



Universidad Autónoma del Estado de México

**“PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL BORDO SANTA
RITA EN EL EJIDO DE SAN LORENZO CUAUHTENCO,
ESTADO DE MÉXICO”**

T E S I S

Qué para obtener el título de
LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta:

NOHEMI ITZEL GARRIDO FONSECA

Director de Tesis

DR. EN C. HUEMANTZIN BALAN ORTIZ OLIVEROS

Toluca de Lerdo, Estado de México; Noviembre de 2017

*Lo que embellece al desierto es que en alguna parte
esconde un pozo de agua.*

Antonie de Saint-Exupery



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
JUSTIFICACIÓN	12
OBJETIVOS	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
HIPÓTESIS	13
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES	15
CAPÍTULO 2 MARCO CONCEPTUAL	19
2.1 REHABILITACIÓN Y RESTAURACIÓN	19
2.2 BENEFICIOS SOCIALES Y AMBIENTALES DE LA REHABILITACIÓN	19
2.3.- BORDO O JAGÜEY	21
2.4 CONTAMINACIÓN DE JAGÜEYES	22
2.5 EUTROFIZACIÓN	24
2.6 EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LOS RECURSOS	25
2.6.1 Presión- Estado- Respuesta (PER)	26
2.6.2 Identificación de tensores.....	26
2.6.3 Evaluación del riesgo ecológico	27
2.7 PROTOCOLO DE EVALUACIÓN VISUAL.....	28
2.8 TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN DE RÍOS	28
2.9 TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN DEL PAISAJE	29
2.10 HUMEDALES	33
2.10.1 Humedales artificiales.....	34
2.10.1.1 Humedal de flujo libre superficial.....	35
2.10.1.2 Humedales de flujo subsuperficial.....	35
2.10.2 Elección de la vegetación en humedales artificiales.....	37
CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	40
3.1.- LOCALIZACIÓN	40
3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS	41
3.2.1.- Geología	41
3.2.2.- Suelos.....	41
3.2.3.- Clima	42
3.2.4.- Hidrología.....	42
3.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	43
3.3.1 Fauna silvestre	43
3.3.2- Uso de suelo y vegetación	45
3.4.- CONTEXTO DEMOGRÁFICO, ECONÓMICO Y SOCIAL	45
3.4.1 Contexto demográfico.....	45
3.4.2 Contexto económico.....	47
3.4.3 Servicios Públicos	48
3.4.3.1 Drenaje.....	48
3.5 TENENCIA DE LA TIERRA	49

CAPÍTULO 4 MARCO LEGAL	51
4.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	51
4.2 LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE	51
4.3 LEY DE AGUAS NACIONALES Y SU REGLAMENTO	52
4.4 LEY AGRARIA	52
4.5 NORMAS OFICIALES MEXICANAS	52
4.6 REGLAMENTO DE LA LEY DEL AGUA PARA EL ESTADO DE MÉXICO Y MUNICIPIOS	53
CAPÍTULO 5 MARCO METODOLÓGICO	55
5.1 - ENFOQUE.....	55
5.2.- MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	56
5.3 TÉCNICA	56
5.4 INSTRUMENTOS.....	57
5.4.1 <i>Protocolo de Evaluación Visual</i>	57
5.4.1.1 Aplicación	58
5.4.1.2 Adaptación.....	62
CAPÍTULO 6 DIAGNÓSTICO.....	64
6.1.- CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO	64
6.2 VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES.....	64
6.3.- CAMBIO DE USO DE SUELO	66
6.4 CONTAMINACIÓN Y REDUCCIÓN DEL ESPEJO DE AGUA.....	66
6.5 AFECTACIÓN A LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA	67
CAPÍTULO 7 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL PROTOCOLO DE EVALUACIÓN VISUAL.....	69
7.1 ALTERACIÓN HIDROLÓGICA.....	69
7.2- APARIENCIA DEL AGUA	70
7.3.- ENRIQUECIMIENTO DE NUTRIENTES	71
7.4 ALTERACIÓN DEL FLUJO DEL CANAL AL BORDO	72
7.5 CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO	74
7.6 DEPOSICIÓN DE SEDIMENTO	75
7.7 PRESENCIA DE BASURA	76
7.8 PRESENCIA DE ESTIÉRCOL	77
CAPÍTULO 8. PROPUESTA GENERAL DE REHABILITACIÓN	84
8.1 DISEÑO HIDRÁULICO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN HUMEDAL DE FLUJO LIBRE SUPERFICIAL	84
8.1.1 <i>Resultados</i>	87
8.2 CONSTRUCCIÓN.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96

Índice de tablas y figuras

TABLA1. ESTUDIOS, PROYECTOS Y PROGRAMAS REALIZADOS SOBRE JAGÜEYES	17
TABLA 2. COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FLUJO DE HUMEDAL.....	36
TABLA 3.- FAUNA SILVESTRE DEL MUNICIPIO DE ZINACANTEPEC.	43
TABLA 4. DINÁMICA POBLACIONAL DE SAN LORENZO CUAUHTENCO	46
TABLA 5. POBLACIÓN OCUPADA POR SECTOR DE ACTIVIDAD ECONÓMICA DEL EJIDO DE SAN LORENZO CUAUHTENCO.	47
TABLA 6. ABASTECIMIENTO DEL SERVICIO DE DRENAJE EN EL EJIDO DE SAN LORENZO CUAUHTENCO DE 1995 A 2010.	48
TABLA 7 SÍNTESIS DEL MARCO JURÍDICO.....	53
TABLA 8. CONDICIÓN DEL ÁREA EVALUADA	61
TABLA 9. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS/ HOJA DE DATOS DE CALIDAD DEL AGUA	77
TABLA 10. HOJA DE PUNTUACIÓN /DESCRIPCIÓN DE CRITERIOS.....	80
TABLA 11- CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AFLUENTE	88
TABLA 12. DATOS PARA EL DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL.	89
TABLA 13. VEGETACIÓN SUGERIDA	92

Figuras

FIGURA1. IDENTIFICACIÓN DE TENSORES.....	27
FIGURA 2. DESARROLLO DE PROYECTO DE GESTIÓN DEL PAISAJE.	30
FIGURA 3. FUNCIONES Y SERVICIOS AMBIENTALES QUE DESARROLLAN LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS Y LOS HUMEDALES.....	34
FIGURA 4. LOCALIZACIÓN DEL BORDO SANTA RITA	40
FIGURA 5. BORDO SANTA RITA	60
FIGURA 6. BORDO SANTA RITA 2017	67
FIGURA 7. BORDO SANTA RITA 2003.....	67
FIGURA 8. DIMENSIONAMIENTO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL	93
FIGURA 9. DIAGRAMA PROPUESTO DEL HUMEDAL DE FLUJO LIBRE SUPERFICIAL Y DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN	94

Gráficas

GRAFICA 1. CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO DEL EJIDO DE SAN LORENZO CUAUHTENCO.....	46
---	----

Fotografías

FOTOGRAFÍA 1. CANAL DE AGUAS RESIDUALES QUE ATRAVIESA EL BORDO	70
FOTOGRAFÍA 2. COMPUERTA ABIERTA.....	70
FOTOGRAFÍA 3. AGUA DE ASPECTO MUY TURBIO. NO ES POSIBLE APRECIAR EL FONDO.	71
FOTOGRAFÍA 4. TURBIDEZ CONSTANTE A LO LARGO DEL CANAL.	71
FOTOGRAFÍA 5. TULAR DE MÁS DE 2 METROS DE ALTURA.....	72
FOTOGRAFÍA 6. VEGETACIÓN ENRAIZADA FLOTANTE	72
FOTOGRAFÍA 7. CONSTRUCCIÓN DE UN HOSPITAL.....	73
FOTOGRAFÍA 8. CANAL OBSTRUIDO POR EL HOSPITAL Y LA UNIDAD DEPORTIVA	73
FOTOGRAFÍA 9. CONSTRUCCIÓN DE UNA UNIDAD DEPORTIVA.....	73
FOTOGRAFÍA 10. SE PUEDE OBSERVAR ARCILLA Y CRECIMIENTO DE VEGETACIÓN DONDE EL ÁREA DE INUNDACIÓN RECIENTEMENTE SE SECÓ.....	74
FOTOGRAFÍA 11. EL SUSTRATO DOMINANTE ES ARCILLA	74
FOTOGRAFÍA 12. GRAN ACUMULACIÓN DE TIERRA DENTRO DEL ÁREA DE INUNDACIÓN DEL BORDO.....	75
FOTOGRAFÍA 13. DEPOSICIÓN DE SEDIMENTOS A LA ORILLA DEL CANAL.....	75
FOTOGRAFÍA 14. BASURA QUEMADA DENTRO DEL BORDO.....	76
FOTOGRAFÍA 15. PIEZAS DE AUTOMÓVIL DENTRO DEL CANAL QUE ATRAVIESA EL BORDO	76
FOTOGRAFÍA 16. BASURA EN LA ZONA DEL TULAR.....	76
FOTOGRAFÍA 17. GANADO EN EL ÁREA DE INUNDACIÓN DEL BORDO.....	77
FOTOGRAFÍA 18. ESTIÉRCOL Y PISADAS DE ANIMALES A LAS ORILLAS DEL CANAL	77
FOTOGRAFÍA 19. DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES	77

ANEXO A- Cartografía

FIGURA 1. GEOLOGÍA	100
FIGURA 2. EDAFOLOGÍA	101
FIGURA 3. CLIMA.....	102
FIGURA 4. HIDROLOGÍA.....	103
FIGURA 5. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN.....	104
FIGURA 6. FAUNA SILVESTRE.....	105

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo general realizar una propuesta de rehabilitación para el bordo Santa Rita, un cuerpo de agua ubicado en el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, Estado de México. Para ello, se realizó una caracterización de los aspectos ambientales, sociales, económicos y demográficos del ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, utilizando como herramienta de evaluación de los aspectos ambientales el Protocolo de Evaluación Visual, el cual se adaptó a las características del bordo. De esta manera, se obtuvo un diagnóstico ambiental situacional que permitió identificar los factores que causan la degradación en el bordo. Una de las afectaciones más relevantes que pudieron identificarse fue el vertido de aguas residuales, por lo que se planteó la propuesta de un humedal artificial para su tratamiento, tomando en cuenta que el bordo cuenta con características físicas similares y una extensión apropiada para llevar a cabo la propuesta. En este sentido, se realizó el dimensionamiento básico del humedal de flujo superficial determinando el área superficial necesaria para degradar la carga orgánica expresada como DBO_5 . Asimismo, se realizó la preselección de la vegetación, uno de los elementos fundamentales de un humedal artificial. Como resultado las dimensiones obtenidas para un humedal artificial resultaron similares a las dimensiones reales del bordo Santa Rita. Con ello, se concluyó que la propuesta de rehabilitación del bordo Santa Rita a partir de un humedal artificial de flujo libre superficial es viable, pues resulta una alternativa de bajo costo para solucionar la situación del vertido de aguas residuales que, además mejorara las condiciones ecológicas locales y el paisaje, proporcionando las condiciones para albergar vida silvestre. Por último, se pudo establecer que la utilización del Protocolo de Evaluación Visual es un instrumento económico, fácil de usar y que facilita conocer el estado de salud del ecosistema bajo estudio, siendo efectivo no tan solo para su aplicación en ríos, además puede adaptarse a otros ecosistemas acuáticos epicontinentales.

Introducción

El ser humano, quien por mucho tiempo considero el agua como un recurso inagotable y que además se atribuye el poder de disponer de la naturaleza sin medida, ha llevado al deterioro del medio ambiente y los recursos naturales a través del tiempo.

Otros factores como el aumento poblacional, la economía y los avances tecnológicos de los últimos años han agravado aún más esta situación, ya que la creciente demanda de recursos para satisfacer las necesidades básicas de la población ha provocado pérdida de biodiversidad, destrucción de ecosistemas, deforestación, desertificación, erosión del suelo, contaminación del suelo, la atmósfera y el agua.

Los recursos hídricos en particular, se encuentran en una situación preocupante por la continua aparición de contaminantes que son vertidos a los cauces de los ríos y cuerpos de agua ya sea por su utilización en los sectores productivos: agricultura, industria y servicios o para uso doméstico, con graves afectaciones a la salud humana y el medio ambiente.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud la contaminación del agua provoca anualmente más de 502,000 muertes por diarrea, además de enfermedades como el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis, por mencionar algunas (OMS 2016).

A su vez, la degradación de cuerpos de agua también repercute significativamente en la economía, simplemente en 2014 según datos de INEGI, los costos ambientales derivados de las actividades económicas en México, tuvieron un costo de 74 mil 322 millones de pesos por contaminación del agua (Méndez y Cantillo 2015).

Es así que, en un cuerpo de agua degradado como es el caso del bordo Santa Rita resulta un obstáculo económico, social y ambiental por la dificultad que representa hacer uso de las tierras para cultivo, construcción o recreación debido al grado de alteración del cuerpo de agua que presenta eutrofización, malos olores, fauna nociva,

erosión, contaminación del agua y presencia de residuos sólidos urbanos, razón por la cual es difícil llevar a cabo cualquier actividad de aprovechamiento de los recursos.

Por otro lado, el crecimiento de la población en los últimos años es otro de los problemas que acelera la degradación del bordo y de todos los aspectos ya mencionados, de tal manera que, los pocos agricultores se ven limitados a la utilización del agua del bordo buscando otras alternativas para regar sus cultivos, o en el peor de los casos, a la utilización de las aguas negras del bordo.

Por esta razón la propuesta de rehabilitación del Bordo Santa Rita, que a continuación se presenta, surge como una inquietud por recuperar los pequeños cuerpos de agua contaminados para que vuelvan a ser utilizados, ya que como muchos otros cuerpos de agua, presenta un gran deterioro a causa de las actividades antropogénicas, y como consecuencia, afectaciones al medio ambiente, a las actividades productivas y a la calidad de vida de las personas, principalmente en las áreas que dependen de la disponibilidad del agua para el desarrollo de actividades primarias para autoconsumo.

Planteamiento del problema

México es un país con gran disponibilidad de agua, ubicándose entre los primeros treinta países con mayor reserva de agua del mundo (Boggiano 2013). Sin embargo, cerca del 70% de sus ríos, lagos, lagunas y otros cuerpos de agua presentan algún grado de contaminación, donde el 31 % se describe como extremadamente contaminado debido al vertido de cerca de 13 mil millones de metros cúbicos anuales de aguas residuales (Mendoza, 2014) y diversos contaminantes resultantes de las actividades económicas como: la agricultura, la industria o el uso humano en general aunado a cuestiones demográficas, disminuyendo la calidad del recurso haciéndolo cada vez más escaso y aumentando los costos por potabilización o traslado a las ciudades donde la demanda de agua es cada vez mayor.

Los bordos o jagüeyes, pequeños reservorios de agua utilizados desde la época prehispánica para almacenar agua y abastecer de este recurso a las comunidades, presentan también un gran deterioro debido a esta preocupante situación, lo que ha convertido a muchos de ellos en depósitos de aguas residuales, como es el caso del objeto de estudio de esta investigación, el bordo Santa Rita en el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, Estado de México.

Como solución a este problema, en México, el gobierno federal a través de la Conagua ha financiado Programas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento y Tratamiento de Aguas Residuales (SFP, 2016: 178-180), con inversiones de miles de millones de pesos en el periodo 2009 – 2016 cuyo propósito fue dar tratamiento al 57% de las aguas residuales municipales, sin embargo, los resultados no fueron los esperados pues, únicamente 34 de cada 100 municipios cuentan con el servicio de tratamiento de aguas residuales, sin contar las plantas tratadoras que han quedado obsoletas al haber rebasado sus años de vida útil (INEGI, 2017:1).

Por esta razón, existe la necesidad de buscar alternativas para solucionar el problema de contaminación que presentan los recursos hídricos en nuestro país, enfatizando la importancia de los pequeños reservorios de agua como bordos o jagüeyes para el abasto de agua. De esta manera, la rehabilitación a través del uso de sistemas de

tratamiento de aguas residuales naturales, de bajo impacto ambiental, mayor efectividad y bajo costo, resultan una alternativa para tratar este problema.

Justificación

Los jagüeyes o bordos son una técnica de captación de agua prehispánica muy interesante tanto por su funcionamiento como por la forma de organización social y el equilibrio entre la sociedad y el ambiente. Estas obras de captación de agua de lluvia contribuyen a mejorar las condiciones ecológicas locales al albergar una variedad de especies florísticas y faunísticas, la recarga de mantos acuíferos, y evitar inundaciones (Poças et al., citado en Palerm, Collado y Rodríguez 2010: 172).

No obstante, estas obras de captación se han visto afectadas en su funcionamiento debido a su abandono, causado por la incorporación de las comunidades a la red de agua potable. Esta incorporación ha provocado la pérdida de usuarios y con ello la pérdida de organización social, elemento fundamental para el mantenimiento de estas obras. De tal manera que muchos de estas obras están siendo utilizadas como depósito de aguas residuales y basureros por lo que las comunidades buscan deshacerse de ellos para extender los asentamientos humanos.

En este contexto, se busca rehabilitar los jagüeyes o bordos que fueron tan exitosos para almacenar y abastecer de agua a las comunidades en la antigüedad, no solo para que dejen de ser un obstáculo para las comunidades y vuelvan a ser una alternativa para satisfacer la demanda de agua en las actividades agrícolas y domésticas, principalmente para hacer posible que estos reservorios de agua recuperen el equilibrio ecológico y proporcionen nuevamente servicios ecosistémicos como la regulación del microclima, provisión de agua, recarga de mantos freáticos, albergue de la diversidad biológica, control de erosión y con ello, incentivar a las comunidades a cuidar y preservar los recursos naturales en torno a estos cuerpos de agua, así como el paisaje.

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar la propuesta de rehabilitación ambiental del bordo Santa Rita ubicado en el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, Estado de México.

Objetivos específicos

- Caracterizar el área de estudio, considerando los aspectos sociales, ambientales y económicos, más relevantes.
- Elaborar el diagnóstico ambiental situacional del área de estudio.
- Identificar y jerarquizar la problemática ambiental observada en el área de estudio.
- Elaborar la propuesta de rehabilitación ambiental del bordo Santa Rita.

Hipótesis

La adaptación de diferentes alternativas para mejorar la condición de los recursos naturales y el paisaje, basado en un diagnóstico ambiental situacional e identificación de problemáticas, permitirá desarrollar una propuesta de rehabilitación del bordo Santa Rita, ubicado en Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, Estado de México.

CAPÍTULO 1

Antecedentes

En este capítulo se hace una aproximación a los jagüeyes como sistemas de captación de agua desde épocas ancestrales, así como la importancia que tienen hoy en día y los proyectos de rehabilitación que se han hecho para preservarlos.

Capítulo 1 Antecedentes

El agua es parte preponderante del origen de la vida, ha sido un elemento tan importante que el hombre ha construido sus mitos, religiones y civilizaciones a partir de este recurso, que además se ha constituido como factor fundamental en el desarrollo político, social y económico de las comunidades.

El hombre ha aprovechado los ríos, como primera fuente de abastecimiento de agua, en cuyas orillas se establecieron las primeras civilizaciones. Una vez que las poblaciones crecieron se desarrollaron técnicas para la captación y almacenamiento de agua tanto superficial como pluvial, que permitieron transportar el vital recurso desde las zonas de abastecimiento hasta los centros de consumo, con el fin de satisfacer las necesidades domésticas y la actividad agrícola (Ballen, Galarza y Ortiz, 2006: 3)

Es así como diferentes formas de captación de agua se han desarrollado a través de la historia de las diferentes civilizaciones. Algunos de estos sistemas de agua de lluvia han sido descubiertos en lugares como Israel y Jordania con una antigüedad de más de 4,000 años, algunos otros en Yemen, Roma, China e Irán, así como Centroamérica en donde se encontraron sistemas de captación construidas por el Imperio Maya en Belice, Campeche y Yucatán (Ballen, et al. 2006: 3-4). Dichos sistemas tenían características similares y con pocas variaciones de acuerdo a su ubicación y uso, compuestos por una zona de captación, conducción y almacenamiento, además de un objetivo común: el almacenamiento de la escorrentía superficial para uso agrícola y doméstico (Abdulla & Al-Shareef citado en Palacio 2010: 16). Sin embargo, a partir de la desintegración de las civilizaciones, ya sea por invasiones o conquistas, estas obras se sustituyeron y en la mayoría de los casos se abandonaron.

En cuanto a los bordos o jagüeyes, sistemas de captación de agua pluvial utilizados en la época prehispánica (SAGARPA 2009:2), dichos cambios provocaron la pérdida de organización social que se tenía para operarlos, y con ello la exitosa producción agrícola.

Es así que, a causa de la dominación de los españoles sobre el pueblo indígena, surge un desconocimiento sobre el uso de los jagüeyes, lo cual se refuerza más tarde con la

Revolución, en cuyo proceso, muchas obras hidráulicas fueron abandonadas al desaparecer el sistema de dominación y propiedad territorial de las haciendas (Hernández y Herrerías 2003: 5-6).

En la actualidad la importancia de los jagüeyes ha disminuido al igual que su uso, ya que para muchas comunidades es más fácil abastecerse de agua a partir de la perforación de pozos para la explotación de los mantos acuíferos o de la introducción del sistema de agua potable (Galindo 2007:160).

Por esta razón son pocos los interesados en mantener estas obras de captación de agua en buen estado. Entre los usuarios potenciales se encuentran los pobladores de zonas rurales dedicados a la ganadería o a la agricultura donde el acceso al agua es limitado, ya sea por encontrarse en zonas desérticas y con pocas precipitaciones, o también en zonas donde ocurren precipitaciones, pero con ausencia de ríos, manantiales o cuerpos de agua superficial donde pudiera almacenarse el agua durante todo el año.

De esta manera los sistemas tradicionales de captación de agua como lo son los jagüeyes, representan una alternativa para enfrentar dicha escasez. Y de esta manera la rehabilitación resulta ser un camino viable para lograr recuperar las funciones de estas obras, así como la organización social.

Desde el punto de vista teórico hay algunas investigaciones que hablan sobre el origen, componentes y funcionamiento de los jagüeyes, también mediciones para conocer la calidad del agua con base en parámetros fisicoquímicos, otros estudios sobre limnología (ecosistemas acuáticos continentales) y contaminación en jagüeyes, la variación de componentes en el fitoplancton (microorganismos vegetales), así como estudios sobre la organización social para su uso y mantenimiento.

En México específicamente, se habla de rehabilitación de bordos o jagüeyes en proyectos de diferentes municipios a nivel nacional enfocados a desazolvar los cuerpos de agua, con el fin de aumentar su capacidad de almacenamiento y mejorar la productividad del sector agropecuario.

En la Tabla 1 se muestran algunos de los estudios, proyectos y programas que se han hecho sobre jagüeyes a nivel internacional, nacional y Estado de México.

Tabla1. Estudios, proyectos y programas realizados sobre jagüeyes

Inter-Nacional	INDIA	ECUADOR		COLOMBIA
	Restaurando presas tradicionales, captando lluvia y rellenando aguas subterráneas.	1.- Servicios ecosistémicos de las albardas en la península de Santa Elena, Ecuador. 2.- Campos de camellones y jagüeyes en Ecuador: una visión integral desde la arqueología al presente socioambiental		1.- Caracterización físico-química y microbiológica de las aguas de reservorios en los resguardos indígenas... 2.- Jagüeyes comunitarios como un sistema ambiental antrópico y la importancia de su gestión. 3.- Jagüeyes: ecosistemas lentos y antrópicos como alternativa para la conservación de <i>Caiman crocodilus fuscus</i> ...
Nacional	HIDALGO	MORELOS	GUERRERO	AGUAS CALIENTES, QUERETARO, SONORA Y SAN LUIS POTOSI
	1.- Tecnología hidráulica y acciones comunitarias para la captación de agua de lluvia en jagüeyes. 2.- Organización social para el manejo y uso de jagüeyes.	Los jagüeyes en la región de los altos centrales de Morelos.	Variación de componentes fitoplanctónicos en un bordo temporal utilizado para acuicultura extensiva...	Programas impulsados por los municipios para la construcción y rehabilitación de jagüeyes para beneficio del sector agropecuario con la participación del gobierno, la iniciativa privada y las comunidades.
Estado de México	SAGARPA y SEDAGRO			
	<p>- Proyecto estratégico: “Construcción de pequeñas obras hidráulicas” en el marco del componente de conservación y uso sustentable de suelo y agua, del programa de uso sustentable de recursos naturales para la producción primaria.</p> <p>- Programa integral de infraestructura rural, componente: acciones prioritarias hidroagrícolas...para la rehabilitación de infraestructura de captación, conducción, almacenamiento y aplicación de agua de distintos usos del sector.</p>			

Fuente: Elaboración propia con base en estudios, proyectos y programas realizados sobre jagüeyes a nivel internacional, nacional y Estado de México.

