



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas



**“CONTROL DE VERTIDOS RESIDUALES EN LA CUENCA DE DRENAJE
DE LA LAGUNA EL ESPEJO EN VILLAHERMOSA, TABASCO”.**

Tesis de Maestría

Para obtener el grado de:

Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental

Presenta:

Ing. José Cruz Martínez Rodríguez

Director:

M. en C. Ernesto Rodríguez Rodríguez

Villahermosa, Tabasco, México

Diciembre, 2017.



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN



JUNIO 29 DE 2017

C. JOSÉ CRUZ MARTÍNEZ RODRÍGUEZ
PAS. DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y PROTECCIÓN
AMBIENTAL
P R E S E N T E

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental titulado: **“CONTROL DE VERTIDOS RESIDUALES EN LA CUENCA DE DRENAJE DE LA LAGUNA EL ESPEJO EN VILLAHERMOSA, TABASCO”**, asesorado por el M. en C. Ernesto Rodríguez Rodríguez sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por el Dr. Jorge Alberto Goñi Arévalo MIPA. Rosalinda Frías de la O, M. en C. Ernesto Rodríguez Rodríguez, M. en C. José Luis Valencia Jiménez y M.E.S Wencio Magaña Magaña.

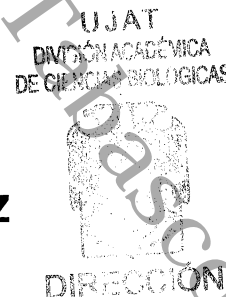
Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo



CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“CONTROL DE VERTIDOS RESIDUALES EN LA CUENCA DE DRENAJE DE LA LAGUNA EL ESPEJO EN VILLAHERMOSA, TABASCO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 29 de Junio de 2017.

AUTORIZO



JOSÉ CRUZ MARTÍNEZ RODRÍGUEZ



AGRADECIMIENTO

A Dios porque en sus palabras dijo aclama, pide de corazón y alma yo responderé y te mostrare grandes y maravillosas cosas que tu no conoces. Un día yo le pedí y me ha concedido porque fue el principal proveedor de mi sabiduría, de mi entendimiento de mi esfuerzo y cada día me llenó de luz colmándome de bendiciones por haber culminado con este trabajo. A mi familia en especial a mi hija la cual ha sido el motor de mi responsabilidad y por lo siguiente el esmero de luchar, llenar de alegría mi vida y le da sentido a mi vida que por amor vivo día a día.

A mis padres y hermanos quienes siempre estuvieron conmigo, creyeron en mí y dieron pauta para esta nueva aventura, en especial a mi hermana Soledad Martínez Rodríguez que brindó su respaldo y afecto hacia mí y gracias también al apoyo de mí hermano el Arquitecto José Rosario Martínez Rodríguez.

A mi asesor el maestro Ernesto Rodríguez Rodríguez y a su familia por depositar en mí la confianza y sobre todo por estar presente en todo momento para el desarrollo de esta investigación, gracias por el esfuerzo y el tiempo que invirtió para culminar este proyecto. A la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Tabasco por su apoyo total a través del Ing. Jesús Nevares Villanueva, quien me proporcionó el tiempo necesario para llevar a cabo las actividades de campo así como a la SERNAPAM que me abrió las puertas para realizar el muestreo y los análisis que fueron necesarios para el desarrollo de este trabajo y permitir que finalmente se culmine.

Al cuerpo sinodal. Dr. Jorge Alberto Goñi Arévalo, MIPA. Rosalinda Frias de la O, maestro Ernesto Rodríguez Rodríguez, M.C. José Luis Valencia Jiménez y M.E.S Wencio Magaña Magaña por sus observaciones y atinados comentarios y por el tiempo que dedicaron para su revisión. También quiero hacer mención todas aquellas personas que directamente e indirectamente estuvieron conmigo a lo largo de este trabajo de tesis a los Ing. De control de calidad del agua de la Dirección de Operación, Mantenimiento y Control de Calidad del Agua de la CEAS a todos ellos estaré infinitamente agradecido.



CONTENIDO		PAG.
1. INTRODUCCION	.....	8
2. JUSTIFICACIÓN	.....	11
3. MARCO TEORICO	.....	12
3.1	Proceso de urbanización.....	12
3.2	Definición de área urbana.....	13
3.3	Funciones ecológicas de las lagunas urbanas.....	14
3.4	Limnología urbana y restauración ecológica tropical.....	16
3.5	Restauración ecológica de lagunas urbanas de la ciudad de Villahermosa.....	18
3.5.1	Componentes de un proyecto de restauración acuática.....	18
3.5.2	Antecedentes sobre estudios limnológicos y restauración en Tabasco.....	22
3.6	Tratamiento de agua residual y control de eutrofización.....	25
3.6.1	Re-direccionamiento de aportes.....	25
3.6.2	Tratamientos de vertidos puntuales.....	26
3.6.3	Entrampe de carga difusa.....	27
4 OBJETIVOS	.....	28
4.1	Objetivo General.....	28
4.2	Objetivos Particulares.....	28
5 AREA DE ESTUDIO	.....	29
5.1	Localización Geográfica.....	29
5.2	Clima.....	29
5.3	Suelo.....	31
5.4	Hidrología, actividades económicas y agua residual.....	31
6 MATERIALES Y METODOS	.....	34
6.1	Uso del suelo sobre la cuenca de drenaje.....	35
6.2	Modelamiento de carga contaminante.....	37
6.3	Caracterización de aportes puntuales.....	37
6.4	Caracterización espacio temporal de aportes difusos.....	38
6.5	Inventario de aportes residuales.....	38
6.6	Selección de tecnologías de remoción de nutrientes.....	39
6.7	Propuesta de aplicación y evaluación.....	39
7 RESULTADOS	.....	40
7.1	Control de vertidos difusos.....	40
7.1.1	Tendencia histórica de la precipitación pluvial'.....	41
7.1.2	Medición de la carga natural o difusa.....	44
7.1.3	Estimación de la carga contaminante antropogenica.....	53



7.2	Re-direccionamiento de caudales.....	56
7.3	Sistemas de planta de tratamiento para aguas residuales.....	57
7.3.1	Descripción tecnológica seleccionada.....	58
7.3.2	Diseño funcional de la PTARD zanja de oxidación 1.....	60
7.3.3	Diseño funcional de la PTARD zanja de oxidación 2.....	74
7.4	Ubicación espacial de la infraestructura.....	90
7.5	Centro de capacitación para operadores de PTARD.....	92
7.5.1	Objetivo del CEFIOP-CEAS.....	94
7.5.2	Infraestructura requerida.....	94
8	RECOMENDACIONES.....	96
9	LITERATURA CITADA.....	97
	ANEXOS	

Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sector 1 Subcuenca A.	35
Tabla 2. Sector 2 Subcuenca B.	35
Tabla 3. Sector 3 Subcuenca C.	35
Tabla 4. Sector 3 Subcuenca C.	36
Tabla 5. Variables relacionados con la precipitación Histórica de la ciudad de Villahermosa 1949-2013.	42
Tabla 6. Superficie de uso del suelo en la cuenca de drenaje de laguna el espejo	46
Tabla 7-11. Uso de suelo residencial, vialidades que proporciona de las Cargas contaminantes difusas para los cinco parámetros .	47-51
Tabla 12. Carga contaminante difusa por sector de la cuenca de drenaje kg/día.	52
Tabla 13. Localización, número y dimensionamiento de los biofiltros para bioretención de las cargas difusas .	54
Tabla 14. Carga contaminante antropogénica por sector de la cuenca de drenaje kg/día.	55
Tabla 15. Comparativas de las cargas teóricas de origen antropogénico y difuso por sector de la cuenca de drenaje kg/día.	55
Tabla 16. Número de pozos de visita e infraestructuras de re-direccionamiento en los sectores 1 y 2 de la cuenca drenada de la laguna El Espejo.	57
Tabla 17. Determinación del caudal y la carga orgánica de diseño de la PTARD zanjales de Oxidación 1.	60
Tabla 18. Caracterización físico-química de las descargas residuales para el diseño de la PTARD. Zanjales de Oxidación 1.	61
Tabla 19. Caudales diurnos obtenidos en el vertedor ubicado en el sector 3 de la cuenca de la laguna el Espejo.	76
Tabla 20. Caracterización físico-química de las descargas residuales para el diseño de la zanja de Oxidación 2.	78



INDICE DE FIGURAS

Fig 1. Delimitación de la laguna urbana el Espejo y su cuenca de drenaje	30
Fig. 2. Mapa batimétrico de la laguna Urbana EL Espejo y sitios para la ubicación de la PTARD.	33
Fig. 3. Diagrama de actividades de campo y gabinete.	34
Fig. 4. Tendencia Histórica de la precipitación pluvial máxima diaria en la ciudad de Villahermosa.	42
Fig 5. Tendencia Histórica anual de la precipitación pluvial en la ciudad de Villahermosa.	44
Fig 6. Biofiltro propuesta para bio-retención de carga de nutrientes, sólidos y Carga orgánica.	52
Fig. 7. Caracterización diaria y semanal del caudal de agua residual.	75
Fig. 8 Ubicación de la infraestructura ambiental propuesta .	91



1. INTRODUCCIÓN

Por su importancia para regular el ciclo hidrológico, propiciar escenarios acuáticos terrestres que brinden confort y recursos naturales para beneficio de la sociedad, las lagunas urbanas de la ciudad de Villahermosa pueden considerarse socioecosistemas cuya estructura y función revisten especial significado en el sureste de México, por ello su restauración tiene especial consideración para los tabasqueños.

Dado que la ciudad de Villahermosa cuenta con gran número de cuerpos de agua dulce, ubicados tanto en el interior de su espacio urbanizado como fuera o cercano a él (Rodríguez Rodríguez, 2002; Galindo Alcántara *et al.*, 2012), la política gubernamental y la sociedad, están interesadas en su conservación, restauración, manejo y aprovechamiento sustentable.

Por tal perspectiva esta tesis se propone conformar metodológica y conceptualmente, un proyecto integral de restauración ecológica y de aprovechamiento sustentable para la laguna denominada El Espejo, ya que al ubicarse en un área urbana con elevada densidad demográfica de la ciudad de Villahermosa y en cuya cuenca de drenaje se llevan a cabo diversas actividades económicas y de servicios, le confieren una alteración ecológica compleja que urge sea revertida.

Lo novedoso del presente proyecto es que, antes de plantearse ante la sociedad tabasqueña como una propuesta tecnológicamente viable, se realizará bajo una retroalimentación basada en cuatro aspectos fundamentales: 1) el diagnóstico de la problemática de alteración ambiental sobre el vaso lacustre y su cuenca drenada; 2) la revisión conceptual, metodológica y técnica de las acciones de restauración que se han aplicado en este sitio como iniciativa académica, social o gubernamental; 3) la selección de las tecnologías de tratamiento para agua residual doméstica más apropiadas para el control de la carga de nutrientes vertida sobre la laguna urbana El Espejo y 4) la estructuración de un Plan Maestro para el



aprovechamiento sustentable una vez revertido el daño ecológico sobre el ecosistema y su cuenca de drenaje.

Estas cuatro directrices con llevan actividades de campo y de gabinete que en una primera etapa, permitirán seleccionar las tecnologías de ingeniería más recomendables para revertir el deterioro ambiental sobre este vaso lacustre urbano y definir los principales recursos económicos, humanos y tecnológicos para la implementación del proyecto de limpieza y control de los aportes residuales domésticos, de servicios y agro-industriales.

Por otra parte, entendemos que todo proyecto de restauración ecológica acuática y terrestre que no pretenda involucrar a la población afectada por la alteración ecológica carece de sentido, por ello como resultado de las actividades de campo y gabinete derivadas de la propuesta tecnológica de restauración e incluso para la selección de la tecnología de remoción de nutrientes, se definirá también una ruta crítica de implementación y evaluación del proyecto, en la que se involucren todos los niveles de gobierno, a los diferentes grupos de la academia y de la sociedad civil.

Así, desde una visión ejecutiva integral el presente proyecto de tesis se enmarca como parte de un macro proyecto de aplicación tecnológica al que se ha denominado **Aprovechamiento y Restauración de la laguna El Espejo (ARLES)**, el cual se conforma por los siguientes protocolos de ingeniería ambiental: 1) restauración de la laguna urbana El Espejo de Villahermosa, Tabasco; 2) **selección y diseño de una o varias PTARD en la cuenca drenada de la laguna El Espejo**; 3) proyecto de recuperación de la ribera lacustre y 4) **aprovechamiento económico y social de la laguna El Espejo y de su perillago.**



Tomando como punto medular la selección y diseño de una o varias PTARD en la cuenca drenada de la laguna el espejo, se ha decidido denominar a este proyecto control de vertidos residuales en la cuenca de drenaje de la laguna el espejo, el cual se desarrollará a través de la presente tesis de maestría en ingeniería y protección ambiental.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



2. JUSTIFICACIÓN

El deterioro ambiental actual justifica plenamente cualquier acción humana para revertir dicho proceso en las fases atmosférica, acuática y edáfica. Ante tal disyuntiva, el crecimiento urbano se ha tornado una fuerte presión para el agua como recurso, como parte integral y esencial de los ecosistemas.

Por ello, cualquier proyecto de restauración de ecosistemas acuáticos urbanos conlleva acciones tecnológicas y sociales, que permitan además el aprovechamiento sustentable de un recurso que es estratégico para el crecimiento y el desarrollo de cualquier sociedad (Ryding *et al.*, 1992).

En el estado de Tabasco la abundancia de agua obliga a considerar fundamental la propuesta, el desarrollo y la evaluación de proyectos de restauración acuática, que desde las condiciones tropicales que prevalecen en la entidad, puedan reducir considerablemente los costos económicos de su implementación.

Por tal motivo, los vasos lacustres ubicados en los diferentes asentamientos urbanos y rurales de la entidad, deben entenderse conceptual y empíricamente, como laboratorios naturales para la innovación dentro del campo del saneamiento y de la restauración acuática y terrestre.

Además, un cuerpo de agua urbano alterado ecológicamente como lo es la laguna El Espejo, al que no se le ha puesto interés para rescatarlo y aprovecharlo, representa un reto para todas las entidades educativas relacionadas con las Ciencias Biológicas para enfrentar de manera colectiva su restauración integral. Como parte de una de estas entidades educativas se tiene así el compromiso de preservar y brindar al público una zona lacustre que antaño fuera habitada con una cosmovisión especial de sociedad.



3. 3. MARCO TEÓRICO

3.1. Proceso de urbanización.

El proceso de urbanización se caracteriza por un incremento en la densidad demográfica, así como el desarrollo de la infraestructura comercial, de servicios e industrial que derivan del propio crecimiento poblacional. En este sentido, la urbanización es un agente global del cambio y de la alteración ecológica acuática y terrestre (Breña Puyol, 2003).

Las áreas urbanas cubren actualmente cerca de 4% de la superficie del planeta, es decir, más de 4.71 millones de km². En menos de diez años la mitad de los habitantes del planeta residirán en ambientes urbanos (Xunta de Andalucía, 1997) y el estado de Tabasco que no es ajeno a tal dinámica global, por sus características de falta de planeación urbana ha definido una fuerte alteración en sus ambientes acuáticos urbanos (Imasa, 1984; Rodríguez Rodríguez, 2002).

La urbanización causa la transformación del ambiente local fragmentando o destruyendo hábitats naturales, mientras que por el otro lado crea nuevos ensamblajes ecológicos. Altera también el clima regional, así como la calidad y el flujo del agua, reduce la producción primaria neta y cambia la composición y las relaciones entre las especies urbanas y silvestres (Pickett *et al.*, 2001).

La porción no urbanizada dentro de las áreas urbanas, se denomina área verde urbana (**AVU**) y conformada por suelo, agua, flora y fauna acuática y terrestre, desempeña un papel importante en amortiguar los cambios generados por la urbanización. Entre éstas se encuentran los parques públicos, campos deportivos, predios abandonados, los derechos de vía de caminos y ferrocarriles, cementerios, las riberas de ríos, los lagos, lagunas y canales urbanos, así como los estratos de vegetación nativa aislada dentro de la zona urbana (Codina y Barón, 2000; Chiesura, 2004).



3.2. Definición de área urbana

La ecología urbana establece una serie de tópicos de investigación y aplicación tecnológica realizados en ciudades y zonas urbanas. En este sentido, existen diferentes definiciones basadas en un término geográfico que caracteriza la utilización del suelo y el agua de un área urbana. Una definición indica que un área urbana o una ciudad es una zona densamente poblada, caracterizada por industrias, negocios y las zonas residenciales.

Una definición cuantitativa de una región urbana indica que es la unidad funcional en la cual por lo menos 85% de los habitantes son residentes urbanos. Se definen a los residentes urbanos alternadamente como los que viven en un área en la cual la densidad demográfica es por lo menos de 150 personas/km² (Chiesura, 2004).

Para fines de la investigación ecológica urbana y de la restauración de socioecosistema acuático y terrestre, es a menudo difícil establecer cualquier frontera ecológica definida alrededor de un área urbana. De esta forma, existe un marco útil, el "rural" que se refiere a las áreas conurbanas que son áreas urbanas o suburbanas exteriores.

Entre los efectos negativos ocasionados por acciones humanas hacia los ecosistemas están: derramamientos de residuos orgánicos y tóxicos, cambios en jerarquías y competitividad entre las especies debido a la perturbación o a la introducción de especies exóticas, modificación en las estructuras de bosques como resultado del uso del suelo por las practicas antrópicas que se desarrollan desde hace siglos (Pickett *et al.*, 2001).

La ecología urbana permite el conocimiento de la estructura y de la función de la sociedad humana en áreas urbanas, mientras que las ciencias sociales y la planeación del desarrollo económico permitirán comprender mejor la ecología de los sistemas urbanos.



Es pues un requerimiento esencial conocer el ambiente urbano y entre éste a los cuerpos de agua que desde su interior o en su periferia rural, cumplen funciones ecológicas específicas y a las que generalmente, no se les puede asignar fácilmente un valor económico definido (Arizpe *et al.* 2009).

Finalmente, es desde el conocimiento detallado de las propiedades físicas, químicas y biológicas que caracterizan a un cuerpo de agua de tipo urbano, en el que generalmente puede cimentarse la generación, aplicación y evaluación de tecnologías para su restauración ecológica barata, eficaz y viable (Ryding *et al.* 1992; Quirós, 2007).

3.3. Funciones ecológicas de las lagunas urbanas.

Una laguna urbana tiene que entenderse desde una óptica espacial, hidrológica, ecológica y social. Es así parte sustancial del drenaje hidrológico natural que ha sido transformado por el crecimiento demográfico y socio económico del asentamiento humano en el que se localiza el vaso lacustre y su cuenca drenada.

La más importante función ecológica de un cuerpo de agua urbano radica así en la regulación del ciclo de vida que se ha denominado ciclo hidrológico por los especialistas. Participa entonces de manera estratégica en el balance entre la precipitación, infiltración y el escurrimiento pluvial de manera directa; pero define también indirectamente, condiciones propicias para el proceso de evapotranspiración, promoviendo también la dilución y biodegradación de la carga orgánica proveniente de las actividades económicas realizadas en su cuenca de drenaje urbanizada.

Breña Puyol (2003) indica que el proceso lluvia-escurrimiento presenta características peculiares y que como parte de un sistema de drenaje sanitario natural y antropogénico, en cualquier localidad urbana o rural, los vasos lacustres se integran a un patrón de flujo de agua que es vital para la eliminación de sustancias nocivas fuera del espacio propiamente urbanizado.



Las funciones ecológicas proporcionadas por los espacios verdes y las lagunas o vasos lacustres urbanos dependerán de su configuración geométrica, tamaño y composición biótica acuática, sedimentológica y terrestre. En fin, las lagunas urbanas y los espacios verdes urbanos deben formar zonas extensas, interconectadas con el espacio verde natural u ornamental. Sin embargo, la naturaleza del área verde urbana con espejo de agua o sin él, presenta un potencial para la fauna que dependerá de su ubicación geográfica, composición y complejidad (Codina y Barón, 2000).

Se ha recomendado por diversos especialistas del paisaje que un cuerpo de agua urbano no esté rodeado completamente de superficies impermeables, es decir, que se respete un espacio con estructura vegetal permeable, que le permita entre otras cosas: reducir el arrastre de material externo al ecosistema acuático, facilitar la mezcla de sustancias biogénicas en y desde las riberas de los vasos lacustres y que además, sirva de protección y abrigo para la fauna y la vegetación terrestre y acuática (Arizpe *et al.*, 2009).

Así, otra importante función de los vasos lacustres y de las áreas verdes urbanas tiene que ver con la conservación y el asentamiento estable de la biodiversidad acuática, sedimentológica y terrestre (Chiesura, 2004). Sin embargo, no obstante lo señalado por diversos limnólogos, los lagos y las lagunas oligotróficas en lugares del trópico, a diferencia de las ubicadas en latitudes templadas, suelen contener una mayor riqueza y alta productividad biológica en sus riberas y en sus fases acuosa y sedimentaria, lo cual las convierte en importantes reservorios para los procesos ecológicos que tengan que ver con la biodegradación, la asimilación y estabilización de materiales que puedan ser contaminantes a los mismos.

La complejidad y productividad biológica suelen ser mucho mayor en áreas verdes urbanas tropicales y todavía se incrementa más en los espacios del perilago que se corresponden con cualquier vaso lacustre tropical sea este pequeño o extenso. De ahí que la restauración del socio-ecosistema tropical será fundamental para el



confort y el desarrollo de las poblaciones humanas incluso las de latitudes fuera de las propiamente definidas entre los trópicos de Cáncer y el de Capricornio.

Otra función de los vasos lacustres urbanos tiene que ver con el control y regulación de los factores del micro clima, incluso en ciudades grandes, favorecen la dispersión del viento y reducen el calor generado en las urbes de asfalto (Arizpe *et al.*, 2009).

Indudablemente sus funciones estéticas y para beneficio de la salud de la población hacen de los cuerpos acuáticos urbanos verdaderos espacios para el esparcimiento y la recreación, pues nos acercan a la naturaleza y brindan también espacio vital para la promoción de la educación ambiental.

Desde luego, la conservación de los cuerpos de agua urbanos implica también desventajas que deben ser consideradas en las condiciones del trópico húmedo tabasqueño, no obstante ello, su restauración y aprovechamiento las convierte en un recurso indispensable para el bienestar social de nuestra población (Hernández Coronel, 1997).

3.4. Limnología urbana y restauración ecológica tropical.

Los tabasqueños han sabido crecer y hacerse grandes cultural, económica y socialmente con su convivencia diaria con la abundancia de agua. Puede decirse así que fue la Venta, ahora únicamente Museo de Sitio, la primera ciudad lacustre de toda Mesoamérica. Hoy día dicho asentamiento está rodeado y horadado por infinidad de pozos petroleros abandonados y lo que existe en lo que antaño fuera la primera ciudad de Nuestra América es penuria, pobreza y abandono.

Es pues quizá en Tabasco donde surge la limnología como ciencia y la ecología urbana como aplicación para una vida sustentable. Resulta así paradójico que en la moderna ciudad capital de los tabasqueños existan varias lagunas urbanas seriamente dañadas por la alteración ecológica y que en algunas de ellas esta situación pueda ser ya irreversible.



Detener una vida de lujo y dispendio será la clave para recuperar nuestra cultura lacustre en Tabasco y en el sureste de México. Dos son las alternativas más adecuadas para promover una visión propia sobre la restauración de ecosistemas acuáticos en el trópico húmedo: 1) aplicar tecnologías de limpieza bien probadas para otras latitudes del orbe, como aquellas que suelen señalarse en extraordinarios manuales occidentales, como el de (Ryding *et al.*, 1992) y 2) intentar conocer los factores intrínsecos de nuestros cuerpos de agua y a partir de una integración lago y perilago, como propone Quirós (2007), seleccionar o encontrar qué es más recomendable para restaurar los socio-ecosistemas urbanos del trópico.

