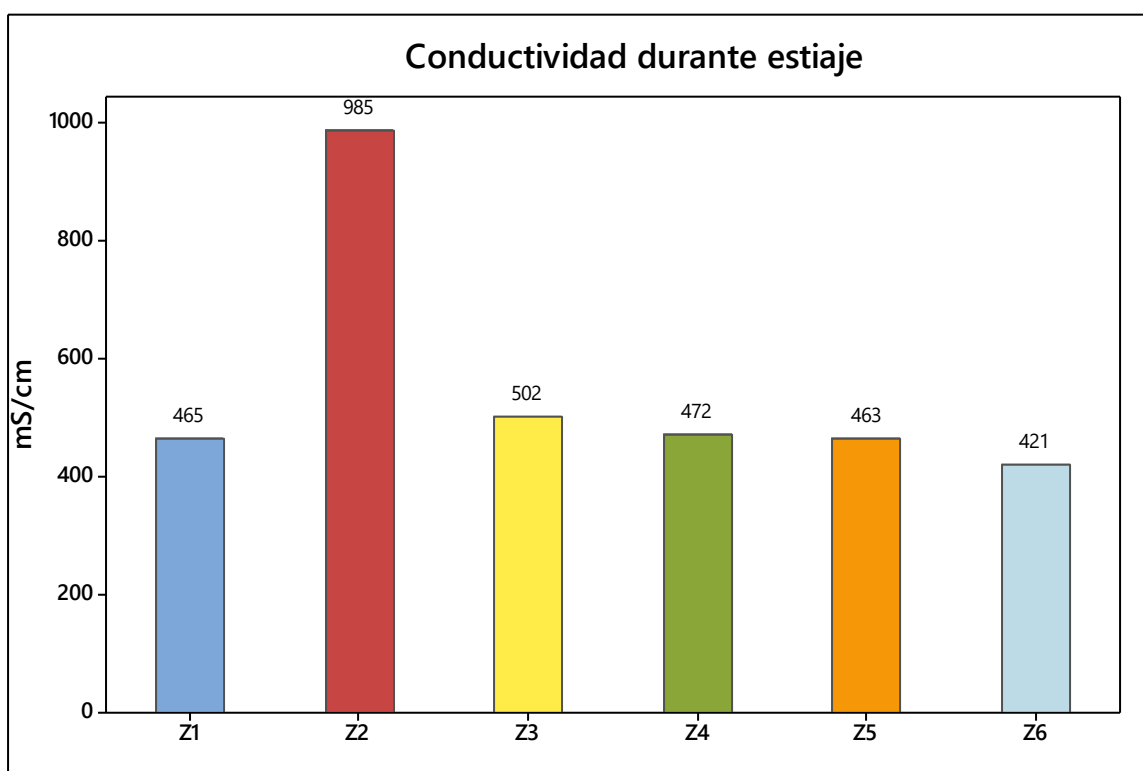
Grafica 13. pH en agua durante temporada de lluvias



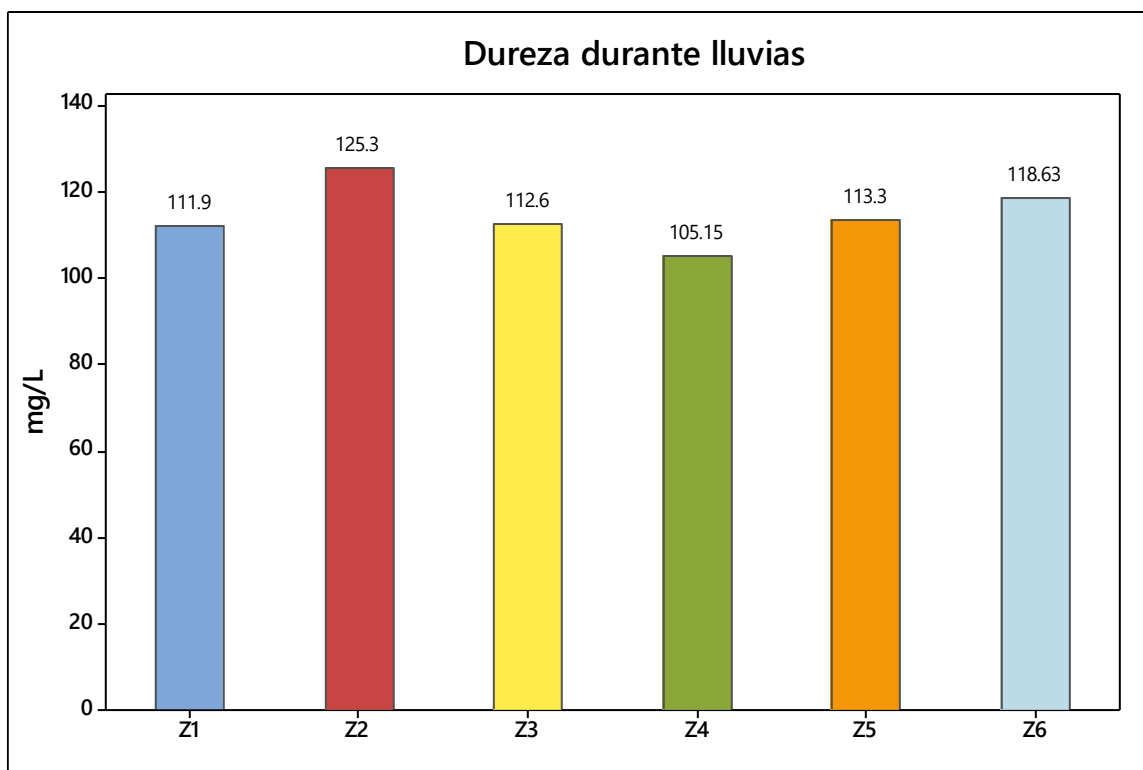
Grafica 14. pH en agua durante temporada de estiaje



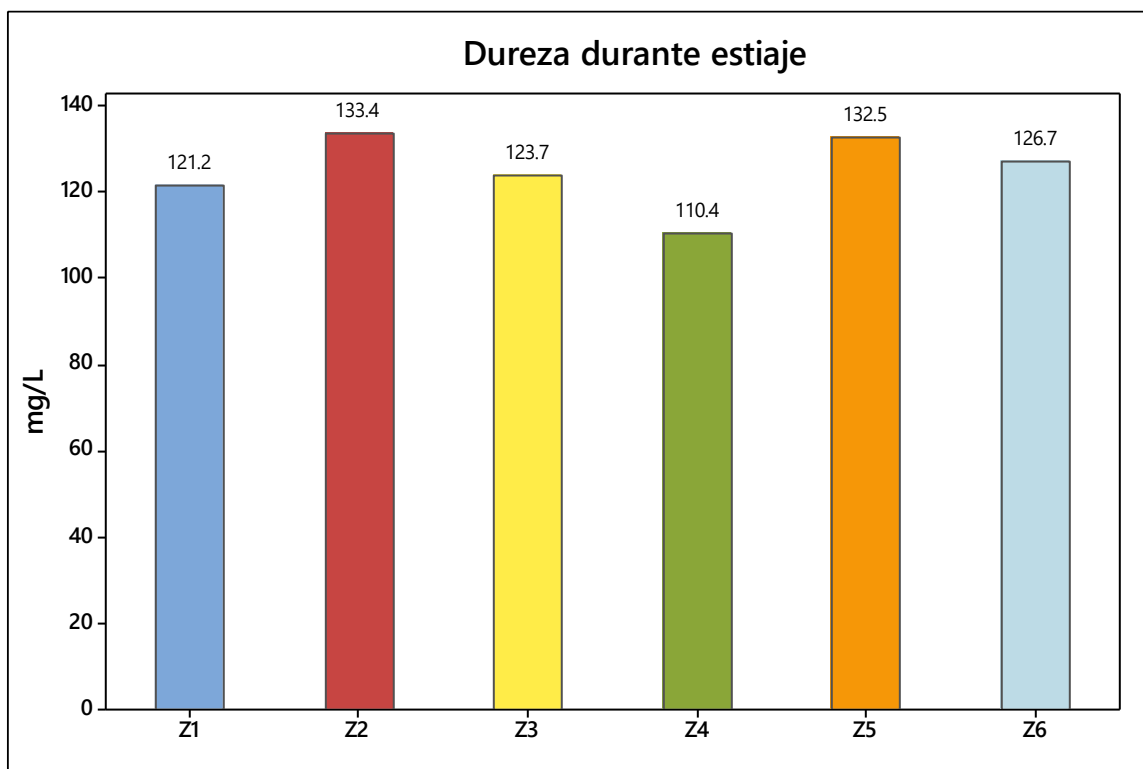
Grafica 15. Conductividad en agua durante temporada de lluvias