CAPÍTULO 2

Marco conceptual

En este apartado se definen los conceptos básicos sobre los que se basa el presente estudio, partiendo de los conceptos de *rehabilitación* y restauración, los bordos o jagüeyes, la organización social en torno a ellos, las diferentes técnicas de restauración y evaluación del estado de los recursos naturales, así como los humedales artificiales, los tipos de humedales, su funcionamiento y la mejora en los procesos ecológicos de los ecosistemas por su desempeño en el tratamiento de aguas residuales.

Capítulo 2 Marco conceptual

2.1 Rehabilitación y restauración

La **rehabilitación** pretende recuperar las funciones que desempeñaba el ecosistema degradado, sin que necesariamente se devuelva al estado original anterior a la degradación, es decir, el objetivo de la rehabilitación no es que el ecosistema vuelva a tener las mismas condiciones que tenía inicialmente, pero si pretende que el sitio dañado recupere su estabilidad, que sea productivo y autosuficiente, que vuelva a desempeñar una función (aunque no sea la misma) y que se considere el uso futuro de la tierra (EPA 2006: 33).

Por el contrario, en la **restauración** se busca devolver completamente las condiciones de los ecosistemas preexistentes a su estado original antes de haber sido afectados (Magdaleno 2008:2). Sin embargo, es difícil lograr una restauración total pues no es posible conocer las condiciones originales de un ecosistema por los cambios que sufren los suelos, la hidrología, las formas de relieve, etc., es por ello que la restauración es un objetivo aspiracional que no es totalmente alcanzable en la mayoría de los casos (EPA, 2006:5).

Debido a lo anterior, el concepto utilizado para el presente estudio es el concepto de *rehabilitación* porque el cuerpo de agua es artificial, y restaurarlo no es aplicable pues implicaría que el origen del cuerpo de agua fuera natural para devolverlo a su estado inicial.

2.2 Beneficios sociales y ambientales de la rehabilitación

Los problemas que se presentan actualmente por la tendencia destructiva del ser humano hacia la naturaleza y que ha provocado el desequilibrio de los ecosistemas, amenazan la existencia de los seres vivos (incluyendo al ser humano) tanto en el presente como para las generaciones futuras. Por esta razón, es importante considerar acciones que contrarresten dichos problemas, como el desarrollo de proyectos para la rehabilitación de los recursos naturales.

Camino (1986:11-12) señala que, los proyectos de conservación y rehabilitación de los recursos naturales en las comunidades disminuyen los efectos negativos del mal uso de los recursos, obteniendo beneficios tales como:

- La disminución considerable de la erosión, así como del deterioro del agua y suelo.
- Se evitan problemas de salud por la contaminación de las aguas.
- Se evita disminuir la vida útil de los reservorios de agua.
- Se disminuyen los costos para prevenir inundaciones.
- Se minimizan costos de tratamiento de agua para el consumo humano.

Asimismo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en el informe titulado: *“Planeta muerto, planeta vivo - Diversidad biológica y restauración de ecosistemas para el desarrollo sostenible”*, señala que la reparación y rehabilitación de los ecosistemas no solo tiene beneficios ambientales, sino que también aporta beneficios sociales como proporcionar seguridad alimentaria, el combate a la pobreza mediante la generación de empleos, teniendo en cuenta que hay 1,300 millones de personas desempleadas o subempleadas en el mundo, promoviendo el desarrollo económico, además de apoyar a los objetivos internacionales de reducir la pérdida de biodiversidad (UNEP 2010).

La rehabilitación en cuerpos de agua como los bordos o jagüeyes contribuye a que estos reservorios de agua sigan proporcionando servicios ecosistémicos, alimento y refugio a especies faunísticas locales y migratorias, a la conservación de especies vegetales, a la recarga de mantos acuíferos y la conservación del suelo, además de brindar beneficios paisajísticos al generar ambientes agradables que embellecen el paisaje y hace posible la recreación y el desarrollo local.

Es por ello que rehabilitar se vuelve una necesidad para aquellas comunidades que buscan recuperar cuerpos de agua contaminados que han perdido su funcionamiento, y que además representan un obstáculo económico y ambiental, el cual, si se atiende adecuadamente puede volver a albergar un sistema ecológico autosuficiente.

2.3.- Bordo o Jagüey

De acuerdo con algunos autores (Palerm y Sánchez 2002: 3), los bordos o jagüeyes pertenecen a una técnica hidráulica utilizada en el viejo mundo llamada entarquinamiento que consistía en la canalización de aguas torrenciales a depósitos artificiales, los cuales cumplían la función de capturar el agua para dotar de humedad y fertilidad al suelo, además de abastecer de agua a la población.

En relación a esta técnica, otros autores señalan que desde hace más de tres siglos en algunos países de América Latina y el Caribe ya se tenía registro del uso de los sistemas de captación de agua de lluvia, los cuales eran muy comunes en ranchos y ejidos, principalmente en las haciendas y conventos (Anaya, 1998: 3).

Una unidad social propia de la sociedad mexicana, los calpulli, a partir del conocimiento adquirido sobre el sistema de irrigación, construyeron acequias (canal para la conducción del agua de riego) a las que llamaban “apantli” y al almacenamiento del agua en albercas “tlaquilacaxitl”, técnica que más tarde fue llamada por los españoles como jagüeyes.

Dentro de la terminología prehispánica para nombrar a la tecnología hidráulica utilizada en la captación y almacenamiento del agua de lluvia podemos encontrar que:

“Los vocablos jagüey o estanque eran denominados como amanalli, que se traduce como alberca o estanque de agua y tienen su raíz en mana que es, poner, colocar, detener. Y también como atecohtli y atactli que tienen las raíces en tecochtli, que quiere decir sepultura, fosa, hoyo, cavidad, barranca, y tataca que se interpreta como rasca o cavar la tierra” (Galindo, Palerm, Tovar y Rodarte, 2008, 21).

En Ecuador, esta técnica conocida como “jagüey” o “bordo” es también conocida como “albarradas”, y como “cochas” desde el sur de Ecuador hasta el norte argentino (Gómez citado en Marcos y Álvarez 2016, 24).

Esta técnica consistía en bordos de tierra compactada alrededor de los cuales se formaban un conjunto de casas para aprovechar el agua almacenada proveniente de

los escurrimientos de los cerros, la cual era utilizada para satisfacer las necesidades básicas de la población, así como para abrevar a los animales.

Para la conservación de los jagüeyes, un aspecto muy importante fue la organización colectiva, ya que cada año en temporada de estiaje las familias se organizaban para realizar el mantenimiento y aumentar año con año su capacidad de almacenamiento (Hernández y Herrerías 2003: 138).

De acuerdo con Valverde y Marcos citado en Marcos y Álvarez (2016, 26), este tipo de técnicas hidráulicas proporcionan beneficios ambientales, económicos y sociales, contribuyendo a la estabilización del microclima, sirven como hábitat para proteger a especies amenazadas, tienen una alta tasa de productividad por unidad de tierra y garantizan la disponibilidad de agua en temporadas secas proporcionando un mejor servicio de agua en comparación con las de fuentes de agua dulce comercializadas.

De acuerdo con CONAGUA (2009), los bordos o jagüeyes fueron obras hidráulicas muy comunes en Mesoamérica, especialmente en zonas áridas y semiáridas con un bajo nivel freático. Son considerados entre las primeras manifestaciones de ingeniería en cuanto a obras hidráulicas construidas por los antepasados indígenas en las épocas prehispánica y colonial (Vega 2010).

2.4 Contaminación de jagüeyes

La contaminación del agua no es algo reciente, de hecho, las antiguas civilizaciones utilizaban los drenajes naturales como vertederos en los que arrojaban los residuos producto de sus actividades. Pero es a partir de la revolución industrial que las fuentes de agua como ríos, además de ser fuentes de abastecimiento de agua para el uso doméstico y agrícola, se convierten en fuentes principales para abastecer a la producción industrial, y a su vez en receptores de aguas residuales repletos de productos químicos, metales pesados y toda clase de contaminantes que en consecuencia alteraron el equilibrio en los ecosistemas, empeoraron la calidad del agua y se convirtieron en una amenaza para la salud pública. Es así como la contaminación del agua se ha extendido convirtiéndose en un problema de clase mundial.

La Real Academia Española define la palabra contaminación como: “alterar nocivamente la pureza o las condiciones normales de una cosa o un medio por agentes químicos o físicos”.

En el caso específico del medio ambiente, se define la contaminación ambiental como:

“La introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energía en ambientes o sustratos a los que no pertenecen o en cantidades superiores a las propias de dichos sustratos, por un tiempo suficiente, y bajo condiciones tales, que esas sustancias intervienen con la salud y la comodidad de las personas, dañan los recursos naturales o alteran el equilibrio ecológico de la zona” (Albert 1995, 38).

Es decir, se trata de la introducción de agentes ajenos al sitio que al concentrarse en grandes cantidades provocan daños y modificaciones a los ecosistemas.

La contaminación ambiental se puede clasificar de diversas maneras, conforme a los intereses del presente estudio se adoptó la clasificación de Peñaloza (2012) dentro de la cual se considera a la contaminación del agua, definida por el mismo como:

“La alteración de sus características naturales principalmente producida por la actividad humana que la hace total o parcialmente inadecuada para el consumo humano o como soporte vital de plantas y animales”.

Dentro de las principales causas de la contaminación del agua se encuentran las ocasionadas por la acción del hombre y se dividen en cuatro principales: la industria, los vertidos urbanos, la navegación, la agricultura y ganadería (Echarri 1998, 502).

Estos a su vez generan un deterioro en las aguas que pueden ser de tres tipos, de acuerdo con Martínez (2000, 30-31):

- Físico (por la presencia de partículas en suspensión);

- biológico (por la presencia de microorganismos que afecten a la salud humana) y
- químico (por la presencia de sustancias químicas que resulten tóxicas para el ser humano).

En los jagüeyes, la contaminación en el agua y el entorno es de tipo antrópico, causada por factores como el crecimiento demográfico y la expansión de la mancha urbana que convierten los cursos de agua que alimentan a los jagüeyes en receptores de aguas residuales que vienen acompañadas de residuos sólidos y líquidos.

Por otro lado, un fenómeno común en cuerpos de agua lénticos (aguas estancadas) es la eutrofización, un enriquecimiento excesivo de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno que aceleran el crecimiento de las plantas ocasionando la disminución del oxígeno presente en el agua lo cual hace imposible la supervivencia de otros organismos.

En el caso específico de los jagüeyes, la eutrofización puede convertirse en un grave problema de contaminación ya que estos tienen el objetivo de abastecer de agua a los campos agrícolas y dar de beber el ganado, por lo que suelen estar expuestos a recibir las descargas de aguas residuales cargadas de nitratos y fosfatos procedentes de fertilizantes utilizados en la agricultura y, además, los nutrientes que aportan los excrementos del ganado que también contribuyen a este fenómeno.

2.5 Eutrofización

Aunque la eutrofización es un proceso natural también ocurre de manera antropogénica, siendo así suele desarrollarse de manera acelerada. Consiste en el incremento descontrolado del aporte de nutrientes a un cuerpo de agua, que aceleran el crecimiento de la microflora formando capas de color verde sobre la superficie que impide el paso de la luz. Las bacterias que descomponen este exceso de microflora consumen el oxígeno disuelto del agua disminuyendo la posibilidad de respirar a los organismos vivos de las capas inferiores, provocando la muerte de la mayoría de los organismos acuáticos. Si el aporte de nutrientes continua y se agota por completo el contenido de oxígeno, son las bacterias anaerobias las que continúan con la

descomposición, sin embargo, son también estas bacterias responsables de generar malos olores al producir sustancias como el metano y el amoniaco (UCM, 2006).

Los nutrientes que más influyen en este fenómeno, son el nitrógeno y el fosforo, por lo que se denominan macronutrientes por su fuerte influencia en el desarrollo de los microorganismos.

El comportamiento del nitrógeno suele ser más móvil que el fósforo debido al ciclo del nitrógeno el cual está controlado en gran parte por bacterias, haciendo que dependa de factores como la humedad del suelo, la temperatura, el pH, entre otros, por lo que puede ser lavado a través del suelo, saltar al aire por evaporación del amoniaco o por desnitrificación. En el caso del fosforo, su comportamiento es más sencillo, suele adherirse a los materiales arcillosos y ser transportado como producto de erosión. Además, al ser accesible a las plantas acuáticas, es fácilmente absorbido por las mismas (Vásquez, et.al., 2012: 115).

Los cuerpos receptores, en específico los de tipo lenticos (aguas estancadas) presentan mayor riesgo de eutrofización por acumulación de macronutrientes al recibir las descargas de aguas residuales que se producen durante las actividades productivas, como la agricultura.

Ongley (1997, 41) señala que, la agricultura es uno de los factores principales de eutrofización de las aguas superficiales debido a la utilización de fertilizantes que son esparcidos de manera excesiva en los cultivos, los cuales son arrastrados por los cursos de agua hacia embalses que reciben las cargas de fosforo y nitrógeno contenido en los fertilizantes, contaminando y alterando la cadena trófica de los cuerpos de agua.

2.6 Evaluación del estado de los recursos

Para identificar los elementos que están generando una afectación en el ambiente como la contaminación de un cuerpo de agua, existen técnicas que permiten evaluar el estado de los recursos para conocer su situación actual y tomar medidas o acciones que minimicen la causa del deterioro.

2.6.1 Presión- Estado- Respuesta (PER)

El modelo presión- estado- respuesta se basa en una lógica de causa-efecto en el cual se organiza la información correspondiente a aquellas acciones derivadas de las actividades del ser humano que estén causando una afectación en el ambiente (Presión), la alteración ocasionada en cuanto a cantidad y calidad en el ambiente derivados de dicha afectación (Estado) y las acciones correspondientes para mitigar los daños (Respuesta) (OECD 1993; citado en Chirino, Abad y Bellot 2008:108).

2.6.2 Identificación de tensores

De acuerdo con Díaz, Bustos y Espinosa (2004, 108), se entiende como tensor:

“...cualquier sustancia química, factor físico o biológico que pueda inducir efectos adversos sobre los componentes bióticos del ecosistema (individuos, poblaciones o comunidades”

Con base en la guía de identificación de tensores de la EPA (2000, 1-1-4-18) es importante llevar a cabo los siguientes pasos:

- Desarrollar una lista de los candidatos, causas o factores de estrés a través de la recopilación y descripción de información sobre las causas potenciales y la relación con los posibles efectos.
- Analizar la información relacionada con cada una de las causas ya identificadas organizando los datos en términos de asociaciones para poder refutar hipótesis causales.
- Caracterizar las causas mediante el uso de las pruebas analizadas para llegar a una conclusión, así como los niveles de confianza en la conclusión, por lo que es necesario incluir una descripción de los efectos, las causas y la evidencia de causalidad. Para caracterizar las causas pueden utilizarse tres diferentes métodos: eliminación de alternativas, usando protocolos de diagnóstico y la fuerza de la evidencia que apoya la causa de cada candidato.

Los pasos para la identificación de tenses se ilustran en el siguiente diagrama de la Figura 1.

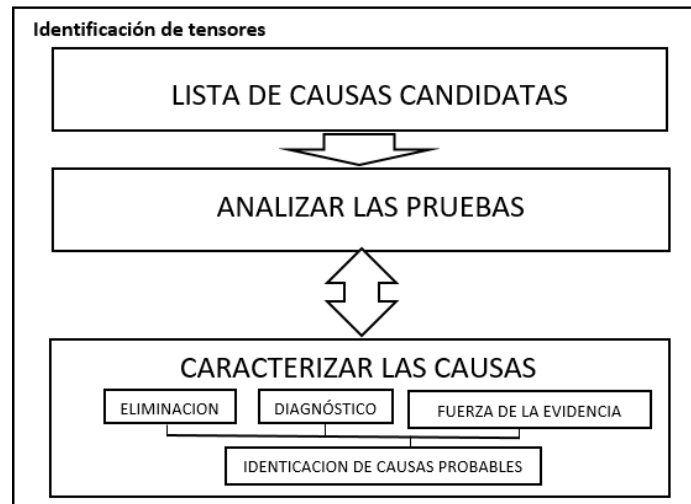


Figura1. Identificación de tenses (Fuente: EPA 2000, 1-4)

2.6.3 Evaluación del riesgo ecológico

La evaluación del riesgo ecológico es una herramienta para la toma de decisiones enfocadas a la protección del medio ambiente que permite valorar cualitativa y/o cuantitativamente los efectos reales o potenciales ocasionados por la presencia de residuos peligrosos en los ecosistemas, pudiendo establecer la probabilidad de la existencia de efectos adversos a consecuencia de la exposición a tenses relacionados a las actividades humanas (Díaz et.al., 2004:108).

De esta forma, la evaluación del riesgo ecológico comprende las siguientes actividades:

- Formulación del problema.
- Evaluación de la exposición.
- Evaluación de efectos ecológicos.
- Caracterización del riesgo.
- Descripción e interpretación del riesgo ecológico.

La evaluación del riesgo ecológico es una herramienta tan completa que permite desde organizar y analizar los datos de un sitio degradado, hasta generar información para determinar parámetros y aplicar modelos con los cuales sea posible medir el riesgo y así poder establecer medidas para remediar y/o mitigar el daño (Pineda 2011: 69).

2.7 Protocolo de Evaluación Visual

De acuerdo con USDA (1998), el Protocolo de Evaluación Visual (SVAP por sus siglas en inglés) se desarrolló en EUA en el año 1996 por un grupo de trabajo de evaluación acuática. Se trata de una herramienta relativamente fácil y rápida de aplicación para evaluar cualitativamente la condición de los ecosistemas acuáticos, ya que es adaptable a la situación socio-ambiental del área de estudio y para aplicarlo no es necesario ser un especialista y además resulta ser una alternativa económica.

El protocolo consiste en la evaluación de 15 elementos físicos: condición del canal, alteración hidrológica, zona ribereña, estabilidad de los bancos, apariencia del agua, enriquecimiento de nutrientes, barreras para el movimiento de peces, cubierta de peces, estanques, hábitat de invertebrados, cubierta de dosel, presencia de estiércol, salinidad, porcentaje de incrustamiento y macroinvertebrados observados.

Es importante señalar que no todos los elementos tienen que ser evaluados necesariamente, ya que los ecosistemas varían según la región, por lo que no todos aplican al área a evaluar.

2.8 Técnicas de restauración de ríos

De acuerdo con González, Sánchez, Aparicio y Saiz (2011: 245-250), como herramienta para la restauración de ríos, la bioingeniería conforma distintas técnicas de bajo impacto a partir del uso conjunto de materiales naturales y sintéticos aprovechando, además, las condiciones y recursos naturales del sitio para estabilizar los márgenes de los ríos. Algunas de estas técnicas son:

a) Plantación de especies nativas

Consiste en la plantación de especies propias del lugar para generar un estrato vegetal que proteja la ribera del flujo del río

b) Geomalla

Estructura utilizada para evitar la erosión superficial del suelo hecha de materiales sintéticos y/o biodegradables.

c) Estaquillado

Introducción de estaquillas en el suelo con el propósito de que se desarrolle una planta adulta con una raíz que brinde estabilidad al suelo.

d) Gavionado cilíndrico

Utilizada para evitar el proceso de erosión, es una estructura cilíndrica de malla y rellena de piedras del lugar.

2.9 Técnicas de recuperación del paisaje

El Convenio Europeo del Paisaje (CEI) citado por Busquets y Cortina (2009,3) define paisaje como:

“Cualquier parte del territorio tal como lo percibe la población, cuyo carácter sea el resultado de la acción y la interacción de factores naturales y/o humanos”

Debido a la inquietud social ante la acelerada modificación del paisaje asociada al crecimiento económico, se ha buscado una solución para proteger este bien escaso y tan vulnerable optando por implementar técnicas que permitan mejorar y mantener estos espacios contribuyendo a mejorar la calidad de vida de las personas.

a) Gestión del Paisaje

Busquets y Cortina (2009,6), consideran la Gestión del Paisaje como una técnica profesional que promueve la valorización del paisaje, el desarrollo sostenible y la calidad de vida de las personas, y que, además, considera la opinión de la ciudadanía. En la Figura 2 se muestran las fases para la utilización de dicha técnica mediante el desarrollo de un proyecto de Gestión del Paisaje:

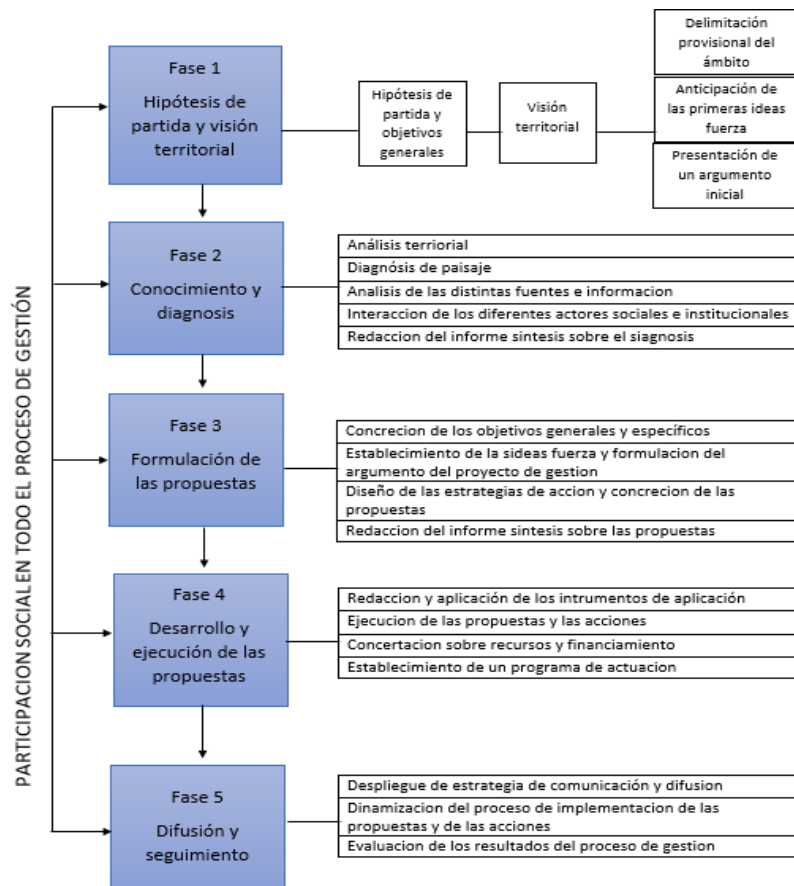


Figura 2. Desarrollo de proyecto de Gestión del Paisaje (Fuente: Busquets y Cortina 2009, 10).