Ambas alternativas no están reñidas y en condiciones tropicales pueden combinarse eficazmente a la hora de tomar decisiones de restauración acuática y son válidas para lagos y lagunas urbanas, lo mismo que para canales, ríos o arroyos urbanos cuyo movimiento horizontal y vertical del agua favorece el mezclado y por ello, generalmente cuentan con mayor capacidad de autodepuración que la existente en un reservorio acuático de tipo léntico o con escaso movimiento del agua superficial.

Un factor adicional que debe considerarse al plantear proyectos de restauración en el trópico tabasqueño es que la mayor parte de sus cuerpos de agua lenticos, al situarse en una amplia llanura de inundación fluvial, son fundamentalmente someros y propician que las etapas de asimilación-estabilización de los componentes biogénicos y los de origen antropogénica sean cortas y definan una compleja interacción entre las fases acuosa, atmosférica y sedimentaria (Rodríguez-Rodríguez, 2002).

Lo anterior permite que en las condiciones del trópico tabasqueño, en vez de importar tecnologías de restauración acuática, los especialistas reconozcamos que contamos con una fuente de oportunidades tecnológicas verdaderamente ilimitada.

No debe perderse de vista que restaurar un ecosistema lacustre, por otra parte es un proceso único e irrepitable, pues al aplicar cualquier tecnología sobre un sistema



tan dinámico como lo son los reservorios acuáticos, éstos responderán de muy diversas maneras a nuestras intenciones humanas o tecnológicas.

Por lo anterior, un proyecto limnológico de restauración acuática debe entenderse como una oportunidad para poner a prueba qué tanto sabemos sobre el ecosistema que queremos limpiar y aún con ello, éste siempre nos brindará alguna sorpresa.

3.5. Restauración ecológica de lagunas urbanas de la ciudad de Villahermosa.

En Tabasco el manejo y el aprovechamiento sustentable del agua han sido milenario. Por otra parte, nuestros modernos campesinos y pescadores, atesoran valiosas herramientas de restauración ecológica empírica, la cual todo especialista de las ciencias hidrológicas debiera intentar asimilar y recuperar para el beneficio de la sociedad actual.

Los esfuerzos de restauración ecológica emprendidos por el gobierno y la sociedad tabasqueña han sido dispersos, desarticulados en el tiempo y el espacio y carentes a veces de una evaluación técnica y económica adecuada (Aguirre *et al.*, 2008).

Por su importancia esencial para el desarrollo de cualquier nuevo proyecto de restauración ecológica en la laguna urbana El Espejo, en esta Sección se abordarán los componentes de un proyecto de restauración acuática; y los antecedentes limnológicos y de restauración ecológica en vasos lacustres continentales y urbanos de Tabasco.

3.5.1. Componentes de un proyecto de restauración acuática.

Un proyecto de restauración acuática debe entenderse como una actividad multidisciplinaria en la que convergen ingenieros ambientales, ecólogos, ingenieros civiles, arquitectos, paisajistas, planificadores y economistas entre otras tantas profesiones. Es además, una propuesta tecnológica de aprovechamiento y manejo de recursos acuáticos y por tanto, involucra a todas las instancias de gobierno, las



academias de investigación básica y aplicada como a la sociedad civil (Ryding *et al.*, 1992).

Los componentes y etapas esenciales de un proyecto sobre restauración de ecosistemas acuáticos de tipo lotico y lenticos son: 1) el diagnóstico ambiental del río o lago y de su cuenca de drenaje; 2) la selección técnica y económica de las tecnologías ecológicas y de ingeniería a utilizar; 3) la implementación del proyecto y 4) la evaluación técnica, económica y social de las tecnologías empleadas.

En este apartado se presentarán los aspectos conceptuales y empíricos que conforman cada uno de los componentes de un proyecto de restauración acuática.

La primera etapa, que se ha denominado diagnóstico ambiental del lago y de la cuenca de drenaje generalmente suele ser más compleja en cuerpos de agua de tipo urbano y está a su vez dividida en dos aspectos fundamentales: el diagnóstico ambiental del área de drenaje al que Quirós (2007) denomina perilago y el diagnóstico ambiental del vaso lacustre.

Ningún cuerpo de agua superficial debiera ser analizado sin incluir el factor edáfico, vegetal e impermeable que circunda al ecosistema y que define a su vez rutas de transporte y asimilación, para cualquier tipo de agente contaminante o material externo al mismo, al que los especialistas han denominado materiales alóctonos y que a su vez pueden tener un origen biogénico o antropogénico (Hernández-Pérez, 1994).

Generalmente los materiales de origen biogénico suelen favorecer el proceso de autodepuración natural y la resiliencia del ecosistema y los originados por la acción humana tienen un doble efecto: pueden favorecer o inhibir los procesos de autodepuración natural.

El diagnóstico del área de drenaje o perilago incluye el acopio de información de campo y documental sobre los siguientes aspectos:



- Tamaño, clasificación y complejidad del área drenada;
- La geomorfología, topografía y el patrón hidrológico natural;
- Las modificaciones históricas que ha sufrido el patrón hidrológico como resultado del crecimiento demográfico;
- Comportamiento de las variables meteorológicas involucradas en el ciclo del agua;
- El inventario, muestreo y clasificación espacial y temporal de los aportes de agua residual puntuales y difusos derivados de las actividades humanas;
- La red de alcantarillado pluvial y de drenaje sanitario y su arreglo sobre la cuenca drenada;
- El modelamiento y Sectorización del caudal y la carga de contaminantes biodegradables y tóxicos;
- El tipo y el uso del suelo y la vegetación terrestre natural e introducida;
- La fauna útil y silvestre para aprovechamiento o la conservación de biomasa;
- Las actividades económicas productivas y de servicios;
- El nivel de bienestar social de la población asentada en la periferia o en la ribera de los vasos lacustres;
- Normativa ambiental vigente.
- Los recursos bióticos, económicos, tecnológicos y humanos disponibles y a beneficiar con la implementación del proyecto de restauración.

El diagnóstico del cuerpo de agua a restaurar representa un conjunto de metodologías de campo, laboratorio y gabinete orientadas a caracterizar y clasificar



desde un punto de vista limnológico al ecosistema urbano, incluye los siguientes aspectos:

- Análisis morfológico, que incorpora las técnicas orientadas a caracterizar la morfometría y la batimetría del ecosistema a restaurar;
- Muestreo de variables físicas, químicas y biológicas de las fases terrestre, acuosa y sedimentaria por lo menos durante dos períodos climáticos extremos o preferentemente, durante la etapa de concentración de contaminantes, que guarda relación con los meses de sequía;
- Clasificación limnológica del vaso lacustre, en el que se incluye el nivel trófico, el mezclado hidráulico, la productividad biológica, la calidad del agua, el tiempo de residencia hidráulico y la clasificación térmica del mismo.

En aquellos cuerpos de agua en donde sea posible contar con resultados de muestreo histórico de variables físicas, químicas y biológicas, se podrán analizar las respuestas que ha dado el ecosistema ante el deterioro ambiental y por ende, la etapa de la selección de tecnologías ecológicas y de ingeniería para su restauración será más robusta y más fácil de evaluar.

Como en el diagnóstico ambiental existen también dos grupos de tecnologías de restauración a emplear: las que inciden sobre los diversos factores del perilago y las que se aplican al interior del ecosistema alterado (Quirós, 2007).

En la tercera etapa, que se corresponde con la implementación del proyecto de restauración, se deberán llevar bitácoras sobre cualquier intervención tecnológica realizada en la ribera riparia y sobre las fases terrestres, acuosas y sedimentarias del lago y del perilago; los rendimientos de la infraestructura, equipos y de los insumos empleados; así como del aprovechamiento, confinamiento y el manejo de los subproductos derivados de la aplicación de las tecnologías empleadas.



No es práctica ni común en el sureste de México la evaluación técnica de los proyectos de restauración de vasos lacustres urbanos, la que al llevarse a cabo únicamente reviste criterios de carácter económico o social (Aguirre *et al.*, 2008).

Un proyecto de saneamiento o de restauración ecológica de cuerpos de agua urbanos, deberá apegarse también a criterios técnicos de evaluación tecnológica dentro del campo de la hidrología como las siguientes:

- Toda intervención tecnológica sobre la fase terrestre del perilago requiere un seguimiento temporal y espacial, así como de carácter económico y ambiental;
- Las intervenciones tecnológicas al interior del lago deberán realizarse de acuerdo con los períodos de su aplicación correspondientes y con el uso de bitácoras para el empleo y la producción de sustancias y materiales sujetos a aprovechamiento, confinamiento y manejo;
- Todo material tóxico generado como resultado de la aplicación de las tecnologías ecológicas o de ingeniería deberá seguir los criterios señalados por la normativa ambiental vigente;
- Es recomendable evaluar las respuestas que tiene el ecosistema durante un período de cinco años después de la implementación del proyecto, lo cual representa un período de retorno de lluvia extrema en las condiciones del trópico húmedo de Tabasco.

3.5.2. Antecedentes sobre estudios limnológicos y restauración acuática en Tabasco

El diagnóstico ambiental de los componentes esenciales de la cuenca de drenaje de un cuerpo de agua continental es la base conceptual y empírica de cualquier proyecto de restauración. Por ello, en esta Sección se presentarán los estudios de carácter limnológico realizados en lagunas urbanas y suburbanas de la entidad y la síntesis histórica del muestreo físico, químico y biológico de diversos cuerpos de



agua, así como los proyectos de restauración que han sido implementados en algunas lagunas urbanas de la entidad.

Es desde 1978 con la creación del PyME cuando inicia el muestreo físico-químico de sistemas acuáticos continentales de la entidad a través de una Red de Monitoreo Estatal que generó información mensual en 63 estaciones ubicadas en los principales ríos y lagunas del estado para el ciclo 1978-1995 que ha permitido obtener Índices de Calidad del Agua como el propuesto por García-Maza (2005) y Ramos-López (2005).

Aparte de dicha red de monitoreo se contó para ese mismo período con 16 estaciones de muestreo en las lagunas urbanas de Las Ilusiones, Aduana, Covadonga, Tabasco 2000, El Negro, La Pólvora, El Camarón, Encantada y El Espejo que han permitido caracterizar espacial y temporalmente desde un punto de vista trófico y térmico dichos cuerpos de agua (Hernández-Pérez, 1994; Rodríguez *et al.* 1997).

Durante 2005-2014 la SENARPAM reanudó el muestreo de lagunas urbanas de la ciudad de Villahermosa y aunque se redujo el número de estaciones se iniciaron programas de toma y análisis de 28 variables físico-químicas en las Lagunas Loma de Caballo y El Jícaro, cuya base de datos se encuentra actualmente disponible en internet.

Otras lagunas continentales situadas en la llanura aluvial urbanas y sub urbanas cuentan también con registros físico-químicos históricos que son útiles para propósitos de manejo y de restauración acuática, tal es el caso de la laguna El Rosario del municipio de Huimanguillo, laguna Estancia Vieja de la Villa Luís Gil Pérez, laguna El Limón situada en Ciudad Pemex y la laguna Santa Anita del municipio de Centla (SENARPAM, 1998; 2014).

Se cuenta también en el estado de Tabasco diversos estudios sobre el inventario de recursos acuáticos continentales (Rodríguez-Rodríguez, 2002; Barba-Macías *et al.* 2006 y Galindo-Alcántara, 2012); ictiología de lagunas de agua dulce (Páramo-



Delgadillo, 1982; Gómez, 1990; Cárdenas *et al.*, 2012); clasificación trófica de cuerpos de agua loticos y lenticos (Rodríguez-Rodríguez, 1996; Fera *et al.*, 2000 y 2012; Salcedo, 2011); procesos de eutrofización en lagunas urbanas (Hernández-Pérez, 1994; Rodríguez Rodríguez *et al.* 1997) y la concentración de metales pesados en sedimentos de lagunas urbanas (Valencia Jiménez, 1989).

Se ha investigado también las condiciones del mezclado hidráulico para algunas lagunas continentales del municipio de Tenosique (Romero Olivé, 1999); el análisis de la macrofauna bentónica de la laguna El Rosario de Huimanguillo, Tabasco (Rodríguez-Rodríguez, 1990) y sobre variables bióticas y abióticas de la laguna urbana de Loma de Caballo (Goñi *et al.* 1992) y de la laguna La Pólvara (Sánchez *et al.*, 2012).

Particularmente, en la laguna urbana de Las Ilusiones se conocen diversos estudios y proyectos de restauración (Imasa, 1984; Impulsora de Tecnología (1994) y recientemente fue aplicado un proyecto de restauración ecológica en parte de su superficie más alterada ecológicamente que es conocido como Vaso Cencali (Hansen *et al.*, 2007; 2008), éste proyecto fue evaluado en términos económicos y sociales por Aguirre *et al.*, (2008).

Otras dos lagunas urbanas con proyectos de restauración ubicadas en la ciudad de Villahermosa y sus áreas peri urbanas son la laguna Majahua y la laguna El Espejo, en las cuales se han eliminado vegetación acuática, basura y sedimentos (Hernández-Coronel, 1997) cuyos resultados no han sido evaluados.

En la laguna El Espejo durante junio y agosto de 2013 el municipio de Centro aplicó un nuevo proyecto de remoción de vegetación acuática, misma que actualmente ha cubierto de nuevo este cuerpo de agua en cerca del 45% de su superficie.



3.6. Tratamiento de agua residual y control de eutrofización.

Tres son las aplicaciones tecnológicas esenciales para el control de la carga de nutrientes vertida sobre una laguna urbana: 1) el re-direccionamiento de aportes residuales directos; 2) el tratamiento de vertidos puntuales y 3) el entrapamiento de carga de origen difuso. En esta Sección se describirán cada una de estas tecnologías.

3.6.1. Re- direccionamiento de aportes.

El redireccionamiento de aportes puntuales no significa solamente el desvío de la carga contaminante hacia otro sitio, representa también su desvío y tratamiento: la remoción de la carga en otro sitio.

Drenajes perimetrales y plantas de tratamiento para agua residual doméstica, agropecuaria y de servicios deben pues estar ensamblados como el árbol al fruto. La selección de una tecnología especial de recolecta para el desvío de agua residual debe hacerse confluir a un nuevo sitio de tratamiento, manejo o disposición de aguas residuales.

El re-direccionamiento de agua residual es pues una acción complementaria al diseño, construcción y operación de una o varias plantas de tratamiento en una cuenca de drenaje de un lago urbano fuertemente eutrofizado, cuyas tecnologías deben estar orientadas hacia la remoción de componentes físicos, carga orgánica y de nutrientes. No es pues recomendable trasladar el problema de eutrofización de un sitio para otro.

Particularmente, en las lagunas de Tabasco el litoral generalmente es sinuoso y forma un complejo de ensenadas dendríticas que hacen costoso cualquier propuesta de redireccionamiento de vertidos residuales o pluviales.



3.6.2. Tratamiento de vertidos puntuales.

El tratamiento de vertidos puntuales para la remoción de carga orgánica y de nutrientes en un proceso integrado puede emplear varios tipos de tecnologías. En este proyecto se propone evaluar la viabilidad técnica y económica de tres de ellas: 1) las zanjas de oxidación; 2) los reactores biológicos Secuenciales denominados también SBR y 3) los humedales artificiales.

Para ello, se propone la evaluación técnica, de ingeniería y económica a través de una propuesta que reviste los siguientes aspectos:

- Una revisión integral de la literatura sobre cada uno de estos procesos.
- La revisión del uso en México sobre Zanjas de Oxidación, reactores SBR y Humedales Artificiales para el control de la eutrofización en lagos y cuerpos de agua del país.
- Evaluación de las propuestas del diseño de estas tres tecnologías y sus adecuaciones pertinentes para la remoción de nutrientes.
- Selección de los sitios más adecuados para la ubicación de plantas de tratamiento para vertidos puntuales en la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo, considerando variables técnicas y económicas como la disponibilidad de terreno urbano y costo del mismo.
- Elaboración del Proyecto Ejecutivo para cada planta, identificando la necesidad de que sirvan también para la formación de operadores de PTARD en todo el sureste del país.
- Es decir, si cada planta de tratamiento se concibe como una escuela para operadores, se deberán incluir también algunos aspectos de arquitectura en su propuesta de Memoria de Cálculo.



3.6.3. Entrampe de carga difusa

El re-direccionamiento de aportes puntuales y el tratamiento de agua residual doméstica, agroindustrial y de servicios se complementa siempre con un esquema tecnológico de entrampe de contaminantes difusos. Para ello, en este proyecto se definirán las condiciones de la aplicación de un complejo de Bio-filtros como el propuesto por Álvarez-Malpica (2008), el cual también requiere adecuaciones físicas y de ingeniería para un caso específico de control de contaminación por exceso de nutrientes.

3.6.4. Hipótesis

Para el saneamiento de una laguna eutrofizada es recomendable llevar acabo la aplicación de plantas de tratamiento con reactores adaptados con tecnologías aeróbicas y anaeróbicas para la remoción biológica de nutrientes.



4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General.

Evaluación y diseño de alternativas tecnológicas para el control y saneamiento de vertidos puntuales y no puntuales en la cuenca de drenaje de la laguna urbana El Espejo, Villahermosa, Tabasco.

4.2. Objetivos particulares.

- ❖ Elaborar un Plan Maestro para el control de vertidos en la cuenca urbana de la laguna El Espejo de Villahermosa, Tabasco.
- ❖ Ubicar los sitios propicios para la implementación de un sistema integral de plantas de tratamiento de agua residual en la cuenca de la laguna El Espejo.
- ❖ Definir una propuesta técnica para la re-dirección de los caudales residuales puntuales.
- ❖ Seleccionar y elaborar el diseño de procesos de tratamiento para el agua residual municipal para el control y saneamiento de la cuenca drenada de la laguna El Espejo.
- ❖ Realizar los proyectos de ingeniería básica en el sistema seleccionado para el control y saneamiento en la cuenca drenada de la laguna El Espejo.
- ❖ Proponer en el sistema de plantas de tratamiento para remoción de nutrientes y carga orgánica, la construcción y operación de un Centro de Capacitación para operadores de PTARD a cargo de la CEAS y con presupuesto estatal y Federal.



5. ÁREA DE ESTUDIO

5.1. Localización geográfica

La ciudad de Villahermosa capital del estado de Tabasco, se localiza en el municipio de Centro entre las coordenadas 92° 55' 41" de latitud Norte y 17° 59' 26" de longitud Oeste. Esta ciudad presenta un índice de marginación muy bajo y cuenta con 81,999 viviendas en las que viven 330,846 habitantes de acuerdo con el censo de INEGI del año 2010.

La ciudad de Villahermosa concentra 47.74% de la población urbana y 49.17% de las viviendas urbanas del estado de Tabasco (INEGI, 2000).

En la figura 1 se presenta la ubicación de la laguna El Espejo dentro de la mancha urbana de la ciudad de Villahermosa y los asentamiento urbanos incluidos dentro de su Cuenca de Drenaje o Perilago.

5.2. Clima

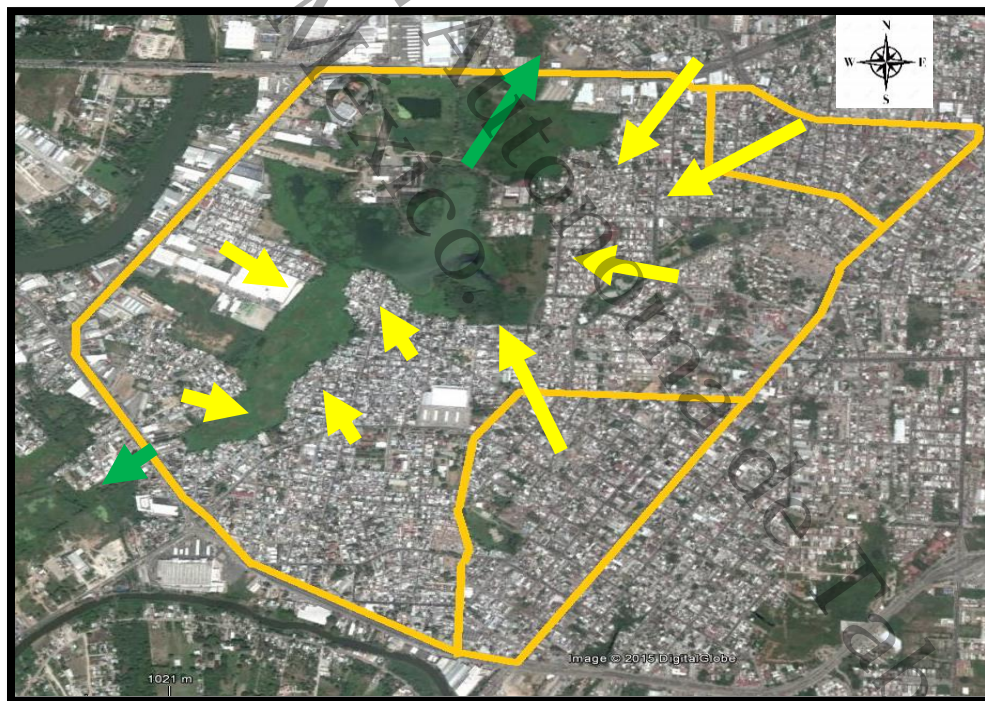
La ciudad de Villahermosa cuenta con una Estación Meteorológica ubicada dentro de su área urbanizada, la de Las Gaviotas. Por el tamaño de la ciudad (más de 5,800 ha) y la ubicación espacial de la laguna urbana y de su cuenca urbana de drenaje, dicha estación no refleja todas las condiciones micro climáticas existentes. Sin embargo, proporciona promedios útiles sobre algunos parámetros de las condiciones meteorológicas.

De esa manera, para el sitio de estudio se puede definir un promedio de temperatura media anual de 33.6° C, siendo la máxima media mensual en mayo con 29.8° C, y la mínima media mensual en diciembre y enero con 22.8° C. El clima es así cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano, régimen normal de calor con cambios térmicos en los meses de diciembre y enero (INEGI, 2006).



El régimen de precipitaciones se caracteriza por un total de 2,237 mm anuales, con un promedio máximo mensual superior a los 300 mm en el mes de septiembre y una mínima mensual de 50 mm para el mes de abril. (CONAGUA).

- | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 Fraccionamiento Pagés Llergo | 7 Fraccionamiento Independencia | 13 Fraccionamiento Buganvillas |
| 2 Fraccionamiento STAIUJAT | 8 Fraccionamiento Revolución I | 14 Fraccionamiento Palmitas |
| 3 Colonia COTIP | 9 Fraccionamiento Revolución II | 15 Fraccionamiento Vista Alegre |
| 4 Fraccionamiento Revolución | 10 Colonia Nueva Pensiones | 16 Colonia Villa Los Arcos |
| 5 Colonia Atasta | 11 Colonia Tamulte | 17 Colonia Delicias |
| 6 Colonia Infonavit Atasta- Atasta I, II y III | 12 Colonia Guadalupe Borja | 18 Colonia 18 de Marzo |



Flechas Amarillas: Escurrimientos Pluviales y Residuales;
Flechas Verdes: Entradas y Salidas de Agua

Fig. 1. Delimitación de la laguna urbana El Espejo y su Cuenca de Drenaje.



5.3. Suelo

La mayor parte del territorio del municipio de Centro está clasificada como con suelos gleysoles, que son generalmente de texturas arcillosas o francas y presentan problemas de drenaje deficiente (INEGI, 2006).