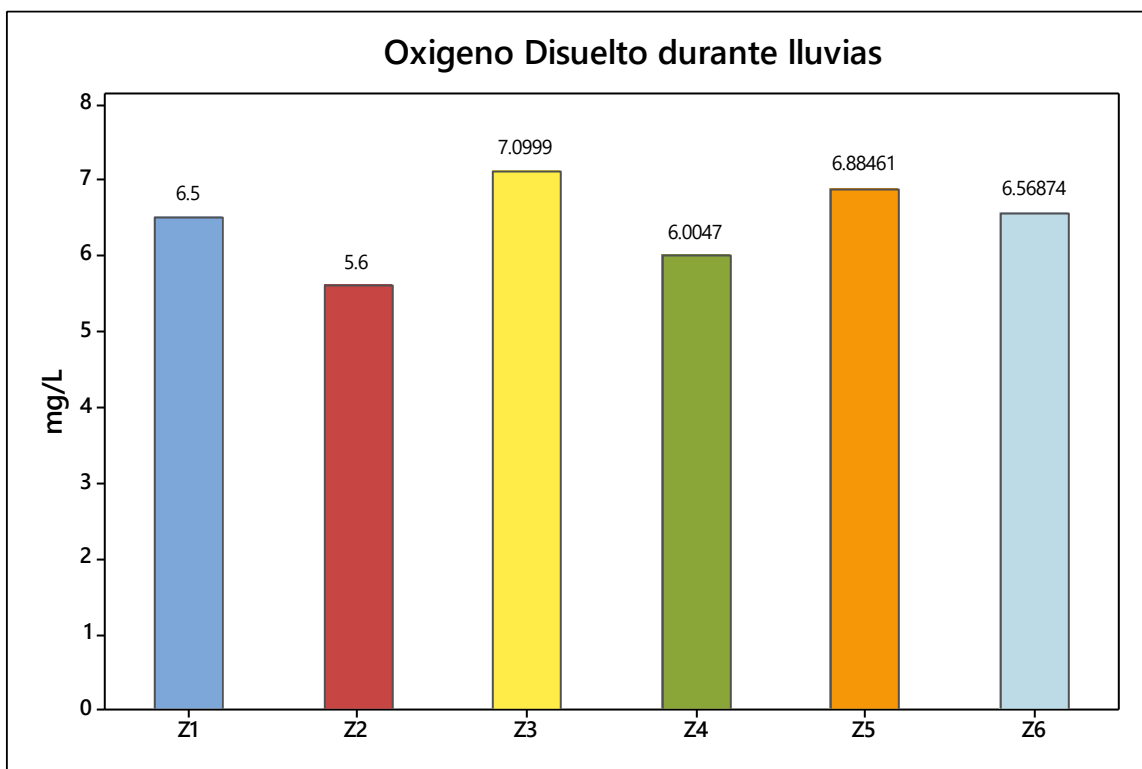
Grafica 16. Conductividad en agua durante temporada de estiaje



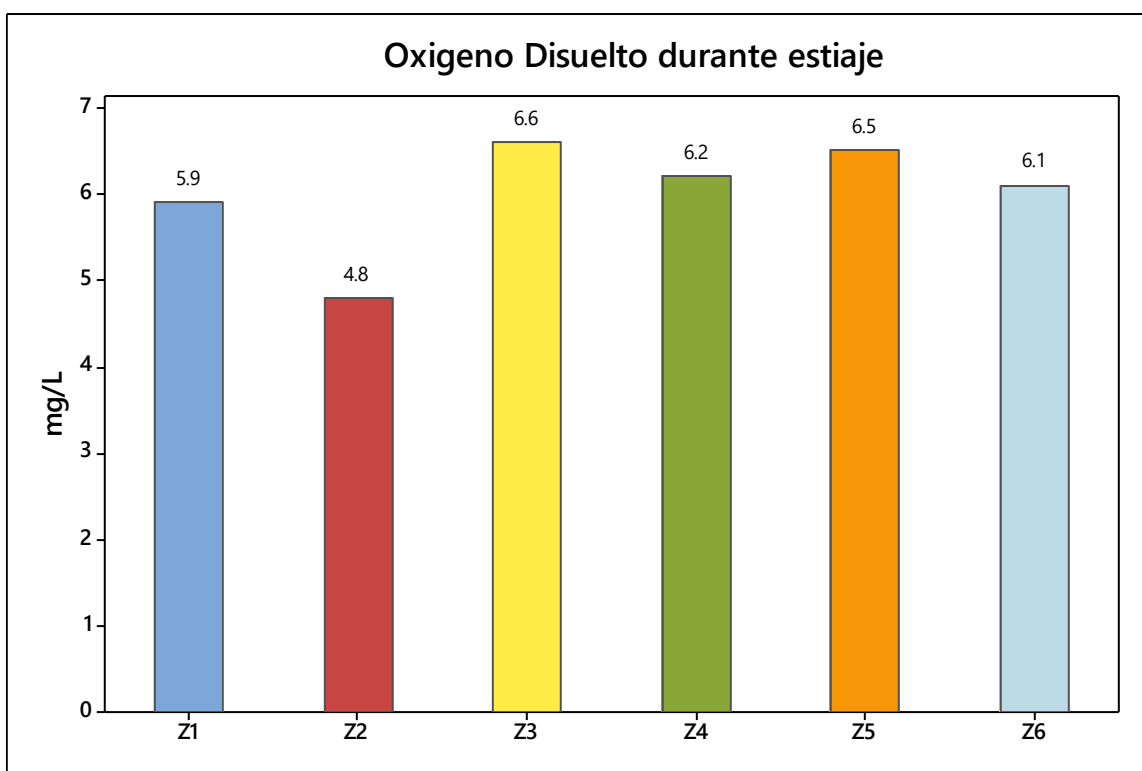
Grafica 16. Dureza en agua durante temporada de lluvias



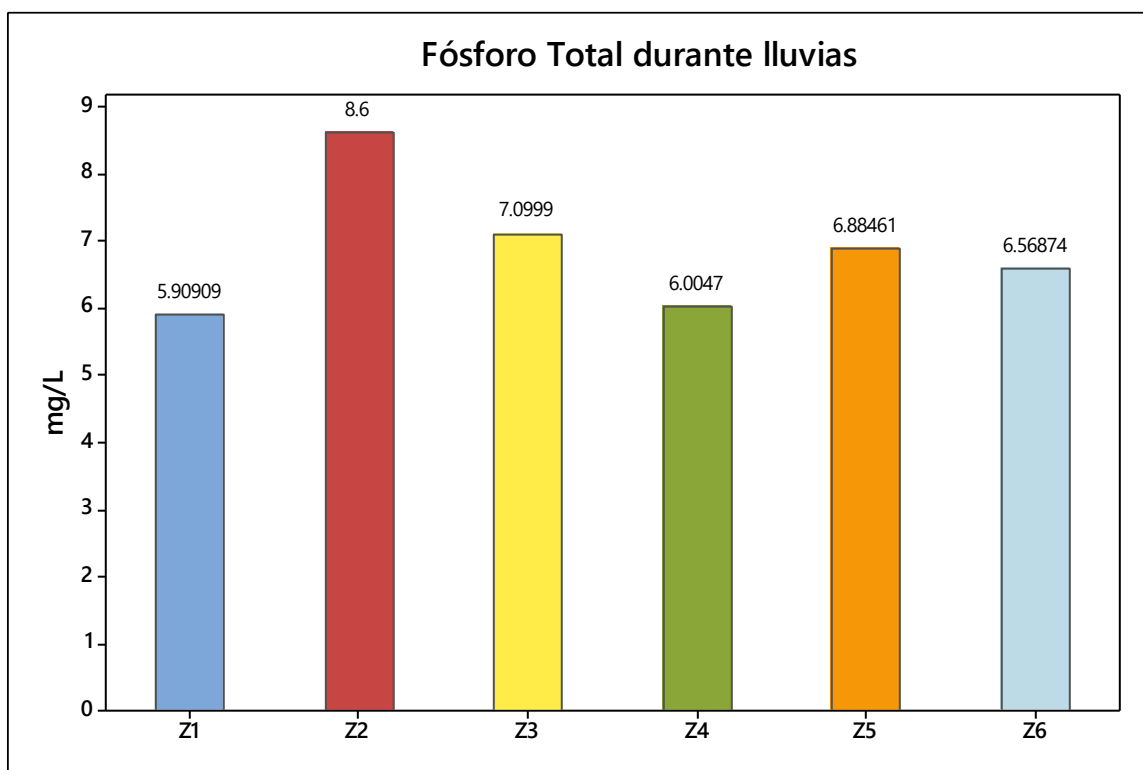
Grafica 17. Dureza en agua durante temporada de estiaje



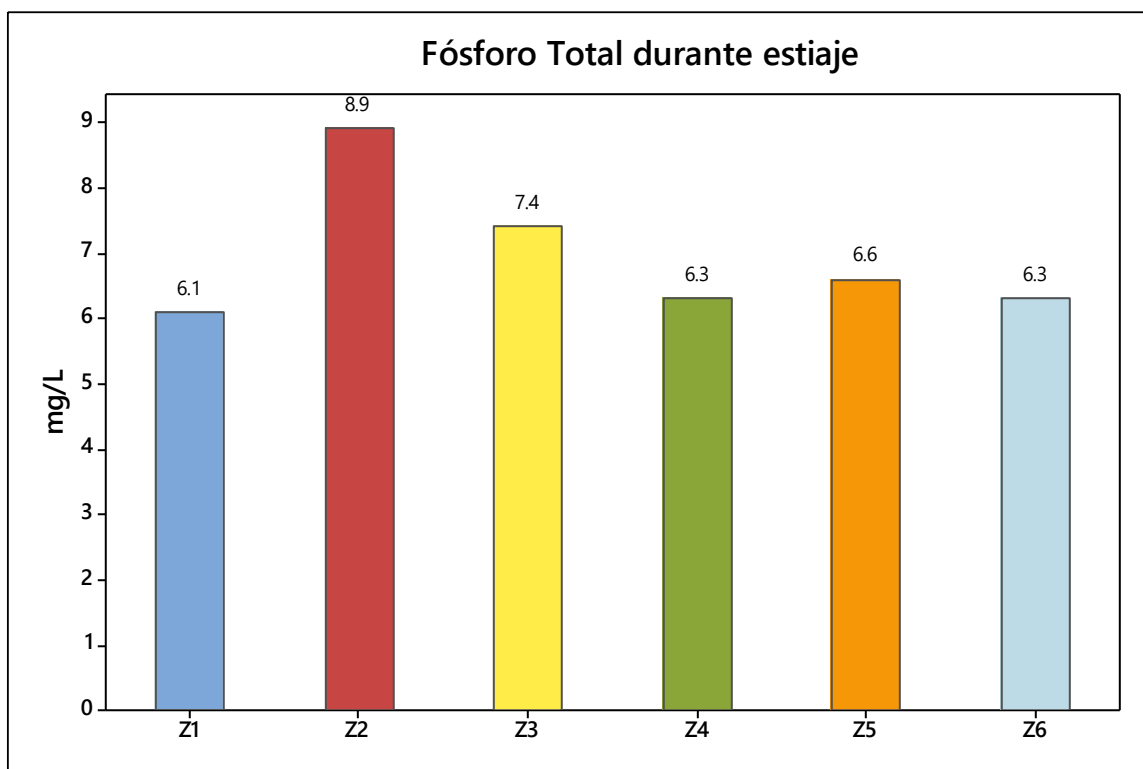
Grafica 18. Oxígeno disuelto en agua durante temporada de lluvias