Las siguientes técnicas de recuperación del paisaje descritas por Morera et al. (2016: 110-118) en el Manual de técnicas para la restauración funcional del paisaje, sugieren su implementación para la restauración de humedales, sin embargo, son también

aplicables a otros ecosistemas lénticos (aguas estancadas) como lagos, lagunas, pantanos o jagüeyes para el caso de estudio.

b) Recuperación del régimen hídrico

El régimen hídrico de ecosistemas lénticos, así como su área de influencia pueden verse seriamente afectados por la construcción de obras de conducción y drenado, provocando alteraciones en los procesos ecológicos naturales de dichos ecosistemas ya que estos, en conjunto, impiden o extraen el flujo de agua requerido para el cuerpo de agua. Por ello es necesario realizar las siguientes acciones:

- Mantenimiento y reconstrucción del espejo de agua:
- Demolición de obras existentes
- Control de sistemas de drenado
- Control de arrastre de residuos solidos
- Reconfiguración morfológica del vaso

c) Control de especies invasoras

Las especies invasoras son animales, plantas u organismos que se desplazan fuera de sus hábitats y que por su capacidad adaptativa suelen ser más dominantes que las especies nativas representando una amenaza, ya que provocan pérdida de biodiversidad e inestabilidad ecológica. Las técnicas de remoción de especies invasoras son las siguientes:

- Método manual de erradicación de especies invasoras.
- Método mecanizado.

d) Acciones de restauración de la vegetación en la zona de influencia directa.

Es necesario realizar previamente un diagnóstico que permita conocer las especies vegetales, así como la extensión de la cobertura vegetal tanto acuática como semiacuática y las interacciones entre la vegetación y la fauna endémica y transitoria para que de esta manera se pueda llevar a cabo una selección de especies que vayan de acuerdo a las metas de intervención de la cobertura vegetal.

1. Restauración

Las zonas de influencia directa funcionan como áreas de protección donde es importante la presencia de vegetación boscosa, por lo que la restauración es importante para devolver este atributo que encamine nuevamente al ecosistema a cumplir con su papel como protector del agua, suelo y biodiversidad.

- Selección de especies en la propuesta de restauración ecológica
- Establecimiento en campo

2. Rehabilitación

La rehabilitación no solo permite recuperar algunos de los atributos ecológicos y la regeneración de la cobertura vegetal, además favorece el establecimiento de proyectos e introducción de vegetación que genere beneficios económicos que favorezca a la población, sin dejar de lado la no introducción de especies que provoquen alteraciones en el ecosistema.

- Selección de especies y medios de producción
- Establecimiento en campo

e) Diseños de siembra para la restauración ecológica y la rehabilitación

Los diseños de siembra pueden elegirse conforme a las curvas de nivel para facilitar el control de la erosión y la escorrentía superficial. Asimismo, la cantidad de especies utilizadas será de acuerdo al tipo de técnica, ya sea en patrones cuadrados, rectangulares, tresbolillo o siembras en contorno.

2.10 Humedales

Los humedales son considerados unos de los entornos más productivos del mundo, por ser cuna de diversidad biológica, fuente de agua y de productividad primaria para las innumerables especies que dependen de ello para subsistir (RAMSAR 2014).

En el aspecto social y económico, los humedales ofrecen múltiples beneficios que contribuyen a satisfacer una amplia gama de necesidades y objetivos a través de los servicios ambientales que brindan como: el suministro de agua dulce, agua para la seguridad alimentaria, reciclaje de nutrientes, recarga de aguas subterráneas, control de erosión, transporte de sedimentos, recreación y turismo, valores culturales y seguridad laboral, además de ayudar a mitigar el impacto de las tormentas y regular las crecidas (Ten, et.al. 2013: 4-5).

De acuerdo con Pérez y Rojo (2000,115), los humedales también fungen como depuradores naturales de contaminantes (véase la Figura 3), cuya capacidad de remoción se basa en dos mecanismos principales:

1. La utilización de los nutrientes disueltos en el agua por los productores primarios (macrófitas y microorganismos).
2. la sedimentación de las partículas que lleva el agua, al atravesar lentamente amplias superficies.

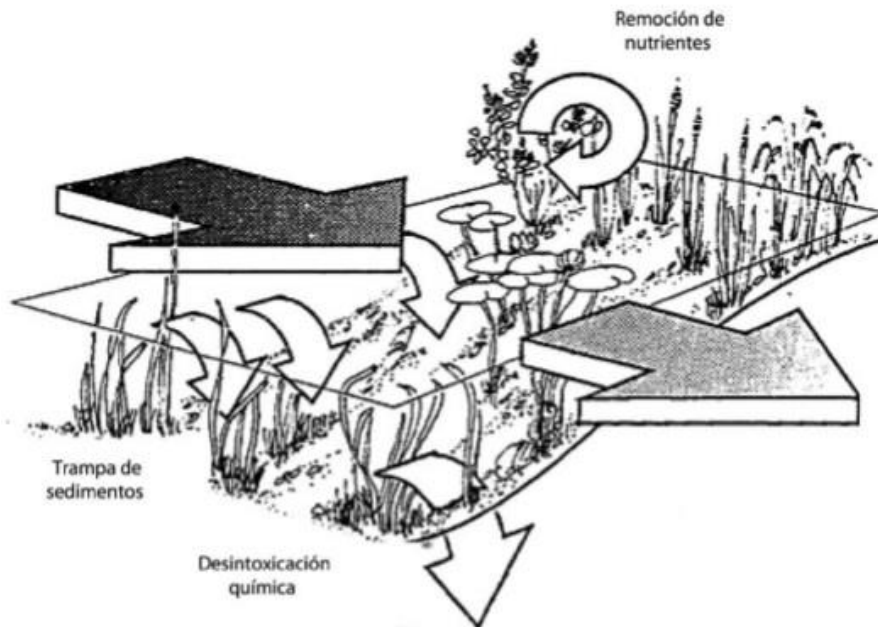


Figura 3. Funciones y servicios ambientales que desarrollan los ecosistemas acuáticos y los humedales (Fuente: Lynn 1988; citado en Cervantes 2007, 52)

2.10.1 Humedales artificiales

Reija (2003) define a los humedales artificiales como zonas construidas por el hombre que tienen como finalidad reproducir los mecanismos de eliminación de contaminantes de un humedal natural para el tratamiento de aguas residuales.

Entre sus principales componentes están:

- El sustrato: sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes.
- La vegetación (macrófitas): contribuye a la oxigenación del sustrato y a la eliminación de nutrientes.
- El agua a tratar: circula a través del sustrato y de la vegetación.

Según Londoño y Marín (2009: 27-31), los mecanismos de remoción en humedales artificiales son:

- Remoción de Compuestos orgánicos
- Remoción de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)
- Remoción de Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Remoción de Nitrógeno
- Remoción de Fósforo
- Remoción de metales pesados

Asimismo, existen varios tipos de humedales construidos que se diferencian según el sistema de circulación de agua: los de flujo libre superficial, los de flujo subsuperficial y sistemas híbridos (US EPA 2000, 18). Para el presente estudio solo se analizarán los más comunes que se describen a continuación.

2.10.1.1 Humedal de flujo libre superficial

Son sistemas de apariencia similar a los humedales naturales donde el flujo de agua se da de manera horizontal superficial. Generalmente la profundidad de estos sistemas va desde los 30 cm hasta 1 m y se diseñan a modo de estanque o canal, con un recubrimiento de material impermeable, y con alternancia de áreas con y sin vegetación, en donde el agua residual es canalizada desde un punto de entrada hasta un punto de descarga, con una predominancia de macrófitas (plantas acuáticas) emergentes (Fernández 2000: 80-81).

2.10.1.2 Humedales de flujo subsuperficial

A diferencia de los humedales de flujo libre superficial, en estos sistemas el flujo de agua discurre de forma subterránea fluyendo a través del medio filtrante (típicamente grava), alrededor de los tallos y rizomas de las plantas, esto favorece la depuración de altas cargas de contaminantes al mantener su temperatura constante ya que el agua no se expone al ambiente (Montiel 2014: 14-16).

Según el sentido de circulación del agua se distinguen dos tipos de humedales de flujo subsuperficial: los de flujo horizontal y los de flujo vertical.

En la Tabla 2 se muestra una comparación de las características de cada sistema.

Tabla 2. Comparación de los sistemas de flujo de humedal.

	FLUJO LIBRE SUPERFICIAL	FLUJO SUBSUPERFICIAL
OPERACIÓN	Opera con baja carga orgánica	Opera con altas cargas orgánicas.
OLOR	Puede ser controlado	No existe
PROTECCIÓN TÉRMICA	Mala, bajas temperaturas afectan el proceso del tratamiento	Buena. (Por acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura constante).
ÁREA	Superficie de mayor tamaño.	Superficie de menor tamaño.
COSTO	Menor costo en relación al subsuperficial.	Mayor costo debido al medio granular que puede incrementar su precio hasta en un 30% en comparación con el superficial.
VALOR ECOSISTEMA	Mayor vida salvaje, agua accesible a la fauna.	Agua difícilmente accesible a la fauna
USOS GENERALES	Son de restauración y de creación de nuevos ecosistemas y recreación pública.	Tratamientos de aguas residuales de poblaciones menor a 200 habitantes.

Fuente: Delgadillo 2010; citado en Moncada 2016, 20-21.

En este sentido, los humedales artificiales en general, son una alternativa mucho más viable y sustentable en comparación con los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales por su efectividad y bajo costo, y siendo una reproducción de los humedales naturales, no causan perturbaciones al ambiente ya que no generan subproductos nocivos. Además, el diseño de los humedales artificiales permite mantener e incrementar la estética del paisaje y proporciona condiciones para el desarrollo y la preservación de la vida silvestre (Luna y Aburto 2014: 34).

2.10.2 Elección de la vegetación en humedales artificiales

Las especies vegetales que se desarrollan en los humedales son usualmente denominadas como macrófitas las cuales, además de funcionar como tratadoras biológicas de aguas residuales, también proporciona alimento y refugio a las aves y diferentes formas de vida acuática e incrementa del valor paisajístico.

La vegetación acuática por sus características morfológicas y fisiológicas se clasifican en enraizadas y flotantes. En la construcción de humedales artificiales, las de tipo enraizada son las más comunes, estas a su vez se dividen en tres grupos: emergentes, flotantes y sumergidas (Pérez 2009: 7)

1. Emergentes: son plantas con raíces fijadas al fondo con una gran capacidad de crecimiento, lo cual permite que puedan realizar mejor el proceso de fotosíntesis.
2. Flotantes: son plantas que se mantienen en la superficie del espejo de agua y se dividen en flotantes enraizadas y flotantes libres, su productividad es mucho mayor que la de las plantas emergentes.
3. Sumergidas: son plantas que se desarrollan dentro del agua, su productividad suele ser menor que los otros dos tipos debido a la baja intensidad de luz.

De acuerdo con Roig (2011: 39), los criterios a considerar para la elección de la vegetación son los siguientes:

- Selección de plantas que estén adaptadas al clima de la zona en la que se va a realizar el proyecto. Las especies locales resultan las más adecuadas.
- Las especies seleccionadas deben ser tolerantes a los contaminantes del agua a tratar.
- De fácil propagación
- Deben ser especies de gran crecimiento, con el fin de que alcancen la mayor biomasa posible para una mayor asimilación de nutrientes.
- Además, deben poseer un sistema de aporte de oxígeno hacia las raíces que facilite los procesos aeróbicos.

La presencia de la vegetación en estos sistemas es un factor fundamental para obtener óptimos rendimientos en el tratamiento de aguas residuales, ya que gran parte del tratamiento se basa en las actuaciones que estas desempeñan (Seoánez 1999: 201).

CAPÍTULO 3

Descripción del área de estudio

En este capítulo se hace una caracterización del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco partiendo desde su localización, las características físico-geográficas y biológicas; y el contexto demográfico, económico y social, con el fin de comprender de qué manera influyen estos factores sobre el Bordo Santa Rita.

Capítulo 3 Descripción del área de estudio.

3.1.- Localización

El Bordo Santa Rita se ubica al sur del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco en el municipio de Zinacantepec, tal como se muestra en la Figura 4, con una extensión de 6 hectáreas.

De acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Zinacantepec (2013), el municipio se ubica geográficamente en las coordenadas 19°19'56" latitud norte y 19°03'52" latitud sur, en las longitudes 99°41'47" este y 99°54'15" oeste, a una altitud de 3600 msnm. Colinda con los municipios de Almoloya de Juárez al norte, con Coatepec Harinas al sur, con Toluca al este y con Temascaltepec y Amanalco al oeste.

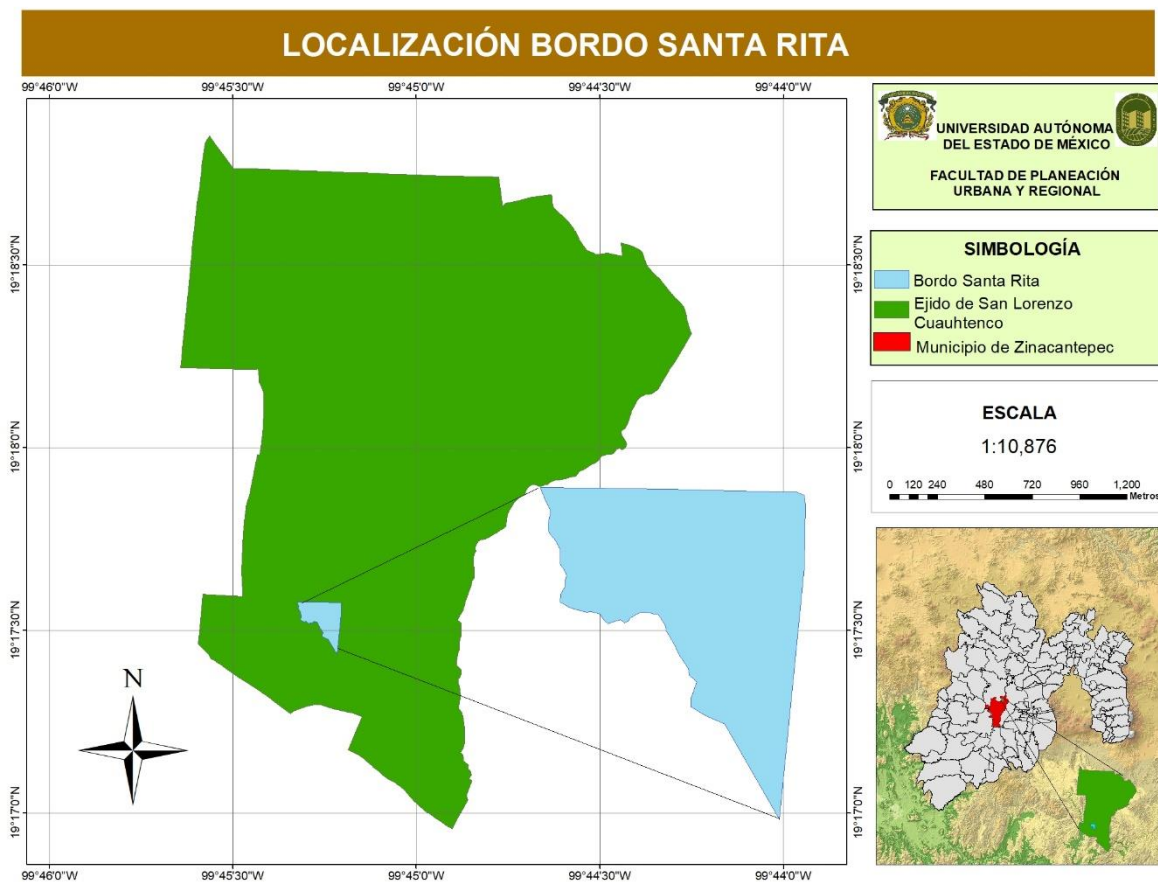


Figura 4. Localización del Bordo Santa Rita. (Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2010)

3.2 Características Físico-Geográficas

Se trata de la descripción de las características de la superficie terrestre en el que interactúan diferentes componentes (Cayuela 2013:15) como la geología, el suelo, la hidrología y el clima, con el fin de obtener un diagnóstico de las aptitudes o deficiencias que, por la intervención de otros factores de tipo social, económico o político, influyan en el bordo Santa Rita.

3.2.1.- Geología

El municipio de Zinacantepec se localiza en la provincia geológica volcánica cenozoica del eje volcánico transversal, por ello, dentro de su estructura geológica predominan rocas de origen volcanoclástico que cubren un 49% del territorio, también las rocas ígneas extrusivas que cubren el 29.6% del territorio, los suelos aluviales con un 19.7% resultado del acarreo y depósito de materiales, así como suelos de tipo arenisca que cubren el 1.7%. (Atlas de Riesgos del Municipio de Zinacantepec, 2013,25). Específicamente en el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco predominan las rocas Ígneas extrusivas básicas (véase la Figura 1 del Anexo A).

3.2.2.- Suelos

En el municipio de Zinacantepec existen cinco unidades de suelo: andosol, cambisol, feozem, regosol y vertisol, de las cuales el andosol es la unidad de suelo que predomina en el municipio cubriendo aproximadamente el 60% del municipio. Sin embargo, dentro del área de estudio, el ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, predomina la unidad de suelo, feozem, como se muestra en la Figura 2 del Anexo A.

Los feozem son suelos que se caracterizan por ser suelos fértiles con un alto aporte de nutrientes y materia orgánica, que además tienen un buen drenaje interno que permite la penetración de raíces y la infiltración del exceso de agua, por lo que tienen una buena capacidad de retención de humedad aprovechable, esto permite que puedan soportar una vegetación de matorral o bosque, así como el desarrollo de una gran variedad de cultivos de regadío y pastizales. Sus principales limitaciones es su

vulnerabilidad ante las inundaciones y a la erosión (Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Zinacantepec, 2003: 19).

3.2.3.- Clima

En el municipio de Zinacantepec se presentan tres tipos de clima: el primero y el que predomina en la mayor parte del municipio es el semifrío (C(E)wg), le sigue el clima templado subhúmedo con lluvias en verano (cwb) el cual predomina en la porción noreste del municipio, así como el clima frío (E(T)H) al sureste del municipio.

Como se puede apreciar en la Figura 3 del Anexo A, en el ejido de San Lorenzo Cuauhtenco predomina el clima templado subhúmedo con lluvias en verano (cwb) con una temperatura media anual que oscila entre los 12°C y los 18°C, y una precipitación media anual de 822 mm. (INEGI 2010).

3.2.4.- Hidrología

Las cuencas hidrológicas de México están agrupadas en 37 Regiones hidrológicas. En el municipio de Zinacantepec se localiza la Región Hidrológica Lerma-Santiago (RH12), dentro de la cual se agrupan: la cuenca Río Lerma-Toluca y las subcuencas Río Gavia, Río Tejalpa y Río Verdigué. Asimismo, se localiza la Región Hidrológica Balsas (RH18), la cual agrupa: la cuenca Río Cutzamala y las subcuencas Río Tilostoc y Río Temascaltepec, así como la cuenca Río Grande de Amacuzac y la subcuenca Río Alto Amacuzac (INEGI 2010).

La localidad de San Lorenzo Cuauhtenco pertenece a la Región Hidrológica No. 12 Lerma-Santiago, específicamente a la subcuenca del Río Tejalpa en donde destaca el Arroyo El Molino, cuyas aguas alimentaban el cuerpo de agua Bordo Santa Rita, área de estudio del presente trabajo (véase la Figura 4 del Anexo A).

3.3 Características Biológicas

En este apartado se hace la descripción de la fauna silvestre más representativa del municipio de Zinacantepec, así como la vegetación y los principales usos de suelo del ejido de San Lorenzo Cuauhtenco.

3.3.1 Fauna silvestre

En el municipio de Zinacantepec la fauna silvestre se constituye principalmente por tlaconetes, ajolotes, sapos y ranas, en lo que respecta a anfibios. En cuanto a reptiles, podemos encontrar lagartijas, víboras y culebras. Y en lo que respecta a mamíferos destaca la presencia de tuzas, ratones, comadrejas, musarañas, murciélagos y conejos, como se muestra en la Tabla 3 (véase la Figura 5 del Anexo A)

Tabla 3.- Fauna silvestre del municipio de Zinacantepec.

GRUPO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	CATEGORIA
ANFIBIOS	<i>Pseudoeurycea robertsi</i>	Tlaconete de Roberts	Amenazada
	<i>Pseudoeurycea belli</i>	Tlaconete Pinto	Amenazada
	<i>Ambystoma altamirani</i>	Ajolote	Amenazada
	<i>Bufo compactilis</i>	Sapo de meseta	
	<i>Ambystoma ryvulare</i>	Siredón de Toluca	Amenazada
	<i>Ambystoma granulosum</i>	Ajolote de Toluca	Sujeta a protección especial
	<i>Spea multiplicata</i>	Sapo montícola de espuela	
	<i>Chiropterotriton chiropterus</i>	Salamandra pie plano	Sujeta a protección especial
	<i>Hyla eximia</i>	Rana de arbol de montaña	
	<i>Pseudacris regilla</i>	Rana de coro del Pacífico	
	<i>Pseudoeurycea leprosa</i>	Tlaconete dorado	Amenazada
	<i>Pseudoeurycea cephalica</i>	Tlaconete regordete	Amenazada
	<i>Rana spectabilis</i>	Rana vistosa	
	<i>Hyla plicata</i>	Rana de arbol plegada	Amenazada
	<i>Rana montezumae</i>	Rana leopardo de Moctezuma	Sujeta a protección especial
	<i>Spea hammondi</i>	Sapo de espuelas occidental	
	<i>Ambystoma trigrinum</i>	Ajolote atigrado	

	Eleutherodactylus pygmaeus	Rana ladrona pigmea	
	Rana zweifeli	Rana de Zweifel	
REPTILES	Eumeces copei	Lagartija lincer	Sujeta a protección especial
	Sceloporus grammicus	Lagartija escamosa de mezquite	Sujeta a protección especial
	Storeria storeriodes	Culebra parda mexicana	
	Sceloporus aeneus	Lagartija espinosa llanera	
	Crotalus triseriatus	Vibora de cascabel trasvolcánica	
	Sceloporus horridus	Lagartija espinosa del pacífico	
	Thamnophis scalaris	Culebra listonada de montaña	Amenazada
	Conopsis lineata	Culebra terrestre del centro	
	Sceloporus scalaris	Lagartija espinosa de pastizal	
	Thamnophis eques	Culebra de agua nómada mexicana	Amenazada
	Sceloporus torquatus	Lagartija espinosa de collar	
	Barisia imbricata	Lagarto alicante de las montañas	Sujeta a protección especial
	Eumeces fasciatus	Lagartija eslizon de cinco franjas	
MAMIFEROS	Thomomys umbrinus	Tuza mexicana	
	Peromyscus difficilis	Raton de las rocas	
	Microtus mexicanus	Metorito mexicano (roedor)	
	Peromyscus melanotis	Raton orejas negras	
	Reithrodontomys megalotis	Raton cosechero común	
	Mustela frenata	Comadreja cola larga	
	Cryptotis goldmani	Musaraña de orejitas	
	Lasiurus cinereus	Murcielago cola peluda canoso	
	Reithrodontomys chrypsosis	Raton cosechero de los volcanes	
	Reithrodontomys sumichrasti	Raton cosechero de montaña	
	Cratogeomys tylorhinus	Tuza de naruz peluda	
	Romerolagus diazi	Conejo teporingo	En peligro de extinción
	Sylvilagus floridanus	Conejo serrano	

Fuente: Elaboración propia con base a información geográfica recopilada de un formato de archivo informático (SHP) por: University of Michigan, Kansas University, University of Illinois, Smithsonian Institution, Harvard University, el Instituto de Biología de la UNAM, la Universidad Autónoma Metropolitana y la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.

3.3.2- Uso de suelo y vegetación

Los usos de suelo predominantes en el municipio de Zinacantepec corresponden al uso agrícola tanto de riego como de temporal, así como zonas urbanas. Respecto a la vegetación destacan el bosque de pino con vegetación arbustiva y herbácea que predomina en las laderas del volcán Nevado de Toluca, además, el bosque de oyamel incluyendo ayarin y cedro, en menor proporción pradera de alta montaña que se presenta en la parte alta del Nevado de Toluca y pastizal inducido con pequeñas porciones distribuidas al norte, centro y suroeste del municipio.