En la región central, donde está ubicada la ciudad de Villahermosa están los suelos de la clase fluvisol que son de texturas francas por la presencia de diversos ríos en esta zona (INEGI, 2006).

Sin embargo, los suelos que se corresponden con el polígono ocupado por la laguna El Espejo y su cuenca de drenaje urbano, son de tipo arcilloso y generalmente son suelos para relleno y por lo tanto, tienen textura fina y fuerte plasticidad.

5.4. Hidrología, actividades económicas y agua residual.

La ciudad de Villahermosa se puede considerar como una isla lacustre que está completamente rodeada por ríos. Al norte, la circunda el río Carrizal; al sur, este y oeste le circundan los ríos Grijalva y Mezcalapa. Los tres cauces se juntan hacia el noreste después de rodear por separado la ciudad capital del estado.

La laguna El Espejo debe clasificarse como originada por contacto geológico al contar con lomeríos suaves en su área de drenaje (West *et al.*, 1987) y Rodríguez Rodríguez (2002) presenta los principales datos morfométricos de este vaso lacustre, el que sitúa con una extensión de 44.4 ha, un perímetro de 4.8 km, profundidad promedio de 1.64 m, profundidad máxima de 2.69 m, largo máximo de 1200 m, anchura máxima de 700, proporción largo ancho de 1.71 y proporción de Z_m / Z_{prom} equivalente a 1.64. A partir de esta información limnológica dicho autor sugiere un tamaño de muestra para variables físico-químicas de cinco y un mapa hipsográfico como el que se presenta en la figura 2 junto con los sitios probables para ubicar PTARD en su cuenca de drenaje.



La cuenca de drenaje de la laguna urbana El Espejo que ocupa 410.34 ha (ver figura 1) está conformada por 18 colonias y fraccionamientos urbanos; así como áreas de uso recreativo y de vegetación natural, áreas con actividad agro-industrial relacionadas con el Frigorífico de la Ciudad de Villahermosa y la empresa Ultra-Lácteos, una gasolinera, así como diversos Talleres y áreas de servicios comerciales.

Dicha cuenca de drenaje está a su vez conformada por tres Sectores plenamente identificados con diversos asentamientos y actividades económicas: el Sector 1 con 93.43 ha; el Sector 2 que ocupa 28.2 ha y el Sector 3 con una superficie de 288.71 ha, éste último también tiene la mayor población urbana que de acuerdo con el Censo INEGI 2010 equivale a 46540 habitantes cuyos vertidos residuales se concentran en una línea emisora proveniente de un vertedor horizontal situado en la Colonia Infonavit Atasta-Atasta.

Por otra parte, en el Fraccionamiento STAIUJAT ubicado en el Sector 2 de la cuenca de drenaje de esta laguna urbana en el que se concentran los vertidos domésticos procedentes de los Fraccionamientos Pagés Llargo, STAIUJAT, COTIP y Revolución I y II, dicho cárcamo rebombea hacia el río Viejo-Mezcalapa el caudal residual proveniente de aproximadamente 6167 habitantes (ver Tabla 1 en el Anexo correspondiente).

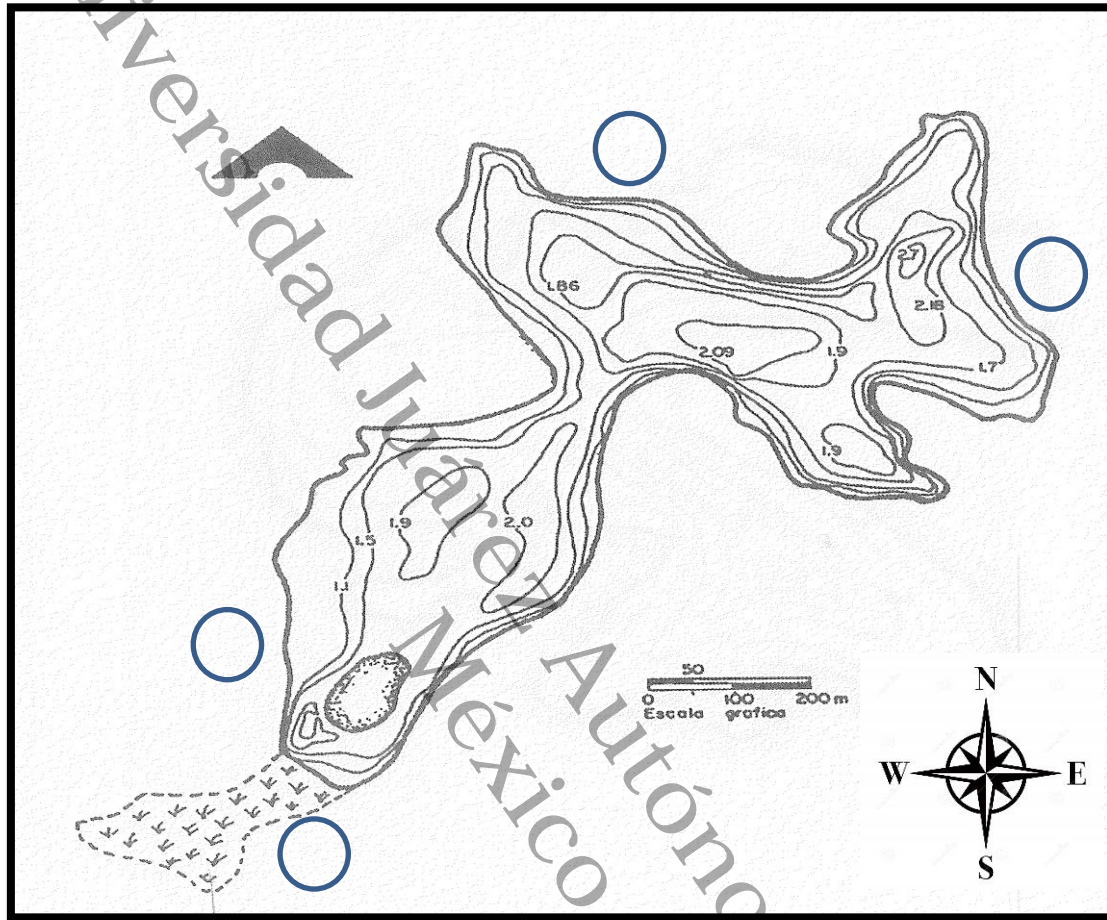


Fig. 2. Mapa batimétrico de la laguna urbana El Espejo, (Rodríguez Rodríguez, 2002) y sitios para la ubicación de PTARD.



6. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio está integrado por una Secuencia metodológica que es descrita en la figura 3. Así, se pueden identificar los siguientes niveles de generación y análisis de información: 1) revisión de literatura sobre estudios de remoción de nutrientes; 2) determinación del uso de suelo en los tres Sectores de la cuenca de drenaje urbana; 3) modelamiento de carga contaminante natural; 4) caracterización de aportes puntuales; 5) caracterización espacio-temporal de aportes difusos; 6) inventario de aportes antropogénicos residuales vertidos sobre la ribera; 7) selección de las tecnologías de remoción y control de nutrientes y 8) propuesta de aplicación y de evaluación tecnológica y económica del proyecto.

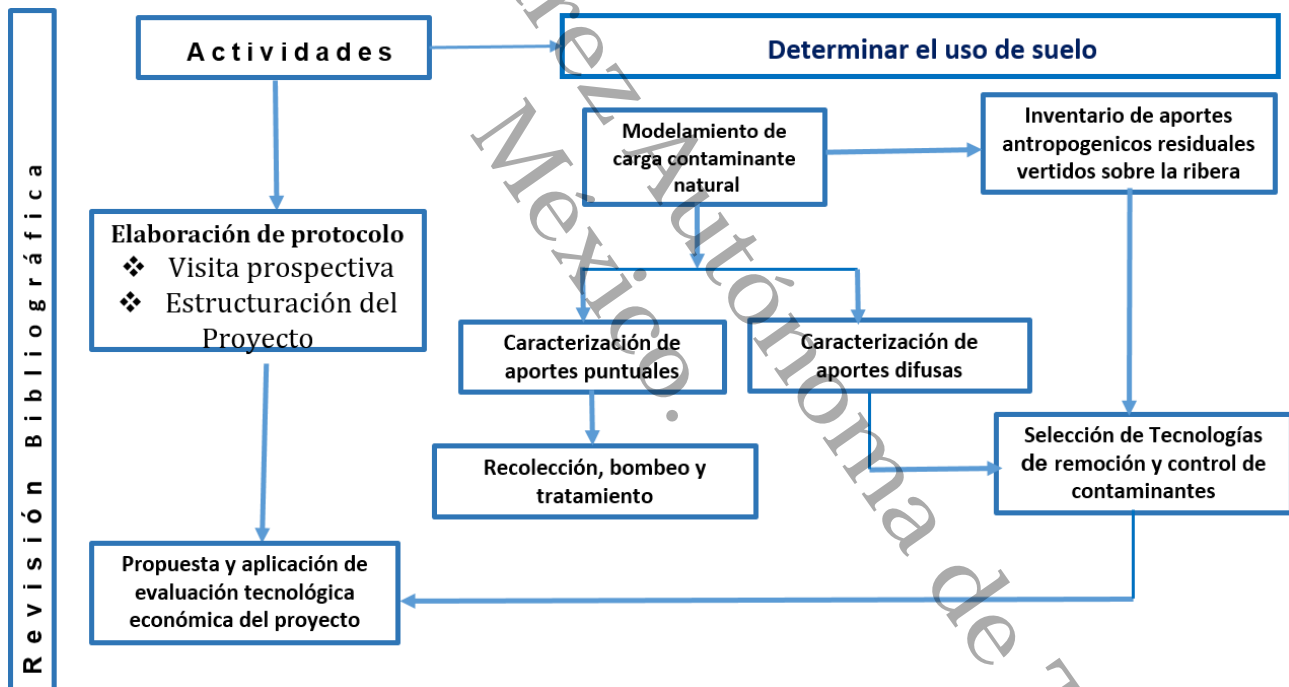


Figura 3. Diagrama de actividades a realizar.



6.1. Uso del suelo sobre la cuenca de drenaje

La cuenca de drenaje urbana fue dividida de manera presuntiva en tres Sectores, los cuales presentan los siguientes componentes:

Tabla 1. Sector 1. Subcuenca A

SITIO	SUPERFICIE EN HA
Frigorífico TIF	4.34
Ultra lácteos del Sureste	1.96
Área de Vegetación Silvestre	41.38
Laguna Artificial del Frigorífico	1.35
Laguna El Espejo	44.40
SUBTOTAL	93.43

Tabla 2. Sector 2. Subcuenca B

SITIO	SUPERFICIE EN HA
Fraccionamiento Pagés Llergo	7.66
Fraccionamiento COTIP/Revolución	6.84
Fraccionamiento STAIUJAT	13.17
SCT del Gobierno del Estado	0.26
Súper Motel	0.27
Talleres de Transbus	1.26
Gasolinera Periférico I	0.63
SUBTOTAL	28.2

Tabla 3. Sector 3. Subcuenca C

SITIO	SUPERFICIE EN HA
Frigorífico TIF	4.34
Ultra lácteos del Sureste	1.96
Área de Vegetación Silvestre	41.38
Laguna Artificial del Frigorífico	1.35
Laguna El Espejo	44.40
SUBTOTAL	93.43



Tabla 4. Sector 3. Subcuenca C

SITIO	SUPERFICIE EN HA
Colonia Delicias	6.11
Colonia Punta Brava	16.90
Colonia Nueva Pensiones	10.60
Colonia Guadalupe Borja	18.8
Colonia Infonavit Atasta-Atasta	30.48
Rancho Bugarvillas	7.03
Cerro El Cuyo (INAH)	2.33
Colonia Atasta I, II y III	61.48
Colonia 18 de Marzo	24.69
Colonia Tamulte	53.60
Fraccionamiento Vista Alegre	7.00
Fraccionamiento Bugarvillas	1.50
Panteón de Atasta	1.49
Plaza Palmitas	0.48
Laboratorio UJAT Palmitas	0.13
Clínica Juchimán UJAT	4.59
Escuela Primaria 1	0.56
Escuela Primaria 2	0.36
Escuela Secundaria Federal	0.69
Otros	35.13
SUBTOTAL	93.43

Con el uso del Software **AUTOCAD® MAP 200?** se determinó la superficie del uso del suelo para cada componente en las tres Subcuencas urbanas, de acuerdo con los siguientes tipos: uso residencial, áreas verdes, áreas con vegetación natural, calles, andadores, avenidas y áreas comerciales y de servicios.



6.2. Modelamiento de carga contaminante.

Se emplearon factores de carga contaminante por tipo y uso del suelo sobre cada Sector de la cuenca de drenaje para los siguientes parámetros de contaminación DBO₅, DQO, SST, NT y FT para estimar los niveles del aporte residual como resultado del escurrimiento de la precipitación pluvial sobre la cuenca de drenaje.

Cada tipo de uso de suelo tuvo un factor de escurrimiento diferenciado y que dependió de los volúmenes de la precipitación pluvial histórica. Para fines de modelamiento se consideró un período mensual histórico que abarcó de 1947 al 2013.

Aunque actualmente se cuenta con Software para el modelamiento de cargas contaminantes como resultado del escurrimiento derivado sobre cuencas de drenaje, dada la sencillez de los algoritmos empleados, todos los cálculos fueron hechos con el uso únicamente de **Microsoft Office Excel 2010**[®].

6.3. Caracterización de aportes puntuales

Para la laguna urbana El Espejo se cuenta con el levantamiento batimétrico realizado por Rodríguez Rodríguez (2002) antes de los proyectos que se han implementado en dicho cuerpo de agua para la remoción de maleza acuática y de sedimentos en este cuerpo de agua.

Por tanto, fue recomendable realizar otra prospección batimétrica en este cuerpo de agua para identificar los cambios del tirante hidráulico como resultado del desazolve de sedimentos. Esta actividad se programó durante marzo-abril del 2016 y para ese propósito, dado lo somero de la laguna, se empleó una sondaleza manual graduada en metros.

Las condiciones espaciales de la profundidad son un reflejo de los aportes residuales puntuales y difusos, lo cual poco se ha atendido de acuerdo con la normativa ambiental mexicana. Los aportes puntuales fueron caracterizados en términos del comportamiento temporal del caudal y con muestras para análisis



físico-químicos de agua residual, el apego a la normativa regulatoria en estos dos aspectos se hizo de manera estricta.

6.4. Caracterización espacio-temporal de aportes difusos

Fue realizado el inventario de aportes difusos para identificar el número de biofiltros a utilizar y la disposición de cada uno de ellos.

6.5. Inventario de aportes residuales

Desde las riberas se realizó un inventario detallado de los aportes domésticos, agroindustriales y de servicios, estuvieran o no conectados con la línea del drenaje sanitario. Durante un período de seis semanas durante la sequía marzo-abril de 2015 y 2016, se realizaron los aforos del vertedor horizontal situado en la línea del emisor de agua residual doméstica de la Colonia Infonavit Atasta Atasta y se analizaron las bitácoras de bombeo del cárcamo del Fraccionamiento STAIUJAT, con lo cual se pudo medir el aporte puntual de agua residual doméstica, que fue comparado con los valores teóricos calculados a partir de factores de dotación / aportación de agua residual y en función de la población servida con las obras de drenaje pluvial y sanitario (ver el anexo correspondiente).

De la misma manera y desde la ribera o con el uso de lancha con motor fuera de borda, se cuantificarán los vertidos irregulares provenientes de todas las colonias, fraccionamientos y áreas de actividad económica que no estuvieron conectados a las descargas puntuales ya mencionadas.

Ambas actividades permitieron diseñar un esquema para el tratamiento o el redireccionamiento de los aportes de agua residual ubicadas y cuantificadas en los diferentes Sectores de la cuenca de drenaje.



6.6. Selección de tecnologías de remoción de nutrientes

A partir del cuadro de información generado a través de los apartados 6.1 al 6.6 se pudieron seleccionar las mejores tecnologías de remoción y control de nutrientes, las cuales debieron cumplir con los siguientes requisitos:

- Combinar métodos de ingeniería con procedimientos de carácter ecológico.
- Emplear en lo posible poco insumo energético.
- Utilizar recursos naturales provenientes del trópico húmedo tabasqueño.
- Definir estrategias para el manejo, aprovechamiento o confinamiento de sub-productos tóxicos o no biodegradables.
- Contar con viabilidad técnica y económica.
- Permitir el aprovechamiento del vaso lacustre durante todas las etapas del proyecto de restauración.
- Debe ser de bajo costo la evaluación de su aplicación.

6.7 Propuesta de aplicación y evaluación

Para la aplicación de la propuesta tecnológica de remoción y control de nutrientes emanadas del presente proyecto, se plantea en una primera instancia ponerlo a consideración de los Sectores sociales más afectados con la alteración ecológica del vaso lacustre y también ante los gestores sociales y los diferentes niveles de gobierno de la entidad.

Este proyecto por su importancia y dimensiones deberá tener una propuesta de evaluación integral que abarque dos ciclos hidrológicos con lluvia extrema (diez años).



7. RESULTADOS

7.1. Control de vertidos difusos.

La carga contaminante que se vierte en la cuenca de drenaje de la laguna El espejo se puede segregar en tres tipos fundamentales: 1) carga de origen antropogénico que deriva de las actividades económicas y del crecimiento demográfico de la población asentada sobre la cuenca; 2) carga de origen natural, que se vierte por el arrastre y la erosión de materiales externos al ecosistema o de aquellos que han sido elaborados por el metabolismo de la fauna y la flora acuática y terrestre; y 3) carga de origen mixto, que deriva de la acción natural y antropogénica, por ejemplo los vertidos líquidos y sólidos generados por un evento de incendio forestal y el subsiguiente arrastre por la lluvia de materiales derivadas del mismo.

Todo ecosistema acuático tiene un nivel definido de asimilación y estabilización de la carga orgánica contaminante, a lo que se denomina capacidad de autodepuración. Por lo tanto, conocer el nivel de la carga contaminante que es capaz de metabolizar la laguna El Espejo sin alterar sus condiciones ecológicas, es decir, su capacidad auto depurativa, es esencial para proponer y aplicar alternativas para su restauración ecológica (Jairo Landero Flores, 2016).

Por su importancia en esta primera Sección de resultados presentamos las cargas de contaminantes que se originan por el arrastre de materiales por la acción de la precipitación pluvial sobre la superficie permeable e impermeable de la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo. Se supone así que solo una parte de la carga entrará a las plantas de tratamiento que se proponen construir, y otra parte aunque menor pero igualmente significativa debe ser transformada o bio-retenida por otros medios.



7.1.1. Tendencia histórica de la precipitación pluvial.

Es fundamental conocer el comportamiento histórico del principal factor meteorológico que define los procesos hidrológicos que se llevan a cabo en una cuenca lacustre, sea esta urbana o natural. Conjuntamente con ello, el reconocimiento del uso del suelo y de la superficie tanto permeable como impermeable, determinan las rutas de transporte y la composición de los contaminantes que entraran a un vaso lacustre como resultado de tales procesos y del arrastre de materiales externos al ecosistema.

De una de las estaciones meteorológicas de la ciudad de Villahermosa se analizó gráfica y estadísticamente la conducta temporal de la precipitación pluvial diaria y mensual, para un ciclo hidrológico que abarcó de 1947 al 2013 y cerca de 785 días de medición de la precipitación diaria. A partir de ello, se obtuvo un promedio de precipitación máxima diaria equivalente a 51.55 ± 40.33 mm para la Ciudad de Villahermosa (ver Fig.4).

En la tabla 5 se presentan los valores promedio y la desviación estándar de cuatro variables meteorológica de la misma estación que tienen que ver con el arrastre de materiales sobre la superficie permeable e impermeable de la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo.

Dado que los fenómenos de precipitación en la entidad definen lluvias torrenciales para los meses invernales del año, es entre noviembre y diciembre cuando se concentra la mayor precipitación anual, mensual y diaria, lo cual en cierta manera explica los resultados presentados en la tabla 5.



Tabla 5. Variables relacionadas con la precipitación histórica de la Ciudad de Villahermosa. 1949-2013.

VARIABLE	PROMEDIO	DES. ESTANDAR
Precipitación Promedio Mensual (PPM) mm	143.5714	128.1104
Días con Precipitación Pluvial (DPP)	10.5781	5.701
Precipitación Promedio Máx. Diaria (PMD) mm	51.5446	40.3311
No. de Nortes o Frentes Fríos Mensuales (NFF)	1.4085	1.1706
Lluvia en días con Nortes (PNFF) mm	6.1415	5.7

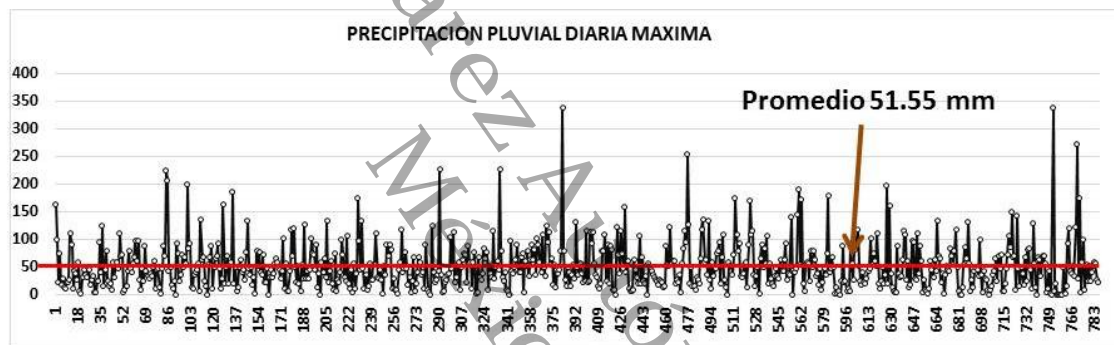


Fig. 4. Tendencia histórica de la precipitación pluvial máxima diaria en la Ciudad de Villahermosa.

Lo anterior indica que en la Ciudad de Villahermosa, para los meses de invierno se puede observar un número máximo de 4 o 5 frentes fríos y hasta 11-14 días consecutivos con lluvia con intervalos de 3 a 4 días.

Las series anuales de algunos parámetros relacionados con la precipitación pluvial de esa misma estación meteorológica de la ciudad de Villahermosa se presentan en la figura 5 y en la tabla 5.



Se confirma así que es más complejo modelar cargas difusas en cuencas de drenaje del trópico húmedo, pues la estimación mensual y anual ofrece un mayor margen de error, debido a que en dichas zonas la lluvia inicial de un proceso de tormenta, es la que define generalmente el lavado, la erosión y el arrastre de materiales contaminantes sobre las cuencas de drenaje urbanas, y este tipo de precipitación es siempre inferior al nivel máximo de lámina de agua.

De este análisis meteorológico presuntivo derivaron los siguientes aspectos para el modelamiento y la bio-retención de la carga orgánica difusa en la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo:

- Es importante considerar una precipitación media máxima de 50 mm para obtener la carga orgánica contaminante difusa que es arrastrada hacia la laguna El Espejo desde su cuenca de drenaje urbana.
- Cualquier tecnología empleada para la bio-retención de dicha carga carbonacea y de nutrientes, debe operar aún en los meses secos del año, aunque su función más importante será precisamente durante los meses de lluvia de verano e invernal.
- El diseño y operación de la infraestructura de bio-retención deberá emplear pocos periféricos metálicos, dada la intensidad de la precipitación en la zona.
- Su configuración geométrica debe considerar la topografía de la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo, en donde se pueden observar elevaciones de hasta 20-40 m.s.n.m.
- Complementariamente a la infraestructura de bio-retención de carga se deberá utilizar también áreas con vegetación natural, principalmente a la ribera del vaso lacustre.