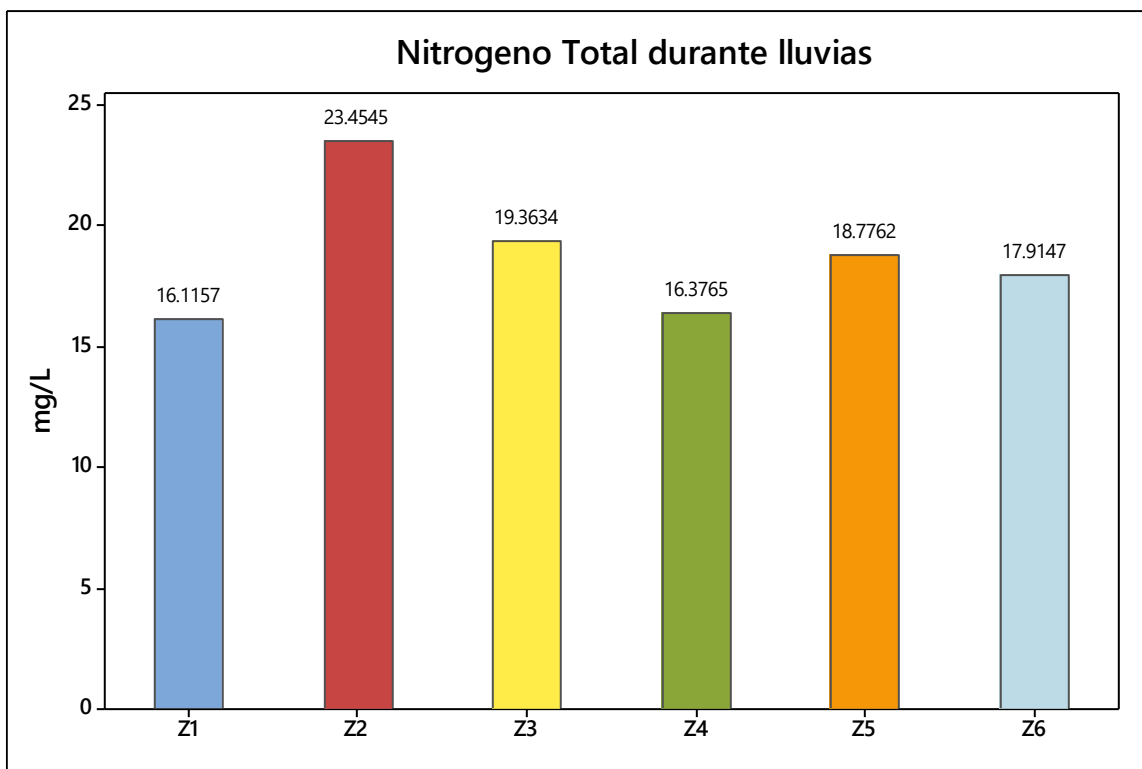
Grafica 19. Oxígeno disuelto en agua durante temporada de estiaje



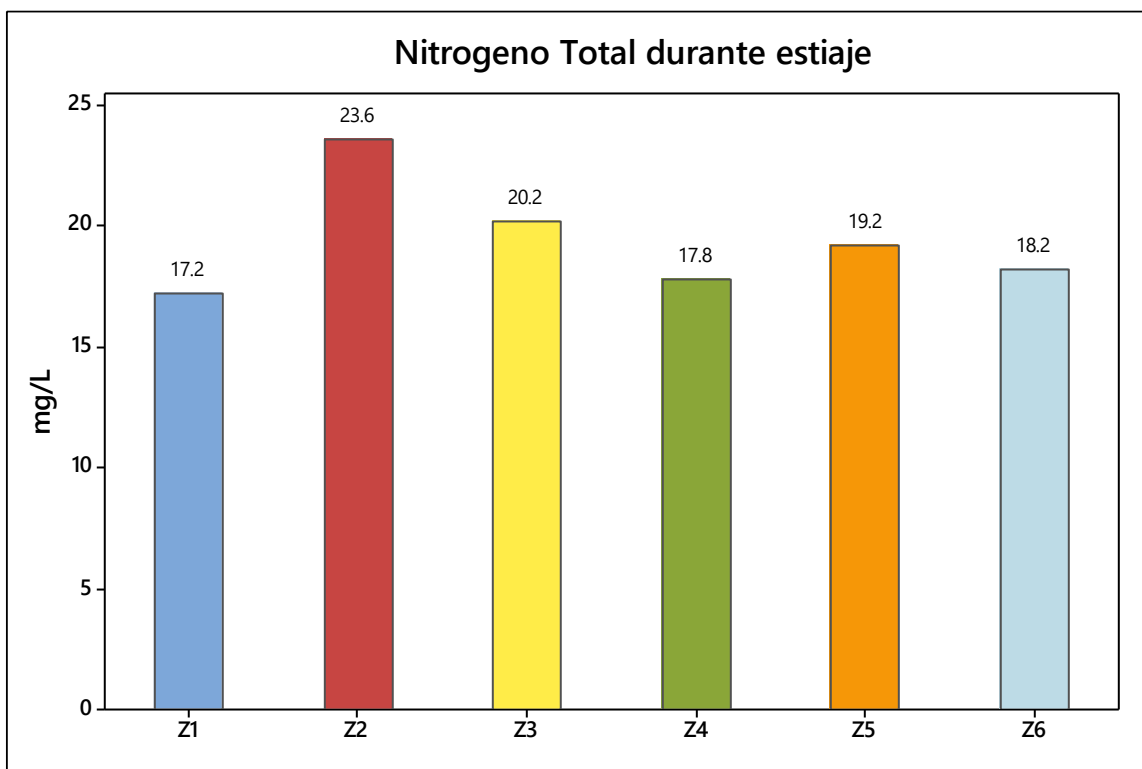
Grafica 20. Fosforo Total en agua durante temporada de lluvias



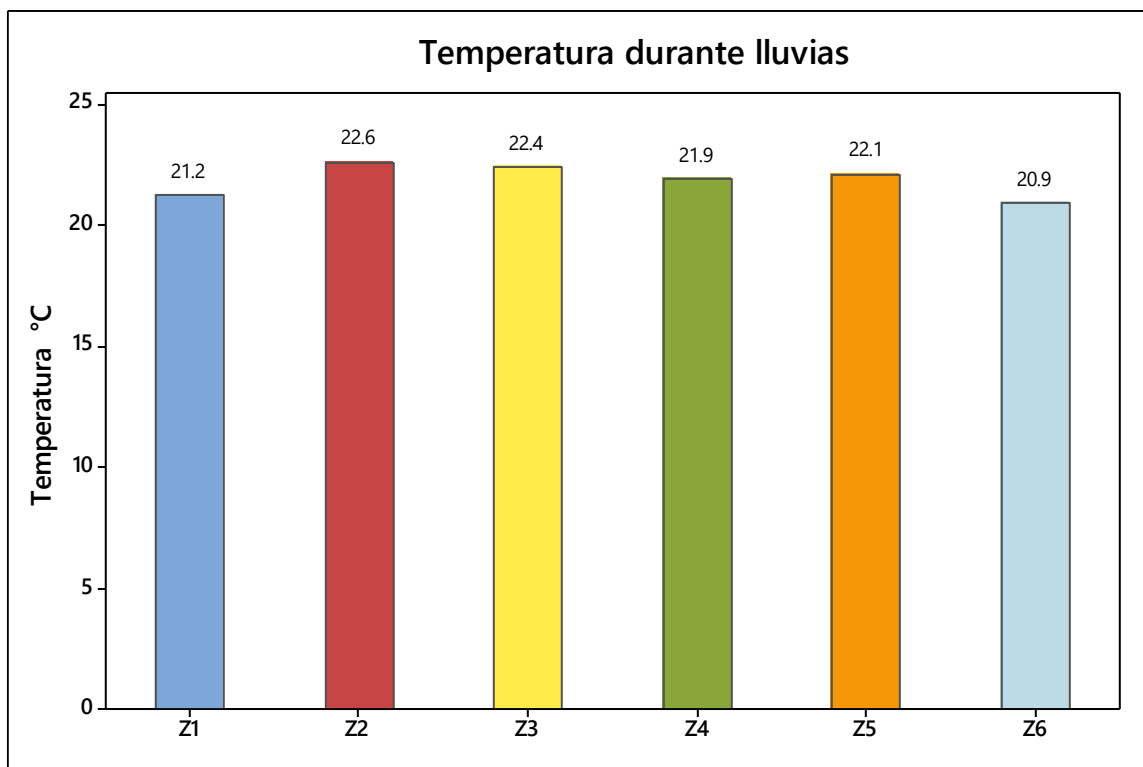
Grafica 21. Fosforo Total en agua durante temporada de estiaje