El uso de suelo en el ejido de San Lorenzo Cuauhtenco es principalmente agrícola y urbano, como se puede apreciar en la Figura 6 del Anexo A, que adicionalmente, contaba con un cuerpo de agua, el bordo Santa Rita, del cual únicamente quedan las 6 hectáreas vacías del área de inundación.

3.4.- Contexto demográfico, económico y social

En este apartado se hará referencia a tres factores (social, económico y demográfico) que en conjunto influyen en el funcionamiento y deterioro del bordo Santa Rita, determinando la demanda de servicios, la presión sobre los recursos naturales y el crecimiento poblacional.

3.4.1 Contexto demográfico

La población en el municipio de Zinacantepec, hasta el año de 1980 era de 57,406 habitantes, para el año 2010 mostro un notable crecimiento con un total de 167,759 habitantes aumentando su población en 110,353 habitantes.

En lo referente a la localidad del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, hasta el año de 1970 contaba con un total de 501 habitantes y para el año 2010 ya contaba con un total

de 8,024 habitantes. Como se muestra en la Tabla 4, el mayor crecimiento poblacional se presentó entre los años 1980-1990 con una tasa de crecimiento media anual de 13.6%, mostrándose el mínimo crecimiento poblacional entre los años 1970-1980, donde la población aumento únicamente en 113 habitantes en 10 años con una tasa de crecimiento media anual de 2.25%.

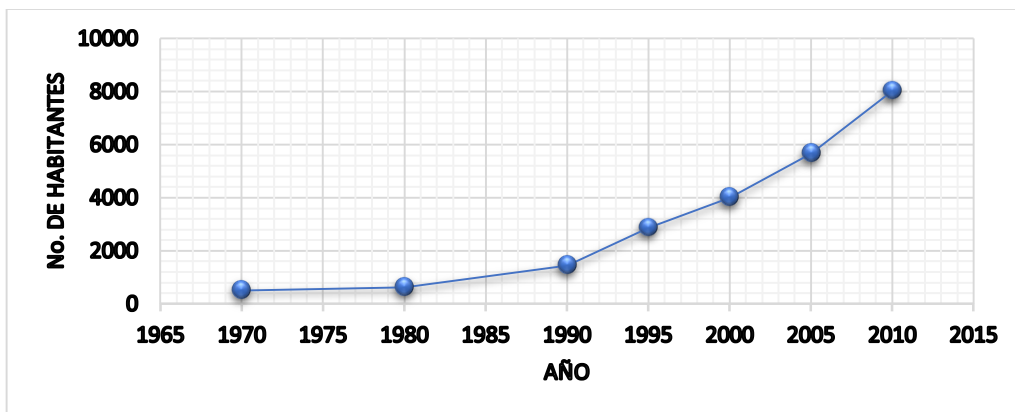
Tabla 4. Dinámica poblacional de San Lorenzo Cuauhtenco

LOCALIDAD	AÑOS						
	1970	1980	1990	1995	2000	2005	2010
San Lorenzo Cuauhtenco	501	614	1451	2857	4005	5651	8024
Tasa de Crecimiento Media Anual	1970-1980	1980-1990	1990-1995	1995-2000	2000-2005	2005-2010	
	2.25%	13.6%	9.68%	4.01%	4.10%	4.19%	

Fuente: Elaboración propia con base en Censos y Conteos de población y vivienda de INEGI 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010; y al Plan de Desarrollo Urbano de Zinacantepec 2003: 25.

En la Grafica 1. se ilustra el crecimiento demográfico que experimento el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco entre los años 1970-2010.

Grafica 1. Crecimiento demográfico del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco



Fuente: Elaboración propia con base en Censos y Conteos de población y vivienda de INEGI 1990, 1995, 2000, 2005 y 2010; y al Plan de Desarrollo Urbano de Zinacantepec 2003: 25.

3.4.2 Contexto económico

En el año de 1980 el municipio de Zinacantepec contaba con total de 17,931 habitantes, de los cuales el 31.4% se dedicaba a actividades del sector primario, el 20.4% a actividades del sector secundario y únicamente el 19.1% a actividades del sector terciario, el resto no estaba especificado. Para el año 2010 ya contaba con 167,759 habitantes con una notable disminución porcentual en actividades del sector primario de solo el 12.1%, asimismo en el sector secundario con el 32% y un aumento porcentual en la población económicamente activa para el sector terciario con un 54.5%. (INEGI 2010)

Ante este panorama, se observa que las actividades terciarias seguirán en aumento, siendo una tendencia muy notable no solo a nivel municipio, sino también a nivel localidad como se puede ver en la Tabla 5, donde se muestra la evolución porcentual de la población ocupada por sector de actividad desde el año 1980 al 2000 del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, destacando el incremento del sector terciario a partir de 1990 donde paso de 7.8% a 36% y en el año 2000 a 44%.

De acuerdo a los datos analizados se puede identificar el aumento de las actividades relacionadas al sector terciario en los últimos años debido al abandono de actividades agrícolas como resultado de la poca rentabilidad de dicha actividad, por lo que el sector primario ha ido en decremento.

Es importante señalar que al no haber información en el Censo de Población y Vivienda 2010 sobre la población ocupada por sector de actividad económica por localidad, el análisis se hizo únicamente con datos de 1980, 1990 y 2000.

Tabla 5. Población ocupada por sector de actividad económica del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco.

Localidad	Sector Primario			Sector Secundario			Sector Terciario		
	1980	1990	2000	1980	1990	2000	1980	1990	2000
San Lorenzo Cuauhtenco	40.22 %	12.97 %	4.7 %	22.91 %	46.40 %	48.9 %	7.82 %	36.60 %	44.0 %

Fuente: Elaboración propia con base al Censo de Población y vivienda 2000; y al Plan de Desarrollo Urbano de Zinacantepec 2003: 46.

3.4.3 Servicios Públicos

Los servicios públicos son prestaciones de la organización pública que están destinados a satisfacer necesidades colectivas para lograr el bienestar social (Ibarra 2009: 17) y la calidad de vida de las personas. En este apartado únicamente se abordará el abastecimiento del servicio de drenaje para el ejido de San Lorenzo Cuauhtenco.

3.4.3.1 Drenaje

De acuerdo con datos de INEGI, la dotación de servicios públicos en viviendas particulares habitadas exclusivamente de drenaje, en el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, en el año de 1995 era del 36% y para el año 2010 había una cobertura en servicio de drenaje a 901 viviendas abarcando 78.6%. Sin embargo, debido a la constante dispersión de asentamientos humanos no ha sido posible la cobertura total del servicio de drenaje para las viviendas del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco. En la Tabla 6 se puede observar la dinámica de abastecimiento del servicio de drenaje entre los años 1995-2010 y el porcentaje de viviendas que cuentan con este servicio.

Tabla 6. Abastecimiento del servicio de drenaje en el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco de 1995 a 2010.

AÑO	VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS	VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS QUE DISPONEN DE DRENAJE	%
1995	517	191	36.9
2000	748	274	36.6
2005	1146	901	78.6
2010	1666	1383	83

Fuente: Elaboración propia con base en Censos y Conteos de Población y Vivienda, INEGI, 1995,2000,2005 y 2010.

3.5 Tenencia de la tierra

De acuerdo con la FAO (2003) la tenencia de la tierra es una parte importante de las estructuras sociales, políticas y económicas, ya que determina quién puede utilizar qué recursos, durante cuánto tiempo y bajo qué circunstancias.

De tal manera que resulta ser un factor importante ya que las practicas inadecuadas en el aprovechamiento de la tierra por parte de quienes la administran, puede provocar degradación ambiental.

En el caso particular de la Comunidad de San Lorenzo Cuauhtenco, la tenencia de la tierra se divide en 3: propiedad ejidal, propiedad comunal y propiedad privada. La propiedad comunal y ejidal a su vez se dividen en parcelas agrícolas, zonas de agostadero, áreas de uso común y solares urbanos.

El bordo Santa Rita se encuentra dentro del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco y a su vez forma parte de las áreas de uso común y, al no estar registrado ante CONAGUA, el uso y aprovechamiento del Bordo Santa Rita queda a cargo del ejido. (M. Hernández, entrevista personal, 15 de octubre de 2016).

CAPÍTULO 4

Marco Legal

En este capítulo se hace mención de los diferentes ordenamientos jurídicos vigentes aplicables a cuerpos de agua de propiedad ejidal conformado por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento, la Ley Agraria, Normas Oficiales Mexicanas, el Reglamento de la Ley del Agua para el Estado de México y Municipios y el reglamento interno del ejido.

Capítulo 4 Marco Legal

De acuerdo a la entrevista realizada al comisariado ejidal, el bordo Santa Rita no está registrado en la CONAGUA, por lo que el manejo del bordo está bajo la administración del comisariado ejidal, la asamblea y el consejo de vigilancia del ejido.

4.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

En el Artículo 4º Constitucional párrafo quinto, se establece que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, estando obligado el Estado a garantizar este derecho, responsabilizando a quien provoque daño y deterioro ambiental.

4.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

El Artículo 119º BIS establece que, en términos generales, corresponde a los gobiernos de los Estados y Municipios a través de los organismos públicos encargados de la administración del agua en materia de prevención y control de la contaminación: el control de descargas de aguas residuales, la vigilancia de las normas oficiales mexicanas correspondientes, la determinación del monto para llevar a cabo el tratamiento de las aguas o en su caso la imposición de sanciones, así como llevar y actualizar el registro de descargas a los sistemas de drenaje y alcantarillado.

Asimismo, el Artículo 122 señala que las aguas residuales que provengan de usos públicos urbanos, industriales o agropecuarios y que se descarguen en sistemas de drenaje y alcantarillado o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de agua, y aquellos que se derramen e infiltren en el subsuelo deberán reunir las condiciones para prevenir la contaminación de cuerpos receptores, interferencias en la depuración de las aguas y trastornos, impedimentos o alteraciones en el funcionamiento y capacidad de los depósitos de propiedad nacional.

4.3 Ley de Aguas Nacionales y su reglamento

El Artículo 55 de la Sección Segunda de Ejidos y Comunidades, señala que, la explotación, uso o aprovechamiento de aguas en ejidos y comunidades para los asentamientos humanos o tierras de uso común se efectuara conforme lo disponga el reglamento interno del ejido o comunidad.

Por otra parte, no se podrá hacer uso o aprovechamiento de las aguas destinadas a las parcelas sin el consentimiento de los ejidatarios y titulares de las parcelas, con la excepción de tratarse de aguas indispensables para las necesidades domesticas del asentamiento humano.

4.4 Ley Agraria

El Artículo 52 correspondiente a la Sección Segunda de las Aguas del Ejido señalando que, corresponde al ejido y ejidatarios el uso y aprovechamiento de las aguas del ejido ya sean tierras comunes o parceladas.

Adicionalmente, el Artículo 55 establece que los aguajes (depósitos de agua) comprendidos dentro del ejido serán de uso común, siempre y cuando no hayan sido asignados individualmente de manera legal y su aprovechamiento se hará de acuerdo al reglamento interno o, a las costumbres del ejido, siempre que no se infrinja la ley.

4.5 Normas Oficiales Mexicanas

La Norma Oficial Mexicana-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (contaminantes básicos, metales pesados, cianuros y contaminación por patógenos y parásitos), con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos.

4.6 Reglamento de la Ley del Agua para el Estado de México y Municipios

El artículo 77 fracción VI, establece que los propietarios de inmuebles y/o usuarios de servicios regulados por la Ley y el presente reglamento tienen prohibido descargar al drenaje y alcantarillado cualquier tipo de materia sólida que pudiera obstruir o dañar las obras hidráulicas o contaminar los cuerpos de agua de jurisdicción estatal o municipal. En la Tabla 7 se muestra una síntesis de los ordenamientos jurídicos mencionados aplicables al bordo Santa Rita.

Tabla 7 Síntesis del Marco Jurídico

ORDENAMIENTOS JURÍDICOS	RESUMEN
Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	Establece el derecho a toda persona a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, siendo el Estado el responsable de hacer respetar este derecho.
Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente	Establece las obligaciones de los Estados y Municipios a través de los organismos públicos para prevenir y controlar la contaminación. Establece las condiciones que deben reunir las aguas residuales para prevenir la contaminación de cuerpos receptores.
Ley de Aguas Nacionales	Establece que la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas de ejidos y comunidades se hará de acuerdo al reglamento interno del ejido o comunidad.
Ley Agraria	Establece que corresponde al ejido y ejidatarios el uso y aprovechamiento de las aguas del ejido.
Norma Oficial Mexicana- 001- SEMARNAT-1996	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales .
Reglamento de la Ley del Agua para el Estado de México y Municipios	Establece que descargar al drenaje y alcantarillado cualquier tipo de materia sólida que pueda obstruir o dañar las obras publicas y contaminar los cuerpos de agua estatales o municipales, está prohibido.

Fuente: Elaboración propia con base en los diferentes ordenamientos jurídicos vigentes.

CAPÍTULO 5

Marco Metodológico

En este capítulo se describe el enfoque, el método, así como la técnica e instrumento a partir de los cuales se realizará la propuesta de rehabilitación del Bordo Santa Rita. Se explica, además, la aplicación y adaptación del Protocolo de Evaluación Visual como principal instrumento de este estudio.

Capítulo 5 Marco Metodológico

La metodología de la investigación no solo explica el cómo se realizará el estudio, además explica el tipo de investigación, las técnicas y los procedimientos (Arias, 1999: 19).

5.1 - Enfoque

El presente estudio se realiza bajo el enfoque cualitativo-cuantitativo que, aunque predominante uno más que otro (el cualitativo más que el cuantitativo), ambos resultan complementarios para el análisis, descripción e interpretación de datos.

De acuerdo con Hernández, Fernández y Bampton (2010:7), el enfoque cualitativo se caracteriza por utilizar métodos de recolección de datos sin medición numérica, el principal objetivo es entender un fenómeno complejo y no medir las variables involucradas, además, se caracteriza por ser un enfoque holístico al considerar el todo. Por otro lado, el enfoque cuantitativo se basa en la medición numérica y análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y aprobar teorías, y a diferencia del enfoque cualitativo, este enfoque pretende generalizar los resultados basándose en una muestra o segmento del todo.

El enfoque cualitativo de este estudio se aplicará a partir de la recolección, descripción y análisis de información referente al bordo, con respecto a cuestiones sociales, políticas, económicas y ambientales. Además de hacerse una descripción de las características de una serie de elementos que será necesario evaluar para conocer el estado del bordo, ya sea que éste se encuentre en excelentes, buenas, regulares o malas condiciones.

El enfoque cuantitativo únicamente se aplicará a partir de un estudio evaluativo en el que se hará la asignación numérica a una serie de elementos, que de acuerdo a la descripción cualitativa califique mejor su condición. Obtenida esta calificación, se realizará un promedio cuyo valor numérico determinará la condición del bordo.

Por lo anterior, la utilización del enfoque cualitativo-cuantitativo resulta en un estudio completo que integra ambas partes para el mayor entendimiento del área de estudio.

5.2.- Método de investigación

Para el presente estudio el método que se utilizó fue el descriptivo, que de acuerdo con algunos autores (Sánchez 1998; citado en UPLA 2009:69), se trata de describir, analizar e interpretar un conjunto de hechos de manera sistemática, los cuales estén relacionados con otras variables tal como da en el presente, es decir, en su forma actual y natural, sin que haya manipulación de las condiciones del lugar o situación en estudio.

Este método se constituye de diferentes modalidades, sin embargo, la que más se apega a la presente investigación es la modalidad denominada: estudio evaluativo.

Cabrera (1987) citado en UPLA (2009:70) define al estudio evaluativo como:

“El proceso que consiste en obtener información sistemática y objetiva a cerca de un fenómeno e interpretar dicha información a fin de relacionarlo entre diferentes alternativas de decisión”

Por lo tanto, en esta investigación se obtendrá como resultado la propuesta de rehabilitación del bordo Santa Rita a partir de la descripción del área de estudio y la aplicación de un estudio evaluativo.

5.3 Técnica

La forma de obtener la información para el presente estudio será la observación estructurada.

Ramírez (s.f:44), define a la observación como una técnica derivada del enfoque cualitativo que consiste en registrar y vigilar de manera directa las características de los elementos objeto de estudio, además supone adoptar un método que asegure que el registro de lo observado sea lo más riguroso posible.

Esta técnica no solo se refiere al sentido de la vista, incluye además todos los medios de percepción con los cuales es posible la aproximación a los objetos y fenómenos de la naturaleza, tales como: el tacto, el gusto, el olfato o el oído (Ladrón de Guevara, 1981 citado en Ramírez, s.f).

En lo que respecta a la observación estructurada, esta conlleva una planificación previa y detallada para la toma de información respecto a las anotaciones que serán realizadas.

De esta manera, esta técnica es necesaria para identificar los colores, aromas, sonidos, texturas y demás cualidades a partir de los cuales se realizará una evaluación del bordo, por lo que resulta ser una técnica esencial para la recolección ordenada de datos, que servirán para la elaboración de la propuesta de rehabilitación del bordo.

5.4 Instrumentos

Entre los medios materiales que se utilizarán para la recolección y almacenamiento de la información está el Protocolo de Evaluación Visual para Corrientes que a continuación se expone.

5.4.1 Protocolo de Evaluación Visual

De acuerdo con USDA (1998), el Protocolo de Evaluación Visual es una herramienta de evaluación de ríos creado con el propósito de hacer más práctica y económica la evaluación de la condición ecológica de los arroyos en Estados Unidos y que por su practicidad y eficiencia ha sido presentado en diversas agencias de gobierno y organizaciones no gubernamentales, y ha sido probado por 70 individuos en más de 200 sitios para probar su exactitud, precisión, utilidad y facilidad de uso.

USDA (1998) señala que, una de las principales ventajas de este protocolo es que no es necesario ser un especialista para entenderlo y aplicarlo, ya que al usar la técnica visual para caracterizar las cualidades de la condición ecológica del arroyo se facilita la evaluación para identificar las fuentes y causas de la degradación del cuerpo de agua.

Existen también otras ventajas como: facilidad de uso, el bajo costo, la rápida obtención de resultados, la facilidad de entendimiento en la información de la evaluación, la poca capacitación que se requiere y la viabilidad ambiental del procedimiento para aplicar el protocolo.

Además de las anteriores, otra de las ventajas que tiene este protocolo es que puede utilizarse para una amplia gama de tipos de corriente por lo que puede modificarse de acuerdo a las condiciones geográficas y ambientales locales.

Es importante señalar que existen diferentes versiones del Protocolo de Evaluación Visual, las cuales son adaptaciones a los diferentes ecosistemas acuáticos, algunas de estas adaptaciones consideran parámetros de evaluación adicionales para aquellos ecosistemas con flujos de gradiente alto y bajo, además de modificaciones a la escala de puntuación de 0-10 a 0-20 (Barbour, et. al. 1999: 5-7).

5.4.1.1 Aplicación

El protocolo de evaluación visual para su aplicación en el presente estudio, consta de dos hojas de datos con formato tipo lista de verificación o “*check list*” para la recopilación de información que va desde el nombre del evaluador y localización del sitio, hasta las características de las condiciones del cuerpo de agua y del área circundante. Esto con el propósito de tener una visión general de las características físicas y calidad del agua que puedan apreciarse a simple vista.

Se utiliza, además, una hoja de puntuación con valores del 0 al 20, en la que cada uno de los elementos a evaluar cuenta con una descripción cualitativa de los criterios relativos para garantizar la coherencia en el procedimiento de la evaluación. Así, la calificación asignada a cada uno de los parámetros será excelente, bueno, regular o malo de acuerdo a la condición observada de la corriente y los criterios descritos para cada elemento (Barbour, et. al. 1999).

La inspección visual de las características físicas y biológicas del ecosistema consiste en la evaluación de 15 elementos: condición del canal, alteración hidrológica, zona

ribereña, estabilidad de los bancos, apariencia del agua, enriquecimiento de nutrientes, barreras para el movimiento de peces, cubierta de peces, estanques, hábitat de invertebrados, cubierta de dosel, presencia de estiércol, salinidad, porcentaje de incrustamiento y macroinvertebrados observados. Es importante señalar que no todos los elementos son aplicables al flujo a evaluar por lo que es necesario ajustarlos (USDA 1998).

Las puntuaciones asignadas a cada uno de los elementos deben ser registradas en la hoja de calificación de la evaluación, en la que el puntaje general se dividirá por el número de elementos evaluados para obtener un promedio. Una vez obtenido este valor se determinará si la condición del área evaluada es excelente, buena, regular o mala, como se muestra en la Tabla 8:

Para su aplicación en el bordo Santa Rita es importante mencionar que el área a evaluar consta de un total de sesenta mil metros cuadrados (6 hectáreas), cuya área ha sido invadida parcialmente por asentamientos humanos, asimismo ha habido una disminución del espejo de agua, por lo que la aplicación de este instrumento se enfocara a la evaluación de su condición actual para tratar de conocer las causas de su deterioro como puede verse a grandes rasgos en la Figura 5.

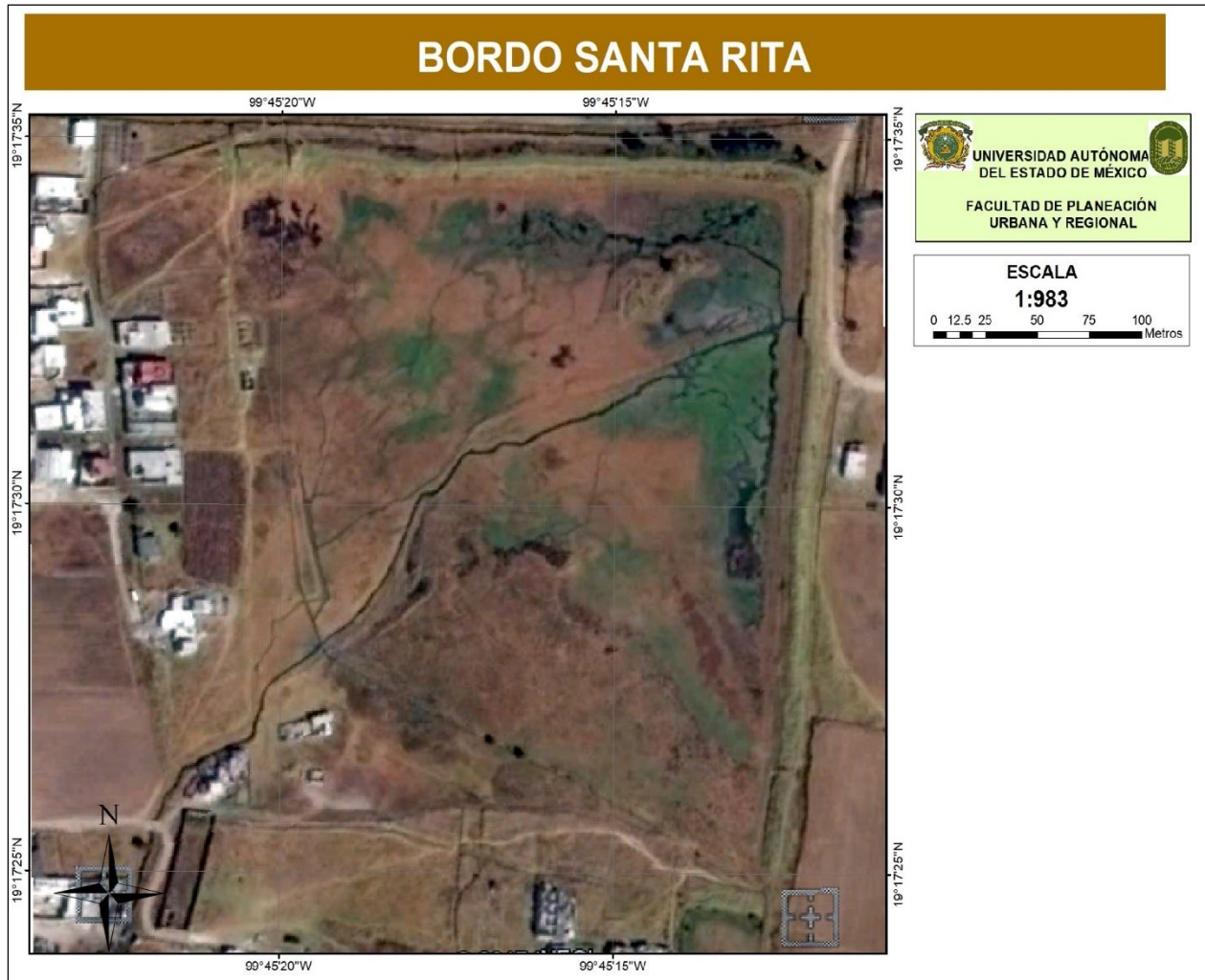


Figura 5. Bordo Santa Rita (Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2010)

Tabla 8. Condición del área evaluada

EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO
<p>Cuerpo de agua sano con capacidad de almacenamiento de agua que cumple con las condiciones químicas, físicas y biológicas necesarias que exige el consumo humano y agrícola (libre de color, sabor y olor desagradable, sin turbidez).</p> <p>Además, desempeña otras funciones como: control de inundaciones, autodepuración y regulación de erosión, albergar vida silvestre al proveer refugio y alimento a la fauna local y migratoria. Sin ningún tipo de alteración de origen antropogénico.</p>	<p>El cuerpo de agua es estéticamente aceptable con mínima perturbación humana.</p> <p>La calidad del agua es apta para la agricultura.</p> <p>Cumple con las funciones de almacenamiento de agua para uso doméstico, control de inundaciones, autodepuración, cuenta con las condiciones óptimas para albergar vida silvestre y proveerlas de refugio y alimento.</p> <p>Puede considerarse el uso recreativo.</p>	<p>Cuerpo de agua deteriorado por la acción humana (residuos sólidos urbanos y descargas de aguas residuales).</p> <p>Disminución considerable en su capacidad de almacenamiento.</p> <p>Ecosistema fragmentado, en condiciones poco favorables para albergar vida acuática.</p> <p>Con limitaciones para brindar servicios ambientales, sin embargo, el uso del agua para actividades agrícolas puede ser considerada, si se realizan los estudios pertinentes para determinar que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles que establecen las NOM's para uso agrícola.</p>	<p>La influencia humana ha provocado perturbaciones importantes en el ecosistema como:</p> <p>Incremento en la carga de nutrientes y crecimiento excesivo de algas</p> <p>Reducción del espejo de agua.</p> <p>El cuerpo de agua no cumple con las condiciones para fungir como hábitat para peces.</p> <p>No es posible la utilización del agua para uso agrícola.</p> <p>El mal olor causado por la eutrofización limita las actividades recreativas.</p> <p>El cuerpo de agua representa una limitante ambiental, social y económica al no poder ser utilizado para actividades económicas, recreación, uso doméstico o simplemente contar con condiciones ambientales sanas.</p>

Fuente: Elaboración propia con base en USDA 1998 y 2010.