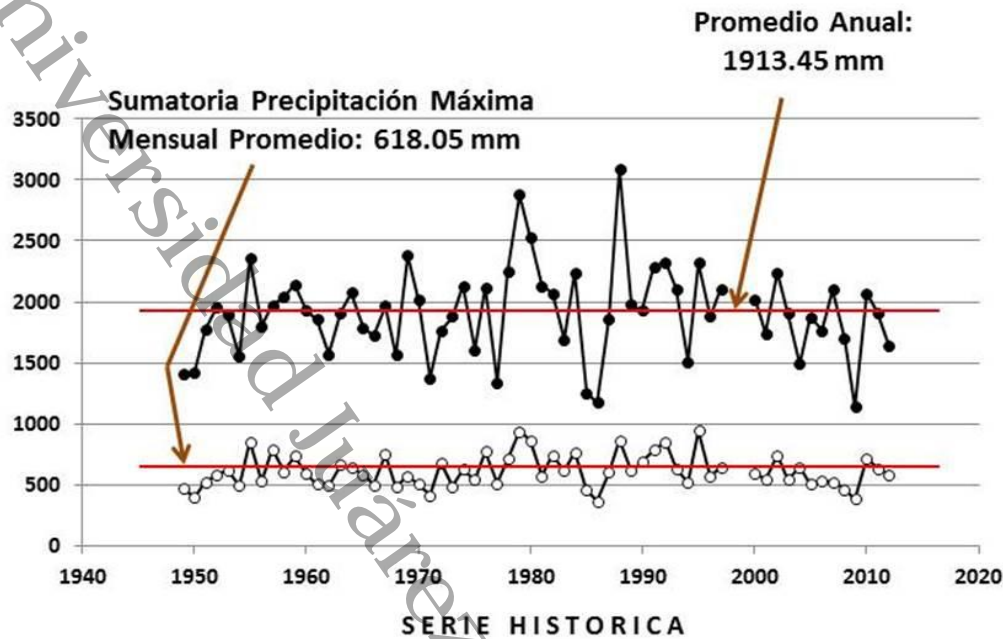


Fig. 5. Tendencia histórica anual de la precipitación pluvial en la Ciudad de Villahermosa. 1949-2013.

7.1.2. Medición de la carga natural o difusa.

El uso del suelo sobre la cuenca de drenaje permitió estimar la carga másica de los siguientes parámetros de contaminación: DBO₅, DQO, SST, Nitrógeno Total y Fósforo, los cuales explican en gran medida la concentración de estos contaminantes por efectos de la precipitación y el escurrimiento pluvial.

En la tabla 6 se presentan las áreas con uso de suelo permeable e impermeable de la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo, para los tres Sectores en que ésta ha sido delimitada.

Se destaca así de las tablas 7 a 11 que el uso de suelo residencial y el de las vialidades define la mayor proporción de la carga contaminante difusa para los cinco parámetros evaluados en la cuenca de drenaje y para los diferentes sectores de ésta.



La carga total para cada contaminante por Sector se presenta en la tabla 11. A partir de dicha tabla se pueden denotar los siguientes aspectos:

- Un sistema natural de bio-retención de carga contaminante lo constituye tanto la vegetación riparia como la vegetación arbórea de tipo silvestre, la cual aunque esté muy alterada, cumple importantes funciones de entrapamiento de contaminantes en su sistema de rizomas y raíces, sobre todo en los sectores 1 y 2 de la cuenca de drenaje.
- Las colonias y fraccionamientos Guadalupe Borja, COTIP, Revolución, Tamulte, Infonavit Atasta, Atasta, Pagés Llargo y STAIUJAT concentran cerca del 62% del total de la carga difusa de DBO₅, DQO, SST y de nutrientes.
- La mayor parte de dichos asentamientos urbanos tiene una topografía irregular con alturas de hasta 40 m.s.n.m. en algunas de ellas, lo cual define pendientes pronunciadas en las calles que tienen un arreglo perpendicular respecto a la ribera de la laguna El Espejo.
- En la mayoría de las bocas calle de tales asentamientos urbanos se pueden construir estructuras para bio-retención con un diseño funcional y arquitectura especial para cada una de ellas.
- Es mayor el aporte difuso de nitrógeno que el de fósforo total sobre los diferentes sectores de la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo.
- La infraestructura de bio-retención de nutrientes deberá por tanto ser eficiente para la remoción diferenciada del nitrógeno.

Para la selección, el diseño y ubicación de dichas infraestructura de bio-retención se tiene que considerar la distribución espacial de las cargas orgánicas y de nutrientes en cada sector de la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo, lo cual se resume en la tabla 12.



**Control de Vertidos Residuales en la Cuenca de Drenaje de la
Laguna El Espejo**



Tabla 6. Superficie del uso del suelo en la cuenca de drenaje de la laguna
El Espejo. Ha.

SECTOR 1									
COLONIA	AVU	RES	COM	CAL	EST	INST	LAGUNAS	VEG.SIL	TOTAL
Panteón de Atasta	0.05					1.44			1.49
Plaza Palmita			0.48						0.48
Laboratorios de la UJAT	0.83				0.62	3.14			4.59
Clínica Juchiman	0.05					0.08			0.13
Esc. "Elena Zalaya Lara"	0.06					0.5			0.56
Esc. Secundaria Federal 3	0.15				0.02	0.52			0.69
Esc. Santos Degollado	0.01					0.35			0.36
SCT-Gobierno de Tabasco						0.26			0.26
Súper Motel			0.27						0.27
Chedraui Tamulte			1.04		1.09				2.13
Talleres del Transbus			1.26						1.26
Gasolinera Periférico I			0.63						0.63
Ultra Lácteos del Sureste	0.28		1.68						1.96
Rastro/Tienda/Taller URG	0.36		2.22	1.76					4.34
Área con Veg. Silvestre								41.3815	41.4
Laguna Frigorífico							1.3485		1.35
Laguna el Espejo							33		33
SUBTOTAL	1.79		7.58	1.76	1.73	6.29	34.35	41.382	94.9
SECTOR 2									
COLONIA	AVU	RES	COM	CAL	AVE	INST	EST	VEG	TOTAL
Fracc. José Pagés Llergo	0.88	4.87		1.6		0.31			7.66
Fracc. COTIP/Revolución	0.19	3.78		2.87					6.84
Colonia STAIUJAT	2.46	7.34		3.67					13.47
SUBTOTAL	3.53	15.99		6.59		0.31			26.42
SECTOR 3									
COLONIA	AVU	RES	COM	CAL	AVE	EST	VEG	TOTAL	
Colonia Delicias		5.31		0.8					6.11
Colonia Punta Brava	0.61	15.55		0.74					16.9
Col. Nueva Pensiones	1.25	6.03		1.08				2.24	10.6
Col. Guadalupe Borja	0.37	15.09		2.64				0.7	18.8
Infonavit Atasta	6.11	18.25		5.75				0.37	30.48
SUBTOTAL	8.34	60.23		11.01				3.31	82.91

AVU = Áreas Verdes Urbanas RES = Residencial COM = Comercial
 CAL = Calles y Andadores AVE = Avenidas VEG = Vegetación Natural



**Control de Vertidos Residuales en la Cuenca de Drenaje de la
Laguna El Espejo**



Tabla 7. Carga Másica de DBO₅ en g/d.

SECTOR 1									
COLONIA	AVU	RE	COM	CAL	EST	INST	LAGU	VEG.SIL	TOTAL
Panteón de Atasta	102					7549.4			7651.4
Plaza Palmita			3496						3496
Laboratorios de la UJAT	1694.3				2876.5	16461.8			21032.6
Clínica Juchiman	102.1					419.4			521.5
Esc. "Elena Zalaya Lara"	122.5					2621.3			2743.8
Esc. Sec. Federal 3	306.2					2726.2			3125.2
Esc. Santos Degollado	20.4					1834.9			1855.3
SCT-Gobierno de Tabasco						1366.1			1363
Súper Motel			1966						1966.7
Chedraui Tamulte			7575.4						12632.4
Talleres del Trasbus			9177.8						9167.8
Gasolinera Periférico I			4588.9						4588.9
Ultra Lácteos del Sureste	571.6		12237.1						12808.7
Rastro/Tienda/Taller URG	734.9		16170.5	8165.5					25071
Área con Veg. Silvestre								95994.7	95995
Laguna Frigorífico									
Laguna el Espejo									
SUBTOTAL	3654.0		55212.8	8165.5	2876.5	32976.1		95994.7	204029

SECTOR 2									
COLONIA	AVU	RES	COM	CAL	AVE	INST	EST	VEG	TOTAL
Fracc. José Pagés Llergo	1796.4	16945.8		7423.2		1625.2			27790.6
Fracc. COTIP/Revolución	397.8	13152.9		13315.3					26866
Colonia STAIUJAT	5021.8	25540.4		17026.9					47589.1
SUBTOTAL	7216.0	55639.1		37765.4		1625.2			102245.7

SECTOR 3								
COLONIA	AVU	RES	COM	AND/CALLES	AVE	EST	VEG	TOTAL
Colonia Delicias		18476		3711.6				22187.6
Colonia Punta Brava	1245.2	54108.2		3433.2				58786.6
Col. Nueva Pensiones	2551.7	20982.1		5010.6			5196.2	33740.6
Col. Guadalupe Borja	755.3	52507.5		12248.3			1623.8	67134.9
Infonavit Atasta	12472.8	63503.1		26677.1			858.3	103511.4
SUBTOTAL	17025.1	209577.8		51080.8			7678.3	285362

AVU = Áreas Verdes Urbanas
CAL = Calles y Andadores

RES = Residencial
AVE = Avenidas

COM = Comercial
VEG = Vegetación Natural



**Control de Vertidos Residuales en la Cuenca de Drenaje de la
Laguna El Espejo**



Tabla 8. Carga Másica de DQO en g/d.

SECTOR 1									
COLONIA	AVU	RES	COM	CAL	EST	INST	LAG	VEG	TOTAL
Panteón de Atasta	712.2					37880.5			38592.7
Plaza Palmita			15610.9						15611
Laboratorios de la UJAT	118821.9				14238.6	82600.7			108661.2
Clínica Juchiman	712.2					20104.4			2816.6
Esc. "Elena Zalaya Lara"	854.6					13153			14007.5
Esc. Sec. Federal 3	2136.5				459.3	13679.1			16274.9
Esc. Santos Degollado	142.4					6839.5			9349.5
SCT-Gobierno de Tabasco						9207.0			6839.5
Súper Motel			8781.2						8781.1
Chedraui Tamulte			33823.8		25032.4				58856.2
Talleres del Trasbus			40978.8						40978.8
Gasolinera Periférico I			20489.4						20489.4
Ultra Lácteos del Sureste	3988.1		54638.4						58626.5
Rastro/Tienda/Taller URG	5127.6		72200.8	42542.3					119870.7
Área con Veg. Silvestre								583647.9	583648
Laguna Frigorífico									
Laguna el Espejo									
SUBTOTAL	25495.4		246524	42542.3	39730.3	165464.5		583648	1103404

SECTOR 2									
COLONIA	AVU	RES	COM	CAL	AVE	INST	EST	VEG	TOTAL
Fracc. José Pagés Llargo	12534.1	98285.4		386174.8		8154.8			157649.2
Fracc. COTIP/Revolución	2706.2	76287.2		69373.0					148366.56
Colonia STAIUJAT	35038.4	148134.6		88710.4					271883.5
SUBTOTAL	50278.7	322707.4		196758.4		8154.8			577899.3

SECTOR 3									
COLONIA	AVU	RES	COM	AND/CALLES	AVE	EST	VEG	TOTAL	
Colonia Delicias		107165		19337.4				126502.9	
Colonia Punta Brava	8688.4	313827		17887.1				340403	
Col. Nueva Pensiones	17804.1	121696		26105.5			31593.1	197199	
Col. Guadalupe Borja	5260.0	304544		63813.5			9872.8	383500	
Infonavit Atasta	87026.4	368318		138987.8			5218.5	599551	
SUBTOTAL	118789	1215551		266131			46684	1647156	

AVU = Áreas Verdes Urbanas

RES = Residencial

COM = Comercial

CAL = Calles y Andadores

AVE = Avenidas

VEG = Vegetación Natural



Tabla 9. Carga Másica de SST en g/d.

SECTOR 1									
COLONIA	AVU	RS	COM	CAL	EST	INST	LAG	VEG.SIL	TOTAL
Panteón de Atasta	463.9					27992.9			28456
Plaza Palmita			12070.1						12070
Laboratorios de la UJAT	7701.5				14728	61040.0			83469
Clínica Juchiman	463.9					1555.2			2019
Esc. "Elena Zalaya Lara"	556.7					9719.7			10276
Esc. Sec. Federal 3	1391.8				475	10108.5			11975
Esc. Santos Degollado	92.79					6803.8			6897
SCT-Gobierno de Tabasco	2598.1					5054.2			5054
Súper Motel			6789.4						6789.4
Chedraui Tamulte			26151.9		25892				52044
Talleres del Trasbus			31684.1						31684
Gasolinera Periférico I			15842.0						15842
Ultra Lácteos del Sureste	2598		42245.4						44843
Rastro/Tienda/Taller URG	3340.4		55824.3	41807.4					100972
Área con Veg. Silvestre								378219.2	378219.2
Laguna Frigorífico									
Laguna el Espejo									
SUBTOTAL	16609		190607	41807.4	41095	122274		378219.2	790612

SECTOR 2									
COLONIA	AVU	RES	COM	CAL	AVE	INST	EST	VEG	TOTAL
Fracc. José Pagés Llargo	8165.5	68912		3806.8		6026.2			121111
Fracc. COTIP/Revolución	1763.0	53489		68174.6					123426
Colonia STAIUJAT	22826.3	103864		87178.0					213869
SUBTOTAL	32755	226266		193359		6026.2			458406

SECTOR 3								
COLONIA	AVU	RES	COM	AND/CALLES	AVE	EST	VEG	TOTAL
Colonia Delicias		75139		19203.4				94142
Colonia Punta Brava	5660.2	220039		17578.1				243278
Col. Nueva Pensiones	11598.7	85327		15654.6			20473.1	143053
Col. Guadalupe Borja	3433.2	213530		62711.2			6397.8	286072
Infonavit Atasta	56694.7	258246		136586.9			3381.7	454909
SUBTOTAL	77386	852283		261534			30252	1221456

AVU = Áreas Verdes Urbanas

RS = Residencial

COM = Comercial

CAL = Calles y Andadores

AVE = Avenidas

VEG = Vegetación Natural



**Control de Vertidos Residuales en la Cuenca de Drenaje de la
Laguna El Espejo**



Tabla 10. Carga Másica de Nitrógeno Total en g/d.

SECTOR 1									
COLONIA	AVU	RS	COM	CAL	EST	INST	LAGUN	VEG.SIL	TOTAL
Panteón de Atasta	25.5					1603.4			1628
Plaza Palmita			690.3			3496.3			690
Laboratorios de la UJAT	423.5				604.1				4523
Clínica Juchiman	25.5					89.1			114
Esc. "Elena Zalaya Lara"	30.6					556.7			587
Esc. Sec. Federal 3	76.5				19.4	579.0			675
Esc. Santos Degollado	5.1					389.7			394
SCT-Gobierno de Tabasco						289.5			289
Súper Motel			388.3						388
Chedraui Tamulte			1495.7		1061.9				2557
Talleres del Trasbus			1812.2						1812
Gasolinera Periférico I			906.1						906
Ultra Lácteos del Sureste	142.8		2416.2						259
Rastro/Tienda/Taller URG	183.7		3192.9	1714.7					591
Área con Veg. Silvestre								21118.8	21118
Laguna Frigorífico									
Laguna el Espejo									
SUBTOTAL	9013.5		10902	1714.7	1685	7003		21118.8	34338

SECTOR 2									
COLONIA	AVU	RES	COM	CAL	AVE	INST	EST	VEG	TOTAL
Fracc. José Pagés Llergo	449.1	3841		1558.8		345.2			6194
Fracc. COTIP/Revolución	96.9	2981		2796.2					5874
Colonia STAIUJAT	1255.4	5789		3575.6					10620
SUBTOTAL	1801.5	12611		7931		345.2			22689

SECTOR 3									
COLONIA	AVU	RES	COM	AND/CALLES	AVE	EST	VEG	TOTAL	
Colonia Delicias		4188		779.4				4967	
Colonia Punta Brava	311.3	12264		709.9				13296	
Col. Nueva Pensiones	637.9	4755		1052.2			1143.2	7589	
Col. Guadalupe Borja	188.9	11901		2572.1			357.2	1519	
Infonavit Atasta	3118	14394		5602.2			188.8	23303	
SUBTOTAL	4256	47504		10726			1689	64176	

AVU = Áreas Verdes Urbanas RS = Residencial
CAL = Calles y Andadores AVE = Avenidas

COM = Comercial
VEG = Vegetación Natural



Tabla 11. Carga Máscica de Fósforo Total en g/d.

SECTOR 1									
COLONIA	AVU	RES	COM	CAL	EST	INST	LAGUN	VEG.SIL	TOTAL
Panteón de Atasta	4.6					20.4			205
Plaza Palmita			89.1						89
Laboratorios de la UJAT	77.0				74.7	437.0			588
Clínica Juchiman	4.6					11.1			15.7
Esc. "Elena Zalaya Lara"	5.5					69.6			75.1
Esc. Sec. Federal 3	13.9				2.4	72.3			88.7
Esc. Santos Degollado	0.9					48.7			49.6
SCT-Gobierno de Tabasco						36.2			36.1
Súper Motel			50.1						50.1
Chedraui Tamulte			193.0		131.4				324
Talleres del Trasnbus			233.8						233
Gasolinera Periférico I			116.9						116
Ultra Lácteos del Sureste	25.9		311.7						337
Rastro/Tienda/Taller URG	33.4		411.9	212.3					657
Área con Veg. Silvestre								3839.8	3839
Laguna Frigorífico									
Laguna el Espejo									
SUBTOTAL	166		1406.7	212.3	208	875		3839.7	6709

SECTOR 2									
COLONIA	AVU	RES	COM	CAL	AVE	INST	EST	VEG	TOTAL
Fracc. José Pagés Llargo	88.6	452		346.2		43.1			770
Fracc. COTIP/Revolución	17.6	351		442.7					714
Colonia STAIUJAT	228.2	681		442.7					1352
SUBTOTAL	327.5	1483		981.9		43.1			2836

SECTOR 3									
COLONIA	AVU	RES	COM	AND/CALLES	AVE	EST	VEG	TOTAL	
Colonia Delicias		493		96.5				589	
Colonia Punta Brava	56.6	1443		89.2				1589	
Col. Nueva Pensiones	115.9	559		130.2			207.8	1014	
Col. Guadalupe Borja	34.3	1400		318.4			64.9	1817	
Infonavit Atasta	566.9	1693		693.6			34.3	2988	
SUBTOTAL	774	5588		1328			307	7997	

AVU = Áreas Verdes Urbanas RES = Residencial COM = Comercial
CAL = Calles y Andadores AVE = Avenidas VEG = Vegetación Natural



Tabla 12. Carga contaminante difusa por Sector de la cuenca de drenaje. Kg/día.

CUENCA DE DRENAJE LAGUNA EL ESPEJO					
SUBCUENCA	DBO5	DQO	SST	NT	FT
Sector 1	204.029	1103.404	790.612	34.338	6.709
Sector 2	102.2457	577.899	458.406	22.689	2.836
Sector 3	285.362	1647.156	1221.456	64.176	7.997
TOTAL	591.638	3328.459	2470.474	121.203	17.542

Para propósitos de bio-retención de sólidos, carga orgánica y carga de nutrientes para este Proyecto Ejecutivo se propone el diseño, la construcción y la operación con la participación integral de la población y de las instituciones encargadas de la normativa ambiental de 134 biofiltros, cuya ubicación, número por calle, dimensiones y especificaciones técnicas se presentan en la figura 6 y en la tabla 1

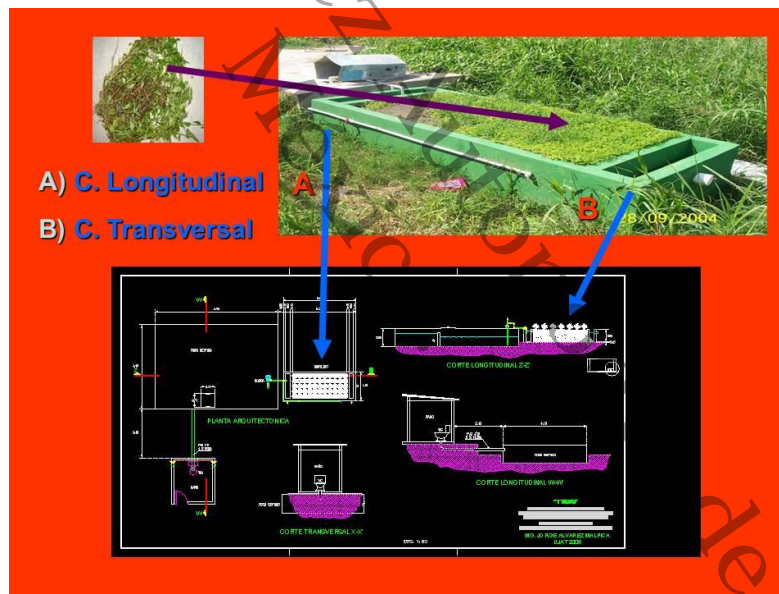


Fig. 6. Biofiltros propuestos para bio-retención de carga de nutrientes, sólidos y carga orgánica.



7.1.3. Estimación de la carga contaminante antropogénica.

La estimación teórica de la carga orgánica antropogénica se presenta en la tabla 14 y su comparativa con la de origen difuso se incluye en la tabla 15. Con dicha comparativa se identifica que el problema de alteración ambiental y el estado hiper-eutrófico de la laguna El Espejo tienen fuerte relación con el control, la reducción o el tratamiento de la carga antropogénica, lo cual hace necesario el diseño, la construcción y la operación de plantas de tratamiento que estén orientadas a la remoción biológica de carga orgánica y de nutrientes.