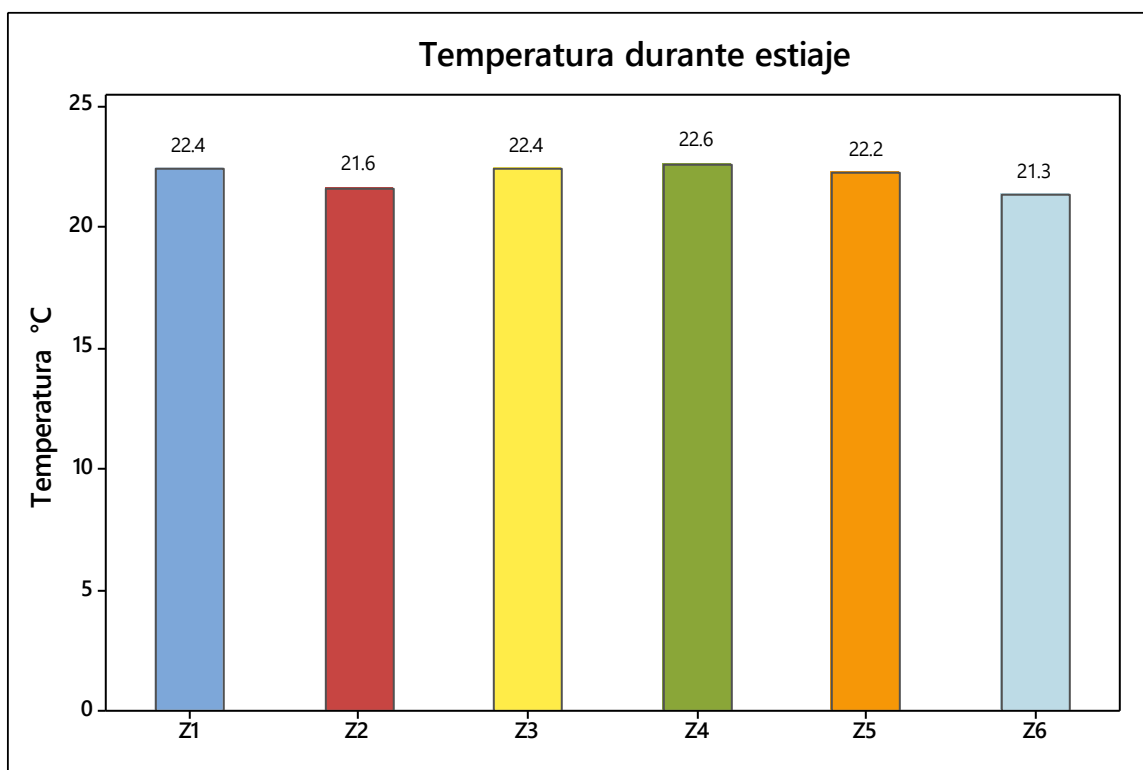
Grafica 22. Nitrógeno Total en agua durante temporada de lluvias



Grafica 23. Nitrógeno Total en agua durante temporada de estiaje



Grafica 24. Temperatura en agua durante temporada de lluvias



Grafica 25. Temperatura en agua durante temporada de estiaje

8.7 Resultados de metales evaluados en Agua

Tabla 17. Concentracion de metales en agua (ppm) en la epoca de lluvias

Elemento	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	LMP
As	0.005005	0.010727	0.010139	0.014359	0.008685	0.009137	0.2
Be	0.000079	0.000102	0.00011	0.000071	0.00072	0.000081	0.1
Cd	0.000795	0.000562	0.000002	0.000157	0.000282	0.000692	0.05
Co	0.001734	0.000194	0.000859	0.000288	0.000687	0.000537	1
Cr	0.005926	0.008184	0.00818	0.007167	0.00781	0.017376	1
Cu	0.046316	0.022453	0.009156	0.022545	0.019458	0.018323	0.2
Fe	0.733947	0.455212	0.372251	0.724568	0.700424	0.970013	1
Li	0.112379	0.151441	0.082594	0.099577	0.098202	0.108723	2.5
Mn	0.163755	0.107243	0.129193	0.219237	0.246643	0.172755	0.20
Mo	0.002472	0.002508	0.002048	0.001949	0.001641	0.001979	*
Ni	0.002042	0.024932	0.023012	0.00979	0.019036	0.015379	0.2
Pb	0.00907	0.006394	0.007732	0.007738	0.007063	0.011758	0.2
Sb	0.060445	0.001396	0.003982	0.009739	0.000339	0.006316	*
Se	0.028524	0.161198	0.142071	0.109144	0.110597	0.213253	0.05
Sr	0.087206	0.186676	0.273101	0.156206	0.160305	0.169951	*
Ti	0.021856	0.028327	0.01067	0.022278	0.016209	0.02202	*
V	0.015253	0.010753	0.006323	0.007611	0.010202	0.007767	*
Zn	0.019381	0.044974	0.068212	0.029082	0.025862	0.037213	2

LMP- Límite Máximo Permisible establecido por la FAO para el criterio agua de uso de riego de cultivos.

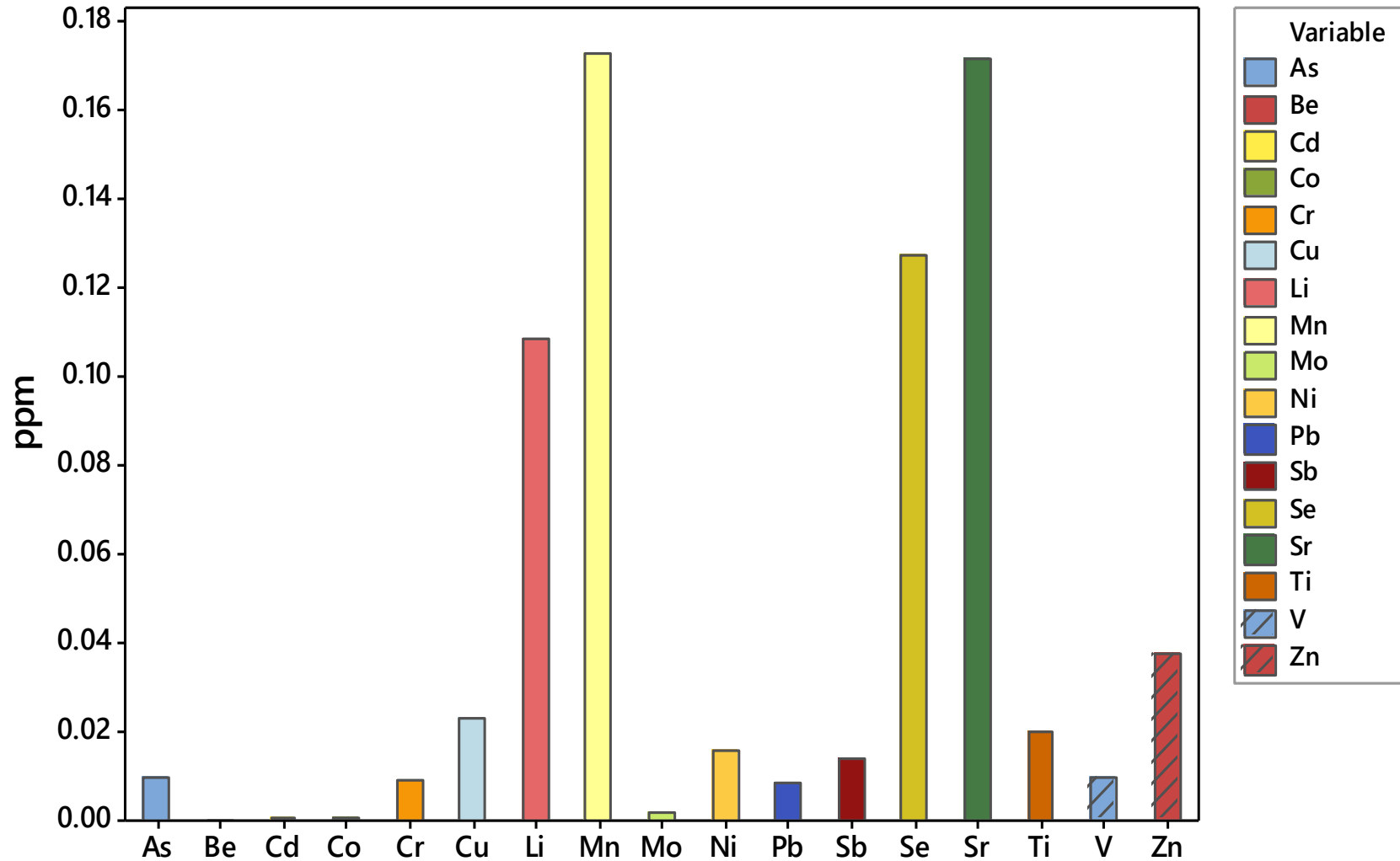
Tabla 18. Concentracion de metales en agua (ppm) en la epoca de sequia

Elemento	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	LMP
As	0.021028	0.002625	0.005187	0.049244	0.005891	0.001004	0.2
Be	0.00031	0.000239	0.000053	0.000009	0.000188	0.000054	0.1
Cd	0.000588	0.000037	0.000362	0.000254	0.001251	0.00227	0.05
Co	0.000993	0.000156	0.000393	0.000623	0.000318	0.003208	1
Cr	0.004883	0.006298	0.004575	0.004732	0.009183	0.00501	1
Cu	0.002809	0.001826	0.000847	0.000991	0.002803	0.001899	0.2
Fe	0.342805	0.295455	0.119536	0.134007	0.534627	0.26858	1
Li	0.087669	0.025666	0.006798	0.038821	0.019811	0.007906	2.5
Mn	0.194226	0.063119	0.125134	0.050923	0.023874	0.062541	0.20
Mo	0.034753	0.008995	0.001872	0.00241	0.002002	0.003652	*
Ni	0.004869	0.000054	0.004267	0.003515	0.001803	0.000199	0.2
Pb	0.021595	0.029384	0.031901	0.023966	0.019475	0.001356	0.2
Sb	0.005284	0.019384	0.018286	0.013101	0.002485	0.002015	*
Se	0.00224	0.051787	0.033576	0.060393	0.02943	0.018009	0.05
Sr	0.177078	0.146172	0.083983	0.069974	0.164102	0.052758	*
Ti	0.019479	0.005686	0.003864	0.005104	0.026439	0.00459	*
V	0.006308	0.005881	0.002962	0.008893	0.007925	0.00427	*
Zn	0.015269	0.088926	0.019365	0.037929	0.10546	0.073637	2