5.4.1.2 Adaptación

Como ya se mencionó, una de las ventajas del Protocolo de Evaluación Visual es la flexibilidad para adaptarse a diferentes ecosistemas, particularmente ribereños. Por ello, se hizo un análisis y recopilación de información de las diferentes versiones y adaptaciones del Protocolo, con el fin de tomar en cuenta los elementos necesarios para evaluar el área de estudio. Por ello, para estructurar el protocolo para el presente estudio se tomó como base a Barbour (et. al. 1999) y USDA (1998).

Considerando que el protocolo fue diseñado para diagnosticar la condición de ecosistemas ribereños es importante señalar que se hizo una adaptación del protocolo a un ecosistema léntico, por lo que algunos elementos fueron descartados.

Finalmente, los elementos a evaluar son 8: alteración hidrológica, apariencia del agua, enriquecimiento de nutrientes, alteración del flujo del canal al bordo, caracterización del sustrato, deposición de sedimento, presencia de basura y presencia de estiércol.

CAPÍTULO 6

Diagnóstico

En este capítulo se describen los tensesos identificados de los aspectos demográficos, económicos y sociales del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco. Los tensesos identificados fueron: el crecimiento demográfico, el vertido de aguas residuales, el cambio de uso de suelo, la contaminación y reducción del espejo de agua y afectación a la diversidad biológica.

Capítulo 6 Diagnóstico

6.1.- Crecimiento demográfico

El ejido de San Lorenzo Cuauhtenco ha experimentado en los últimos años (1970-2010) un constante aumento en su dinámica poblacional, por lo que también ha incrementado la demanda en la ocupación del territorio, servicios básicos como agua potable y drenaje, cambio de uso de suelo de agrícola a urbano, así como el deterioro de los recursos naturales y el paisaje. Siendo así, uno de los más afectados por la influencia directa de los asentamientos humanos, el Bordo Santa Rita. En la Gráfica 1 del apartado 3.4.1 puede apreciarse esta dinámica de crecimiento poblacional en el periodo de 1970 a 2010.

6.2 Vertido de aguas residuales

Como una de las practicas más comunes, la disposición final de aguas residuales en cuerpos de agua superficial es un problema que no solo ha afectado la calidad del agua del bordo Santa Rita, también ha ocasionado un deterioro ecosistémico y paisajístico, además de afectaciones a quienes aún se dedican a la actividad primaria, pues utilizar el agua residual para sus cultivos implicaría riesgos a la salud.

En este sentido, el servicio de drenaje es un factor que ha jugado un papel determinante en la condición actual del bordo. Esta situación se observó en visitas a campo, donde se pudo apreciar que los asentamientos humanos que no cuentan con este servicio, específicamente los más cercanos al bordo, han buscado alternativas para disponer de sus aguas residuales a través de descargas a cielo abierto o directamente al bordo Santa Rita.

Esto se comprobó con datos de INEGI que señalan que la cobertura de drenaje en 2010 para el ejido de San Lorenzo Cuauhtenco era del 83 %, es decir, un 17 % de la población que no cuenta con este servicio, por lo que se infiere que dentro de este porcentaje se encuentran los asentamientos humanos mencionados. En la Tabla 6 del

apartado 3.4.3.1 se puede observar el porcentaje de la cobertura del servicio de drenaje en viviendas particulares habitadas en el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco de 1995 a 2010.

Aunado a esta situación, un factor que favoreció el vertido de aguas residuales y con ello, la degradación de la calidad del agua del bordo, fue el abandono del sector primario ya que, entre las principales actividades que se realizaban en el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco hace algunos años, estaba la agricultura, actividad principal para la que estaba destinada el agua almacenada en el bordo.

Sin embargo, la agricultura en los últimos años ha resultado poco rentable para los habitantes del Ejido, los cuales al buscar mejorar su calidad de vida y obtener mayores ingresos, han abandonado esta actividad para dedicarse a actividades del sector terciario.

INEGI reporta que tan solo para el año 2000, solo el 4 % de los habitantes del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco se dedicaba a actividades primarias.

Es por ello que al no haber un propósito para darle mantenimiento al bordo por ser tan pocas las personas dedicadas a la agricultura, se perdió tanto la organización social para darle un manejo adecuado, como el interés por conservar este espacio en buenas condiciones, permitiendo incluso que los asentamientos humanos se introdujeran dentro del área de inundación y que, al no contar con el servicio de drenaje, vertieran sus desechos directamente al bordo.

Debido a esta falta de interés, el bordo es utilizado como depósito de aguas residuales, de desechos sólidos urbanos y además para pastar a borregos y vacas que depositan de manera dispersa sus residuos orgánicos, sin un control por parte de las autoridades ejidales.

6.3.- Cambio de uso de suelo

Fue a partir de 1992 con la reforma del artículo 27 constitucional que permitió que las tierras ejidales pudieran urbanizarse, que el ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, empezó a experimentar una dinámica de cambio de usos de suelo importante, en donde los terrenos agrícolas aledaños al bordo Santa Rita empezaron a urbanizarse (C. Rojas, entrevista personal, 25 de agosto de 2017).

Otros factores que favorecieron la ocupación del suelo fueron su bajo costo por la escasa cobertura de servicios como el drenaje, así como la falta de normatividad y aplicación de la misma en cuanto a usos de suelo.

Este fenómeno resultó en un crecimiento irresponsable y desordenado que ha generado mucha presión sobre los recursos hídricos a tal grado de contaminar el bordo y disminuir el espejo de agua. En la tabla 6 del apartado 3.4.3.1 se muestra el incremento de viviendas particulares habitadas de 1995 a 2010, así como la cobertura del servicio de drenaje.

6.4 Contaminación y reducción del espejo de agua

Todos los aspectos mencionados (crecimiento demográfico, cambio de uso de suelo, abandono del sector primario y falta de servicio de drenaje) han sido la causa de la contaminación del bordo Santa Rita, lo cual ha generado molestias a los mismos habitantes por el mal aspecto que daba el agua sucia, la fauna nociva y los malos olores principalmente, esto derivó en que se abriera permanentemente la compuerta, resultando en la reducción, casi del 100 por ciento del espejo de agua. En consecuencia, los habitantes han encontrado una oportunidad para pastar a sus borregos y vacas dentro del que era el área de inundación del bordo Santa Rita, lo cual ha contribuido a la generación de grandes aportes de materia orgánica que se distribuyen en toda el área.



Figura 7. Bordo Santa Rita 2003 (Fuente: Google Earth, 2003)



Figura 6. Bordo Santa Rita 2017 (Fuente: Google Earth, 2017)

6.5 Afectación a la diversidad biológica

Tal como se muestra en la Figura 6 y con base a la visita realizada al bordo Santa Rita, se pudo determinar que las condiciones ambientales actuales no son las apropiadas para albergar vida silvestre. Adicionalmente, la desaparición del espejo del agua favoreció el desplazamiento de las especies de aves migratorias, patos y garcetas que eran alojadas en este sitio.

Otro aspecto importante es la vegetación acuática, la cual pese a la ausencia del espejo de agua, aún persiste en charcos dispersos.

La vegetación predominante corresponde a tulares del género: *Scirpus* conocidos comúnmente como juncos; la planta acuática de nombre común malacate de la especie *Hydrocotyle ranunculoides* y chilillo o pimienta de agua del género *Polygonum*, y con menor abundancia *Zantedeschia sp* conocida como alcatraz.

CAPÍTULO 7

Resultados de la aplicación del Protocolo de Evaluación Visual

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del Protocolo de Evaluación Visual a partir de la evaluación de 8 elementos seleccionados de Barbour (et. al. 1999) y USDA (1998); así como evidencia fotográfica y una breve descripción de la importancia de cada elemento, basada en USDA (1998: 7-17). Asimismo, se presentan las hojas de datos del Protocolo de Evaluación Visual para la asignación de calificación de cada elemento.

Capítulo 7 Resultados de la aplicación del Protocolo de Evaluación Visual

7.1 Alteración hidrológica

Importancia:

El flujo constante de agua, así como las inundaciones, son importantes para mantener la forma y la función del cuerpo de agua y para mantener el hábitat físico para animales y plantas (USDA 1998:8).

Resultados:

Durante el recorrido en campo se observó que el Bordo muestra una significativa alteración hidrológica ya que cuenta con menos de 1/8 de su capacidad de almacenamiento encontrándose prácticamente vacío, con la excepción de la única presencia de agua que es un canal de aguas residuales que lo atraviesa, como se muestra en la Fotografía 1.

Por otra parte, la compuerta que permite que el flujo de agua que entra se mantenga almacenada, se encuentra siempre abierta y de esta manera la poca agua que entra sale inmediatamente del otro lado y nada se retiene (Fotografía 2).

Por ello, es evidente que al encontrarse tan disminuido el flujo de agua, y al ser este mismo de origen residual, la capacidad del bordo de albergar vida acuática no es posible en esas condiciones.

De esta manera, el bordo Santa Rita fue calificado, dentro de este criterio, en la condición de MALO con una calificación de 1.



Fotografía 1. Canal de aguas residuales que atraviesa el bordo
(Fuente:Elaboración propia)



Fotografía 2. Compuerta
abierta (Fuente: Elaboración propia).

7.2- Apariencia del agua

Importancia:

La claridad del agua es una de las características visuales que ayudan a saber si el agua está o no limpia y que además es fácil de evaluar por el color y olor de la misma. En algunos cuerpos de agua puede haber un ligero coloreo natural en el agua, sin embargo, en cuerpos de agua degradados, es muy evidente la presencia de las esteras de algas flotantes, la escoria superficial, o contaminantes como tintes y aceite (USDA 1998:11).

Resultados:

El canal de agua que atravesaba el bordo contenía agua de aspecto muy turbio y lodoso por lo que no fue posible saber la profundidad máxima aproximada. Los objetos que se pudieron observar estaban a menos de 5 cm de la superficie donde el nivel del agua era bajo, y también se pudo percibir un olor de moderado a muy fuerte a aguas residuales a lo largo del canal. Por ello, se calificó al bordo Santa Rita en la condición de MALO, con la calificación de 3



Fotografía 3. Agua de aspecto muy turbio. No es posible apreciar el fondo (Fuente:Elaboración propia).



Fotografía 4. Turbidez constante a lo largo del canal (Fuente:Elaboración propia).

7.3.- Enriquecimiento de nutrientes

Importancia:

El enriquecimiento de nutrientes se refleja a menudo por los tipos y cantidades de vegetación acuática en el agua. La presencia de alguna vegetación en un cuerpo de agua es normal ya que proporciona hábitat y alimento a la fauna acuática y a las aves, sin embargo, en cantidades excesivas disminuye la cantidad de oxígeno disuelto provocando estrés para los organismos acuáticos y en casos extremos la muerte (USDA 1998:12).

Resultados:

En el bordo Santa Rita el enriquecimiento de nutrientes es muy evidente debido a que ha sido invadido casi en su totalidad por pasto y vegetación de origen acuático, la cual

está dispersa en pequeños charcos de agua en dónde puede observarse tule de gran tamaño y malacate a los pies del tular, como se ve en la Fotografía 5.

En lo que respecta al canal de agua que pasa por el bordo, se observa presencia de malacate dentro y a las orillas del canal (Fotografía 6).

Por lo anterior, la calificación que se asignó a este criterio fue de 2 en la condición de MALO.



Fotografía 5. Tular de más de 2 metros de altura
(Fuente:Elaboración propia).



Fotografía 6. Vegetación enraizada flotante
(Fuente:Elaboración propia).

7.4 Alteración del flujo del canal al bordo

Importancia:

Es una medida de los cambios importantes que se presentan en un flujo de agua que alimenta un cuerpo de agua, en este caso al bordo Santa Rita, el cual tiende a ser modificado para irrigar o controlar inundaciones. Estos cambios pueden provocar

alteraciones en el hábitat y en el almacenamiento de agua de la llanura de inundación (Barbour et. al. 1999: 5 – 20).

Resultados:

Se observó que la principal fuente de abastecimiento de agua del bordo fue obstaculizada por el inicio de la construcción de un hospital (Fotografía 7) y la construcción de unidad deportiva (Fotografía 8 y 9) que obstruyeron el paso del canal de alimentación, provocando que éste fuera utilizado como desagüe, de tal manera que el único flujo de agua que entra al bordo es un pequeño flujo de origen residual y, obviamente, el agua de escorrentía. Por lo anterior, se calificó con 5 en la condición de MALO.



Fotografía 7. Construcción de un hospital (Fuente:Elaboración propia).



Fotografía 8. Canal obstruido por el hospital y la unidad deportiva (Fuente:Elaboración propia).



Fotografía 9. Construcción de una unidad deportiva (Fuente:Elaboración propia).

7.5 Caracterización del sustrato

Importancia:

Evalúa el tipo y la condición de los sustratos inferiores encontrados en el cuerpo de agua. La posibilidad de que haya una amplia variedad de organismos depende de sedimentos firmes (como grava o arena) y plantas acuáticas arraigadas que funcionen como hábitat, en cambio un sustrato dominado por lodo o roca madre y ninguna planta soportara menos tipos de organismos (Barbour et. al. 1999: 5-13).

Resultados:

Se pudo observar que el sustrato predominante en el flujo de agua dentro del bordo Santa Rita es arcilla sin vegetación sumergida, como se puede observar en la Fotografía 11.

Además, en las zonas con ausencia de agua, se pudo observar que el sustrato dominante es lodo o arcilla y la vegetación ha ido ganando cada vez más terreno (Fotografía 10). De tal forma que la calificación del bordo en este criterio fue de 9 en la condición de REGULAR.



Fotografía 11. El sustrato dominante es arcilla (Fuente:Elaboración propia).



Fotografía 10. Se puede observar arcilla y crecimiento de vegetación donde el área de inundación recientemente se secó (Fuente:Elaboración propia).

7.6 Deposición de sedimento

Importancia:

Mide la cantidad de sedimento que se ha acumulado en los cuerpos de agua y los cambios que se han producido en el fondo de la corriente como resultado de la deposición. La deposición se produce a partir del movimiento a gran escala del sedimento y puede causar la formación de islas o bancos. El alto nivel de deposición de sedimentos es síntoma de un entorno inestable que se convierte en inadecuado para muchos organismos (Barbour et. al. 1999: 5 – 16).

Resultados:

La carga de sedimentos es evidente en el canal que atraviesa el bordo al encontrarse una mezcla de desechos de origen antropogénico y sedimento a las orillas del mismo como se muestra en la Fotografía 13.

Asimismo, se puede observar una acumulación de tierra que fue concentrada hace años en el interior del área de inundación del bordo cuando se realizaron actividades de desazolve y que, por los escasos recursos económicos y materiales para retirarlo, se dejó ahí, minimizando la capacidad de almacenamiento del bordo (Fotografía 12). Por todo lo anterior, este criterio fue calificado con 5 en la condición de MALO.



Fotografía 12. Gran acumulación de tierra dentro del área de inundación del bordo (Fuente:Elaboración propia).

Fotografía 13. Deposición de sedimentos a la orilla del canal (Fuente:Elaboración propia).

7.7 Presencia de basura

Importancia:

Evalúa la presencia de basura tanto en el cuerpo de agua como en las orillas y es considerada un signo de degradación.

Resultados:

Se pudo observar una cantidad notoria de basura dentro del bordo donde puede apreciarse que la gente quema adentro su basura, como se aprecia en la Fotografía 14, también se observó basura en los márgenes y dentro del canal que lo atraviesa (Fotografía 15), incluso en la zona del tular (Fotografía 16). La prominente presencia de basura motivo a que la calificación para este criterio fuera de 5 en la condición de MALO.



Fotografía 15. Piezas de automóvil dentro del canal que atraviesa el bordo (Fuente:Elaboración propia).



Fotografía 14. Basura quemada dentro del bordo (Fuente:Elaboración propia).



Fotografía 16. Basura en la zona del tular (Fuente:Elaboración propia).

7.8 Presencia de estiércol

Importancia:

La presencia del estiércol y los desechos humanos en los ríos y cuerpos de agua aumentan la demanda bioquímica de oxígeno, la carga de nutrientes y alteran el estado trófico de la comunidad biológica acuática. Asimismo, los desechos humanos no tratados constituyen un riesgo para la salud (USDA 1998:16).

Resultados:

Las actividades de pastoreo eran muy comunes en las orillas del bordo, sin embargo, ahora que el nivel del agua ha disminuido, se pudo observar que esta actividad se realiza dentro del área que corresponde al bordo (Fotografía 17) por la abundancia de vegetación con la que ahora se alimentan los animales. Esto resulta en acumulaciones dispersas de estiércol en la mayor parte del área del bordo y a las orillas del canal que lo atraviesa, como se muestra en la Fotografía 18. Aunado a esto, la falta de un servicio de drenaje del área circundante provoca también la descarga de aguas residuales (Fotografía 19). Por ello, este criterio fue calificado con 5 en la condición de MALO.



Fotografía 17. Ganado en el área de inundación del bordo (Fuente:Elaboración propia).



Fotografía 18. Estiércol y pisadas de animales a las orillas del canal (Fuente: Elaboración propia).

Fotografía 19. Descarga de aguas residuales (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 9. Características físicas/ Hoja de datos de calidad del agua

EVALUADOR: Nohemi Itzel Garrido Fonseca	FECHA 22/08/2017
NOMBRE DEL CUERPO DE AGUA: Bordo Santa Rita	
DUÑO DEL TERRENO DONDE SE UBICA EL CUERPO DE AGUA: Propiedad del Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco	

LOCALIZACIÓN	ENTIDAD FEDERATIVA Estado de México
	MUNICIPIO Zinacantepec
	LOCALIDAD Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco
	CUENCA Subcuenca del Río Tejalpa

CONDICIONES CLIMÁTICAS	Ahora	Las ultimas 24hrs.	¿Ha habido una fuerte lluvia en los últimos 7 días?	
	<input type="checkbox"/> Tormenta (fuerte lluvia)	<input type="checkbox"/>	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> Lluvia (lluvia constante)	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/> Aguacero (intermitentes)	<input type="checkbox"/>		
	<input checked="" type="checkbox"/> %Cubertura de nubes	<input type="checkbox"/>		
	<input type="checkbox"/> Claro / soleado	<input checked="" type="checkbox"/>		

CONDICIONES FISICAS DEL CUERPO DE AGUA	<input type="checkbox"/> El agua cubre el 100%
	<input type="checkbox"/> Hay evidencia del sustrato
	<input checked="" type="checkbox"/> Hay poca agua en el cuerpo de agua

FAUNA	<input type="checkbox"/> Peces	<input type="checkbox"/> Patos	Fauna inducida: Borregos y perros
	<input checked="" type="checkbox"/> Insectos	<input checked="" type="checkbox"/> Gusanos	
	<input type="checkbox"/> Larvas	<input type="checkbox"/> Otros	

VEGETACIÓN ACUÁTICA	Indica el tipo dominante y registra las especies dominantes presentes		
	<input checked="" type="checkbox"/> Enraizado emergente	<input type="checkbox"/> Flotante libre	Especies dominantes presentes: Malacate, junco y pasto.
	<input type="checkbox"/> Enraizado sumergido	<input checked="" type="checkbox"/> Alga flotante	
	<input type="checkbox"/> Enraizado flotante	<input checked="" type="checkbox"/> Algas unidas	
	Porción del cuerpo de agua con vegetación acuática: 90 %		

CARACTERIS- TICAS DEL AREA CIRCUNDANTE	Uso predominante de la tierra circundante		
	<input checked="" type="checkbox"/> Agricultura	<input type="checkbox"/> Recreativo	<input type="checkbox"/> Otro: _____
	<input type="checkbox"/> Industrial	<input checked="" type="checkbox"/> Residencial	
	<input checked="" type="checkbox"/> Pastoreo	<input type="checkbox"/> Forestal	
	Contaminación por fuentes no puntuales en el cuerpo de agua		
	<input type="checkbox"/> Sin evidencia	<input type="checkbox"/> Algunas fuentes potenciales	<input checked="" type="checkbox"/> Fuentes obvias
	Erosión en el cuerpo de agua		
	<input type="checkbox"/> Ninguna	<input checked="" type="checkbox"/> Moderada	<input type="checkbox"/> Intensa

CALIDAD DEL AGUA	Olores en el agua			
	<input type="checkbox"/> Normal/Ninguno	<input checked="" type="checkbox"/> Aguas residuales		
	<input type="checkbox"/> Petróleo	<input type="checkbox"/> Químicos		
	<input type="checkbox"/> Pescado	<input type="checkbox"/> Otro		<input type="checkbox"/> Ninguno
	Aceites en la superficie del agua			
	<input type="checkbox"/> Manchas	<input type="checkbox"/> Brillo	<input type="checkbox"/> Capas	<input type="checkbox"/> Globos
				<input type="checkbox"/> Otro: _____

SEDIMENTO/ SUSTRATO	Olores			
	<input type="checkbox"/> Normal/Ninguno	<input checked="" type="checkbox"/> Aguas residuales	<input type="checkbox"/> Otro	
	<input type="checkbox"/> Petróleo	<input type="checkbox"/> Químicos		
	<input type="checkbox"/> Anaerobio (olor a huevo podrido)			
	Aceites			
	<input checked="" type="checkbox"/> Ausente	<input type="checkbox"/> Leve	<input type="checkbox"/> Moderado	<input type="checkbox"/> Abundante
	Depósitos			
	<input checked="" type="checkbox"/> Lodo	<input type="checkbox"/> Aserrín	<input type="checkbox"/> Fibra de papel	<input type="checkbox"/> Arena
				<input type="checkbox"/> Otro _____
	Mira las piedras que no estén profundamente incrustadas, ¿son las partes inferiores de color negro? Sí <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
	Sustrato dominante			
	<input type="checkbox"/> Roca	<input type="checkbox"/> Grava	<input type="checkbox"/> Arena	<input type="checkbox"/> Limo
				<input checked="" type="checkbox"/> Arcilla



Fuente: USDA (1998: 35) y Barbour (et. al. 1999: A-5 – A-6).