Control de Vertidos Residuales en la Cuenca de Drenaje de la Laguna El Espejo



Tabla 13. Localización, número y dimensionamiento de los biofiltros para bioretención de carga difusa

No	COLONIA	CALLE	Ancho m	ABD m	ABI m	Alt m	Long en m	No de Biof	vol. Total de Biof.	A. DE Arrastre m ²	Tipo de drenaje	Baldíos	Alboles Calles
1	Atasta	Segunda Cerrada 17 de Diciembre	5.7	1.52	1.34	8.56	4.75	4	8.64	27.075	Combinado		3
2		Privada Cerrada 17 de Diciembre	8.9	1.2	1.2	11.3	7.416666667	7	15.12	66.00833333	Combinado	1	
3		Revolución	7.02	1.67	1.57	10.26	5.85	5	10.8	41.067	Combinado		5
4	Condominios del BSET	Andador Principal	2.87					2	4.32	6.864083333	Pluvial		
5	Infonavit Atasta	Marcelino Barragán	4.02	1.42	1.54	6.98	3.35	3	6.48	13.467	Pluvial	1	
6	Guadalupe Borja	Guaymas	7.06	1.49	1.48	10.03	5.883333333	5	10.8	48.53633333	Combinado		1
7		Manzanillo	7.8	1.8	1.56	11.16	6.5	6	12.96	50.7	Combinado		
8		Matamoros	8.04	1.5	1.4	10.94	6.7	6	12.96	83.868	Combinado		2
9		Progreso (Foto de Inundación)	4.46	1.2	1.2	6.86	8.716666667	3	6.48	16.57633333	Combinado		
10		Laguna El Espejo (Casa Azul)	6.7	1.12	1	8.82	5.583333333	3	10.8	37.40833333	Combinado		2
11		Tiempo Nivel 41 cm 19 de noviembre 2015	8.1	0.61	1.6	10.31	6.75	6	12.96	54.675	Combinado		
12		Ensenada	5.27	1.5	1	7.77	4.391666667	4	8.64	23.14408333	Combinado		
13		Frontera (Maestro Rudy)	4.1	1	0.9	6	8.416666667	3	6.48	14.00833333	Combinado		
14		Doble Flujo	3.5	1.28	1.07	5.85	2.916666667	2	4.32	10.20833333	Combinado		
15		Laguna de las Ilusiones	5.2	1.4	1.5	8.1	4.333333333	4	8.64	22.53333333	Combinado		1
16		Chetumal	3.4	1.4	1.4	2.833333333	2.833333333	2	4.32	9.633333333	Combinado		
17		Campche	5.4	1.4	1.4	6.8	4.5	4	8.64	24.3	Combinado		2
18		Profa. Martha Hernández de ... (4.6 m)	4.8	1	1	6.8	4	4	8.64	19.2	Combinado		5
19		Profa. Rosa Moguel de Dios	6.04	1.5	1.5	9.04	5.033333333	5	10.8	30.40133333	Combinado		6
20	COTIP	4ta. Cerrada de Revolución	5	1.4	1.4	4.4	2.5	2	4.32	7.5	Combinado		
21		Calle 1	7.16	1.43	1.25	9.81	5.966666667	5	10.8	42.72133333	Combinado		
22		Calle 2	7	1.25				5	10.8	40.83333333	Sin drenaje		
23		Calle Sin nombre	10	1.2				8	17.28	83.33333333	Sin drenaje		
24	STAIUIAT	Andador E	8.52	1.4	1.4	11.32	7.1	7	15.12	60.492	Combinado		
25	Hidalgo Sector Morel	Manijé Ocampo	11.7					9	19.44	114.075	Combinado		
26	Fracc. Páges Ilego	DISTRITO EL PAGER (CALLE 3, 36 m Anchura)	7	1.46	1.25	9.71	5.833333333	6	12.96	40.83333333	Combinado		15
27		Al otro costado de la Iglesia	7	1.47	1.25	9.72	5.833333333	6	12.96	40.83333333	Combinado		
28		Peñón con alcalco (Parque)	7.1	1.25	1.25	9.6	5.916666667	6	12.96	42.00833333	Combinado		1



Tabla 14. Carga contaminante antropogénica por Sector de la cuenca de drenaje. Kg/día.

CUENCA DE DRENAJE LAGUNA EL ESPEJO					
SUBCUENCA	DBO5	DQO	SST	NT	FT
Sector 1 y 2	813.996	1627.992	1145.624	135.666	75.37
Sector 3	2513.7	5027.4	3537.8	418.95	232.75
TOTAL	3327.696	6655.3992	4683.424	554.616	308.12

Tabla 15. Comparativa de las cargas teóricas de origen antropogénico y difuso por Sector de la cuenca de drenaje. Kg/día.

CUENCA DE DRENAJE LAGUNA EL ESPEJO					
TIPO DE CARGA	DBO5	DQO	SST	NT	FT
Difusa	591.638	3328.459	2470.474	121.203	17.542
Antropogénica	3327.696	6655.3992	4683.424	554.616	308.12
TOTAL	3919.334	9983.8582	7153.898	675.819	325.662

De esa manera, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las causas del estado hiper-eutrófico de la laguna El Espejo no se pueden revertir únicamente con tecnologías orientadas hacia la bio-retención de carga difusa como las que se propusieron en la sección 7.1.2.
- Dado que es elevado y complejo el aporte de agua residual doméstica, institucional y de servicios en la cuenca de la laguna El Espejo, deben caracterizarse la composición y el caudal las mismas, antes de seleccionar y diseñar tecnologías para el tratamiento de estas aguas residuales.
- Por el espacio ocupado y el uso de suelo urbano que rodea al cuerpo de agua, se debe descartar cualquier tipo de tecnología de carácter extensivo, como es el caso de los humedales artificiales o las mismas lagunas de estabilización.



- Se requiere un sistema de dos plantas de tratamiento, de las cuales una de ellas debe estar acompañada de una propuesta técnica para el re-direccionamiento de los caudales y la adecuación del drenaje sanitario para tales fines.

7.2. Re-direccionamiento de caudales.

En los tres sectores de la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo existe ya drenaje sanitario, cuya pendiente en la mayoría de los asentamientos urbanos discurre parcialmente hacia la ribera del cuerpo de agua, pero la Colonia COTIP al ser una zona irregular, carece de este servicio.

Por otra parte, en el sector 3 la línea de drenaje pluvial y residual fluye hacia un canal provisto con un vertedor rectangular y que está localizado en la calle Marcelino García Barragán de la Colonia Infonavit de Atasta, y el cual vierte su carga antropogénica de manera directa hacia la laguna El Espejo. Así, en dicha área urbanizada no se requiere re-direccionamiento de caudales.

Sin embargo, en los sectores de cuenca 1 y 2 se disponen dos líneas de ribera de 847.1 y 897.8 m respectivamente, en las cuales se requiere un sistema de re-direccionamiento para vertidos domésticos y de servicios que debe estar constituido por un cárcamo de rebombeo nuevo y en el que se direccionarán tuberías de 8" pulgadas con un número de pozos de visita como los que se presentan en la tabla 16.

Dicha infraestructura deberá ser complementada con una línea de bordos contra inundación que pueden ser empleados también como una ciclo pista o un área revegetada que funcione para incrementar la conectividad de las áreas verdes urbanas con la vegetación silvestre asentada a la ribera del ecosistema acuático urbano.



Tabla 16. Número de pozos de visita e infraestructura de re-direccionamiento en los sectores 1 y 2 de la cuenca drenada de la laguna El Espejo.

CUENCA DE DRENAJE LAGUNA EL ESPEJO		
SUBCUENCA	LINEA DE RECOLECCION (m)	POZOS DE VISITA
Sector 1	847.1	7
Sector 2	897.8	8
TOTAL	1744.9	15

7.3. Sistema de plantas de tratamiento para agua residual.

Para la remoción de la carga orgánica y de nutrientes de origen antropogénico en este Proyecto Ejecutivo se han seleccionado dos plantas de tratamiento con el uso de la tecnología de lodos activados en su modalidad de aireación extendida, descartándose como ya se indicó las tecnologías de tipo extensivo por el uso de grandes extensiones de terreno, el cual es muy caro en áreas propiamente urbanas y los reactores biológicos secuenciales (SBR) por la complejidad de su operación y control. Por ello, aunque se realizaron los diseños funcionales de ambas alternativas tecnológicas no se presentan en este documento.

De esa manera, se propone un sistema de dos plantas de tratamiento tipo Zanjas de Oxidación con uno y tres canales de paredes verticales, una de las cuales se propone situar en los sectores 1 y 2 en relación directa con las obras de re-direccionamiento del drenaje sanitario en la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo y la otra en el sector 3 de dicha cuenca drenada.

Para ambas plantas de tratamiento se siguió un esquema de diseño funcional que puede resumirse de la manera siguiente:

- Caracterización del caudal de agua residual durante un período de una semana durante la época de sequía.



- Muestreo del agua residual doméstica y de servicios para conocer con detalle la composición del agua residual en cada punto de vertido residual, de acuerdo con la normativa ambiental.
- Elaboración del diseño funcional para cada una de las plantas de tratamiento.
- Determinación de la Memoria de Cálculo para cada unidad de tratamiento en las dos PTARD.
- Solo se incluirán planos funcionales, arquitectónicos y de los perfiles hidráulicos para cada planta.
- En esta propuesta ejecutiva tampoco se incluyen los diseños estructural, hidráulico y electromecánico de dichas plantas.
- De llevarse a cabo la construcción de las plantas de tratamiento propuestas será también necesario la elaboración de un Manual de Operación y de Mantenimiento en cada caso.

7.3.1. Descripción de la tecnología seleccionada.

La tecnología que se ha seleccionado es un proceso de lodos activados similar a la aireación extendida que se denomina Zanja o Dique de Oxidación, que fue propuesto por A. Pasveer desde 1954 en Holanda. Dentro de los procesos de tratamiento secundario las tecnologías biológicas más empleados en México son el sistema de lodos activados y el de lagunas de oxidación (CONAGUA, 2007), el primero de ellos en su tipo convencional no elimina la concentración de nutrientes del agua residual y el segundo, lo realiza con baja eficiencia y a expensas de una mayor superficie ocupada por la planta de tratamiento.

En nuestro país la variante de lodos activos denominada aireación extendida es la más empleada en el estado de Jalisco, pues se usa conjuntamente con las zanjas de oxidación para el control de nutrientes en el lago de Chapala. Esta tecnología alcanza entre el 90-98% de eficiencia en remoción de DBO₅ y suele



remover entre el 70 y el 90% del fósforo y el nitrógeno presente en el agua residual doméstica (Baars, 1962).

Las zanjas de oxidación son proceso de gran uso en EU y Europa debido a que además de ser fáciles de operar, ofrecen altos niveles de desempeño a bajo costo y una remoción de carga orgánica óptima. Por ejemplo, en Estados Unidos se han construido más de 9200 zanjas de oxidación (EPA, 1999) y en España existen cerca de 564 de este tipo de instalaciones operando algunas de ellas desde 1978.

Las zanjas de oxidación se consideran como una alternativa viable para remoción biológica de nutrientes en condiciones templadas, pero está demostrado que el proceso de nitrificación y des-nitrificación es más eficiente a temperaturas superiores a los 20° C como las se tienen en el estado de Tabasco durante todo el ciclo anual.

Con ello y dadas las características socioeconómicas y demográficas de la entidad, este tipo de tecnologías de depuración de agua residual pueden aprovecharse para poner en marcha sistemas que garanticen: economía, altos niveles de desempeño y que brinden la posibilidad de cumplir en el futuro con una normatividad ambiental más estricta.

Dado que a nivel internacional, las normas que regulan los límites máximos permisibles de descarga de contaminantes a las aguas superficiales se han vuelto más estrictas, particularmente con respecto a las concentraciones permisibles de nitrógeno total presente en los efluentes, se hace más atractiva la implementación del sistema de zanjas de oxidación, ya que han probado generar efluentes muy estables y altas tasas de eficiencia en la **remoción de compuestos nitrogenados** aún en condiciones templadas de operación.

La revisión de la información disponible sobre el uso de las zanjas de oxidación en la República Mexicana, sus configuraciones más comunes, el caudal de diseño y la población servida, con el fin de obtener elementos técnicos confiables



para su aplicación en el control de la carga de nutrientes vertida desde la cuenca de drenaje de las lagunas urbanas de la ciudad de Villahermosa fue motivo de una publicación relacionada con la presente tesis (Martínez Rodríguez y Rodríguez Rodríguez, 2016).

7.3.2. Diseño funcional de la PTARD. Zanja de Oxidación 1.

En la propuesta de diseño funcional de la Zanja de Oxidación 1 se consideró un esquema conceptual en el cual la carga y el caudal fueron estimados inicialmente de manera teórica con el uso de factores de carga y de aportación de agua residual. De esa manera fueron determinados los caudales de diseño, la carga y la concentración esperadas de algunos contaminantes mismos que se incluyen en la tabla 17.

Tabla 17. Determinación del caudal y la carga orgánica de diseño de la PTARD Zanja de Oxidación 1.

PARAMETROS DE DISEÑO DE LA PTARD. ZANJA DE OXIDACION 1				
CAUDALES TEORICOS ESTIMADOS		CARGA Y CONCENTRACION		
Población Servida	15074	DBO5	813.9 Kg/d	224.3 mg/L
Caudal Medio L/s	42	DQO	1270.9 Kg/d	448.6 mg/L
Caudal Máximo L/s	97.89	SST	1145.6 Kg/d	315.7 mg/L
Caudal Máximo Ext. L/s	141.94	NT	135.6 Kg/d	37.4 mg/L
Coefficiente Harmon	2.29	FT	75.37 Kg/d	20.8 mg/L

Asimismo, fueron caracterizados los vertidos residuales domésticos y de servicios con el uso de muestreos compuestos y en los cuales se pudo identificar la composición típica del agua residual en la descarga de los Sectores 1 y 2, denominada en campo como Pagés Llargo, cuyos resultados analíticos de acuerdo con la Normativa Ambiental se incluyen en la tabla 18.

Destaca así que para el diseño de la Zanja de Oxidación 1 pudo comprobarse que el agua residual es típicamente doméstica y con concentración intermedia, pero que



además tiene buena capacidad de biodegradabilidad dado que la relación DBO5/DQO fue igual a 0.9596. Esto se confirma debido a que el Frigorífico de Villahermosa dejó de funcionar desde hace tres años.

Tabla 18. Caracterización fisicoquímica de las descargas residuales para el diseño de la PTARD. Zanja de Oxidación.

PARAMETROS FISICO QUIMICO	DESCARGA RESIDUAL
	SECTOR 1 y 2
Temperatura °C	37
Potencial de Hidrogeno	7.30
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	214
Demanda Química de Oxígeno mg/L	223.04
Solidos Suspendidos Totales mg/L	166.67
Alcalinidad Total mg/L	478.51
Dureza Total mg/L	272.7
Grasas y Aceites mg/L	54.66
Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L	29.48
Nitrógeno Amoniacal mg/L	15.68
Nitrógeno Orgánico mg/L	13.8
Fosforo Total mg/L	4.83
Sustancias Activas al Azul de Metileno mg/L	6.88
Coliformes Totales NMP/ 100 mL	24000
Coliformes Fecales NMP/100 mL	93000

De este modo la Zanja de Oxidación 1 que se propone ubicar en un terreno aledaño a los Talleres del Transbus Metropolitano, deberá contar con un tren de tratamiento en el que se incluyan las siguientes unidades:

- Canal de Llegada
- Cárcamo de Bombeo
- Pretratamiento (canales de rejillas manuales y desarenador)
- Medidor de Flujo ultrasónico



- Caja de distribución
- Zanja de oxidación (una con posibilidad para ampliarse con otra de iguales características)
- Sedimentador Secundario
- Eras de Secado
- Cárcamo para agua tratada
- Canal de desinfección con cloro
- Sistema de control digitalizado
- Subestación eléctrica
- Caseta de Operación
- Estacionamiento
- Áreas e infraestructura para el Centro de Capacitación para operadores de PTARD

Dicho tren de tratamiento si se contase con recursos para este Proyecto Ejecutivo se podría ajustarse de la manera siguiente:

- Pretratamiento: cribado mecánico
- Digestor de lodos
- Filtros prensa para lodos residuales
- Radiación Ultravioleta como método de desinfección
- Sistema de cogeneración energética para utilización del lodo residual
- Paneles solares para uso en el alumbrado de la planta

Con el cual aunque se requerirá una mayor inversión daría sustentabilidad energética a la planta de tratamiento. Por su importancia, se presenta de manera sintética la Memoria de Calculo funcional para el primer tren de tratamiento propuesto en esta primera PTARD y los planos de ingeniería se incluyen en el Anexo correspondiente.



**DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE PROCESO QUE CONFORMAN
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUAL ZANJA DE
OXIDACIÓN 1 CON CAPACIDAD PARA 42 LPS**

MEMORIA DE CÁLCULO

Poblacion proyecto = 15074 habitantes
Dotacion = 350 l/hab/dia
Aportacion = 245 l/hab/dia
Caudal medio = $(245 * 15074)/86400 = 42.75$ l/seg
Qmin. = $0.5 * 42.75 = 21.37$ l/seg
Qmax. insta = $42.75 * 2.29 = 97.89$ l/seg
Qmax extraordinario = $97.89 * 1.45 = 141.94$ l/seg

CANAL DE LLEGADA

Dimensionamiento de canal de llegada
Caudal max. estraordinario = 141.94 l/seg = 0.1419427 m³/seg

Velocidad del agua remitente = $1.4 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$

Coefficiente de rugosidad(n) = 0.13

1) Área superficial

$$A = \frac{0.1419427}{1.4} = 0.1013877 \text{ m}^2$$

2) Altura (añadiendo 0.30m de bordo).

$$H = \frac{0.1013877}{1.6} = 0.0633673 \text{ m} + 0.30\text{m} = 0.3633373 \text{ m}$$

3) Largo del canal

$$L = 1.6 * 2 = 3.2 \text{ m}$$

4) Pendiente del canal usando la fórmula de maning

$$\text{Radio hidraulico (Rh)} = 0.1013877 / ((0.0633673 * 2) + 1.6) = 0.0587164$$

$$\text{Pendiente (S)} = (1.4 * 0.13) / \left(0.0587164^{\frac{2}{3}}\right)^2 = 0.0145143 \text{ m}$$

Corraborando la velocidad del canal (Vc)

$$= (1/0.013) * (0.0587164^{\frac{2}{3}}) * (0.0145143^{\frac{1}{2}}) = 1.4 \text{ m/seg}$$



DIMENSIONAMIENTO DEL CÁRCAMO DEL BOMBEO

$$Q_{\min.} = 21.37 \text{ l/seg}$$

$$Q_{\max \text{ extraordinario}} = 141.94 \text{ l/seg}$$

$$\text{Bomba de arranques} = 2$$

$$\text{Tiempo de residencia de las dos bombas} = 30 \text{ min}$$

$$\text{Profundidad propuesta (h)} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Eficiencia de la bomba (N)} = 75\%$$

$$\text{Eficiencia extra para la bomba comercial sugerida} = 10\%$$

$$\text{Velocidad del agua (V}_a\text{)} = 0.6 \text{ m/seg}$$

De acuerdo a los datos preliminares se calcula la dimisión

1) Volumen del Cárcamo

$$V = (141.94 * 1800) / 4 = 63874.228 \text{ lt}$$

2) Área superficial

$$A_s = 63874.228 / 6 = 10.645707 \text{ m}^2$$

3) Diámetro del cárcamo

$$r = \sqrt{(10.645707 / 3.1416)} = 1.840824 \text{ m}$$

$$D = 1.840824 * 2 = 3.681648 \text{ m}$$

4) Calculando diámetro de la tubería

$$D = \sqrt{(4 * 0.1419) / (\pi * 0.6)} = 0.5488277 \text{ m} = 21.607 \text{ ft}$$

5) Potencia de la bomba

$$P = (6 * 141.94) / (75 * 0.75) = 7.5 \text{ HP}$$

6) Potencia instalada

$$P_{\text{instala}} = 7.5702788 + 0.1 = 7.6702788 \text{ HP} \approx 10 \text{ Hp}$$

7) Tiempo máximo de llenado

$$T_{\max} = 63874.228 / (21.37 * 60) = 49.8075 \text{ min}$$

8) Altura del agua

$$H_a = 63874.228 / (3.681684 * 6) = 2.9 \text{ m}$$



DIMENSIONAMIENTO DEL DE PRETRATAMIENTO

Datos preliminares

$$Q_{\min} = 21.37 \text{ l/seg}$$

$$Q_{\max \text{ extraordinario}} = 141.94 \text{ l/seg}$$

$$Q_{\text{promedio}} = 42.75 \text{ l/seg}$$

$$\text{Velocidad de aproximación (} V_a \text{)} = 0.6 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidad de paso entre barras con rejilla sucia (} V_{\text{prs}} \text{)} = 0.9 \text{ m/s}$$

$$\text{Resguardo de canal (} R_c \text{)} = 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Distancia entre barras para rejilla gruesa (} d \text{)} = 3.5 \text{ in} = 0.035 \text{ m}$$

$$\text{Espesor de barras para rejilla gruesa (} d \text{)} = 0.75 \text{ in} = 0.0191 \text{ m}$$

$$\text{Angulo de inclinación} = 45^\circ$$

$$\text{Gravedad} = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

$$\text{Distancia entre barras para rejilla fina (} e \text{)} = 0.025 \text{ m}$$

$$\text{Espesor de barras para rejilla fina} = 0.006 \text{ m}$$

- 1) calculando el área superficial

$$A_s = \frac{0.1419}{0.60} = 0.236571 \text{ m}^2$$

- 2) calculando velocidad de paso entre barras a caudal de diseño y reja limpia

$$V_{\text{prl}} = 0.9 * \left(\frac{100 - 30}{100} \right) = 0.63 \text{ m/s}$$

- 3) Calculando velocidad de paso entre barras a caudal máximo y reja limpia

$$V_{\text{prl}Q_{\max}} = 0.63 * (0.1419/0.132) = 0.677454 \text{ m/s}$$

- 4) Calculando velocidad de paso entre barras a caudal máximo y reja colmatada

$$V_{\text{prcol}Q_{\max}} = 0.9 * (0.1419/0.132) = 0.967791 \text{ m/s}$$

- 5) Calculando velocidad de aproximación por el canal para caudal máximo

$$V_{\text{aprox}Q_{\max}} = \frac{0.1419}{0.236571} = 0.6 \text{ m/s}$$

- 6) Calculando velocidad de aproximación por el canal para caudal mínimo

$$V_{\text{aprox}Q_{\min}} = \frac{0.0214}{0.236571} = 0.090348$$

- 7) Calculando anchura del canal

$$A_n = (\sqrt{0.236571})/1 = 0.486386 \text{ m}$$

- 8) Calculando profundidad útil del canal



$$Hu = \frac{0.236571}{0.486386} = 0.486386 \text{ m}$$

9) Calculando profundidad total para el resguardo de canal

$$Ht = Hu \text{ efectiva} + Rc$$

se multiplica Hu y An por 1.156

$$A \text{ efectiva} = 0.486386/1.156 = 0.562262 \text{ m}$$

$$H \text{ efectiva} = 0.486386/1.156 = 0.562262 \text{ m}$$

Sustituyendo

$$Ht = 0.562262 \text{ m} + 0.3 = 0.862262 \text{ m}$$

10) Calculando número de barras y de espacio entre barras para ambas rejillas,
en función de A efectiva

$$N = ((0.562262 \text{ m} + 0.035)/(0.035 + 0.0191)) = 11.05018 \approx 11 \text{ barras}$$

$$\text{No. de espacio} = 11 - 1 = 10 \text{ espacios}$$

Para rejillas finas

$$N = ((0.562262 \text{ m} + 0.025)/(0.025 + 0.006)) = 18.94394 \approx 19 \text{ barras}$$

$$\text{No. de espacio} = 19 - 1 = 18 \text{ espacios}$$

11) Calculando longitud del canal de rejillas

$$Lc = 0.562262 \text{ m} / \sin 45 = 0.660782 \text{ m} * 2 = \mathbf{1.322 \text{ m}}$$

12) Calculando ancho de la rejilla

$$\text{rejilla gruesa Arg} = (11 * 0.0191) + (10 * 0.035) = 0.55955 \text{ m}$$

$$\text{rejilla fina Arg} = (19 * 0.006) + (18 * 0.25) = 0.564 \text{ m}$$

13) Calculando eficiencia de las rejillas

$$\text{rejilla gruesa EC} = \left(\frac{0.5595}{0.562262} \right) * 100 = 99.51765\%$$

$$\text{rejilla fina EC} = \left(\frac{0.564}{0.562262} \right) * 100 = 100.3091\%$$

14) Calculando pérdida de energía hidráulica o pérdida de carga hidráulica a
rejilla limpia para las rejillas gruesa

$$Hf = 1.79 \left(\frac{0.035}{0.0191} \right)^{\frac{4}{3}} * (0.36 / (2 * 9.81)) * (\sin 45) = 0.062888 \text{ m}$$

Para rejilla fina



$$H_f = 1.79 \left(\frac{0.025}{0.006} \right)^{\frac{4}{3}} * (0.36 / (2 * 9.81)) * (\sin 45) = 0.00327 \text{ m}$$

DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR

Datos preliminares para el dimensionamiento del desarenador

$$Q_{\text{maxinst.}} = 97.89 \text{ l/seg} \quad 8457.8288 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{prom}} = 42.75 \text{ l/seg} \quad 3693.375 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Peso específico } (\rho) = 2.65$$

$$\text{Densidad del agua a } 20^\circ\text{C} = 0.998 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Gravedad} = 981 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$\text{Diametro de la partícula de arena } (d) = 0.2 \text{ mm} \quad 0.002 \text{ cm}$$

$$\text{viscosidad cinemática del fluido } (\mu) = 0.01011 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$\text{Coeficiente para sedimentación simple } (k) = 0.04$$

$$\text{Coeficiente } (f) = 0.03$$

$$\begin{aligned} \text{Factor de producción de arena seca por cada } 1000 \text{ m}^3 \text{ de agua (FPAS)} \\ = 0.06 \text{ m}^3 \text{ de arena} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Factor de producción de arena seca por cada } 1000 \text{ m}^3 \text{ de agua (FPASTP)} \\ = 2.5 \text{ m}^3 \text{ de arena} \end{aligned}$$

$$\text{Propuesta de limpieza} = 3 \text{ días}$$

$$\text{Concentración o carga de sólidos en suspensión} = 92 \text{ mg/l}$$

$$\text{Factor de eliminación de sólidos en suspensión (FESST)} = 0.4$$

1) Calculando velocidad de sedimentación

$$V_s = (1/18) * [((2.65 - 0.998) * 981 * (0.02^2)) / 0.01011] = 3.56218 \text{ cm/s}$$

2) Calculando factor de carga con unidades de conversión

$$q = 3.56218 * 86400 / 100 = 3077.72 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{d}$$

3) Calculando el área superficial con remoción al 100%

$$A_s = 8457.8288 / 3077.72 = 2.74808 \text{ m}^2$$

4) Calculando ancho de canal

$$W = \sqrt[3]{2.74808} = 0.95709 \text{ m}$$

5) Calculando largo del canal con una relación largo - ancho 1:3

$$L = 0.95709 * 3 \text{ m} = 2.87128 \text{ m}$$



Aumentando según criterio en la práctica un 50% la longitud del canal
entonces la longitud efectiva real es de $(2.87128 * 0.5) + 2.87128 = 4.30692$ m

6) Calculando la profundidad

$$h = (4.30692 * 0.95709) / 4.30692 = 0.95709 \text{ m}$$

7) Calculando el volumen

$$V = 4.3069 * 0.95709 * 0.95709 = 3.94526 \text{ m}^3$$

8) Calculando área transversal

$$A = 0.95709 * 0.95709 = 0.91603 \text{ m}^2$$

9) Determinando el tiempo de sedimentación de una partícula.

$$t = 0.95709 * 100 / 3.56218 = 26.8682 \text{ seg}$$

10) Calculando el tiempo de retención hidráulico

$$\text{TRH} = 3.94526 / 8457.8288 = 0.00047 \text{ día} = 40.302328 \text{ seg}$$

11) determinando la producción de arena seca.

$$\text{Parena} = (3693.375 * 0.06) / 1000 * 3 = 0.66481 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

12) se determina la profundidad de almacenamiento

De arena en 3 días.

$$H = 0.66481 / (0.95709 * 4.30692) = 0.16128 \text{ m}$$

13) calculando la producción de arena con tormenta

$$\text{Par tormenta} = (36993.375 * 2.5) / 1000 = 9.23344 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

14) calculando la velocidad de arrastre

$$V_c = \text{raiz}(8 * 0.04) * (2.65 - 1) * 981 * 0.02 / 0.03 = 18.5826 \text{ cm/seg}$$

15) Velocidad de flujo horizontal

$$V_h = \frac{8457.8288}{(0.95709 * 0.95709)} = 9233.16 \frac{\text{m}}{\text{d}} = 9233.16 \text{ cm/s}$$

16) determinando los SST en el fluente del desarenador.

$$\text{SST}_{\text{influ.}} = 92 - (92 * 0.4) = 55.2 \text{ mg/l}$$



DIMENSIONAMIENTO DE LA PTARD. ZANJA DE OXIDACIÓN 1

Datos preliminares para el dimensionamiento de la Zanja de Oxidación

Gasto (Q) = 42.75 l/s

$Q_{prom} = 3693.38 \text{ m}^3/\text{d}$ $3693.375 \text{ m}^3/\text{d}$

Concentración de DBO5 en el influente (S_o) = 215.00 mg/l

Sólidos suspendidos en el licor mezcla SSLM (X_e) = 3000 mg/l

Relación alimentación/Microorganismo [A/M] = 0.1 kgDBO/kgSSVLM * d

Factor de carga para DBO5 (F_c) = 54 gDBO/hab * d

Población (P) = 15074 hab

Concentración de saturación de OD para la T y 0 msnm de agua potable ($C_{s(T,0)}$)
= 8.36 mg/l

Presión barométrica del lugar (P_a) = 757.56439 mmHg

Concentración de saturación de OD en agua destilada a 20°C y al nivel del mar ($C_{s(20,0)}$)
= 9.17 mg/l

Tasa nominal de transferencia de oxígeno en condiciones normales (N_o)
= 6 kgO₂/m * h

Relación promedio de la tasa de transferencia de oxígeno en agua residual, K_{la} , a la tasa de transferencia de oxígeno en agua potable (α) = 0.82

Temperatura de diseño (T) = 25°C

Relación entre la concentración de oxígeno en el agua residual y la concentración de saturación en agua potable (β) = 0.9

Concentración promedio de oxígeno disuelto = 1.5 mg/l

Ancho superficial (A_{sup}) = 8 m

Ancho de fondo (A_{fon}) = 8 m

Profundidad (H_o) = 3m

Calidad del efluente según la norma (S) = 25 mg/l

1) Calculando volumen total del reactor biológico

$$V_t = (3693.375 * 215.00) / (0.1 * 3000) = 2646.9188 \text{ m}^3$$

2) Calculando tiempo de retención hidráulico

$$TRH = 2646.9188 / 3693.375 = 0.7166667 \text{ días} \quad 17.2 \text{ hrs}$$

3) Calculando carga orgánica aplicada

$$DBO_A = 54 * 15074 * 0.01 = 813.996 \text{ kgDBO/d}$$



4) Calculando oxígeno requerido

$$O_r = 813.996 * 2 = 1627.997 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

5) Calculando la concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua potable a la temperatura y altitud del lugar

$$C_{s(T,A)} = (8.36 * 757.56439)/760 = 8.3332083 \text{ mg/l}$$

6) Calculando la capacidad real de transferencia de oxígeno del cepillo o rotor de aireación

$$N = 6 * 0.82 * (1.024)^{(25 - 20)} * ((0.9 * 8.3332083 - 1.5)/9.17) \\ = 3.6244212 \text{ kgO}_2/\text{m} * \text{h}$$

7) Calculando longitud de los cepillos o rotores

$$L_c = 1627.99/(24 * 3.6244212) = 18.71554 \text{ m} = 19\text{m}$$

8) Calculando carga orgánica volumétrica

$$COV = (813.996 * 100)/3693.375 = 220.39354 \text{ grDBO}/\text{m}^3$$

9) Calculando volumen de la sección curva.

$$V_c = \pi * (8^2) * 3 = 603.1872 \text{ m}^3$$

10) Calculando longitud de la sección recta (Lsr)

$$V_r = 2646.9188 - 603.1872 = 2043.7316 \text{ m}^3$$

$$L_{sr} = 2043.7316/(((8 + 8)/2) * 3 * 2) = 42.577741 \text{ m}$$

11) Calculando longitud efectiva

$$L_e = 42.577741 + (2 * 8) = 58.577741 \text{ m}$$

12) Calculando área superficial de la zanja

$$A_s = 58.577741 * (2 * 8) = 937.24385 \text{ m}^2$$

13) Calculando producción de lodos

$$P_x = 0.5 * (215 - 25) * 3693.375 * 0.001 = 350.87063 \text{ kg SS}/\text{d}$$

14) calculando producción de oxígeno en el cepillo o rotor

$$P_o = 3.6244212 * 2 * 24 = 173.97222 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

15) Calculando edad de lodos

$$\phi_c = (3000 * 2646.9188 * 0.001)/350.87063 = 22.631579 \text{ dias}$$



SEDIMENTADOR CIRCULAR DE FLUJO RADIAL CON REMOCIÓN MECÁNICA DE LODOS Y DESNATADO SUPERFICIAL

Datos preliminares

El caudal promedio se divide en 3 partes, por cuestiones de diseño de la ZO

$$Q_{\text{promedio}} = 3693.38 \text{ m}^3/\text{d} \quad 3693.375 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Carga superficial sedimentable}(C_s) = 20 \text{ m}^3 * \text{m}^2 * \text{d}$$

1) Calculando área superficial del Sedimentador

$$A_s = 3693.375/20 = 184.66875 \text{ m}^2$$

2) Calculando diámetro del tanque circular

$$D = \sqrt{(4 * 184.66875)/\pi} = 15.33387 \text{ m}$$

3) Calculando volumen del tanque

$$V = (3 * 3693.375 * 2)/24 = 923.34375 \text{ m}^3$$

4) Calculando tiempo de retención hidráulico

$$\text{TRH} = 923.34375 / 3693.375 = 0.25 \text{ dias} \quad 6 \text{ hrs}$$

5) Calculando profundidad

$$H = \frac{923.34375}{184.66875} = 5 \text{ m}$$



DIMENSIONAMIENTO ERAS DE SECADO

Datos preliminares:

Poblacion horizonte(P) = 15074 habitantes

Produccion de lodo seco (Pls) = 0.1 lt/hab * d

Tiempo de retencion o edad de lodos(TRH) = 25d

Distribucion de capas (ECP) = 20cm 0.2m

Numero de eras (No) = 3

Ancho de cada era(W) = 5 m

1) Calculando volumen necesario

$$V_n = 15074 * 0.1 * 25 = 37685 \text{ lt} \quad 37.685 \text{ m}^3$$

2) Calculando área superficial necesaria

$$A_s = \frac{37.685}{0.2} = 188.425 \text{ m}^2$$

3) Calculando área superficial para cada era de secado

$$A_{(c/u)} = 188.425/3 = 62.808333 \text{ m}^2$$

4) Calculando largo de cada era

$$L = 62.808333/5 = 12.561667 \text{ m}$$

DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE CLORACIÓN

Datos preliminares:

Caudal promedio(Qprom) = 3693.38 m³/d

Tiempo de retencion o edad de lodos(TRH) = 20 min 0.0138889 d

Factor de volumen adicional(Fva) = 1.5

Profundidad del tanque de cloracion (Ho) = 1.75 m

Longitud de interseccion(s) = 25% de largo de la camara de desinfeccion

Dosis de tableta de hipoclorito activa (Dcl) = 2 g/ m³

Contenido en fraccion de cloro activo (%Clact) = 65%

1) Calculando volumen efectivo

$$V_e = 3693.38 * 0.0138889 = 51.296875 \text{ m}^3$$

2) Calculando volumen requerido

$$V_r = 51.296875 * 1.5 = 76.945313 \text{ m}^3$$

3) Calculando área superficial

$$A_s = 76.945313 / 1.75 = 43.96875 \text{ m}^2$$



4) Calculando ancho de la cámara de desinfección

$$Ad = \sqrt{43.96875}/2 = 3.3154468 \text{ m}$$

5) Calculando largo de la cámara de desinfección

$$Ld = 3.3154468 \text{ m} * 2 = 6.6308936 \text{ m}$$

6) Calculando longitud de intersección

$$S = 6.6308936 * 0.25 = 1.6577234 \text{ m}$$

7) Calculando v dosis de hipoclorito

$$W = \frac{3693.38 * 2}{65} = 113.64231 \text{ g de hipoclorito/día}$$

REQUERIMIENTO ENERGÉTICO DE TODA LA PTARD EN FUNCIÓN A SU POBLACIÓN Y CAUDAL DIARIO

Datos del proyecto:

$$\text{Caudal promedio (Qprom)} = 3693.38 \text{ m}^3/\text{d} \quad 153.89063 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Poblacion (P)} = 15074 \text{ hab}$$

1) Calculando X en función a la figura

$$X = \log(\log(48000)) = 0.670361$$

2) Calculando Y en función de la figura

$$Y = 0.2218 * (0.670361^{-1.668}) = 0.4321938 \text{ kwh/ m}^3$$

3) Calculando requerimiento energético

$$\text{ReqEner} = 0.4321938 * 153.89063 = 66.510575 \text{ KW}$$



7.3.3. Diseño funcional de la Planta de Tratamiento de Aguas Residual Domestica. Zanja de Oxidación 2.

La propuesta de diseño funcional de la Planta de Tratamiento de Aguas Residual Zanja de Oxidación 2 ha sido integrada de manera previa en una tesis de licenciatura en Ingeniería Ambiental (Hernández Sánchez, 2017), en este Proyecto Ejecutivo se consideró el mismo esquema conceptual con algunas adecuaciones.

Para esta planta, dado que la población servida será cercana a los 50000 habitantes que se asienta en el Sector 3 de la cuenca de drenaje de la laguna El Espejo, la cual se conecta a un sistema de drenaje sanitario de carácter combinado que recolecta y vierte en un solo punto de descarga, localizado en un canal ubicado en la calle Marcelino García Barragán de la colonia INFONAVIT-Atasta, que cuenta con un vertedor rectangular en el que fue posible caracterizar tanto el caudal semanal como la composición típica del agua residual.

La figura 7 denota el comportamiento diurno del caudal de agua residual medido en el vertedor rectangular durante una semana y en la tabla 19 se incluye los valores horarios obtenidos durante ese mismo período.



Fig. 7. Caracterización diurna y semanal del caudal de agua residual.

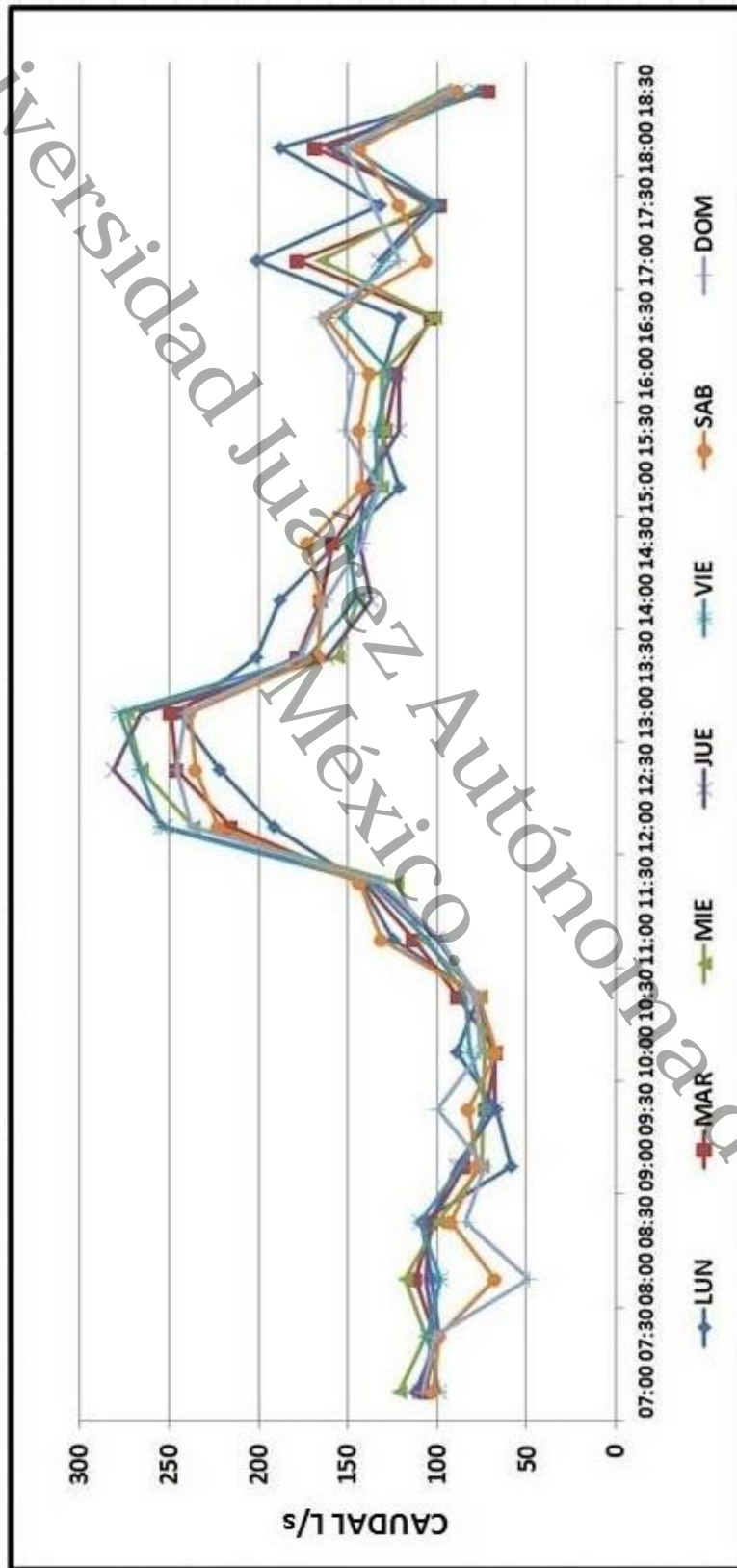




Tabla 19. Caudales diarios obtenidos en el vertedor ubicado en el Sector 3 de la cuenca de la laguna El Espejo.

CAUDAL L/s							
HORA	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB	DOM
7:00	112.1	106.8	121.4	109.7	98.8	102.6	107.9
7:30	99.2	101.6	106.4	101.2	105.7	98.9	101.2
8:00	102.8	112.3	118.1	106.5	98.5	67.7	48.6
8:30	108.6	103.1	99.5	103.6	110.1	92.5	84.3
9:00	58.7	85.2	74.8	88.9	86.3	77.4	73.8
9:30	66.8	72.5	74.4	67.6	72.2	82.3	99.6
10:00	88.8	66.9	73.1	67.5	81.4	67.2	76.2
10:30	76.9	88.4	75.9	77.6	84.3	76.5	78.4
11:00	124.6	112.9	108.5	100.1	105.6	131.1	98.3
11:30	142.6	141.5	122.7	134.1	137.5	143.4	131.5
12:00	191	215.6	236.4	252.6	254.7	222.7	237.9
12:30	221.7	245.8	265.4	281.4	266.2	234.7	246.2
13:00	245.2	249.2	274.1	265.4	278.1	238.6	241.1
13:30	201.4	178.6	155.7	161.4	172.4	166.4	176.4
14:00	188.2	165.1	144.6	136.6	145.7	165.2	162.3
14:30	156.1	158.7	151.3	143.6	148.6	172.3	142.1
15:00	121.4	136.5	131.6	141	133.6	142.1	132.8
15:30	132.3	128.5	130.4	121.7	134.7	143.5	151.6
16:00	130.6	122.7	131.1	121.5	126.6	137.7	146.9
16:30	121.5	103.5	101.7		154.3	162.6	165.7
17:00	201.6	178.6	164.6	132.8	129.5	106.8	121.3
17:30	132.2	98.6	106.5	103.2	99.4	121.2	136.5
18:00	188.4	168.3	157.4	160.5	148.8	143.6	151.3



Control de Vertidos Residuales en la Cuenca de Drenaje de la Laguna El Espejo



18:30	76.6	71.4	96.6	87.4	77.2	88.3	93.1
19:00	51.6	45.8	59.5	66.4	67.9	42.8	49.6
PROMEDIO	133.6	130.3	131.3	130.5	132.7	129.1	130.2
DESV. ESTANDAR	53.29	53.75	56.13	59.31	57.78	52.56	54.75

Se pudo así identificar un caudal promedio de agua residual doméstica y de servicios entre 129.1 y 133.6 L/s en este punto de vertido con una variabilidad diurna definida para un rango de desviación estándar entre 52.6 y 59.3 L/s. Ambos parámetros definieron un agua residual doméstica con fuerte fluctuación diurna, lo cual explica la mayor complejidad social y económica en la infraestructura urbana presente en el Sector 3 de la cuenca drenada de la laguna el Espejo respecto a los Sectores 1 y 2 que fueron analizados en el apartado anterior.

Con la caracterización de los vertidos residuales domésticos y de servicios mediante el uso de muestreos compuestos con los cuales se pudo identificar la composición típica del agua residual en la descarga del Sector 3, denominado en campo como INFONAVIT-Atasta, cuyos resultados analíticos se obtuvieron de acuerdo con la Normativa Ambiental se incluyen en la tabla 20.

En esa misma tabla se incluye la caracterización de una de las salidas hidrológicas de la laguna El Espejo, con la cual se puede demostrar que este ecosistema urbano no tiene la capacidad de asimilar la carga de nutrientes de origen antropogénico que se vierte a dicho ecosistema y entre otras cosas se justifica el empleo de dos plantas de tratamiento con procesos de remoción biológica de nutrientes.

Para el diseño de la Zanja de Oxidación 2 pudo comprobarse que el agua residual es típicamente doméstica, con concentración intermedia pero es más compleja en composición, pues aunque tiene buena capacidad de biodegradabilidad la relación DBO_5/DQO que fue igual a 0.5618 indique un mayor aporte de carga oxidable por vía química y por tanto es expresión de una posible presencia de contaminantes



emergentes. La densidad demográfica y la mayor complejidad socioeconómica del Sector 3 permiten comprobar tales resultados.

Tabla 20. Caracterización fisicoquímica de las descargas residuales para el diseño de la PTARD. Zanja de Oxidación 2.

PARAMETROS FISICO QUIMICO	DESCARGAS RESIDUALES	
	SECTOR 3	
	INFONAVIT	PLAZA DE TOROS
Temperatura °C	34	38
Potencial de Hidrogeno	7.12	7.31
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	209	110
Demanda Química de Oxígeno mg/L	372	202
Solidos Suspendidos Totales mg/L	98	157.14
Alcalinidad Total mg/L	406.58	358.1
Dureza Total mg/L	252.5	246.44
Grasas y Aceites mg/L	23.63	38.87
Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L	34.5	24.46
Nitrógeno Amoniacal mg/L	19.44	15.68
Nitrógeno Orgánico mg/L	15.05	8.78
Fosforo Total mg/L	3.06	3.48
Sustancias Activas al Azul de Metileno mg/L	6.61	6.82
Coliformes Totales NMP/ 100 mL	240000	240000
Coliformes Fecales NMP/100 mL	23000	23000

De este modo la Zanja de Oxidación 2 que se propone ubicar en un terreno cercano al denominado Cuyo de Guadalupe y que de acuerdo con Hernández Sánchez (2017) se ubica dentro del único rancho ganadero de la Ciudad de Villahermosa y cuyos límites se localizan a la ribera de la laguna El Espejo, deberá contar con un tren de tratamiento en el que se incluyan las siguientes unidades:



- Canal de llegada
- Cárcamo de Bombeo
- Pretratamiento (canales de rejillas manuales y desarenador)
- Medidor de Flujo ultrasónico
- Caja de distribución
- Zanjas de oxidación (con tres canales de paredes verticales)
- Sedimentador Secundario (uno para cada canal)
- Digestor de lodos
- Cárcamo para agua tratada
- Canal de desinfección con cloro
- Caseta de Operación
- Subestación Eléctrica
- Estacionamiento

Como en el caso de la Zanja de Oxidación 1, en dicho tren de tratamiento si se contase con recursos para este Proyecto Ejecutivo, se podría ajustarse de la manera siguiente:

- Pretratamiento: cribado mecánico
- Digestor de lodos
- Filtros prensa para lodos residuales
- Radiación Ultravioleta como método de desinfección
- Sistema de cogeneración energética para utilización del lodo residual
- Paneles solares para uso en el alumbrado de la planta

Se presenta así como en el caso anterior, de manera sintética la Memoria de Calculo funcional para el tren de tratamiento propuesto en esta segunda PTARD y sus planos de ingeniería se incluyen en el Anexo **B-1**.



**DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE PROCESO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZANJA DE OXIDACIÓN 2 CON
CAPACIDAD DE 132 LPS.**

MEMORIA DE CÁLCULO

Poblacion proyecto = 46550 habitantes

Dotacion = 350 l/hab/dia

Aportacion = 245 l/hab/dia

$$\text{Caudal medio} = \frac{245 \cdot 46550}{86400} = 131,999.423 \frac{\text{l}}{\text{seg}}$$

$$Q_{\text{min.}} = 0.5 \cdot 132 = 66.00 \text{ l/seg}$$

$$Q_{\text{max. insta}} = 132 \cdot 2.29 = 302.28 \text{ l/seg}$$

$$Q_{\text{max extraordinario}} = 302.28 \cdot 1.45 = 438.30 \frac{\text{l}}{\text{seg}}$$

CANAL DE LLEGADA

Dimensionamiento de canal de llegada

$$\text{Caudal max. extraordinario} = 438.30 \text{ l/seg} = 0.4383041 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{Velocidad del agua remitente} = 1.4 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$\text{Coeficiente de rugosidad}(n) = 0.13$$

5) Área superficial

$$A = \frac{0.4383041}{1.4} = 0.3130743 \text{ m}^2$$

6) Altura (añadiendo 0.30m de bordo)

$$H = \frac{0.3130743}{1.6} = 0.1956715 \text{ m} \cdot 0.30\text{m} = 0.4956715 \text{ m}$$

7) Largo del canal

$$L = 1.6 \cdot 2 = 3.2 \text{ m}$$

8) Pendiente del canal usando la fórmula de maning

$$\text{Radio hidraulico } (R_h) = 0.3130743 / ((12 \cdot 2) + 1.6) = 0.1572177$$

$$\text{Pendiente } (S) = (1.4 \cdot 0.13) / \left(0.1572177^{\frac{2}{3}}\right)^2 = 0.0039037\text{m}$$

Corraborando la velocidad del canal (V_c)

$$= (1/0.013) \cdot \left(0.1572177^{\frac{2}{3}}\right) \cdot \left(0.0039037^{\frac{1}{2}}\right) = 1.4 \text{ m/seg}$$



DIMENSIONAMIENTO DEL CARCAMO DEL BOMBEO

$$Q_{\min.} = 66.00 \text{ l/seg}$$

$$Q_{\max \text{ extraordinario}} = 438.30 \frac{\text{l}}{\text{seg}}$$

Bomba de arranques = 2

Tiempo de residencia de las dos bombas = 30 min

Profundidad propuesta(h) = 7m

Eficiencia de la bomba (N) = 75%

Eficiencia extra para la bomba comercial sugerida = 10%

Velocidad del agua(Va) = 0.3m/seg

Desacuerdo a los datos preliminares se calcula la dimisión

9) Volumen del Cárcamo

$$V = (438.30 * 1800)/4 = 197236.84 \text{ l/seg}$$

10)Área superficial

$$A_s = 197.23684/7 = 28.176691 \text{ m}^2$$

11)Diámetro del cárcamo

$$r = \sqrt{(28.176691/3.1416)} = 2.9948154 \text{ m}$$

$$D = r * 2 = 5.9896308 \text{ m}$$

12)Potencia de la bomba

$$HP = (7 * (438.30/2))/75 * 0.75 = 27.272254 \text{ HP}$$

13)Potencia instalada

$$P_{\text{instala}} = 27.272254 + 0.1 = 27.372254 \text{ HP} \approx 30 \text{ Hp}$$

14)Tiempo máximo de llenado

$$T_{\max} = 197236.84/(66 * 60) = 49.8075 \text{ min}$$

15)Altura del agua

$$H_a = 197236.84 / (5.9896308 * 7) = 4.704245$$



DIMENSIONAMIENTO DEL DE PRETRATAMIENTO

Datos preliminares

$$Q_{\min} = 66.00 \text{ l/seg}$$

$$Q_{\max \text{ extraordinario}} = 438.30 \text{ l/seg}$$

$$Q_{\text{promedio}} = 132 \text{ l/seg}$$

$$\text{Velocidad de aproximación (V}_a) = 0.6 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidad de paso entre barras con rejilla sucia (V}_{\text{prs}}) = 0.9 \text{ m/s}$$

$$\text{Resguardo de canal (R}_c) = 0.3 \text{ m}$$

$$\text{Distancia entre barras para rejilla gruesa (d)} = 0.75 \text{ in} = 0.0191 \text{ m}$$

$$\text{Angulo de inclinación} = 45^\circ$$

$$\text{Gravedad} = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

$$\text{Distancia entre barras para rejilla fina (e)} = 0.025 \text{ m}$$

$$\text{Espesor de barras para rejilla fina} = 0.006 \text{ m}$$

15) Calculando el área superficial

$$A_s = \frac{0.4383}{0.60} = 0.730507 \text{ m}^2$$

16) Calculando velocidad de paso entre barras a caudal de diseño y reja limpia

$$V_{\text{prl}} = 0.9 * \left(\frac{100 - 30}{100} \right) = 0.63 \text{ m/s}$$

17) Calculando velocidad de paso entre barras a caudal máximo y reja limpia

$$V_{\text{prl}Q_{\max}} = 0.63 * (0.4383/0.132) = 2.091906 \text{ m/s}$$

18) Calculando velocidad de paso entre barras a caudal máximo y reja colmatada

$$V_{\text{prcol}Q_{\max}} = 0.9 * (0.4383/0.132) = 2.988437 \text{ m/s}$$

19) Calculando velocidad de aproximación por el canal para caudal máximo

$$V_{\text{aprox}Q_{\max}} = \frac{0.4383}{0.730507} = 0.6 \text{ m/s}$$

20) Calculando velocidad de aproximación por el canal para caudal mínimo

$$V_{\text{aprox}Q_{\min}} = \frac{0.066}{0.730507} = 0.090348$$

21) Calculando anchura del canal

$$A_n = (\sqrt{0.730507})/1 = 0.854697 \text{ m}$$



22) Calculando profundidad útil del canal

$$H_u = \frac{0.730507}{0.854697} = 0.854697 \text{ m}$$

23) Calculando profundidad total para el resguardo de canal

$$H_t = H_u \text{ efectiva} + R_c$$

se multiplica H_u y A_n por 1.156

$$A \text{ efectiva} = 0.854697/1.156 = 0.98803 \text{ m}$$

$$H \text{ efectiva} = 0.854697/1.156 = 0.98803 \text{ m}$$

Sustituyendo

$$H_t = 0.98803 + 0.3 = 1.28803 \text{ m}$$

24) Calculando número de barras y de espacio entre barras para ambas rejillas,
en función de A efectiva

$$N = ((0.98803 + 0.035)/(0.035 + 0.0191)) = 18.92747 \approx 19 \text{ barras}$$

$$\text{No. de espacio} = 19 - 1 = 18 \text{ espacios}$$

Para rejillas finas

$$N = ((0.98803 + 0.025)/(0.025 + 0.006)) = 32.67837 \approx 33 \text{ barras}$$

$$\text{No. de espacio} = 33 - 1 = 32 \text{ espacios}$$

25) Calculando longitud del canal de rejillas

$$L_c = 0.98803 / \sin 45 = 1.161154 \text{ m} * 2 = 2.322 \text{ m}$$

26) Calculando ancho de la rejilla

$$\text{rejilla gruesa Arg} = (19 * 0.0191) + (18 * 0.035) = 0.99195 \text{ m}$$

$$\text{rejilla fina Arg} = (33 * 0.006) + (32 * 0.25) = 0.998 \text{ m}$$

27) Calculando eficiencia de las rejillas

$$\text{rejilla gruesa EC} = \left(\frac{0.99195}{0.98803} \right) * 100 = 100.3968$$

$$\text{rejilla fina EC} = \left(\frac{0.998}{0.98803} \right) * 100 = 101.0091\%$$

28) Calculando pérdida de energía hidráulica o pérdida de carga hidráulica a
rejilla limpia para las rejillas gruesa

$$H_f = 1.79 \left(\left(\frac{0.035}{0.0191} \right)^{\frac{4}{3}} * (0.36 / (2 * 9.81)) * (\sin 45) \right) = 0.062888 \text{ m}$$

Para rejilla fina

$$H_f = 1.79 \left(\left(\frac{0.025}{0.006} \right)^{\frac{4}{3}} * (0.36 / (2 * 9.81)) * (\sin 45) \right) = 0.00327 \text{ m}$$



DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR

Datos preliminares para el dimensionamiento del desarenador

$$Q_{\text{maxinst.}} = 302.28 \text{ l/seg} \quad 26116.878 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{\text{prom}} = 132.00 \text{ l/seg} \quad 11404.5 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Peso específico } (\rho) = 2.65$$

$$\text{Densidad del agua a } 20^\circ\text{C} = 0.998 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Gravedad} = 981 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$\text{Diametro de la partícula de arena } (d) = 0.2 \text{ mm} \quad 0.002 \text{ cm}$$

$$\text{viscosidad cinemática del fluido } (\mu) = 0.01011 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$\text{Coeficiente para sedimentación simple } (k) = 0.04$$

$$\text{Coeficiente } (f) = 0.03$$

$$\text{Factor de producción de arena seca por cada } 1000 \text{ m}^3 \text{ de agua (FPAS)} \\ = 0.06 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\text{Factor de producción de arena seca por cada } 1000 \text{ m}^3 \text{ de agua (FPASTP)} \\ = 2.5 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\text{Propuesta de limpieza} = 3 \text{ días}$$

$$\text{Concentración o carga de sólidos en suspensión} = 92 \text{ mg/l}$$

$$\text{Factor de eliminación de sólidos en suspensión (FESST)} = 0.4$$

9) Calculando velocidad de sedimentación

$$V_s = (1/18) * [((2.65 - 0.998) * 981 * (0.002^2)) / 0.01011] = 3.56218 \text{ cm/s}$$

10) Calculando factor de carga con unidades de conversión

$$q = 3.56218 * 86400 / 100 = 3077.72 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{d}$$

11) Calculando el área superficial con remoción al 100%

$$A_s = 26116.878 / 3077.72 = 8.48579 \text{ m}^2$$

12) Calculando ancho de canal

$$W = \text{RAIZ}(8.48579/3) = 1.68184 \text{ m}$$

13) Calculando largo del canal con una relación largo - ancho 1:3

$$L = 1.68184 * 3 \text{ m} = 5.04553 \text{ m}$$

Aumentando según criterio en la práctica un 50% la longitud del canal

$$\text{en tonces la longitud efectiva real es de } (5.04553 * 0.5) + 5.04553 = 7.56829 \text{ m}$$

14) Calculando la profundidad

$$h = (7.56829 * 1.68184) / 7.56829 = 1.68184 \text{ m}$$

15) Calculando el volumen



$$V = 7.56829 * 1.68184 * 1.68184 = 21.4076 \text{ m}^3$$

16) Calculando área trasversal

$$A = 1.68184 * 1.68184 = 2.8286 \text{ m}^2$$

9) Determinando el tiempo de sedimentación de una partícula.

$$t = 1.68184 * 100 / 3.56218 = 47.2139 \text{ seg}$$

10) Calculando el tiempo de retención hidráulico

$$\text{TRH} = 21.4076 / 2611.878 = 0.00082 \text{ dia} = 70.820879 \text{ seg}$$

11) determinando la producción de arena seca.

$$\text{Parena} = (11404.75 * 0.06) / 1000 * 3 = 2.05286 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

12) se determina la profundidad de almacenamiento

De arena en 3 días.

$$H = 2.05286 / (1.68184 * 7.56829) = 0.16128 \text{ m}$$

13) calculando la producción de arena con tormenta

$$\text{Par tormenta} = (11404.75 * 2.5) / 1000 = 28.5119 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

14) calculando la velocidad de arrastre

$$V_c = \text{raiz}(8 * 0.04) * (2.65 - 1) * 981 * 0.02 / 0.04 = 18.5826 \text{ cm/seg}$$

15) Velocidad de flujo horizontal

$$V_h = 26116.878 / (1.68184 * 1.68184) = 9233.16 \text{ m/d} = 10.7 \text{ cm/s}$$

16) determinando los SST en el fluente del desarenador.

$$\text{SST}_{\text{influ.}} = 92 - (92 * 0.4) = 55.2 \text{ mg/l}$$

DIMENSIONAMIENTO DE LA ZANJA DE OXIDACIÓN

Datos preliminares: (Q) = 132 l/s

$$Q_{\text{prom}} = 11404.75 \text{ m}^3/\text{d} \quad 3801.5833 \text{ m}^3/\text{d}$$

Concentración de DBO5 en el influente (S_o) = 220.00 mg/l

Sólidos suspendidos en el licor mezcla SSLM (X_e) = 3000 mg/l

Relación alimentación/Microorganismo [A/M] = 0.1 kgDBO/kgSSVLM * d

Factor de carga para DBO5 (F_c) = 54 gDBO/hab * d

Población (P) = 46550 hab

Concentración de saturación de OD para la T y 0 msnm de agua potable ($C_{s(T,0)}$)

$$= 8.36 \text{ mg/l}$$

Presión barométrica del lugar (P_a) = 757.56439 mmHg

Concentración de saturación de OD en agua destilada a 20°C y al nivel del mar ($C_{s(20,0)}$)

$$= 9.17 \text{ mg/l}$$

Tasa nominal de transferencia de oxígeno en condiciones normales (N_o)

$$= 6 \text{ kgO}_2/\text{m} * \text{h}$$



Relacion promedio de la tasa de transferencia de oxigeno en agua residual, Kla , a la tasa de transferencia de oxigeno en agua potable (a) = 0.82

Temperatura de diseño (T) = 25°C

Relacion entre la concentracion de oxigeno en el agua residual y la concentracion de saturacion en agua potable (β) = 0.9

Concentracion promedio de oxigeno disuelto = 1.5 mg/l

Ancho superficial (A_{sup}) = 8 m

Ancho de fondo (A_{fon}) = 8 m

Profundidad (H_o) = 3m

Calidad del efluente segun la norma (S) = 25 mg/l

9) Calculando volumen total del reactor biológico

$$V_t = (3801.5833 * 220.00) / (0.1 * 3000) = 2787.8278 \text{ m}^3$$

10) Calculando tiempo de retención hidráulico

$$TRH = 2787.8278 / 3801.5833 = 0.733333 \text{ dias } 17.6 \text{ hrs}$$

11) Calculando carga orgánica aplicada

$$DBO_A = 54 * 15516.6667 * 0.001 = 837.9 \text{ kgDBO/d}$$

12) Calculando oxigeno requerido

$$O_r = 837.9 * 2 = 1675.8 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

13) Calculando la concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua potable a la temperatura y altitud del lugar

$$C_{s(T,A)} = (8.36 * 757.56439) / 760 = 8.3332083 \text{ mg/l}$$

14) Calculando la capacidad real de transferencia de oxigeno del cepillo o rotor de aireación

$$N = 6 * 0.82 * (1.024)^{(25 - 20)} * ((0.9 * 8.3332083 - 1.5) / 9.17) \\ = 3.6244212 \text{ kgO}_2/\text{m} * \text{h}$$

15) Calculando longitud de los cepillos o rotores

$$L_c = 1675.8 / (24 * 3.6244212) = 19.265145 \text{ m} \quad 19 \text{ m}$$

16) Calculando carga orgánica volumétrica

$$COV = (837.9 * 100) / 3801.5833 = 220.40816 \text{ grDBO/m}^3$$



9) Calculando volumen de la sección curva.

$$V_c = \pi * (8^2) * 3 = 603.1872 \text{ m}^3$$

10) Calculando longitud de la sección recta (Lsr)

$$V_r = 2787.8278 - 603.1872 = 2184.6406 \text{ m}^3$$

$$L_{sr} = 2184.6406 / (((8 + 8) / 2) * 3 * 2) = 45.513345 \text{ m}$$

11) Calculando longitud efectiva

$$L_e = 45.513345 + (2 * 8) = 61.513345 \text{ m}$$

12) Calculando área superficial de la zanja

$$A_s = 61.513345 * (2 * 8) = 984.21353 \text{ m}^2$$

13) Calculando producción de lodos

$$P_x = 0.5 * (220 - 25) * 3801.5833 * 0.001 = 370.65438 \text{ kg SS/d}$$

14) calculando producción de oxígeno en el cepillo o rotor

$$P_o = 3.6244212 * 2 * 24 = 173.97222 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

15) Calculando edad de lodos

$$\phi_c = (3000 * 2787.8278 * 0.001) / 370.65438$$

SEDIMENTADOR CIRCULAR DE FLUJO RADIAL CON REMOCION MECANICA DE LODOS Y DESNATADO SUPERFICIAL

Datos preliminares

El caudal promedio se divide en 3 partes, por cuestiones de diseño de la ZO

$$Q_{\text{promedio}} = 11404.75 \text{ m}^3/\text{d} \quad 3801.5833 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Carga superficial sedimentable}(C_s) = 20 \text{ m}^3 * \text{m}^2 * \text{d}$$

6) Calculando área superficial del Sedimentador

$$A_s = \frac{3801.5833}{20} = 190.07917 \text{ m}^2$$

7) Calculando diámetro del tanque circular

$$D = \sqrt{(4 * 190.07917) / \pi} = 15.556873 \text{ m}$$

8) Calculando volumen del tanque

$$V = (3 * 3801.5833 * 2) / 24 = 950.39583 \text{ m}^3$$



9) Calculando tiempo de retención hidráulico

$$\text{TRH} = \frac{950.39583}{3801.5833} = 0.25 \text{días} \quad 6 \text{hrs}$$

10) Calculando profundidad

$$H = \frac{950.39583}{190.07917} = 5 \text{m}$$

DIMENSIONAMIENTO ERAS DE SECADO

Datos preliminares

Poblacion horizonte(P) = 46550 habitantes

Produccion de lodo seco (Pls) = 0.1 lt/hab * d

Tiempo de retencion o edad de lodos(TRH) = 25d

Distribucion de capas (ECP) = 20cm = 0.2m

Numero de eras (No) = 4

Ancho de cada era(W) = 8m

5) Calculando volumen necesario

$$V_n = 46550 * 0.1 * 25 = 116375 \text{ lt} = 116.38 \text{ m}^3$$

6) Calculando área superficial necesaria

$$A_s = \frac{116.38}{0.2} = 581.875 \text{ m}^2$$

7) Calculando área superficial para cada era de secado

$$A_{(c/u)} = 581.875/4 = 145.46875 \text{ m}^2$$

8) Calculando largo de cada era

$$L = 145.46875/8 = 18.183594 \text{m}$$



DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE CLORACION

Datos del proyecto

$$\text{Caudal promedio (Qprom)} = 11404.75 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Tiempo de retención o edad de lodos (TRH)} = 20 \text{ min} \quad 0.0138889 \text{ d}$$

$$\text{Factor de volumen adicional (Fva)} = 1.5$$

$$\text{Profundidad del tanque de cloración (Ho)} = 1.75 \text{ m}$$

$$\text{Longitud de intersección (s)} = 25\% \text{ de largo de la cámara de desinfección}$$

$$\text{Dosis de tableta de hipoclorito activa (Dcl)} = 2 \text{ g/ m}^3$$

$$\text{Contenido en fracción de cloro activo (\%Clact)} = 65\%$$

8) Calculando volumen efectivo

$$V_e = 11404.75 * 0.0138889 = 158.39931 \text{ m}^3$$

9) Calculando volumen requerido

$$V_r = 158.39931 * 1.5 = 237.59896 \text{ m}^3$$

10) Calculando área superficial

$$A_s = 237.59896 / 1.75 = 135.77083 \text{ m}^2$$

11) Calculando ancho de la cámara de desinfección

$$A_d = \sqrt{135.77083} / 2 = 5.8260371 \text{ m}$$

12) Calculando largo de la cámara de desinfección

$$L_d = 5.8260371 \text{ m} * 2 = 11.652074 \text{ m}$$

13) Calculando longitud de intersección

$$S = 11.652074 * 0.25 = 2.9130186 \text{ m}$$

14) Calculando v dosis de hipoclorito

$$W = \frac{11404.75 * 2}{65} = 350.91538 \text{ g de hipoclorito/día}$$



REQUERIMIENTO ENERGETICO DE TODA LA PTARD EN FUNCION A SU POBLACION Y CAUDAL DIARIO

Datos del proyecto

$$\text{Caudal promedio}(Q_{\text{prom}}) = 11404.75 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 475.19792 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Poblacion (P)} = 46550 \text{ hab}$$

4) Calculando X en función a la figura

$$X = \log(\log(48000)) = 0.670361$$

5) Calculando Y en función de la figura

$$Y = 0.2218 * (0.670361^{-1.668}) = 0.4321938 \text{ kwh/ m}^3$$

6) Calculando requerimiento energético

$$\text{ReqEner} = 0.4321938 * 475.19792 = 205.3776 \text{ KW}$$

7.4. Ubicación espacial de la infraestructura.

En síntesis este Proyecto Ejecutivo propone para el control de la eutrofización de la laguna El Espejo, un complejo de infraestructura ambiental que tiene además del propósito del control de la carga externa de los nutrientes vertidos al ecosistema, el saneamiento integral de un área urbanizada en la que confluyen fraccionamientos de clases medias, populares y residenciales.

La infraestructura ambiental descrita en el presente documento que se puede ubicar espacialmente en la figura 8, deberá ser complementada con dos acciones de aplicación tecnológica complementaria: 1) el aprovechamiento de vegetación ribereña para propósitos de bio-retención de carga aloctona desde la cuenca de drenaje y con el mejoramiento de la interconexión de las áreas verdes urbanas en la cuenca drenada del ecosistema; y 2) la utilización de eco

tecnologías para reducir, remover, aprovechar los contaminantes que históricamente se han vertido en este ecosistema.

Ambas acciones ya fueron descritas con detalle en un trabajo recepcional de la licenciatura en Ingeniería Ambiental de Jairo Landero (2016) y como fue indicado en el documento referido, una inversión económica de tal envergadura deberá orientarse hacia el aprovechamiento integral del ecosistema restaurado ya sea para fines de producción económica, esparcimiento, recreación o de educación ambiental, así como del reusó del agua residual tratada y de los lodos residuales generados como resultado del proceso de remoción biológica de nutrientes.