Todas las concentraciones de los metales están reportados en ppm,

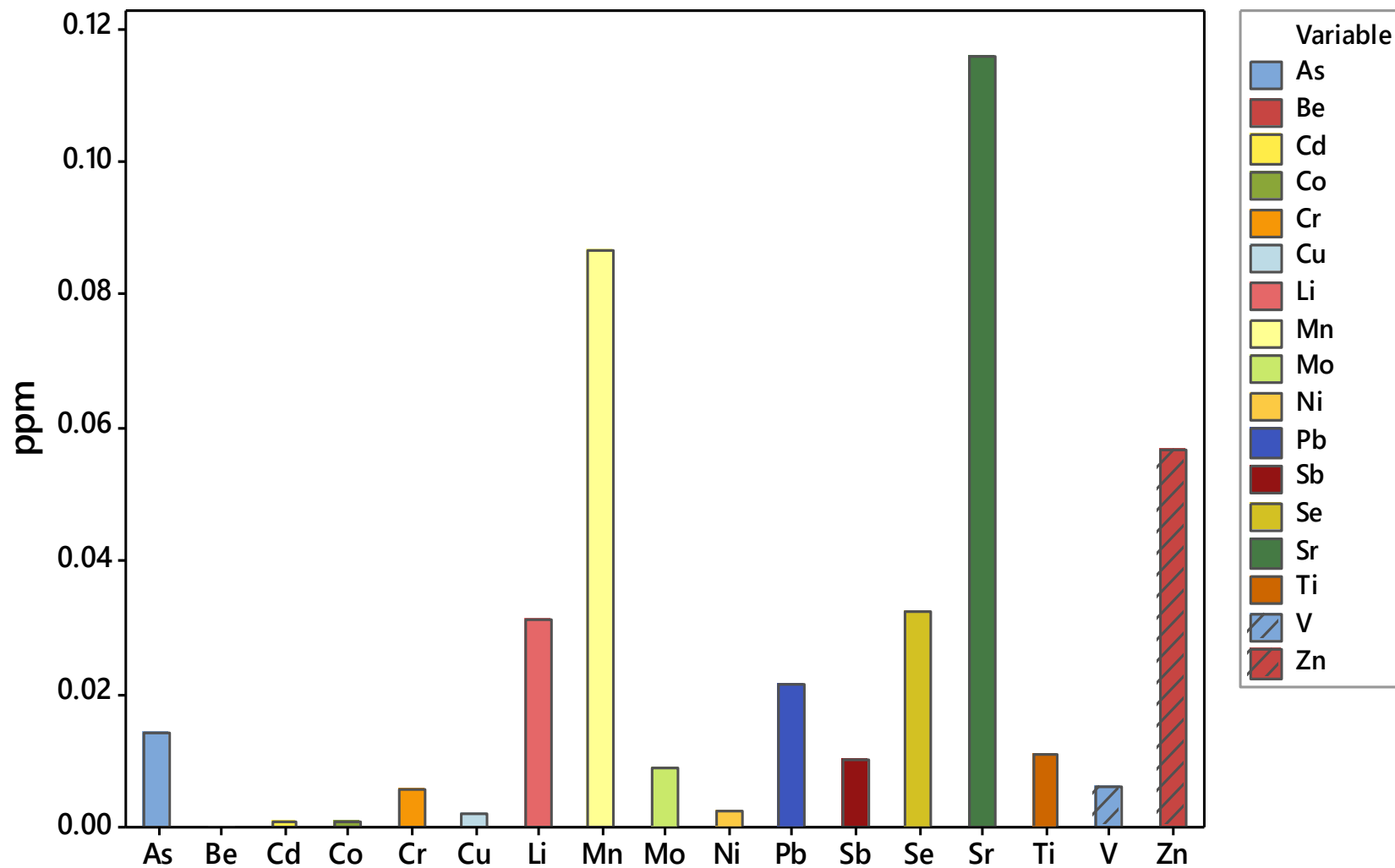
LMP- Límite Máximo Permisible establecidos para el criterio de agua de uso de riego de cultivos

Distribución de metales en agua en temporada de lluvias



Grafica 25. Metales en agua durante temporada de lluvias

Distribución de metales en agua en temporada de estiaje



Grafica 26. Metales en agua durante temporada de estiaje

8.5. Análisis Estadístico

Análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación de suelos

Valor propio	3.2706	1.1870	0.5276	0.0145	0.0003
Proporción	0.654	0.237	0.106	0.003	0.000
Acumulada	0.654	0.892	0.997	1.000	1.000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
pH	-0.510	-0.075	0.509	-0.687	-0.066
Conductividad	0.389	-0.413	0.755	0.304	0.122
%MOS	0.530	0.255	-0.032	-0.506	0.630
%NT	0.548	0.118	0.035	-0.320	-0.763
PT	-0.089	0.863	0.410	0.279	-0.030

El Análisis de Componentes principales sirve para conformar un número más pequeño de variables no correlacionadas. La meta del análisis de los componentes principales consiste en explicar la cantidad máxima de varianza con el menor número de componentes. El análisis de los componentes principales se utiliza frecuentemente como un paso en una serie de análisis para reducir el número de datos y evitar la multicolinealidad, o cuando se tengan demasiados predictores con respecto al número de observaciones, por ello se puede realizar el análisis de cuando se tenga una sola muestra y se midan varias variables en cada unidad de muestreo.

- El primer componente principal tiene una varianza de **3.2706** (igual al valor propio más grande) y explica **0.654** (65.4%) de la variación total en los datos.
- El segundo componente principal (varianza de **1.1187**) explica **0.237** (23.7%) de la variación total de los datos.
- Los 2 primeros componentes con varianzas iguales a los valores propios mayores que 1 representan **0.892** (89.2%) de la variabilidad total, lo que sugiere que los 2 componentes principales explican adecuadamente la variación de todos los datos.
- Los 3 componentes restantes explican menos del **11%** la variabilidad de los datos, por los que suelen descartarse para el análisis.

Para los datos sobre muestras del suelo, las primeras puntuaciones del componente principal se calculan a partir de los datos originales utilizando los coeficientes que se muestran en el primer componente por medio de la expresión:

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
pH	-0.510	-0.075	0.509	-0.687	-0.066
Conductividad	0.389	-0.413	0.755	0.304	0.122
%MOS	0.530	0.255	-0.032	-0.506	0.630
%NT	0.548	0.118	0.035	-0.320	-0.763
PT	-0.089	0.863	0.410	0.279	-0.030

$$\text{PC1} = -0.510 \text{ pH} + 0.389 \text{ Conductividad} + 0.530 \text{ \%MOS} + 0.548 \text{ \%NT} + -0.089 \text{ PT}$$

La interpretación de los componentes principales es subjetiva y exige el conocimiento de los datos:

%MOS (**0.521**) y % de Nitrógeno (**0.541**), tienen cargas positivas grandes sobre el componente 1, de modo que debe etiquetar este componente como importante, ya que aquí se puede apreciar que la alguna ha sufrido de incrementos de materia orgánica al igual que el elemento fosforo (**0.865**) tiene carga positiva grande sobre el componente 2, de modo que se debe etiquetar este componente como importante en los suelos de la laguna.

El valor de pH (**-0.507**) tiene carga negativa grande sobre el componente 1, de manera que debe etiquetar este componente como importante para explicar la calidad de los suelos de Acuitlapilco.

Para los datos sobre la calidad del suelo en Acuitlapilco, se puede concluir que los primeros 2 componentes explican la mayor parte de la variabilidad total en los datos. Los componentes principales restantes explican una proporción muy pequeña de la variabilidad y probablemente carezcan de importancia.

8.5.2 Matriz de correlaciones

La matriz de correlaciones nos indica que tan relacionada se encuentra una variable con la presencia de otra, un coeficiente de correlación mide el grado en que dos variables tienden a cambiar de manera conjunta. La correlación de Pearson evalúa la relación lineal entre dos variables continuas. Una relación es lineal cuando un cambio en una variable se asocia con un cambio proporcional en la otra.

El coeficiente de correlación puede tener valores entre -1 y +1, la posibilidad de que un valor intermedio sea interpretado como débil, moderado o fuerte depende de sus objetivos y requisitos. El signo del coeficiente indica la dirección de la relación. Si ambas variables tienden a incrementarse o disminuir a la vez, el coeficiente es positivo. Si una variable tiende a incrementarse mientras las demás disminuyen, el coeficiente es negativo.

Siempre es recomendable examinar la relación entre las variables con una gráfica de dispersión. Los coeficientes de correlación sólo miden relaciones lineales (Pearson) o monótonas (Spearman).

Matriz de Correlación de Suelos: As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb

	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Mo	Ni
Be	-0.660									
Cd	-0.388	0.464								
Co	-0.470	0.672	0.820							
Cr	-0.043	0.290	0.392	0.721						
Cu	-0.227	0.459	0.381	0.676	0.932					
Li	-0.071	0.265	0.287	0.567	0.945	0.978				
Mn	-0.430	0.528	0.542	0.370	-0.360	-0.359	-0.521			
Mo	0.554	-0.086	-0.710	-0.353	0.008	-0.081	-0.035	-0.323		
Ni	-0.327	0.485	0.520	0.829	0.956	0.956	0.919	-0.196	-0.180	
Pb	-0.111	0.462	0.270	0.556	0.871	0.973	0.954	-0.408	0.057	0.871

Para el caso de los metales pesados encontrados en los suelos de Acuitlapilco se puede estimar que la concentración del Cadmio incrementa proporcionalmente a la del Cobalto (valor 0.820), de igual manera que el Cobalto con el Cromo (0.721), Cobalto-Níquel (0.829), Cromo- Cobre (0.932), Cromo-Litio (0.945) sin embargo la relación del Cadmio con el Molibdeno (-0.710) representa un valor negativo que indica que a medida que una variable incrementa la otra disminuye.