Tabla 10. Hoja de puntuación /descripción de criterios

CRITERIOS	CONDICION DE LA CATEGORÍA				Calificación
	EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO	
ALTERACION HIDROLÓGICA	Sin estructuras que limiten el acceso de la corriente a la llanura de inundación.	Incisión limitada del canal o retiradas, aunque están presentes, no afectan el hábitat disponible para la biota.	El canal con importantes incisiones o retiros que afectan significativamente el hábitat disponible de bajo flujo para la biota	El canal profundamente inciso o las estructuras impiden el acceso a la llanura de inundación. O los retiros han causado la pérdida severa del hábitat bajo del flujo.	1
Puntuación	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0	
APARIENCIA DEL AGUA	Agua clara. Objetos visibles a una profundidad de 1 a 2 m.	Agua ligeramente verde. Objetos visibles a una profundidad de 50 cm a 1m.	Agua verde. Objetos visibles a una profundidad de 15 a 45 cm. Olor moderado a amoníaco o huevo podrido.	Aspecto muy turbio o lodoso. Objetos visibles a una profundidad menor a 15 cm. Esferas flotantes de las algas. Olor fuerte de productos químicos, aguas residuales, otros.	3
Puntuación	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0	
ENRIQUECIMIENTO DE NUTRIENTES	Agua clara a lo largo de todo el alcance. Poco crecimiento de algas presentes	Agua ligeramente verdosa a lo largo de todo el alcance; Crecimiento moderado de algas sobre sustratos de corriente.	Agua verdosa a lo largo del alcance total; Sobreabundancia de exuberantes macrófitas verdes. Abundante crecimiento de algas.	Agua verde, gris o marrón a lo largo de todo el alcance; Soportes densos de macrófitas obstruyen corriente; Las floraciones severas de las algas crean las esteras gruesas del alga en secuencia.	2
Puntuación	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0	
ALTERACION DEL FLUJO DEL CANAL AL BORDO	Sin obstáculos permanentes como muros o estructuras similares	Tomas de agua temporales o intermitentes en el segmento	Tomas de agua permanentes o intermitentes como: alcantarillas o descargas de casas aledañas	Tomas de agua permanentes y obstáculos permanentes	5
Puntuación	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0	
CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO	Mezcla de materiales de sustrato, con grava y arena firme prevalentes; esteras de raíz y vegetación sumergida común	Mezcla de arena blanda, lodo o arcilla; El barro puede ser dominante; Algunas esteras de raíz y vegetación sumergida	Todo lodo o arcilla o fondo de arena; Poca o ninguna estera de raíz; Sin vegetación sumergida	Arcilla dura o roca madre; Sin manto de raíz o vegetación sumergida.	9

Puntuación	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0	
DEPOSICIÓN DE SEDIMENTO	Menos del 5% del fondo afectado por la deposición de sedimentos.	De 5 a 30% del fondo afectado. Deposición de grava, arena o sedimento fino.	Del 30 al 50% del fondo afectado; Depósitos de sedimentos en obstrucciones.	Más del 50% del fondo cambia con frecuencia. Depósitos pesados de material fino	5
Puntuación	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0	
PRESENCIA DE BASURA	No hay desechos inorgánicos presentes	Desechos inorgánicos presentes, pero no prominentes. Botellas o papeles.	Evidente presencia de desechos inorgánicos como residuos sólidos urbanos	Prominente presencia de desechos inorgánicos (piezas de automóviles, escombros, botellas, desechos industriales, entre otros).	5
Puntuación	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0	
PRESENCIA DE ESTIÉRCOL	Sin presencia de estiércol	Evidencia de acceso del ganado a la zona ribereña	Estiércol ocasional localizado en el llano de inundación.	Gran cantidad de estiércol en los bancos o en el cuerpo de agua. O Tubos de descarga de residuos humanos no tratados presentes	5
Puntuación	20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 9 8 7 6	5 4 3 2 1 0	
CALIFICACIÓN TOTAL					35

Fuente: USDA (1998: 7-17) y Barbour (et. al. 1999: A-7 – A-10).

CALIFICACIÓN DE LA EVALUACIÓN/ HOJA DE DATOS DE EVALUACION VISUAL

1.- Alteración hidrológica	1
2.- Apariencia del agua	3
3.- Enriquecimiento de nutrientes	2
4.- Alteración del flujo del canal al bordo	5
5.- Caracterización del sustrato	9
6.- Deposición de sedimento	5
7.- Presencia de basura	5

Califique solo si es aplicable:

8.- Presencia de estiércol

5

NOTA: La puntuación global de la evaluación se determina sumando los valores de cada elemento y dividiéndolos por el número de elementos evaluados.

Puntuación general

(Total dividido por puntuación numérica)

35 / 8

4.3

< 5 Malo

6-10 Regular

11-15 Bueno

> 16 Excelente

Sospecha de causas de problemas observados: El poco interés de los ejidatarios por conservar el bordo, ya que de ellos depende su manejo y administración.

Recomendaciones: Tomar en cuenta la importancia de esta técnica ancestral de recolección y almacenamiento de agua potable, reconsiderando su conservación y mantenimiento para beneficio de la comunidad, así como para mejorar las condiciones ecológicas locales.

Fuente: USDA (1998: 36)

CAPÍTULO 8

Propuesta general de rehabilitación

En este apartado se describe la propuesta para rehabilitar el bordo Santa Rita a partir de un humedal artificial. Se describen también los cálculos para su diseño hidráulico y dimensionamiento, además de la selección de vegetación que por sus características degrade los contaminantes de las aguas residuales en el humedal.

Capítulo 8. Propuesta general de rehabilitación

Como resultado del protocolo de evaluación visual y visitas a campo pudo observarse que uno de los principales problemas, como se menciona en el capítulo anterior, es el vertido de aguas residuales, por ello la propuesta para rehabilitar el bordo Santa Rita se basará en un humedal artificial en el que se desarrollen diferentes tipos de vegetación y microorganismos capaces de eliminar los contaminantes de las aguas residuales.

El principal objetivo de proponer un humedal artificial es darle un tratamiento a las aguas residuales que entran al bordo, aprovechando el área disponible y que esto proporcione beneficios para la sociedad y el medio ambiente, considerando la alternativa más viable en cuanto a costos de construcción.

De acuerdo a lo anterior, el tipo de humedal que más se apegará a las condiciones del sitio, debido al bajo costo, la capacidad de albergar vida silvestre, restauración del ecosistema, uso para recreación y área superficial requerida para su construcción, es el humedal de flujo libre superficial.

8.1 Diseño hidráulico y dimensionamiento de un humedal de flujo libre superficial

De acuerdo con Lara (1999, 45-52), el diseño hidráulico de un humedal artificial es fundamental para el éxito de su rendimiento. Para ello es necesario obtener las siguientes variables: área, tiempo de retención hidráulica, relación largo-ancho, profundidad y caudal promedio.

Los humedales artificiales al ser considerados como reactores biológicos, puede estimarse su rendimiento mediante la ecuación básica de reactores flujo pistón que a continuación se muestra:

$$\frac{C_e}{C_0} = e^{-K_T t} \quad \leftarrow \boxed{1}$$

Dónde:

- C_o = Concentración del contaminante en el afluente, mgL^{-1}
 - o Es la concentración inicial del contaminante.
- C_e = Concentración de contaminante en el efluente, mgL^{-1}
 - o Es la concentración máxima permisible en el cuerpo de agua.
- K_T = Constante de primer orden dependiente de la temperatura, d^{-1} (también depende del contaminante que se desea eliminar).
- t = Tiempo de retención hidráulica.

La constante de primer orden dependiente de la temperatura se calcula con la siguiente expresión:

$$K_T = K_{20}(1.06)^{T-20} \quad \leftarrow \boxed{2}$$

$$K_{20} = \text{Constante de velocidad a } 20\text{C}, (\text{d}^{-1})$$

Para humedales de flujo libre superficial:

$$K_{20} = 0.678 \text{ d}^{-1}$$

El tiempo de retención hidráulica es el tiempo en el que el agua residual permanece en el sistema y se calcula con la siguiente expresión:

$$t = \frac{LWyn}{Q} \quad \leftarrow \boxed{3}$$

Dónde:

- L = Largo de la celda del humedal, m.
- W = Ancho de la celda del humedal, m.
- y = Profundidad de la celada del humedal, m.

- La profundidad óptima para sistemas de flujo libre superficial es de 0.30m a 0.60m.
- n = Porosidad o espacio disponible para el flujo de agua a través del canal, porcentaje expresado como decimal.
 - 0.65 a 0.75 (los valores menores son para vegetación densa y madura)
- Q = Caudal medio a través del humedal, m³/día.

La relación largo-ancho tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema. Se recomienda una relación de 1:1 hasta 4:1, y se calculan de la siguiente manera:

$$W = \sqrt{As/X}$$

← 4

$$L = WX$$

← 5

El caudal medio se refiere al caudal de aguas residuales en un día de aportación promedio al año y se puede calcular con la siguiente expresión (CNA 2007: 34):

$$Q = \frac{D P^{0.75}}{86400}$$

← 6

Dónde:

- D = Dotación en l/hab/día
- P = Número de habitantes
- 0.75= Consumo de agua potable que se convierte en agua residual (75%)
- 86400= s/ día

Para calcular el caudal promedio de aguas residuales es necesario determinar la población futura, para obtener una cantidad estimada de aguas residuales que recibirá el humedal. Esta población puede obtenerse con la siguiente expresión:

$$P = P_2(1 + i)^{T-T_2} \quad \leftarrow \boxed{7}$$

Dónde:

- P2= Población del último censo.
- i = Tasa de crecimiento media anual (TCMA).
- T2= Año del último censo
- T= Año proyectado

Una vez que se obtienen los datos mencionados, es posible determinar el área superficial con la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - \ln C_e)}{K_t \cdot y \cdot n} \quad \leftarrow \boxed{8}$$

8.1.1 Resultados

Para el diseño del humedal se obtuvo la concentración de contaminantes en el afluente (Tabla 9), cuyos resultados arrojaron una DBO5 por encima de los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, y en el mismo caso las grasas y aceites.

Tabla 11- Concentración de contaminantes en el afluente

PARÁMETROS	RESULTADOS	NOM- 001- SEMARNAT-1996.
Solidos Suspendidos totales	93 mgL ⁻¹	125 mgL ⁻¹
Solidos disueltos totales	905 mgL ⁻¹	N/A
DBO5	*248 mgL ⁻¹	150mgL ⁻¹
NH3-H	25.3 mgL ⁻¹	N/A
Grasas y aceites	*228 mgL ⁻¹	25 mgL ⁻¹
* Nivel de carga contaminante que excede la norma N/A= No aplica		

Fuente: Elaboración propia con base en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y los análisis fisicoquímicos realizados en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

La población es una variable indispensable para el diseño del humedal ya que de ello depende la cantidad de aguas residuales que se generará. Considerado un tiempo de funcionamiento del humedal para 20 años y una tasa de crecimiento media anual de 4.19%, la población proyectada para 2037 en el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco será:

Sustituyendo en la ecuación 7:

$$P = 11,142(1 + 0.0419)^{2037-2017}$$

- P= 25,321 hab.

El caudal de aguas residuales en el Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco con una población de 11, 608 habitantes y una dotación de agua potable de 250 L/hab/día, es:

Sustituyendo en la ecuación 6:

$$Q = \frac{250 (25,321)(0.75)}{86400}$$

- Q= 54.95 L/s
- Q=4747.68 m³/día

Se consideró también una relación largo ancho de 2:1 y una profundidad de 0.45 m sugeridas para el tipo de humedal. Asimismo, una porosidad de 0.65 relacionada a la densidad y madures de la vegetación, ya que la vegetación en el bordo ha invadido prácticamente toda el área.

El contaminante para el que se hará el diseño de humedal de flujo libre superficial por su alta concentración en el afluente, como se muestra en la Tabla 6, es la DBO5 con 248 mgL⁻¹.

Asimismo, la concentración del contaminante en el agua de salida (efluente) se determinó tomando en cuenta un valor más riguroso que el de la NOM 001-SEMARNAT-2006, ya que se pretende que el agua tratada contenga la menor concentración de contaminantes y sea beneficiosa para la fauna silvestre, la recreación y la agricultura.

De acuerdo a lo anterior, los datos necesarios para el diseño del humedal se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12. Datos para el diseño de un humedal artificial.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Caudal (Q)	m ³ /día	4747.68
Concentración de DBO5 en el afluente (Co)	mgL ⁻¹	248
Concentración de DBO5 en el efluente (Ce)	mgL ⁻¹	50
Temperatura promedio del agua	°C	21
Porosidad (n)	%	65
Profundidad (y)	m	0.45

Fuente: Elaboración propia con base en los datos de diseño, unidad y valores obtenidos.

Con una temperatura promedio del agua de 21°C, la constante de decaimiento del contaminante es la siguiente:

Sustituyendo en la ecuación 2:

$$K_T = 0.678 (1.06)^{21-20}$$

$$K_T = 0.7186$$

Una vez obtenido el dato anterior, es posible calcular el área superficial:

Sustituyendo en la ecuación 8:

$$A_s = \frac{4747.68 (\ln 248 - \ln 50)}{0.7186 (0.45)(0.65)}$$

$$A_s = 37,656.12 \text{ m}^2$$

En seguida se determina la relación largo-ancho de 2:1 con las ecuaciones 4 y 5.

$$W = \sqrt{37,656.12 \text{ m}^2 / 2} \qquad L = 137.22$$

$$W = 137.2 \text{ m} \qquad L = 274.4 \text{ m}$$

5.- El siguiente paso es calcular el tiempo de retención hidráulica:

Sustituyendo en la ecuación 3:

$$t = \frac{(274.4)(137.2)(0.45)(0.65)}{2176.493}$$




$$t = 5 \text{ días}$$

De esta manera las dimensiones requeridas para la construcción de un humedal de flujo libre superficial para la remoción de DBO_5 , considerando el caudal medio diario de aguas residuales generadas por el ejido de San Lorenzo Cuauhtenco a 20 años, son las siguientes (véase la Figura 7):

- Área superficial (A_s)= **37,656.12 m²**
- Largo (L)= **274.4 m**
- Ancho (W)= **137.2 m**
- Profundidad (y)= **0.45 m**
- Tiempo de retención hidráulica= **5 días**

La vegetación que se sugiere para el diseño del humedal por sus características se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Vegetación sugerida

Tipo	Nombre científico/ común	Características	Ilustración
Emergente	<i>Scirpus sp.</i> (Junco)	<ul style="list-style-type: none"> - Muy eficientes en la eliminación de nitrógeno. - Toleran un amplio rango de pH - Sus raíces son capaces de penetrar a una profundidad de 70 cm a 1m. por lo que son muy útiles en la oxigenación. - Son capaces de vivir en condiciones inusuales de inundación. - Es una especie local 	
Flotante enrizada	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> (Malacate)	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de remoción de Fosfatos Totales, Solidos Suspendidos Totales y Demanda Biológica de Oxígeno. - Especie con potencial de bioacumulación (capacidad de remoción de sustancias). - Es una especie local. 	
Emergente	<i>Zantedeschia sp.</i> (Alcatraz)	<ul style="list-style-type: none"> - Tolerante a aguas jabonosas o residuales domésticas - Efectiva en el tratamiento de aguas residuales - Especie local y ornamental 	

Fuente: Elaboración propia con base en González 2013:114, Royng 2011:44, Figueroa 2002: 5 y Valdivia, et.al. 2011:35.

En la siguiente figura se muestran las dimensiones del humedal propuesto de acuerdo a los cálculos realizados.

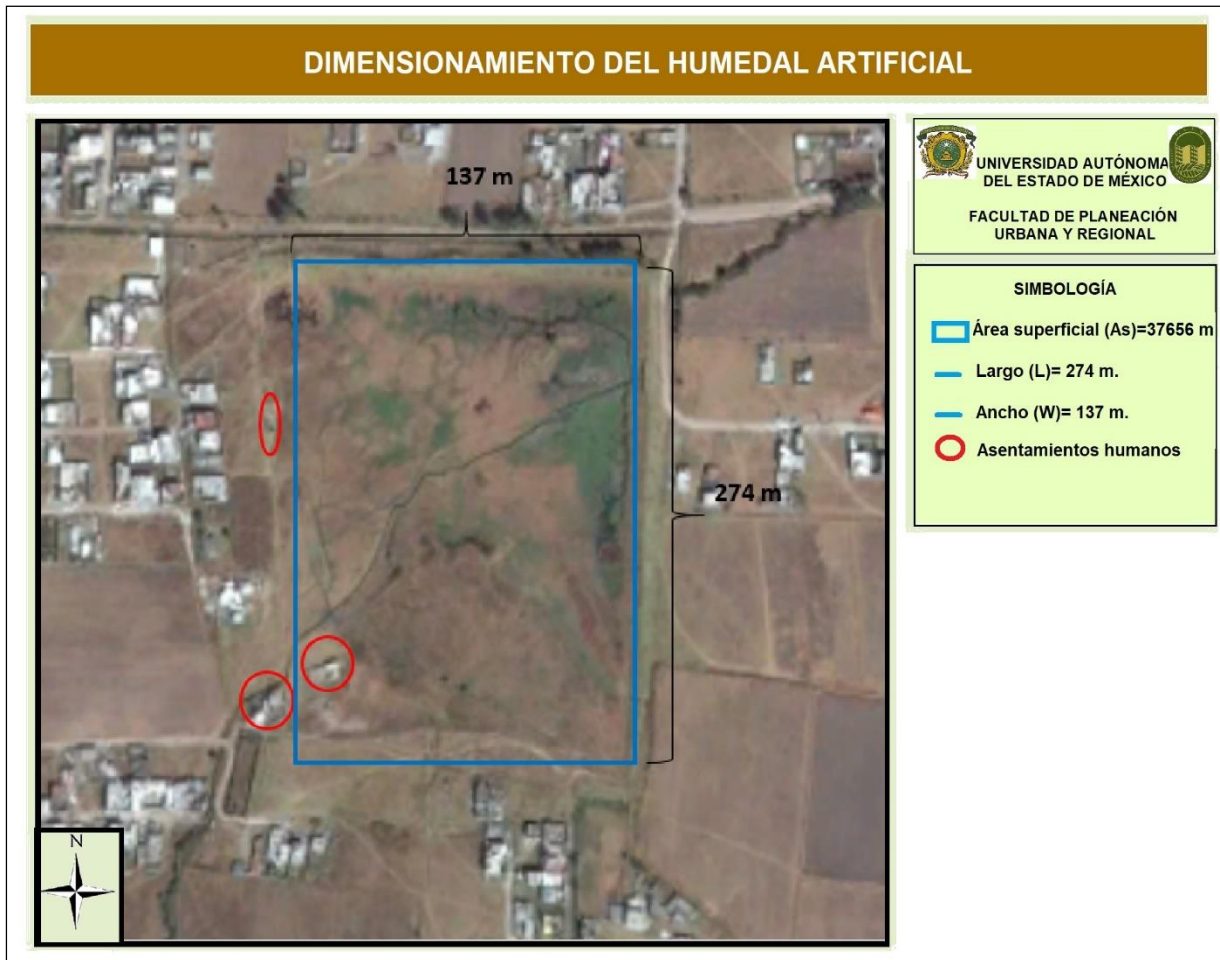


Figura 8. Dimensionamiento del humedal artificial (Fuente: Elaboración propia con base en las dimensiones calculadas)

Como se observa en la Figura 8, las dimensiones para el diseño del humedal se apegan a las medidas reales del bordo Santa Rita, por lo que la propuesta de un humedal artificial para la rehabilitación del Bordo Santa Rita es factible. Sin embargo, se puede observar que las dimensiones reales del bordo no hacen un rectángulo exacto y el terreno es irregular, asimismo que los asentamientos humanos han ido ganando terreno dentro del bordo, por ello se propone el siguiente diseño tomando en cuenta la vegetación sugerida, las dimensiones calculadas y las dimensiones reales del terreno, considerando también que el diseño no afecte a los asentamientos humanos.

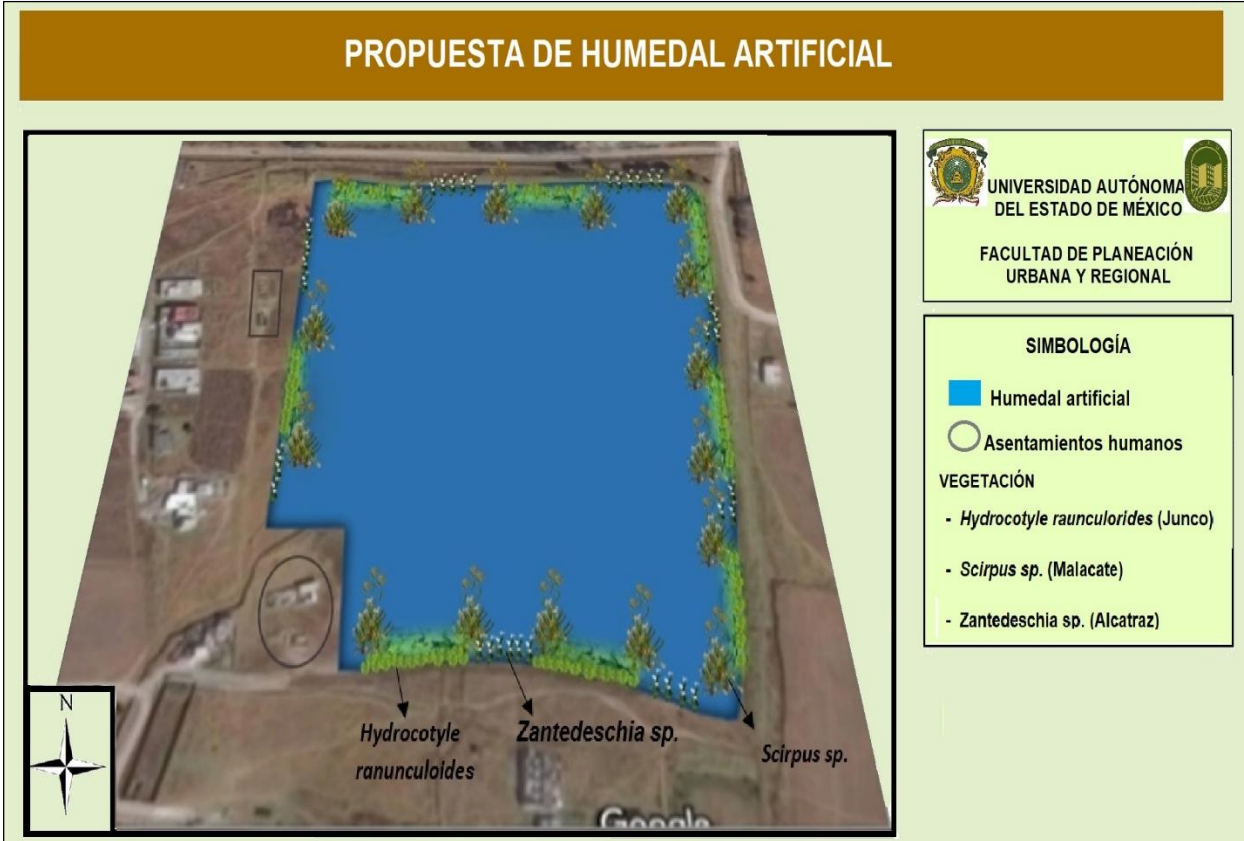


Figura 9. Diagrama propuesto del humedal de flujo libre superficial y distribución de la vegetación (Fuente: Elaboración propia con base en las dimensiones calculadas)

8.2 Construcción

Existen varios aspectos para la construcción de un humedal artificial como la excavación a la profundidad requerida para el tipo de humedal; la nivelación para asegurar un buen drenaje con una pendiente ligera de 1%; impermeabilización; sustrato y vegetación (Zambrano y Saltos 2008:81-83).