Matriz de Correlación en el agua: As, Be, Cd, Cr, Li, Tl, Pb, Sb, Sr, V

	As	Be	Cd	Cr	Li	Tl	Pb	Sb	Sr
Be	-0.660								
Cd	-0.388	0.464							
Cr	-0.043	0.290	0.392						
Li	-0.071	0.265	0.287	0.945					
Tl	-0.417	0.358	0.264	0.873	0.862				
Pb	-0.111	0.462	0.270	0.871	0.954	0.771			
Sb	-0.601	0.548	0.845	0.220	0.021	0.257	-0.005		
Sr	-0.209	0.165	0.377	-0.683	-0.684	-0.707	-0.569	0.372	
V	0.102	0.167	0.287	0.969	0.976	0.803	0.910	0.014	-0.710

En el agua el comportamiento de los metales pesados en Acuitlapilco es distinto al de los suelos, por ejemplo se puede estimar que la concentración del Cadmio no incrementa proporcionalmente a la del Cobalto como si es en el caso de los suelos (valor -0.388), la mayor correlación encontrada fue la del Cromo con el Litio (0.976) seguido con la del Cromo con el Vanadio (0.969) seguido con Litio – Plomo (0.954) la del Vanadio con el Plomo (0.910) y la del Antimonio con el Cadmio (0.845). Las correlaciones entre los metales nos informan que podría tener el mismo origen de procedencia (Rivera et, al 2007), La interrogante más resaltante es cómo el contenido de metales pesados en los suelos pasan al ciclo hidrológico, en qué proporción y en qué tiempo; para ello, se requiere hacer más investigaciones y un mayor análisis de nuevas muestras para determinar la biodisponibilidad de estos metales, que puede ser liberado en el ambiente superficial, a través de procesos físicos, químicos y biológicos.

Matriz de Correlación de parámetros fisicoquímicos del suelo

Se analizó las distintas relaciones por medio de graficas de dispersión con ajuste lineal y se encontró que la mayor correlación de los datos es la del valor del pH con %NT y el %MOS, por lo que los nutrientes en el suelo incrementa a medida que el valor del pH disminuye, esto es debido a que la descomposición de la materia orgánica produce sustancias de característica acidas en presencia de condiciones reductoras como las existentes en la laguna de Acuitlapilco.

Aquí se muestra la matriz de correlaciones de las propiedades fisicoquímicas

Correlación: pH, Conductividad, %MOS, %NT, PT

	pH	Conductividad	%MOS	%NT
Conductividad	-0.412			
%MOS	-0.910	0.534		
%NT	-0.911	0.652	0.987	
PT	0.179	-0.372	0.098	-0.033

Los resultados de los suelos de la laguna indican lo siguiente:

El coeficiente de correlación de Pearson para la relación entre el pH y %MOS y %N es **-0.911 y -0.910** respectivamente. Esto significa que, cuando el valor del pH en el suelo disminuye, la concentración de carbono y nitrógeno tiende a incrementar.

La correlación de %N y %MOS (**0.987**) ambas son positivas. Esto significa que, mientras el contenido de % MOS aumenta, la concentración de % de Nitrógeno tiende a incrementar. Las correlaciones no prueban de todo que el incremento de carbono causa un incremento del nitrógeno, debido a que ambos fenómenos pudieran ser causados por una tercera variable, como la concentración de fosforo inclusive de la conductividad la cual incluye las concentraciones de un conjunto de sales y algunos metales no considerados hasta el momento.

Matriz de Correlación de parámetros fisicoquímicos de agua

El análisis de correlación lineal de Pearson para el caso de los parámetros fisicoquímicos, se ha realizado con el objetivo de establecer el grado de asociación entre las variables analizadas. Para este estudio se ha considerado el número total de las muestras estudiadas en cada sitio de la laguna (resultados de las dos campañas), los resultados se presentan a continuación.

Correlación: pH, Conductividad, Fosforo, Nitrógeno, Temperatura

	pH	Conductividad	Fosforo	Nitrógeno
Conductividad	0.165			
Fosforo	0.185	0.895		
Nitrógeno	0.185	0.895	1.000	
Temperatura	-0.538	0.601	0.697	0.697

El Nitrógeno Total es el parámetro con el más alto grado de correlación con el fosforo, (1.0) esto es debido al aporte de sustancias químicas por actividades antropogénicas tales como el uso intensivo de fertilizantes químicos nitrogenados y fosfatados empleados en la agricultura de la periferia de la laguna, además de otros factores como la ganadería, la erosión del suelo y el uso de pesticidas son las mayores fuentes de contaminación de nitrógeno y fósforo que se pueden mencionar, algo muy distinto a lo que pasa en la relación del nitrógeno total en suelo con el fosforo donde el valor es mínimo y sin una relación fuerte (-0.033).

Por otro lado la conductividad eléctrica en agua se encuentra relacionada con el Nitrógeno y el fosforo total con valores iguales de (0.895) debido a la naturaleza de los compuesto que se forman tales como nitratos y fosfatos de característica básica alcalina.

8.5.3 Análisis de regresión: pH vs. Conductividad, %MOS, %N, P

La regresión investiga y modela la relación entre una respuesta (Y) y los predictores (Valores de X). Las respuestas deben ser continuas, pero se puede tener tanto predictores continuos como categóricos. Ya que se pueden modelar relaciones lineales y polinómicas.

En particular, el análisis de regresión suele utilizarse para determinar cómo cambia la variable de respuesta cuando cambia una variable predictora específica. Este procedimiento se usa para ajustar los modelos de cuadrados mínimos, almacenar los estadísticos de regresión, examinar los diagnósticos de residuos y realizar pruebas de falta de ajuste. Cuando los datos sean muy asimétricos, se debe hacer uso de la transformación de Box-Cox. Se puede utilizar modelos almacenados para generar rápidamente predicciones, gráficas de contorno, gráficas de superficie, gráficas superpuestas de contornos y respuestas optimizadas. Para los análisis que pueden utilizar múltiples respuestas, se deberá ajustar un modelo para cada respuesta.

Análisis de regresión: pH vs. Conductividad, %C, %N, P

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajuste.	MC Ajuste.	Valor F	Valor p
Regresión	4	3.55707	0.889268	10.97	0.222
Conductividad	1	0.15071	0.150707	1.86	0.403
%C	1	0.03392	0.033924	0.42	0.635
%N	1	0.06797	0.067973	0.84	0.528
P	1	0.00870	0.008702	0.11	0.798
Error	1	0.08109	0.081090		
Total	5	3.63816			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad.	R-cuad.
	(ajustado)	(pred)	
0.284762	97.77%	88.86%	0.00%

El modelo explica el **97.77%** de la variación en los datos sobre los suelos. El índice R ajustado es **88.86%**. Por lo general se debe buscar modelos que minimicen S y maximicen los valores de R.

Ecuación de regresión

$$\text{pH} = 5.223 + 0.01320 \text{ Conductividad} + 0.155 \%C - 41.7 \%N + 0.0104$$

8.5.4 Prueba de hipótesis

Basándose en los datos de las mediciones de pH

¿Es probable que el valor del pH promedio en el suelo en las zonas sea igual de 6?

Las hipótesis son $H_0: \mu = 6$ y $H_a: \mu \neq 6$

Consideraciones: El valor de significancia propuesto es de **0.05**, la muestra de los datos parece seguir una distribución normal, Los procedimientos de prueba e intervalo de confianza t de una muestra se utilizan para hacer inferencias acerca de la media de una basándose en datos de una muestra aleatoria.

El procedimiento t de una muestra se utiliza cuando no se conoce la desviación estándar de la población Para utilizar los procedimientos t de una muestra, su muestra también debe estar normalmente distribuida.

T de una muestra: pH

Prueba de $\mu = 6$ vs. $\neq 6$

Variable	N	Media	Desv.Est.	Error Estándar de la media	IC de 95%	T	P
pH	6	5.555	0.852	0.348	(4.661, 6.449)	-1.28	0.257

Debido a que los datos sobre pH en suelo se analizaron con un nivel α de 0.05, se construyó un intervalo de confianza de 95%. Este intervalo indica que, basándose en los datos de la muestra, se puede estar 95% seguro de que μ es mayor que o igual a **4.658** y menor que o igual a **6.449**. Dado que el valor de referencia de 6 si está dentro del intervalo de confianza, no se puede rechazar H_0 con una confianza de 95% dado que el pH puede ser 6. De igual modo el valor de $T = -1.28$, y el valor p asociado es **0.256**. Este valor p indica que existe sólo una probabilidad de **25.6%** de que se obtenga la muestra, si el valor del pH fuera realmente 6.

8.8 Discusión de Resultados

El intervalo de lecturas de pH del agua determinados en los 6 sitios de muestreo, se indica en la tabla 15 y 16. En la mayoría de las estaciones de muestreo, el agua reveló una tendencia a la alcalinidad con una media aritmética de 8.10 en la temporada de lluvias y de 7.0 en la temporada de sequía, Se observan dos claras excepciones, el sitio 2 el cual es una barranca de la comunidad de Acuitlapilco presento la más elevada alcalinidad (8.42) en la temporada de lluvias, mientras que en el verano el sitio 6 registro el pH más alcalino (7.97). En la gráfica 20 y 21 se puede apreciar que la acidez del agua es relativamente mayor en la temporada de sequía coincidiendo con lo reportado por García, 2007; Ramírez et al., 2010; Garcés, L. Hernández (2004) actuando el agua de lluvia con un efecto de dilución.

Los Suelos de la Laguna registraron valores de pH moderadamente ácidos que van en el intervalo de 5.6 en la temporada de estiaje y de 5.2 durante la temporada de lluvias, el aumento de la acidez del suelo trae consigo diversas desventajas ya que destruye a los microorganismos que lo forman, con lo que los suelos se va deteriorando. Además, puede facilitar la perdida de algunos nutrientes importantes de las plantas como Ca, K y Mg, ya que con el aumento de acidez aumenta su solubilidad y su perdida por lixiviación (Garcia et, al 2002). Los suelos se empobrecen más todavía, por lo que se inhibe la germinación de las semillas y con ello la reproducción de las plantas, incluso la acidez puede llegar a permear las reservas de aguas subterráneas y aumentar la solubilidad de los metales tóxicos (Armienta 2002; Alfaro1986). En general los suelos presentan una moderada conductividad eléctrica de 1.86 a 2.0 dScm⁻¹, por lo que se clasifican así como moderadamente salinos. El sitio denominado zona 6 y 2 localizado en la barranca de Acuitlapilco mostró el valor más alto de CE y por lo tanto, de pH. El análisis estadístico mostró correlación entre los parámetros fisicoquímicos y la concentración de %MOS y de Nitrógeno mediante el coeficiente de correlación de Pearson se determinó que para la relación entre el pH con %MOS y %N es -0.911 y -0.909 respectivamente. Esto significa que, cuando el valor del pH en el suelo disminuye, la concentración de materia orgánica y nitrógeno tiende a incrementarse de acuerdo a Campillo, R. y Sadzawka (2006).

Respecto a los metales pesados en el agua podemos decir que en la actualidad en nuestro país no se cuenta con valores de referencia y un marco legal adecuado para evaluar la calidad del recurso agua y en general para diagnosticar el estado ambiental en lagunas, por lo que se consideró conveniente comparar los resultados con la NOM-001-2017, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y contrastarlos con los Límites Máximos Permitidos de organizaciones como la OMS (Organización Mundial de la Salud) y la FAO. En el presente estudio (Tabla 17 y 18) se encontró que en 5 de las 6 zonas de muestreo en la temporada de estiaje de la laguna existen concentraciones de Plomo superiores a las recomendadas por La Organización Mundial de la salud, que establece el límite de 0.01 mgL^{-1} en las descargas de aguas residuales para protección de la vida acuática. De igual manera el Arsénico el cual es uno de los elementos más tóxicos que pueden ser encontrados en la tierra, supero en 2 puntos la norma mexicana que establece 0.02 mgL^{-1} como límite permisible de As en agua para consumo humano y en todos los puntos excepto en 2 a la norma canadiense que establece un límite de 0.005 mgL^{-1} , cabe mencionar que en la zona sur del estado se han encontrado sitios que han superaron por más de 30 veces la norma mexicana la concentraciones de este metal, niveles parecidos de arsénico han sido reportados en diversos acuíferos de la República Mexicana, en la Comarca Lagunera en los estados de Coahuila y Durango, el intervalo de concentraciones de este metaloide oscila entre los ($0.008\text{--}0.624 \text{ mgL}^{-1}$) de acuerdo a estudios desarrollados por Armienta y Segovia (2008). Se, reportan concentraciones en el acuífero de Delicias entre 0.10 y 0.37 mgL^{-1} (Espino-Valdés *et al.*, 2009). Por otro lado si bien el Manganeseo y el Hierro son elementos trazas esenciales, para la supervivencia de los seres humanos, es también claro que son tóxicos cuando están presentes en elevadas concentraciones produciendo esquizofrenia, depresión, debilidad de músculos, dolor de cabeza e insomnio, en el agua de la Laguna se encontraron que en 3 y 4 puntos de muestreo respectivamente superaron las concentraciones permitidas por la FAO y La OMS.

Los suelos de la laguna son moderadamente ácidos, presentan un contenido de nutrientes adecuado para las actividades agrícolas, sin embargo la concentración de los metales: Cromo, Cobre, Litio, y Estroncio son elevadas y dada su alta toxicidad se les debería de catalogar a estos suelos como peligrosos para la salud de los pobladores del área limítrofe de la Laguna de Acuitlapilco, el origen de la contaminación es incierto ya que la zona de estudio no se caracteriza por la manufactura industrial que utilice metales de esa naturaleza, sin embargo en la periferia de la población de Acuitlapilco se han encontrado diferentes negocios que han proliferado rápidamente denominados 'Deshuesaderos' en los que se comercializan piezas automotrices usadas, generalmente los autos se encuentran a la intemperie y bajo condiciones climáticas que favorecen su oxidación y posterior deposito en los suelos y en el agua de la zona de estudio.

8.9 Conclusiones

De acuerdo a la información recolectada en el presente estudio y en función de la hipótesis previamente planteada se puede concluir que la acelerada degradación de la laguna de Acuitlapilco es provocada principalmente por las descargas de aguas residuales de la población sin previo tratamiento, la contaminación provocada por los depósitos de autopartes y chatarra no regulados, el cambio y uso de suelo no regulado y por el uso de técnicas agrícolas no adecuadas, lo que ha provocado un acelerado estado de degradación del estado ambiental de los recursos agua y suelo que se encuentran considerablemente contaminados, sin embargo aún puede revertirse esta situación con la participación de la sociedad y el uso de adecuadas políticas públicas en bienestar del medio ambiente de este importante ecosistema de la sociedad Tlaxcalteca.

El recurso agua de la laguna de Acuitlapilco actualmente se encuentra considerablemente contaminado, ya que presenta un grado de eutrofización por un exceso de nutrientes de compuestos nitrogenados y de fosforo provenientes de descargas de aguas urbanas de drenaje, que hacen crecer grandes cantidades de lirio acuático, por otra parte los niveles de oxígeno disuelto, están dentro de la norma y permiten la correcta conservación de la vida acuática, las concentraciones de los metales en el agua de la Laguna son moderadamente bajas con respecto a la Normativa Nacional Mexicana en la mayoría de los casos, sin embargo existen valores atípicos para el caso de Arsénico, Plomo, Hierro y Manganeseo que rebasan los límites máximos permisibles de Organizaciones como la FAO y la OMS, lo que hace peligroso el uso del agua de la laguna para el riego agrícola y para la biodiversidad que habita en la periferia del ecosistema lagunar por la característica bioacumulativa de estos metales y sus repercusiones a la salud ya que existe evidencia científica de que los metales pesados pueden acumularse en los tejidos corporales de los organismos y ser transportados en la cadena alimenticia hacia niveles superiores. Se encontró que las precipitaciones pluviales tienen efecto de dilución en la concentración de algunos nutrientes como el nitrógeno, fosforo y en general de los metales pesados.

Los sitios de muestreo de suelo más vulnerables a la contaminación son aquellos localizados en las partes bajas de la cuenca de Acuitlapilco, que además están sujetos a agricultura de riego con el agua de la laguna. El desarrollo de la agricultura intensiva puede incrementar las concentraciones de los contaminantes en el agua y en los suelos lo que implica un grave problema ambiental para los habitantes que se dedican a esta actividad.

El incremento de contaminantes representa una amenaza a la salud pública, en este estudio se buscó dejar un antecedente de las condiciones medioambientales de los recursos agua y suelo, ya que no existen datos previos a la calidad de los recursos agua y suelo con los que se pudiese contrastar esta investigación, sin embargo con la información obtenida se estima que la tendencia al incremento de contaminantes de tipo inorgánico continúe, por lo cual es importante seguir analizando y monitoreando la situación ambiental de la laguna.

Los habitantes piensan que una posible solución a los problemas que tiene la Laguna de Acuitlapilco sería declararla como Area Natural Protegida para así poder implementar controles de protección ambiental más rigurosos, así como incentivar a los campesinos a no invadir el perímetro de la laguna y convencerlos de recuperar su calidad y área natural que le corresponde, si bien este y otros proyectos se prevén implementar en un futuro, muchos de estos proyectos, se encuentran estancados, uno de ellos es la creación de un corredor turístico que beneficie y busque difundir la belleza e importancia de este humedal, sin embargo hasta el momento no se ha concretado ninguna de esas acciones, también es claro que ciertas zonas de la laguna están mejor conservadas debido a que los pobladores de localidades como Atlahapa se han organizado en grupos que buscan rescatar a la laguna por sus propios medios y desarrollando una cultura ambiental que se ha visto concretada con acciones de reforestación y limpieza de lirio acuático, sin embargo otras localidades como las de Tepeyanco y Acuitlapilco son las que más han perjudicado ambientalmente a este ecosistema, ya que depositan directamente sus residuos e invaden terrenos que no deberían ser destinados para cultivos.

Es importante evocar al principio de equidad que señala que “el que contamina debe de pagar” ya que la principal fuente de contaminación son las descargas de aguas residuales que desembocan en la laguna si previo tratamiento y que es responsabilidad del Gobierno salvaguardar la integridad ambiental de la población, en el caso de la Laguna es apremiante la construcción de al menos una Planta Tratadora de aguas residuales, que al menos tenga un tratamiento secundario y la aplicación adecuada de un programa ambiental integral en la región que considere una visión sistémica con la opinión de todos los interesados.

IX. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES																								
ACTIVIDAD	2017- 2018												2018- 2019											
	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul
Escritura de Protocolo	X	X	X	X	X																			
Muestreos en campo							X		X		X		X		X		X							
Análisis Físicoquímicos						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
Análisis estadísticos						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
Asistencia a Congreso											X													
Estancia de investigación															X	X	X							
Coloquio Cs. Ambientales																					X			
Análisis socioeconómico																		X	X	X				
Interpretación y análisis																			X	X	X	X		
Escritura de resultados																						X	X	X
Revisión de Bibliografía	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

X = Actividad a realizarse

X. LITERATURA CITADA

Alfaro, R., Fernández, E., Barquero, J., Rodríguez, J. y Rodríguez, M. (1986). Lluvia ácida de origen volcánico. Boletín de Vulcanología. OVSICORI-UNA.

Andrade F. H Gonzalez (1996) requerimientos de Nitrógeno y fosforo de los cultivos de maíz girasol y soja, Argentina.