Sin embargo, para el caso de estudio hay una ventaja, ya que el bordo Santa Rita cuenta con los aspectos de construcción ya mencionados, con una profundidad aproximada de 2.5 m por lo que no es necesaria la excavación, tiene una ligera pendiente lo que permite que el agua fluya a través de él y el tipo de suelo es poco permeable lo que permite que el agua se almacene.

En este caso, la vegetación es el elemento clave para la propuesta del humedal, por ello hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- Dado que el sembrado de semillas requiere mucho tiempo y control estricto del agua, se recomienda el trasplante de rizomas al lecho previamente preparado.
- La vegetación seleccionada que mida entre 0.20 y 0.40 m debe plantarse uniformemente por todo el humedal a una distancia de 0.6 m entre cada una, su tiempo de dispersión a todo el humedal será de 6 meses a un año.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que la propuesta de un humedal artificial de tipo flujo libre superficial como solución al problema del vertido de aguas residuales, uno de los factores principales que ha ocasionado la degradación en el Bordo Santa Rita, es una alternativa viable para lograr su rehabilitación ecológica por las siguientes razones:

- El Bordo Santa Rita cumple con el área superficial necesaria para la remoción de la materia orgánica presente en el afluente, con una concentración final estimada en el efluente de aproximadamente 50 mg/L, es decir, se elimina cerca del 82 % de la concentración inicial.
- Dispone de tres especies de vegetación con la capacidad de remoción de nitrógeno, fosfatos totales, sólidos suspendidos totales, demanda biológica de oxígeno y con potencial de bioacumulación; y las características del suelo permiten la retención y almacenamiento del agua.
- Además del tratamiento de aguas residuales, este tipo de humedal proporciona las condiciones adecuadas para albergar vida silvestre, mejorando las condiciones ecológicas locales y paisajísticas.

Adicionalmente, la comunidad del ejido podría obtener agua para actividades agrícolas, propiciando, además, un ambiente adecuado para actividades recreativas.

Otra ventaja que tienen los humedales de flujo superficial es su costo bajo, en comparación con el humedal de flujo subsuperficial, y con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales. El humedal artificial propuesto no implica gastos por excavación, construcción o mantenimiento, ya que el bordo cuenta con el sustrato, el área superficial y la vegetación requerida. Por lo tanto, para implementar la propuesta se requiere únicamente la organización de la comunidad, para lo cual se sugiere:

Promover la participación comunitaria a partir de:

- El desarrollo de un programa de participación comunitaria con actividades periódicas que comprometa a la población a realizar actividades de limpieza en el bordo Santa Rita, con el fin de fomentar educación ambiental, generar conciencia, mejorar el espacio público y conservar la naturaleza.
- La identificación de los mecanismos de participación ciudadana para lograr el éxito en los proyectos comunitarios.

El cierre de la compuerta para garantizar que el humedal se llene completamente y se lleve a cabo la adecuada remoción de contaminantes.

Contribuir al mantenimiento del bordo Santa Rita evitando introducir al ganado al área de inundación para prevenir el aumento de la carga orgánica.

De esta manera se puede establecer que los humedales artificiales son una alternativa económica y sustentable para rehabilitar un cuerpo de agua afectado por el vertido de aguas residuales y que además mejoran el paisaje y proporcionan beneficios ambientales.

Cabe destacar la efectividad del Protocolo de Evaluación Visual como instrumento en este estudio, para la valoración de las condiciones ambientales del bordo Santa Rita, pues proporcionó un panorama de las causas y afectaciones de su situación actual y una breve retroalimentación de la importancia de cada elemento o característica evaluada. Hay que señalar que éste instrumento es una herramienta certificada y comprobada por el Departamento de Agricultura de los EEUU, que garantiza la calidad de los resultados obtenidos. Dado su calidad, el Protocolo de Evaluación Visual ha sido ampliamente utilizado en ríos y arroyos en los Estados Unidos de Norteamérica y en quebradas en Puerto Rico; así como en la valoración de la calidad del hábitat en ríos en México, sin embargo, no se tiene antecedente de haber sido utilizado y/o adaptado, en México, para evaluar cuerpos de agua lénticos como bordos o jagüeyes.

Finalmente, en lo que respecta a bordos o jagüeyes, es necesaria la concientización sobre este tipo de técnicas de captación de agua pues proporcionan beneficios como la dotación de agua potable, cuyo recurso es indispensable y limitado en muchas comunidades y su implementación, en muchas de ellas, podría ser la clave para enfrentar la escasez de agua.

ANEXO A

Cartografía

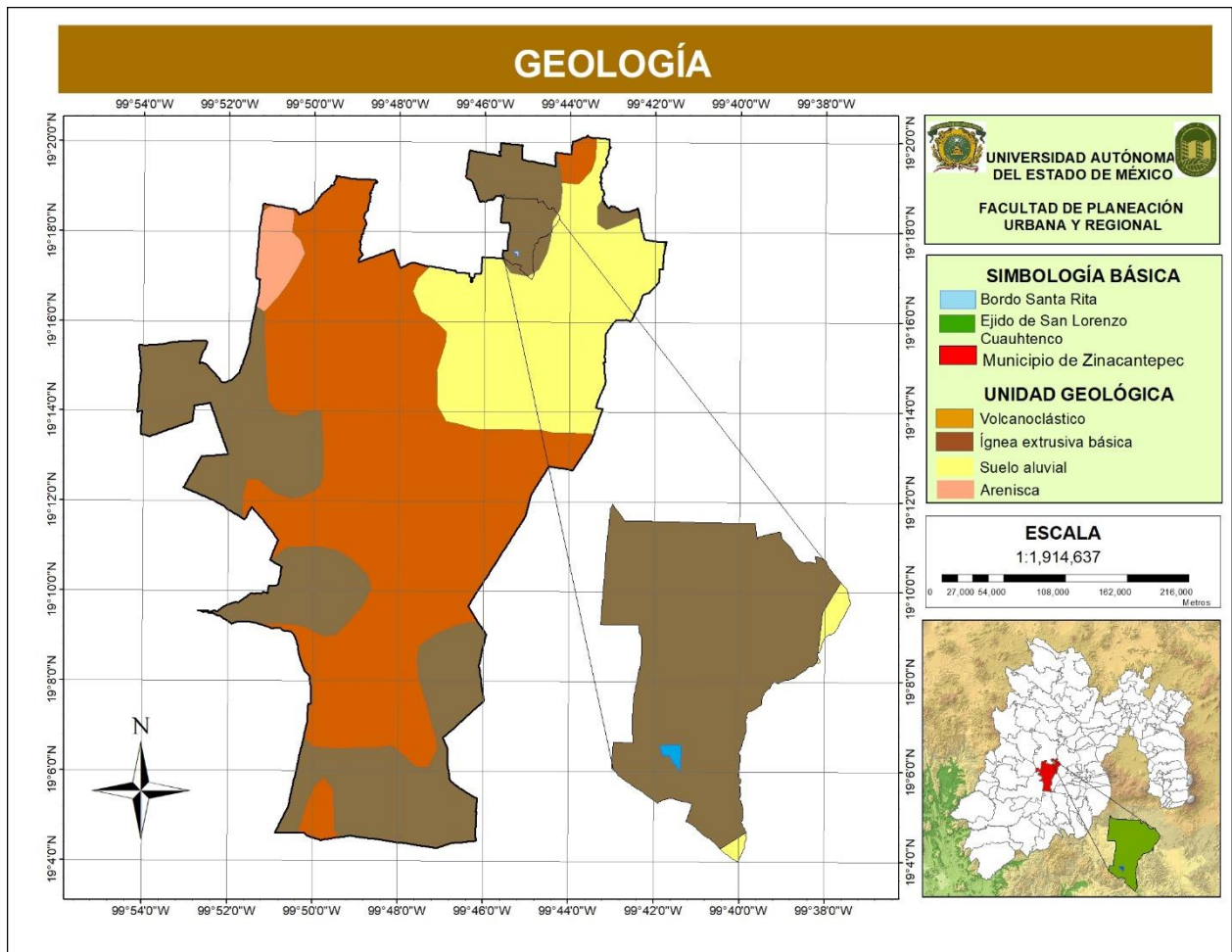


Figura 1. Geología (Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2010)

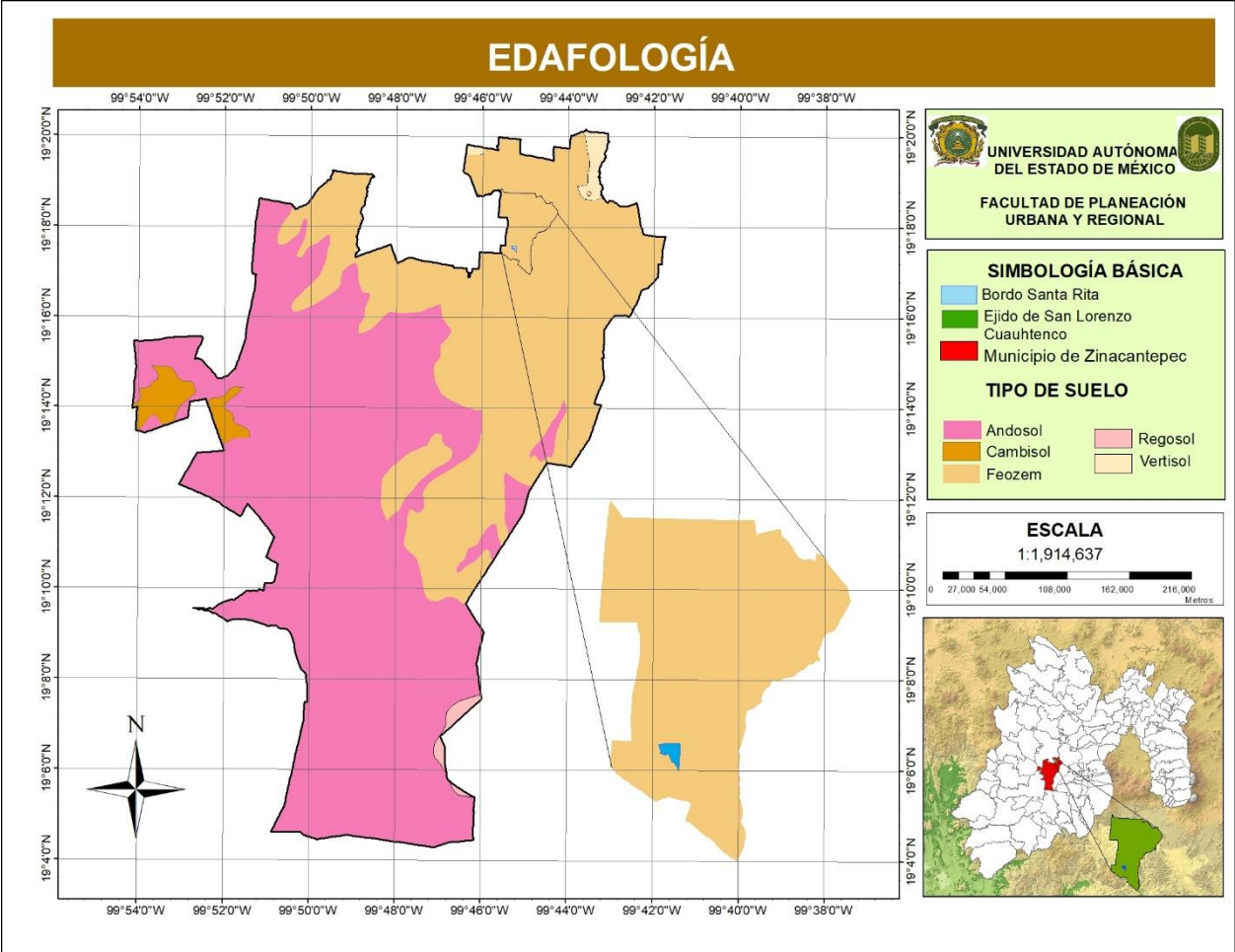


Figura 2. Edafología (Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2010)

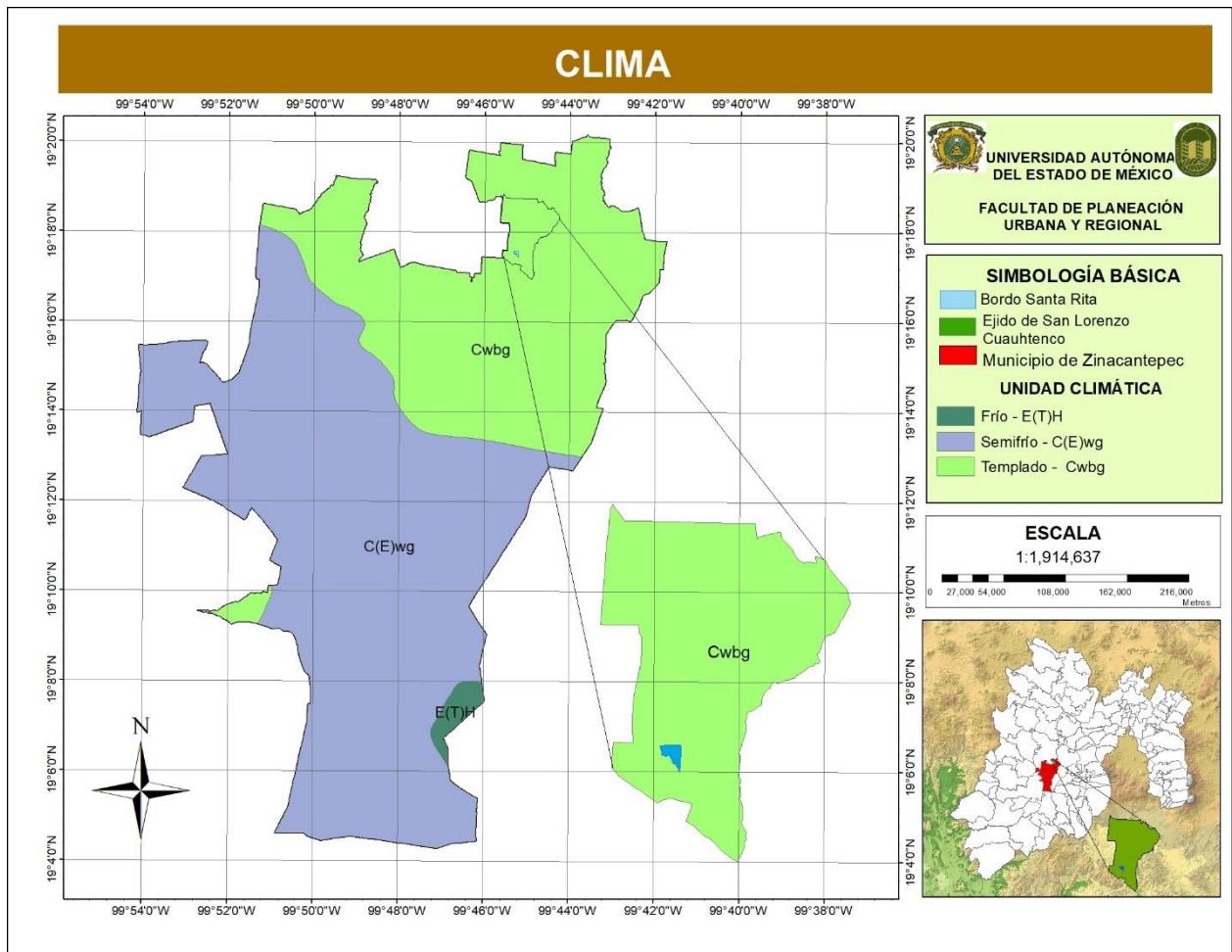


Figura 3. Clima (Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2010)

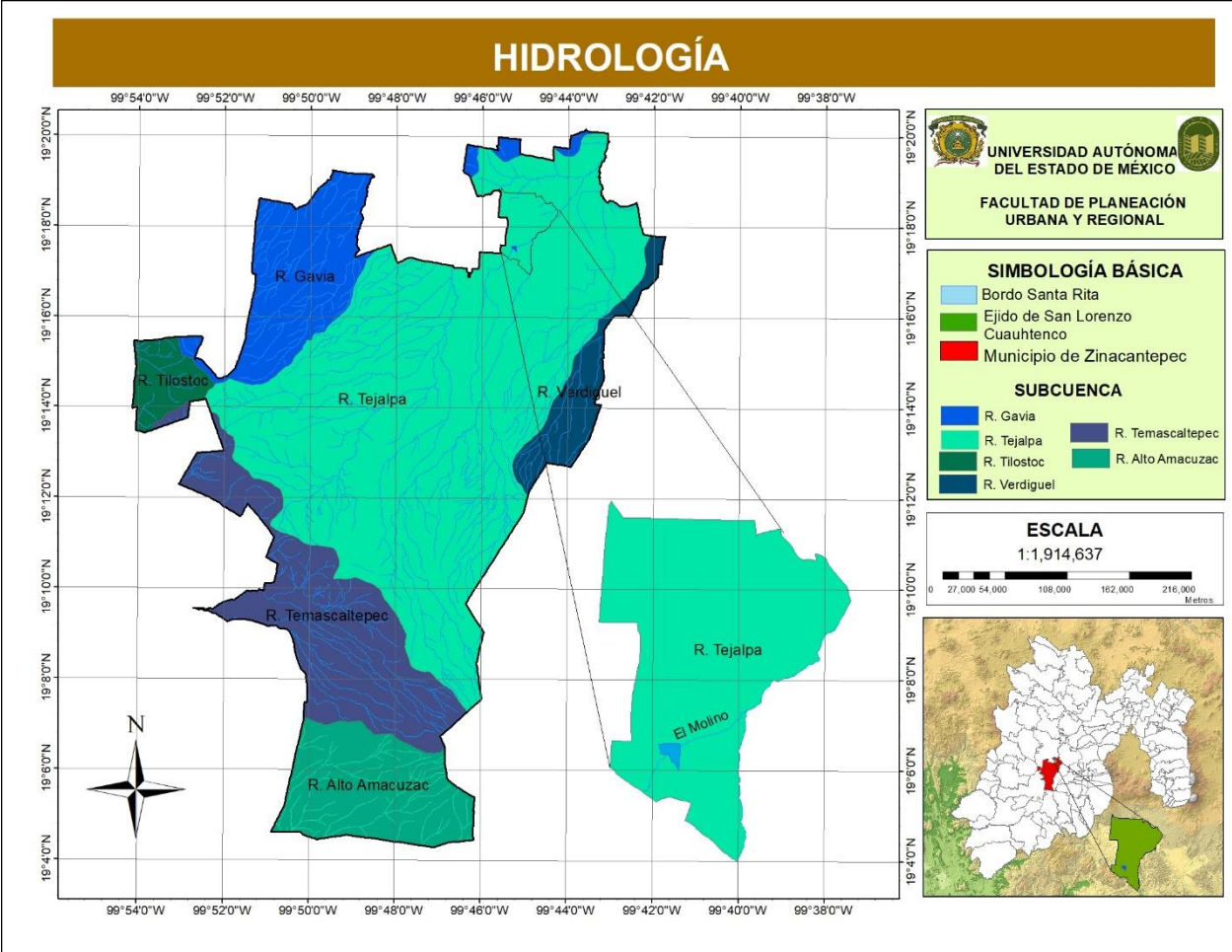


Figura 4. Hidrología (Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2010)

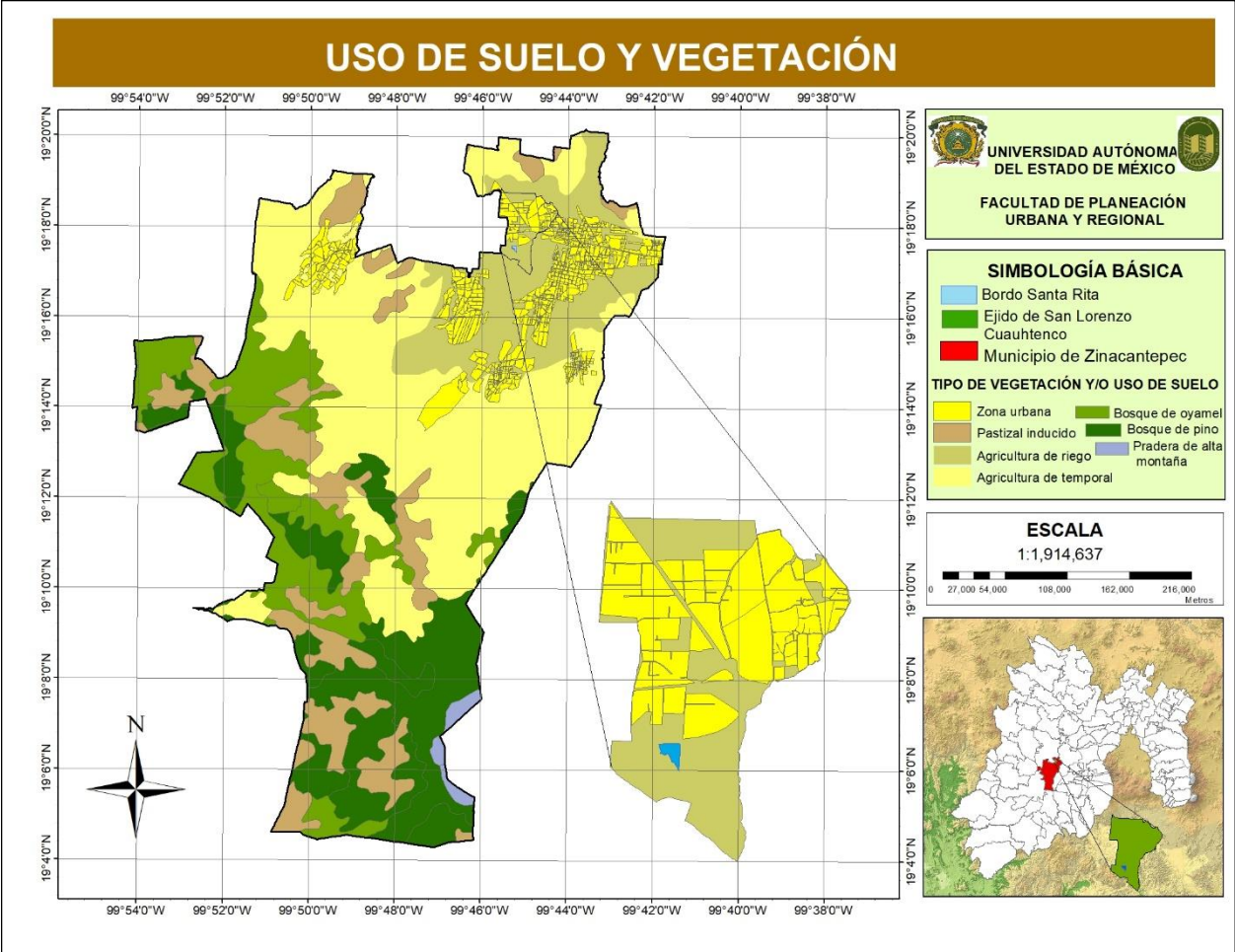


Figura5. Uso de suelo y vegetación (Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2010)

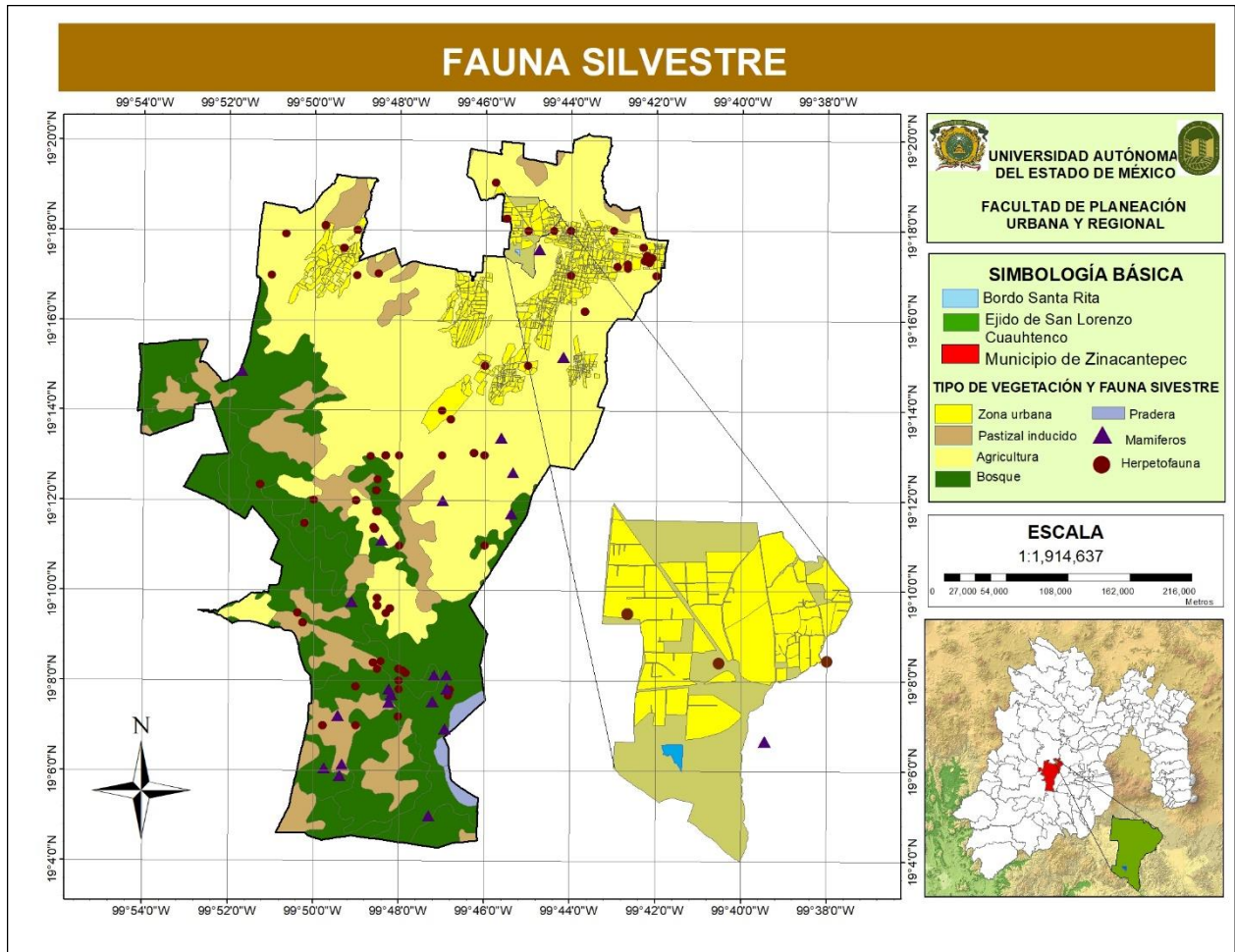


Figura 6. Fauna silvestre (Fuente: Elaboración propia con base a INEGI, 2010)

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- Albert, L. A., 1995. "Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos" en *La contaminación y sus efectos en la salud y el ambiente*, Centro de ecología y desarrollo [ebook] Disponible en: [http://www.academia.edu/7045335/Contaminacion ambiental origen clases fuentes y efectos](http://www.academia.edu/7045335/Contaminacion_ambiental_origen_clases_fuentes_y_efectos) [Consultado el 18 de abril de 2017].
- Anaya, M., 1998. *Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe*, [ebook], México, p.3. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B1218e/B1218e.pdf> [Consultado el 10 de febrero de 2017]
- Arias, F., 1999. *El proyecto de investigación: Guía para su elaboración*, [ebook], Editorial Episteme, Caracas, p.19. Disponible en: <https://es.slideshare.net/brendalozada/el-proyecto-de-investigacion-fidias-arias-3ra-edicion> [Consultado el 19 de agosto de 2017]
- Ballen, J.A., Galarza, M. A. y Ortiz, R.O., 2006. "Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia", *Seminario iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua presentado en João Pessoa, Brasil*, [en línea] Disponible en: file:///E:/taller%20de%20titulacion/INFO_TESIS/historia%20de%20los%20sistemas%20de%20aprovechamiento%20de%20agua%20de%20lluvia.pdf [Consultado el 01 de febrero de 2017]
- Barbour, M, Gerritsen, J., Snyder, B. y Stribling, J., 1999. 'Protocolos rápidos de evaluación biológica para uso en arroyos y ríos inundables: Perifiton, macroinvertebrados bénticos y peces [en línea], segunda edición. EPA 841-B-99-002. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; Oficina de Agua; Washington DC. Disponible en: http://www.krisweb.com/biblio/gen_usepa_barbouretal_1999_rba.pdf [Consultado el 13 de junio de 2017]
- Boggiano, M.A., 2013. 'Los 10 países con más reservas de agua del mundo', *Carta financiera*, [Blog] Disponible en: <http://www.cartafinanciera.com/tendencia-actual/los-10-paises-con-mas-reservas-de-agua-del-mundo> [Consultado el 05 de abril de 2017].
- Busquets, J. y Cortina., A., 2009. *Gestión del Paisaje*. [ebook]. Disponible en: https://books.google.com.mx/books?id=APedUYWTcNQC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=true [Consultado el 23 de febrero de 2017]
- Cayuela, M., 2013. *Geografía de México y del mundo*. Primera reimpresión, México, Santillana.
- Cervantes, M., 2007, 'Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México'. [ebook]. Sánchez, O., Herzing, M., Peters, E., Márquez, R.

- y Zambrano, L., *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Disponible en: <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/533.pdf> [Consultado el 26 de septiembre de 2017]
- Chrino, E., Abad, J., Bellot, J., 2008. Respuesta en el diagnóstico de la comarca de la Marina Baja, SE, España. *Revista Ecosistemas*, vol.17. [En línea] Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/116> [Consultado el 15 de enero de 2017]
 - Comisión Nacional del Agua, 2007 *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. [En línea] México, D.F. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Jvz6_PBatEwJ:ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/.../libros%2520pdf%25202007/Datos%2520B%25E1sicos.pdf+&cd=6&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx#21 [Consultado el 19 de septiembre de 2017]
 - Comisión Nacional del Agua, 2009. *Semblanza histórica del agua en México*. [ebook] México. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-28SemblanzaHist%C3%B3ricaM%C3%A9xico.pdf> [Consultado el 16 de febrero de 2017]
 - De Camino, R., 1986. "Evaluación de costos y beneficios sociales de actividades forestales", ponencia presentada al IX Congreso forestal mundial de los recursos forestales en el desarrollo integral de la comunidad, México, D.F., julio 1985, [en línea] Disponible en: <http://www.sidalc.net/repdoc/A6360e/A6360e.pdf> [Consultado el 08 de febrero de 2017]
 - Diaz, M., Bustos, M. y Espinosa, A., 2004. *Pruebas de toxicidad acuática: fundamentos y métodos*. [ebook]. Disponible en: https://books.google.com.mx/books?id=Dc7XzDR7GJMC&pg=PA108&lpg=PA108&dq=identificacion+de+tensores&source=bl&ots=-2hVuqm_wO&sig=4gewxlAHLjskkXzPO8RVsfmjqMQ&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiVoLuA7IHSaHVIjFQKHVyoC5AQ6AEIKzAD#v=onepage&q=identificacion%20de%20tensores&f=false [Consultado el 21 de febrero de 2017]
 - Echarri, L., 1998. *Ciencias de la tierra y del medio ambiente*. [ebook]. Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/indice.html> [Consultado el 20 de febrero de 2017]
 - Environmental Protection Agency (EPA), 2000. *Stressor identification guidance document*. [ebook]. Disponible en: <https://clu-in.org/download/contaminantfocus/sediments/stressor-guidancej.pdf> [Consultado el 21 de febrero de 2017]
 - Environmental Protection Authority, 2006. *Guidance for the Assessment of Environmental Factors*, [ebook], Australia, p.33. Disponible en: <file:///E:/taller%20de%20titulacion/INFO%20TESIS/Guia%20para%20la%20evaluacion%20de%20factores%20ambientales.pdf> [Consultado el 06 de febrero de 2017]

- FAO, 2003. *FAO Estudios sobre tenencia de la tierra*, [ebook], Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/005/y4307s/y4307s00.htm#Contents> [Consultado el 17 de agosto de 2017]
- Figueroa, J., 2002 'Evaluación de zantedeschia aethiopica como planta emergente en pantanos de flujo horizontal de subsuperficie para el Tratamiento de aguas residuales '. Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/088.pdf> [Consultado el 20 de septiembre de 2017]
- Fernández, J., 2000. *Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación*. [En línea] Madrid. Disponible en: <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%206.pdf> [Consultado el 16 de septiembre de 2017]
- Galindo, E., Palerm, J., Tovar, J., Rodarte, R., 2008. Tecnología hidráulica y acciones comunitarias para la captación de agua de lluvia en jagüeyes. *Boletín del archivo histórico del agua*, vol. 13, pp.21-31. [En línea] Disponible en: <http://132.248.9.34/hevila/Boletindelarchivohistoricodelagua/2008/vol13/noesp/3.pdf> [Consultado el 12 de febrero de 2017]
- Galindo, E. 2007 'Organización social para el uso y manejo de jagüeyes. El caso de la zona norte de los llanos de Apan en el Estado de Hidalgo, México '. [en línea] Maestro en ciencias, Colegio de postgrados. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Emmanuel_Escamilla/publication/262414807_Organizacion_social_para_el_uso_y_manejo_de_jagueeyes_al_norte_de_los_Llanos_de_Apan_Hidalgo_Mexico/links/0a85e539eee1b9e10b000000/Organizacion-social-para-el-uso-y-manejo-de-jagueeyes-al-norte-de-los-Llanos-de-Apan-Hidalgo-Mexico.pdf [Consultado el 20 de marzo de 2017]
- González, A., 2013 'El uso de humedales como una manera efectiva de disminuir los efectos ambientales por los residuos de una unidad de producción trutícola con sistema de recirculación: el Zarco, Estado de México '[en línea] Maestro en ciencias agropecuarias y recursos naturales, Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/63979> [Consultado el 20 de septiembre de 2017]
- González, M., Sánchez, F., Aparicio, M. y Saiz, A. 2011. "Optimización de técnicas de bioingeniería para la mejora del estado ecológico y estabilización de márgenes de los ríos", I Congreso Ibérico de restauración fluvial restauraríos , León, del 18 al 20 de octubre de 2011, [en línea]Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/delimitacion-y-restauracion-del-dominio-publico-hidraulico/Proyecto_optimizaci%C3%B3n_t%C3%A9cnicas_de_bio_tcm7-279302.pdf [Consultado el 25 de febrero de 2017]
- Google Earth, 2003. Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, Zinacantepec. Escala indeterminada. Imágenes históricas. Disponible en: <https://earth.google.com/web/@19.29196531,->

- 99.75494307,2755.00906679a,731.67119827d,35y,-2.62894881h,0.87275848t,0r [Consultado el 21 de septiembre de 2017]
- Google Earth, 2017. Ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, Zinacantepec. Escala indeterminada. Disponible en: <https://earth.google.com/web/@19.29196531,-99.75494307,2755.00906679a,731.67119827d,35y,-2.62894881h,0.87275848t,0r> [Consultado el 21 de septiembre de 2017]
 - Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M., 2010. Metodología de la Investigación, 5ª Ed. México: McGraw Hill Educación
 - Hernández, R. y Herrerías, G., 2003. *Agua para siempre*. [ebook] Disponible en: <http://www.alternativas.org.mx/Agua%20para%20Siempre.pdf> [Consultado el 15 de febrero de 2017]
 - Ibarra, M., 2009 *Introducción a las Finanzas Públicas*, [ebook]. México. EUMED. Disponible en: <https://licenciaturaap.files.wordpress.com/2012/02/introduccion-finanzas-publicas-de-alberto-ibarra-mares.pdf> [Consultado el 20 de junio de 2017]
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1990. Censo de Población y Vivienda. México: INEGI. [en línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx> [Consultado el 14 de enero de 2017]
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1995. Censo de Población y Vivienda. México: INEGI. [en línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx> [Consultado el 14 de enero de 2017]
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2000. Censo de Población y Vivienda. México: INEGI. [en línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx> [Consultado el 14 de enero de 2017]
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2005. Censo de Población y Vivienda. México: INEGI. [en línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx> [Consultado el 14 de enero de 2017]
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010. Censo de Población y Vivienda. México: INEGI. [en línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx> [Consultado el 14 de enero de 2017]
 - Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2017 'En México, sólo 34 de cada 100 municipios cuentan con servicio de tratamiento de aguas residuales

municipales'. Comunicado de prensa núm. 127/17. [En línea]. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2017/agua2017_Nal.pdf

[Consultado el 15 de octubre de 2017]

- Lara, J., 1999 'Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales '. [en línea]. Master en ingeniería y gestión ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. Disponible en: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbncodW1lZGFsZXNhcnRpZmljaWFsZXN8Z3g6MzEwNjYyODBIMGNjYzlyNw> [Consultado el 27 de septiembre de 2017]
- Londoño, L. y Marín, C., 2009 'Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética '[en línea], Tecnólogo químico, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1817/628162L847.pdf?sequence=1> [Consultado el 19 de septiembre de 2017]
- Luna, V. y Aburto, S., 2014. 'Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón '. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* [en línea] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43230982003> [Consultado el 25 de septiembre de 2017]
- Magdaleno, F., 2008? *Principios y técnicas de restauración fluvial*. [Página web] CEDEX. Disponible en: file:///C:/Users/NoHeMi/Downloads/fmagdaleno_principiosrestauracion_tcm7-13366.pdf [Consultado el 08 de febrero de 2017]
- Marcos, J. y Álvarez., S., 2016. Campos de camellones y jagüeyes en Ecuador: una visión integral desde la arqueología al presente socioambiental. *Intersecciones en Antropología*, vol.17. [En línea] Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-373X2016000100002 [Consultado el 15 de febrero de 2017]
- Martínez, N., 2000. El proceso de ocupación en la cuenca del embalse la mariposa y sus efectos de deterioro en el embalse y sus aguas. *Redalyc*, vol.5. [En línea] Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/721/72102503.pdf> [Consultado el 20 de febrero de 2017]
- Méndez, E. y Cantillo, P. 2015. Inegi: el costo ambiental representa el 5.3% del PIB. *EXCELSIOR*, [en línea] Disponible en: <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2015/12/01/1060610> [Consultado el 05 de abril de 2017].
- Mendoza, E. 2014 'Contaminados, siete de cada 10 ríos en México'. *Revista Contralínea* [En línea] Disponible en: <http://www.contralinea.com.mx/archivo->

[revista/2014/09/14/contaminados-siete-de-cada-10-rios-de-mexico/](#) [Consultado el 15 de octubre de 2017]

- Moncada, A., 2016 'Análisis del desempeño y operación de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical para tratamiento de agua residual doméstica en países tropicales' [en línea] Ingeniero ambiental, Universidad Católica de Manizales, Colombia. Disponible en: <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1326/Alvaro%20David%20Moncada%20Suaza.pdf?sequence=1> [Consultado el 15 de septiembre de 2017]
- Montiel, P., 2014 'Humedal artificial'. [en línea] Ingeniero civil, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4254/TESIS.pdf?sequence=1> [Consultado el 26 de septiembre de 2017]
- Morera, A., Scholz, C., Botero, R., Russo, R., Sanchún, A., Obando, G. y Spinola, M. 2016. *Restauración funcional del paisaje rural*. [ebook]. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/ST-GFE-no.03.pdf> [Consultado el 23 de febrero de 2017]
- Ongley, E.D. 1997. *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos*. [ebook]. Disponible en: https://books.google.com.mx/books?id=LYdW3nQ3KvoC&pg=PA1&hl=es&source=gbp_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false [Consultado el 5 de junio de 2017]
- Organización Mundial de la Salud, 2016. *Agua*. [Página web] Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/> [Consultado el 05 de abril de 2017].
- Palacio, N., 2010. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable. *Gestión y ambiente*, [en línea], vol.13, no.2, p. 16. Disponible en: <file:///C:/Users/NoHeMi/Downloads/25392-89359-1-PB.pdf> [Consultado el 05 de febrero de 2017]
- Palerm, J., Collado, J. y Rodríguez, B., 2010. 'Retos para la administración y gestión del agua del riego' en *El agua en México: cauces y encauces*, ed. Jiménez, B., Torregrosa, M. y Aboites, L., [Ebook] Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/elaguaenmexico-caucesyencauces.pdf> [Consultado el 06 de abril de 2017].
- Palerm, J., Sánchez, M., 2002. "Técnicas hidráulicas en México, paralelismos con el viejo mundo", ponencia a la sesión 17 "Technological exchange, modes of production and water utilisation in Europe and Latin America (from Ancient times to XXth century)" del Economic History Congress, Buenos Aires, del 22 al 26 de julio 2002, [en línea] Disponible en: file:///E:/taller%20de%20titulacion/INFO_TESIS/tecnicas%20hidraulicas%20en%20mexico.pdf [Consultado el 10 de febrero de 2017]

- Peñaloza, J. A., 2012. Contaminación. *Desarrollo local sustentable*, vol. 5. [En línea] Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/delos/13/japp.html> [Consultado el 18 de febrero de 2017]
- Pérez, M., 2009 'Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango' [en línea] Doctor en ciencia y tecnología ambiental, Centro de Investigación de Materiales Avanzados, S.C., Chihuahua. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/598/1/Tesis%20Ma.%20Elena%20P%C3%A9rez%20L%C3%B3pez.pdf> [Consultado el 20 de septiembre de 2017]
- Pérez, M. y Rojo, C., 2000. 'Función depuradora de los humedales I: una revisión bibliográfica sobre el papel de los macrófitos'. *SEMEHUED*. [en línea] Disponible en: http://www.sehumed.es/banco/archivos/SEHUMED_colecc115.PDF [Consultado el 25 de septiembre de 2017]
- Pineda, R., 2011. Metodología de evaluación de riesgo ecológico de un ambiente lagunar estuarino. *Multidisciplina*. [En línea] Disponible en: <http://www.journals.unam.mx/index.php/multidisciplina/article/view/34247> [Consultado el 21 de febrero de 2017]
- Plan de Desarrollo Urbano de Zinacantepec 2003, Secretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda [en línea]. Disponible en: <https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjJ0YO79-7WAhXFSCYKHccRDukQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fipomex.org.mx%2Fipomex%2Farchivos%2FdownloadAttach%2F8070.web%3Bjsessionid%3D9908ED368CC210FA3FF2785FFF0F7214&usq=AOvVaw29Zd8J-DUGwxadS-Rx9MMM> [Consultado el 21 de mayo de 2017]
- Ramírez, A., s.f. *Metodología de la investigación científica*, [ebook], Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Disponible en: <http://www.postgradoune.edu.pe/documentos/ALBERTORAMIREZMETODOLOGIADELAINVESTIGACIONCIENTIFICA.pdf> [Consultado el 17 de agosto de 2017]
- RAMSAR, 2014. *La importancia de los humedales*. [página web] Disponible en: <http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-importancia-de-los-humedales> [Consultado el 25 de septiembre de 2017]
- Reija, A., 2013, 'Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia', *El agua* [Blog], 16 de mayo. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891> [Consultado el 11 de septiembre de 2017]
- Roing, D., 2011 'Eliminación de contaminantes emergentes mediante Humedales Artificiales como sistema alternativo o complementario a un tratamiento de aguas convencional' [en línea] Master de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España. Disponible en:

- https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/44470/Tesis_Fin_de_master%20jos_e.pdf?sequence=1 [Consultado el 20 de septiembre de 2017]
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2009. Ollas de agua, Jagüeyes, Cajas de agua o Aljibes. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. México [en línea]. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Ollas%20de%20agua.pdf> [Consultado el 28 de febrero de 2017].
 - Secretaría de la Función Pública (SFP), 2016 *Informe General de Contraloría Social 2016* [En línea]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/209012/Informe_General_de_Contralora_Social_2016-2.pdf [Consultado el 15 de octubre de 2017].
 - Seoáñez, M. 1999. *Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales. Fundamentos científicos. Tecnologías. Diseño*. Mundi prensa, Editorial Aedos, Barcelona.
 - Ten P., Russi D., Farmer A., Badura T., Coates D., Förster J., Kumar R. y Davidson N., 2013 *La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad relativa al agua y los humedales*. Resumen ejecutivo. [en línea] Disponible en: www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/teeb_waterwetlands_execsum_2013-sp.pdf [Consultado el 25 de septiembre de 2017]
 - United Nations Environment Programme (UNEP), 2010. *La rehabilitación de los bienes naturales genera empleos, riqueza y restauración de servicios valuados en billones de dólares*. [Página web] Disponible en: <http://staging.unep.org/newscentre/Default.aspx?DocumentID=628&ArticleID=6596&l=es> [Consultado el 09 de febrero de 2017]
 - United States Department of Agriculture (USDA), 1998. 'Stream Visual Assessment Protocol'. Nota Técnica 99-1 del Centro Nacional del Agua y el Clima. [en línea]. Disponible en: file:///F:/taller%20de%20titulacion/INFO_TESIS/29_10_2015/Stream%20Visual%20AssessmentProtocol.pdf [Consultado el 25 de marzo de 2017]
 - United States Department of Agriculture (USDA), 2010. *Watershed Condition Classification Technical Guide* [en línea]. Disponible en: https://www.fs.fed.us/biology/resources/pubs/watershed/maps/watershed_classification_guide2011FS978.pdf [Consultado el 30 de marzo de 2017]
 - Universidad Complutense de Madrid, 2006. *El ciclo del agua*. [Página web] Disponible en: <https://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/index.html> [Consultado el 28 de mayo de 2017].
 - Universidad Peruana Los Andes, 2009. *Metodología de la investigación. Fundamentos epistemológicos de la ciencia*, [ebook], Excelencia Académica, Perú, pp.69-70. Disponible en:

- file:///C:/Users/NoHeMi/Downloads/METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION%20Resumen%20UPLA.pdf [Consultado el 21 de agosto de 2017]
- US EPA., 2000. *A handbook of constructed wetlands- a guide to creating wetlands for: agricultural waste wáter, domestic wastewater, coal mine drainage, storm wáter in the mind Atlantic región.* [En línea]. USA. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/constructed-wetlands-handbook.pdf> [Consultado el 16 de septiembre de 2017]
 - Vásquez, G., Herrera, L., Cantera, J., Galvis, A., Cardona, D. y Hurtado, I. 2012. 'Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos '. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas.* [en línea] Disponible en: <http://www.ojs.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/index.php/accb/article/view/81/81> [Consultado el 25 de septiembre de 2017]
 - Valdivia, M., Poblano, J., Zarazúa, G., Ávila, P., Tejeda, S., Ortiz, H. y Arredondo, S. 2011. Estimación de la biomasa de plantas acuáticas del curso alto del río Lerma, ININ, México.
 - Vega, L. R. 2010. Una rápida mirada a la evolución de la industria, su plataforma tecnológica, y las carreras de ingeniería en la UNAM. *Revista Digital Universitaria*, vol.02. [En línea] Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num2/art19/int19.htm> [Consultado el 16 de febrero de 2017]
 - Zambrano, C. y Saltos, E. 2008 'Diseño del sistema de tratamiento para la depuración de las aguas residuales domésticas de la población San Eloy en la provincia de Manabí por medio de un sistema de tratamiento natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre '. [en línea] Ingeniero civil, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador. Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:gPhthfidcm8J:https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6032/1/TESIS%2520ZAMBRANO%2520%2526%2520SALTOS.ppt+&cd=8&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx> [Consultado el 16 de septiembre de 2017]