Armienta., M, De la Cruz-Reyna, S., Morton, O., Cruz, O., Cenicerros, N. (2002). Chemical variations of tephra-fall deposit leachates for three eruptions from Popocatepetl volcano, Journal of Volcanology and Geothermal Research.

Armienta, M. A.; Rodríguez, R.; Aguayo, A.; Cenicerros, N.; Villaseñor, G.; Cruz, O. 1997a. Arsenic contamination of groundwater at Zimapán, México. Hidrogeol

Bolaños González et al (2016). Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. Terra Latinoamericana, 34(3), 271-288.

Castro Pérez Francisco, Calleros Rodríguez Héctor (2012), La laguna de Acuitlapilco: hermenéutica de su desecamiento y rutas para su rescate- Los conflictos por el agua en México: caracterización y prospectiva, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ISBN: 978-607-7563-61-7

Campillo, R. y Sadzawka, A. La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados, in: Campillo, R. (2006). Manejo de los recursos naturales en el Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados de la Araucanía. Serie Actas. 38:44-60.

CEPAL (2018), El desafío de la sostenibilidad ambiental en América Latina y el Caribe, ISBN: 978-92-1-057087-9, Santiago de Chile.

CEPAL (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.

CEPAL (2013) -Recursos naturales: situación y tendencias para una agenda de desarrollo regional en América Latina y el Caribe-Naciones Unidas, Impreso en Santiago de Chile

COLTLAX (2010) Los Grandes Problemas de Tlaxcala, Reunión de intercambio entre grupos de investigación y candidatos al gobierno del Estado.

CONAGUA (2010) Estadísticas del Agua en México - Comisión Nacional del Agua

Cuéllar Abaroa, Crisanto. La Revolución en el Estado de Tlaxcala. Tomos I y II, Instituto de Estudios Históricos de la Revolución Mexicana, México. 1975.

FAO (2015) Estado Mundial del Recurso Suelo (Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia. SBN 978-92-5-308960-4

FAO (2017) Portal terminológico de la FAO

FAO, Agricultura mundial: hacia el año 2030

FAO. 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma.

FAO (2009) ¿Cómo alimentar al Mundo? Dirección de economía del desarrollo agrícola, Departamento de Desarrollo Económico y Social Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia

FAO- <http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/land-and-soils/es/>

Fonseca Juanita, Pérez-Crespo, María José, Cruz, Medardo, Porras, Bélgica, Hernández-Rodríguez, Enrique, Martínez y Pérez, José Luís, & Lara, Carlos. (2012). Aves acuáticas de la laguna de Acuitlapilco, Tlaxcala, México. *Huitzil*, 13 (2), 104-109.

Garcés, L. y Hernández, M. (2004). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista Lasallista de Investigación*. 1(2): 67-72.

Garcia Rolando Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria, (2006) primera edición, Editorial Gedisa, Barcelona España ISBN: 94-9784-164-6

García, C., Moreno, J., Hernández, M. y Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente*. CCMA. CSIC. 125-138.

González Jácome, Alba- Humedales en el suroeste de Tlaxcala: Agua y agricultura en el siglo XX 1ª Edición (2008), Universidad Iberoamericana, Departamento de Ciencias Sociales y Políticas ISBN 978-968-859-720-0

Gonzalez Jácome, Alba. La economía desgastada. Historia de la producción textil en Tlaxcala. Universidad Autónoma de Tlaxcala y Universidad Iberoamericana, México, 1991.

González Jácome, Alba - Cultura y agricultura: Transformaciones en el agro mexicano (2003)

Historia de Acuitlapilco. <http://acuitlapilco.wordpress.com/2011/09/21/historia-de-acuitlapilco/>.

Hernandez Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; Baptista Lucio, Pilar Metodología de la Investigación. Mc Graw Hill, México 1997

INEGI (2001) Anuario Estadístico Tlaxcala. Edición 2001. Aspectos Geográficos

INEGI (2010) Tabuladores del Censo de Población y Vivienda

INEGI, (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010 Catalogo General de Localidades. Consultado en <http://mapsserver.inegi.org.mex>

INEGI (instituto nacional de estadística y geografía censo de población y vivienda)
2010 Instituto nacional de estadística y geografía INEGI

Izquierdo, Miguel, Barrio-Parra, Fernando, Ordóñez, M. Almudena, Alvarez, Rodrigo, De Miguel, Eduardo, Biosca, Bárbara, Artalejo, Ana, Diaz-Curiel, Jesus Medina Ferro, Rafael. (2019). Environmental Impact Of Historical Mining Near An Urban Settlement.

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE (DOF 28-01-1988) CÁMARA DE DIPUTADOS, LXII LEGISLATURA, H.

LEY DE AGUAS NACIONALES (DOF 01-12-1992) CÁMARA DE DIPUTADOS, LXII LEGISLATURA, H. CONGRESO DE LA UNIÓN. LEYES FEDERALES DE MÉXICO. Página web de información parlamentaria.

LEY DE AGUAS DEL ESTADO DE TLAXCALA, ORGANO DE FISCALIZACIÓN SUPERIOR DE TLAXCALA OFS, pagina web de fomento a la transparencia y consulta pública.

Martínez Bolívar Jorge Anastasio, (2010) El impacto vial en la transformación urbana a lo largo del corredor Tlaxcala-Puebla, Tesis para optar el grado de Maestro en Diseño, Línea de investigación: Estudios Urbanos, Universidad Autónoma Metropolitana, División de ciencias y artes para el diseño.

Moreno Jiménez, Aguarón & Escobar (2001) – Metodología científica en valoración y selección ambiental

Miranda Murillo, Luisa Margarita. (2013). Cultura ambiental: un estudio desde las dimensiones de valor, creencias, actitudes y comportamientos ambientales.

Moctezuma Pérez Sergio (2014) Cambios en la biodiversidad de los huertos familiares en una comunidad del suroeste de Tlaxcala, Revista Sociedad y Ambiente, año 2, vol. 1, núm. 4, ISSN: 2007-6576

Navarro-Chávez, José César, Ayvar-Campos, Francisco Javier, & Giménez-García, Víctor Manuel. (2016). Generación de bienestar social en México: un estudio DEA a partir del IDH. *Economía, sociedad y territorio*, 16(52), 591-621.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-117-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

Organización de Las Naciones Unidas- ONU (2015) Transformar Nuestro Mundo, Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, Nueva York, Estados Unidos.

Organización Mundial de la Salud OMS (2017) Calidad de agua http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/es/

Pacheco Vega, Raúl. (2014). Conflictos intratables por el agua en México: el caso de la disputa por la presa El Zapotillo entre Guanajuato y Jalisco, México, D.F.

Padrón José (2007) Tendencias Epistemológicas de la Investigación Científica en el Siglo XXI Epistemological Trends in 21st Century Scientific Research

Prieto Hernández Ingrid Johanna Análisis estadístico de las variables geoquímicas y de fertilidad del suelo en áreas secas y húmedas para evaluar la retención de carbono en los humedales y su importancia ambiental (2016) Universidad Distrital

Pérez-Sánchez, Alfonso, Hernández-Cortés, Celia, & Carmona-Silva, José L (2017). Estrategias de maíz de los hogares campesinos en el municipio de Atlangatepec, Tlaxcala. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 14(1), 1-22.

Programa Parcial de Desarrollo Urbano de la Laguna de Acuitlapilco y su Área de Influencia (2016) - Gobierno Del Estado de Tlaxcala.

Ramírez, E., Miranda, R., Gracia, Y., Balderas, I., Bravo, H., Sosa, R., Sánchez, P., Alarcón, A., Torres, M., y Kahl, J. (2010). Chemical composition of rainwater in northeastern México. *Atmósfera*, 23(3), 213-224.

Ramsar (2015) Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas: una recopilación de análisis recientes, Convención Ramsar Suiza.

Rendón Garcini, Ricardo. Breve historia de Tlaxcala, Colegio de México y F.C.E., México 1996.

Rodríguez Flores, Eduardo (2008). Cultura, poder y crisis ambiental: el caso de la Laguna de Acuitlapilco, México, Tesis de Maestría, Escuela Nacional de Antropología e Historia.

Rivera Hugo, Chira Jorge, Campilán Maritza, Cornelio Félix (2007)- Análisis correlacional y evolutivo de los metales pesados en sedimentos del río Santa entre Huaraz – Carhuaz, departamento de Ancash- Perú, ISSN: 1628-8097

PNUMA (2015) Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica, Montreal Canadá.

Periódico Oficial No. 46 Sexta Sección (PPDULA) Programa Parcial de Desarrollo Urbano de la Laguna de Acuitlapilco y su Área de Influencia

SEMARNAT. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México

SEMARNAT (2010) Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales Delegación Tlaxcala

SEMARNAT (2014) Informe de la Situación del Medio Ambiente en México http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap4_biodiversidad.pdf

SEMARNAT, Secretaría de Medio ambiente y Recursos naturales, Vías Generales de Comunicación Modalidad

Trujillo Bolio, Mario. (2017). La manufactura de hilados y tejidos en la historiografía mexicana, siglos XVIII y XIX. Obrajes, protoindustrias, empresariado y fábricas textiles. Secuencia, (97), 30-60

UNESCO- El desarrollo sostenible: conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación (2015)

UNESCO 2017 -Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible Publicado en 2017 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, París 07 SP, Francia. ISBN 978-92-3-300070-4

Vázquez-García, Verónica, & Sosa-Capistrán, D. María. (2017). Sin agua no vivo: género y derecho humano al agua en el municipio de La Antigua, Veracruz. Agricultura, sociedad y desarrollo, 14(3), 405-425.

Vega, E. (2001). La sustentabilidad en México: ¿Estamos mal pero vamos bien? Gaceta Ecológica, (61), 30-45.

Wauchope, (2015) Handbook of Middle American Indians, Volumen 7 y 8 University of Texas Press, ISBN 978-I-4773-0669-7-7