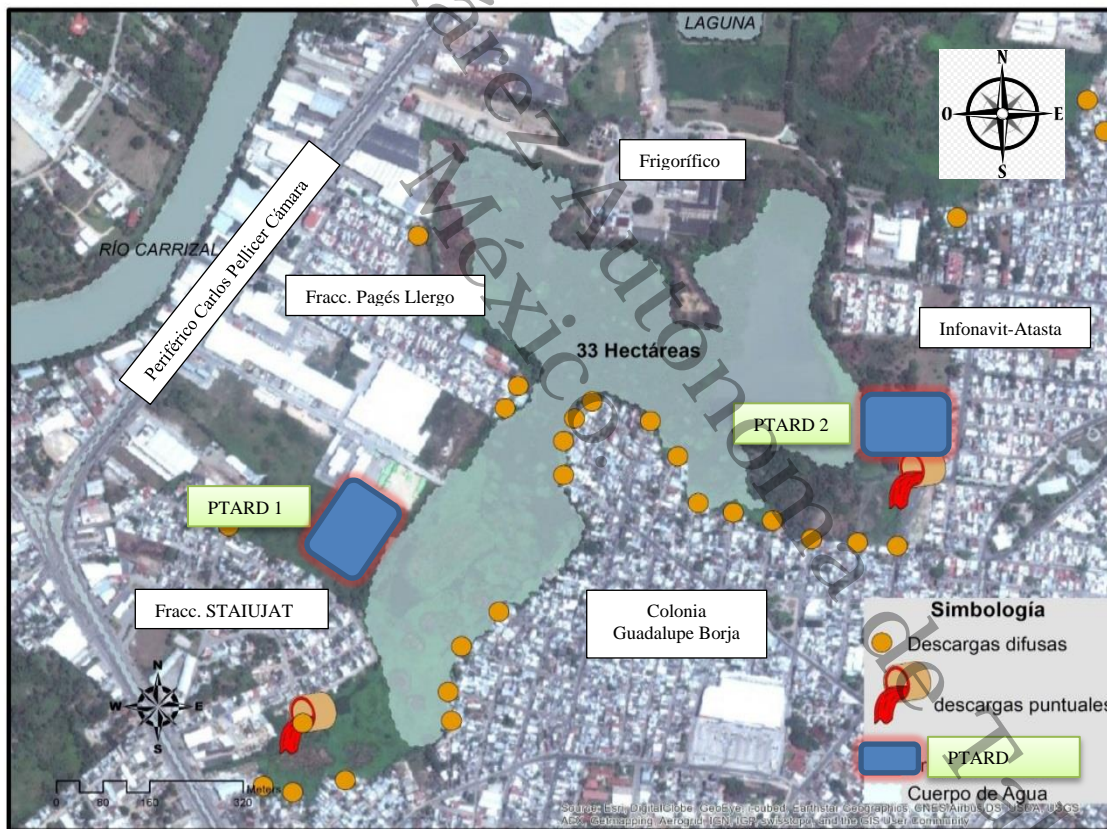


Fig. 8. Ubicación de la infraestructura ambiental propuesta.



7.5. Centro de Capacitación para operadores de PTARD.

En el estado de Tabasco se han construido cerca de 190 plantas de tratamiento para agua residual doméstica y municipal, algunas de las cuales no operan debido a diversas causas técnicas que se pueden resumir de la siguiente manera:

- Inadecuado diseño funcional, estructural y electromecánico.
- Una inapropiada selección del sitio en donde se construye la planta de tratamiento.
- En la construcción de la planta suele modificarse el diseño funcional propuesto.
- El arranque del proceso de tratamiento no es el apropiado de acuerdo con la tecnología seleccionada.
- Cuando la planta inicia operaciones, después de un proceso de entrega administrativa que suele durar mucho tiempo, no cuenta ésta con el conjunto de insumos, los periféricos requeridos e incluso con la energía eléctrica para llevar a cabo su funcionamiento.
- Algunas veces cuando inician operación las plantas de tratamiento no se les abastece de agua residual o cuando es inaugurada ésta se le llena con agua de otro tipo y después es prácticamente abandonada la PTARD.
- Otras veces las plantas se entregan a las Instituciones Operadoras e inician su actividad sin la infraestructura necesaria y sin los equipos que permitan darle seguridad a los operadores mismos.
- El mantenimiento preventivo y correctivo de las plantas suele realizarse sin un protocolo definido conceptualmente y metodológicamente para cada tipo de planta o de proceso.
- Los operadores de las diversas plantas desconocen las características conceptuales, operativas y funcionales de la planta que está bajo su responsabilidad.



- Las Instituciones Operadoras no proporcionan capacitación técnica a sus operadores y responsables de las plantas construidas pues carecen de instalaciones apropiadas para tal fin.
- En las plantas de la entidad que utilizan procesos complejos se carece también de laboratorios destinados a evaluar su desempeño, su eficiencia de manera temporal y para cada unidad de tratamiento empleado, el reúso del agua tratada o el manejo de los residuos generados como resultado de los procesos empleados.

De esa manera, construir dos plantas más con el proceso de lodos activados, cuando este tipo de tecnología en Tabasco no ha operado satisfactoriamente o lo ha hecho de manera deficiente y aún para un ciclo temporal por debajo de su vida útil, representa un verdadero riesgo social, económico y financiero, si no se le brinda capacitación técnica a los operadores y responsables de este tipo de infraestructura ambiental empleada para reducir o controlar la contaminación del agua.

Como parte integral de la Zanja de Oxidación que se ha diseñado en el presente proyecto y que se propone ubicar en un área adyacente al Taller de Transbus Metropolitano de la ciudad de Villahermosa, deberá incluirse también lo que podría denominarse el **Centro de Formación Integral para Operadores de PTARD** (CEFIOP) que deberá estar a cargo de la Comisión Estatal del Agua y Saneamiento (CEAS) de Tabasco.

En esta perspectiva el denominado CEFIOP-CEAS se concibe como un área para formación laboral y para la evaluación de procesos de tratamiento de agua residual doméstica e industrial, y especialmente orientado hacia la capacitación integral de operadores y responsables de PTARDs de los estados y municipios de Chiapas, Yucatán, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz.

De manera complementaria a sus funciones de evaluación y formación laboral el CEFIOP-CEAS se propone integrar con los proyectos de aprovechamiento y gestión de la laguna urbana El Espejo, una vez que ésta haya sido restaurada,



conformándose así como una opción para la difusión y promoción de la cultura ambiental para toda la población villahermosina.

7.5.1. Objetivos del CEFIOP-CEAS.

Los objetivos básicos que tendrá el CEFIOP-CEAS serán los siguientes:

- Capacitación de operadores y responsables de plantas de tratamiento para agua residual en Tabasco y el sureste de México.
- Evaluación del arranque y la operación de las plantas de tratamiento empleadas en el estado de Tabasco.
- Formación técnica de responsables de los Organismos Operadores de PTARD en materia de gestión y planeación del crecimiento de la construcción de PTARD en Tabasco y el sureste de México.

7.5.2. Infraestructura Requerida.

Para el cumplimiento de tales objetivos el CEFIOP-CEAS de tabasco deberá contar con la siguiente infraestructura:

- Una planta de tratamiento para agua residual en operación y con posibilidades para la ampliación de sus instalaciones de acuerdo con el incrementado de la población servida. Como la mejor alternativa en este proyecto se ha propuesto para esta zona la construcción de una Zanja de Oxidación con un solo canal y posibilidades para operar con dos canales de las mismas dimensiones.

Otra alternativa para ésta es el uso de un sistema de lodos activados denominado Reactor Biológico Secuencial, el cual también remueve fósforo y nitrógeno y aunque fuera diseñado con los mismos requerimientos de la Zanja de Oxidación, no se incluye en el presente documento su memoria de cálculo.



- Casetas de operación, para insumos o reactivos y para el control del proceso de tratamiento seleccionado.
- Laboratorio completamente equipado para el análisis de muestras de agua residual, agua de procesos de tratamiento y lodos residuales primarios y secundarios.
- Auditorio para 100 personas equipado con una moderna infraestructura relacionada con las tecnologías de la información.
- Dos aulas de enseñanza para pequeños grupos.
- Biblioteca con centro de información relacionada con el tratamiento del agua residual municipal e industrial en el estado de Tabasco y el sureste de México.
- Edificio para dormitorios con capacidad máximo de 20 personas.
- Sanitarios para hombres y mujeres.
- Estacionamiento.
- Subestación eléctrica.
- Barda perimetral.
- Caseta de vigilancia.
- Cuarto de herramientas

Los planos con las instalaciones del CEFIOP-CEAS se presentan en el anexo correspondiente.



8. RECOMENDACIONES.

Los resultados que han sido descritos en la sección 7 del presente documento, es pertinente considerar las siguientes recomendaciones:

- Este Proyecto Ejecutivo deberá ser analizado por los tomadores de decisiones más importantes del estado de Tabasco, cuyas instancias gubernamentales quedan relacionados con el Gobierno del Estado, el Cabildo del Municipio de Centro y las autoridades de la Comisión Nacional del Agua Delegación Tabasco.
- Es adecuado también ponerlo a consideración las instituciones académicas relacionadas con la gestión del agua en Tabasco, cuya lista debe ser elaborada de acuerdo con las instancias académicas interesadas en el problema de hiper-eutrofización que actualmente presenta la laguna urbana El Espejo.
- Dado que también debe involucrarse a la sociedad en su conjunto es adecuado que también se dé a conocer esta propuesta de ingeniería a las delegaciones municipales de las colonias y fraccionamientos asentados en la cuenca de drenaje urbana de la laguna El Espejo.
- Antes de su implementación este Proyecto Ejecutivo deberá también ser evaluado en términos de la erogación económica que implicará su propuesta técnica y de capacitación laboral.
- Independiente de que el CEFIOP-CEAS se construya en el polígono que ha sido propuesto en este Proyecto Ejecutivo la relevancia para el estado de Tabasco y el sureste de México reviste una necesidad fundamental para el control de la contaminación del agua en esta región del trópico húmedo.



9. LITERATURA CITADA.

Aguirre Alcalá, J., D.F. Ahoja Hernández, A. Hernández Saurett, L. López Leal, J. Méndez Manzanilla y M.M. Temoltzin Córdova. (2008). Evaluación Social del saneamiento del Vaso Cencali en la Ciudad de Villahermosa. CEPEP. 57 pp.

Álvarez Malpica, J. (2007). **Implementación de biofiltros para abastecimiento de agua potable y tratamiento de agua residual en zonas rurales**. Tesis de Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental. División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT. 122 pp. +Anexos

Arizpe, D., A. Mendes y J. E. Rabaca. (2009). **Zonas de ribera sostenibles. Ripidurable** (Versión Electrónica). 286 pp.

Barba Macías E., E, J. R y R. Ramos Reyes. (2006). Clasificación de los humedales de Tabasco mediante Sistemas de Información Geográfica. *Universidad y Ciencia*. 22(002): 101-110.

Breña Puyol, F. (2003). Hidrología urbana. Universidad Autónoma Metropolitana. Versión Digital.

Cárdenas Ochoa, Q. J., R. A. Florido Araujo, L. J. Sánchez Martínez, M. A. Salcedo Meza Y. H. Montalvo Urgel. (2012). Distribución temporal de ictiofauna de sistemas lenticos y loticos suburbanos del municipio de Centro, Tabasco. In: perspectiva Científica de la UJAT. Tomo 1. Colección Héctor Ochoa Bacelis. 182-186



Carlson, R.E. y K.E. Havens. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. 22(2):361-389

Carlson, R.E. y K.E. Havens. (2005). Simple Graphical Methods for the interpretation of relationships between Trophic State Variables. *Lake and Reservoir Management*. 21(1):12

Codina, R. y J. Baron. (2000). **Criterio ambiental volumétrico para el cálculo patrimonial y de necesidades urbanísticas en espacios verdes**. *Revista de la Facultad de Ingeniería*. 41:21-39

Chiesura, A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*. 68(1):129-138.

De la Lanza, E., P. Hernández y J.L. Carvajal. (2000). **Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación** (Bioindicadores). Plaza y Valdez, México. 633 pp.

Feria Díaz, Y., M. A. Salcedo y A. J. Sánchez. (2012). Estado Trófico en ambientes lénticos de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. *Universidad y Ciencia*.

Feria Díaz, Y, A. K. Cruz Ramos, M. A. Salcedo Meza y A. Galindo Alcántara. (2008). La variación espacio temporal de la clorofila en los sistemas lénticos de la subcuenca central de Puxcatan-Tulijá en la Región Sierra del estado de Tabasco. Mem. Semana de Ciencia y Video Científico, Septiembre de 2008. Villahermosa, Tabasco.



Galindo Alcántara, A., S. Del C. Ruiz Acosta y A. Morales Hernández. (2012). **Inventario lagunar, Subcuencas Grijalva y Carrizal. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Gobierno del Estado de Tabasco.** 158 pp.

García Maza, N. (2005). **Aplicación de un Índice de Calidad del Agua en la laguna El Espejo. Trabajo Recepcional. Ingeniería Ambiental, DACBIOL-UJAT.** 42 pp. +Anexos.

Gómez G., M. (1990). Diagnóstico de la ictiofauna de la laguna de Las Ilusiones, Municipio de Centro, Tabasco. Informe Técnico. SCAOP, Departamento de Preservación y Mejoramiento del Medio Ecológico. 32 pp.

Goñi, J. A., M. A. Magaña, S. Paramo, A. E. Del Ángel, S. Arriaga, J. L. Toledo y J. Cámara. (1992). Dictamen biológico de la laguna Loma de Caballo, Municipio de Centro, Tabasco. 53 pp.

Hansen, A. M., M. Van Afferden y F. Torres Bejarano. (2007). **Saneamiento del Vaso Cencali, Villahermosa, Tabasco. I. Contaminación y reúso de sedimentos. Ingeniería Hidráulica en México.** XXII (4):87-102

Hansen, A. M., M. Van Afferden y F. Torres Bejarano. (2008). Saneamiento del Vaso Cencali, Villahermosa, Tabasco. II. Diseño del proceso. *Ingeniería Hidráulica en México.* XXIII (1):57-70

Hernández Coronel, J. L. 1997. **Saneamiento básico ambiental del sistema “Laguna El Espejo” en el municipio del Centro, Villahermosa, Tabasco, México. Memoria de Trabajo. Licenciado en Biología.** DACBIOL-UJAT 38 pp. +Anexos.



Hernández Pérez, O. (1994). **Caracterización de las características tróficas de la laguna de Las Ilusiones con base a un modelo de fósforo total. Tesis inédita de Licenciatura en Biología.** DACB. UJAT. 66 pp.

IMASA. (1984). Plan de Rehabilitación y conservación ambiental de la laguna de Las Ilusiones. Gobierno del Estado de Tabasco. 120 pp.

IMPULSORA DE TECNOLOGIA. (1994). Estudio y Plan de Administración de la laguna de Las Ilusiones. SCAOP, Dirección de Ecología. 312 pp.

INEGI. (1997). Cuaderno Estadístico Municipal, Centro. Estado de Tabasco. INEGI. 143 pp.

Landero Flores, Jairo. 2016. **Proyecto de restauración de la laguna El Espejo de Villahermosa, Tabasco. Tesis de Ingeniería Ambiental, División Académica de Ciencias Biológicas,** Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 98 pp. +Anexos.

Martínez Rodríguez, J. C. y E. **Rodríguez Rodríguez. 2016. El uso de zanjas de oxidación como una alternativa para la remoción biológica de nutrientes en Tabasco.** Kukukab. 22(42):33-41

Paramo Delgadillo, S. (1982). *Ictiofauna del río González y lagunas adyacentes.* Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM. 75 pp.

Pickett, S. T. A., M. L. Cadenasso, J. M. Grove, C. H. Nilon, R. V. Pouyant y W. C. Zipperer. (2001). Urban Ecological Systems: Linking Terrestrial Ecological, Physical and Socioeconomic Components of Metropolitan Areas. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32:127-157.

Quirós, R. (2007). Manejo y recuperación de lagos urbanos. Documento No. 6. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 16 pp.



Ramos L., A. (2003). **Aplicación de un Índice de Calidad para cuerpos de agua del estado de Tabasco. Tesis inédita de Ingeniería Ambiental.** DACBIOL-UJAT. 57 pp. + Anexos.

Romero Olive, Z. V. (1999). Evaluación ambiental de cuatro lagunas continentales de Tenosique, Tabasco. Tesis inédita de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. DACBIOL-UJAT. 131 pp. +Anexos.

Rodríguez Rodríguez, E. (1990). Análisis de la macrofauna bentónica de la laguna del Rosario, Huimanguillo, Tabasco. Tesis inédita de Licenciatura en Biología. DACB-UJAT. 157 pp. +Anexos.

Rodríguez Rodríguez, E. (1996). Clasificación limnológica de lagunas continentales. *Revista de Divulgación*, DACBIOL-UJAT. 2:26-33

Crites Ron y Tchobanoglous George. (200). **Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones.** Edit. Mc Graw Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia.

Rodríguez, E., A. Ramos, M. Ruiz y Z. V. Romero. (1997). **Proceso de eutrofización en siete lagunas urbanas de Villahermosa, Tabasco.** Mem. III Congreso Regional de AIDIS. San Juan, Puerto Rico, junio de 1997.

Rodríguez Rodríguez, E. (2002). **Las lagunas continentales de Tabasco.** Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Colección José N. Rovirosa. 264 pp. + Anexos.

Ryding, V. O. y W. Rast. (1992). **El control de la eutrofización en lagos y pantanos.** Pirámide, España. 376 pp.

Sánchez A.J., M. A. Salcedo, A. A. Macossay Cortez, Y. Fera Díaz, L. Vázquez y N. Ovando. 2012. **Calidad Ambiental de la laguna urbana La Pólvara en la cuenca del río Grijalva.** *Tecnología y Ciencia del Agua.* III (3):143-151 •



Salcedo, M. A. (2011). **Detección de modificaciones bióticas y abióticas en un humedal del sureste de México**. Tesis Doctoral. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 135 pp.

Secretaria de Desarrollo Social y Protección al Ambiente (1998). **Rescate ecológico de lagunas urbanas (RELU)**. Gobierno del Estado de Tabasco.

SENARPAM. (2014). **Monitoreo de calidad del agua del Estado de Tabasco. Red de Monitoreo de lagunas Urbanas. Gobierno del Estado de Tabasco** (Base de datos en línea desde el Portal de la SERNAPAM).

Valencia Jiménez, J. L. (1989). Registro sedimentario de metales pesados en la laguna de las Ilusiones, Villahermosa, Tab. Tesis de Licenciatura en Biología. DACB (Biología). 101 pp.

West, R. C., N.P. Psuty y B.G. Thom. 1987. **Las tierras bajas en el sureste de México. Gobierno de Tabasco**. Biblioteca Básica tabasqueña. 409 pp.

Xunta de Andalucía (1997). El medio ambiente urbano en Andalucía. Consejería de Medio Ambiente de Andalucía. 268 pp.

METCALF Y EDDY. (1999). **Ingeniería de las Aguas Residuales**. McGraw-Hill. España, Volumen 1 y 2.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ANEXOS



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

ANEXO A
MEMORIA FOTOGRAFICA



Fotografía 1. Preparación del equipo de medidor de flujo portátil



Fotografía 2. Selección del punto para la caracterización de caudal



Fotografía 3. Caracterización de caudal en la descarga puntual



Fotografía 4. Caracterización de caudal en la descarga puntual y medición del canal



Fotografía 5. Toma de muestra en la descarga puntual del canal vertedero



Fotografía 6. Fijación de Muestras para su traslado al laboratorio y análisis



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

ANEXO B

LOCALIZACIÓN GENERAL DEL SITIO



Foto aérea 7. Ubicación y Vista general de la laguna el Espejo

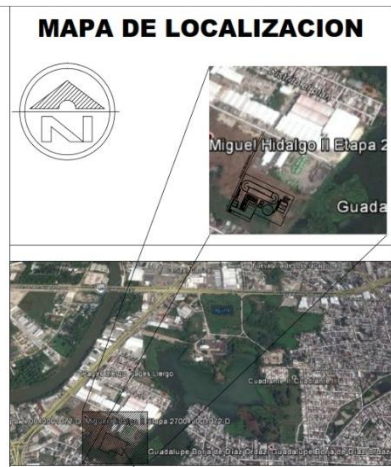
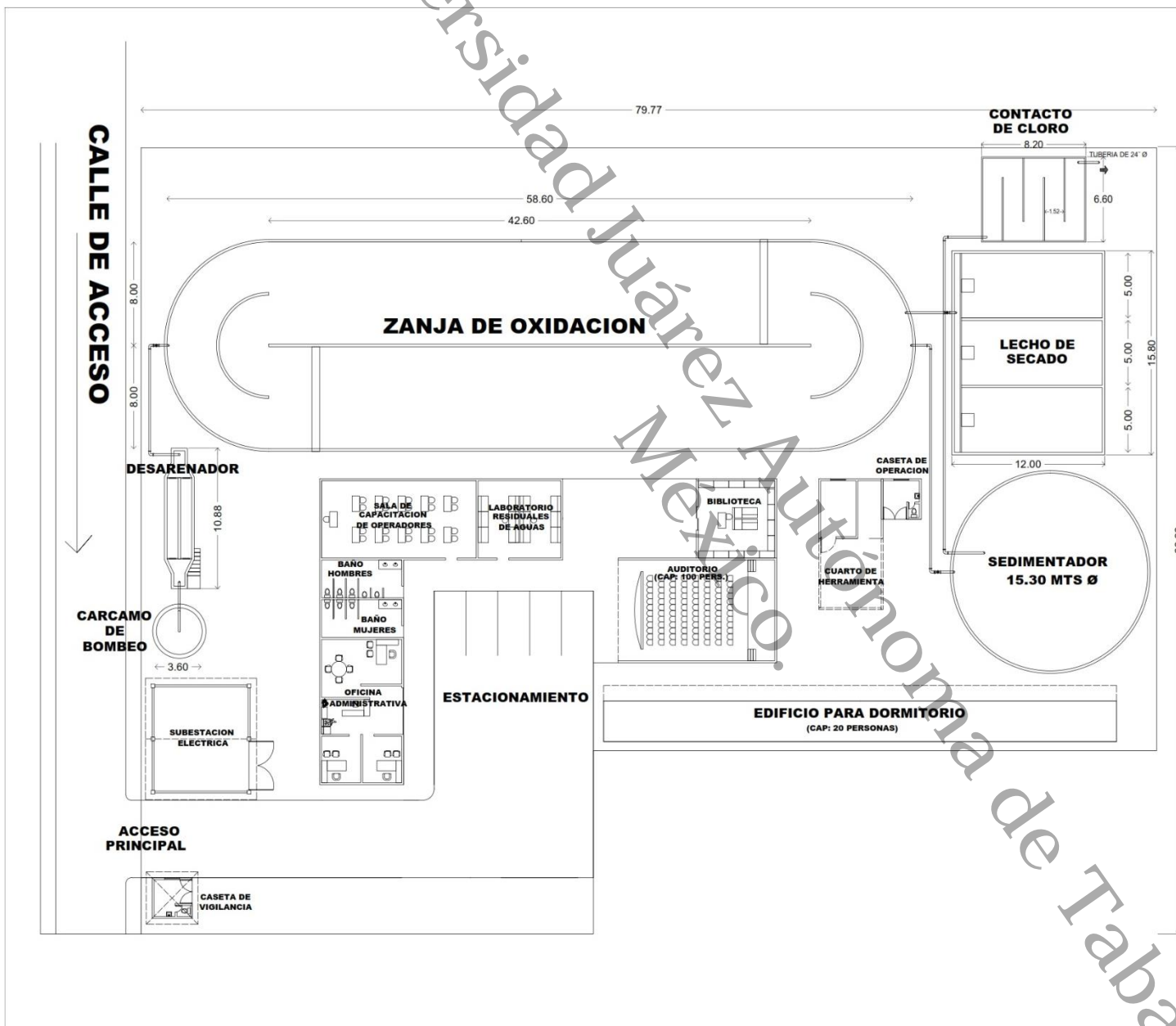


Foto aérea 8. Punto de Ubicación de las PTARD y Biofiltros. De la laguna el Espejo



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

**ANEXO B-1
PLANO CONJUNTO DE LAS
PTARD 1 Y 2**



ZANJA DE OXIDACION (STAIUJAT Y PAGES LLERGO)

DATOS DEL PROYECTO

POBLACION DEL PROYECTO _____ 15,074 HAB.
 DOTACION _____ 350 LTS/HAB/DIA.
 APORTACION _____ 245 LTS/HAB/DIA.

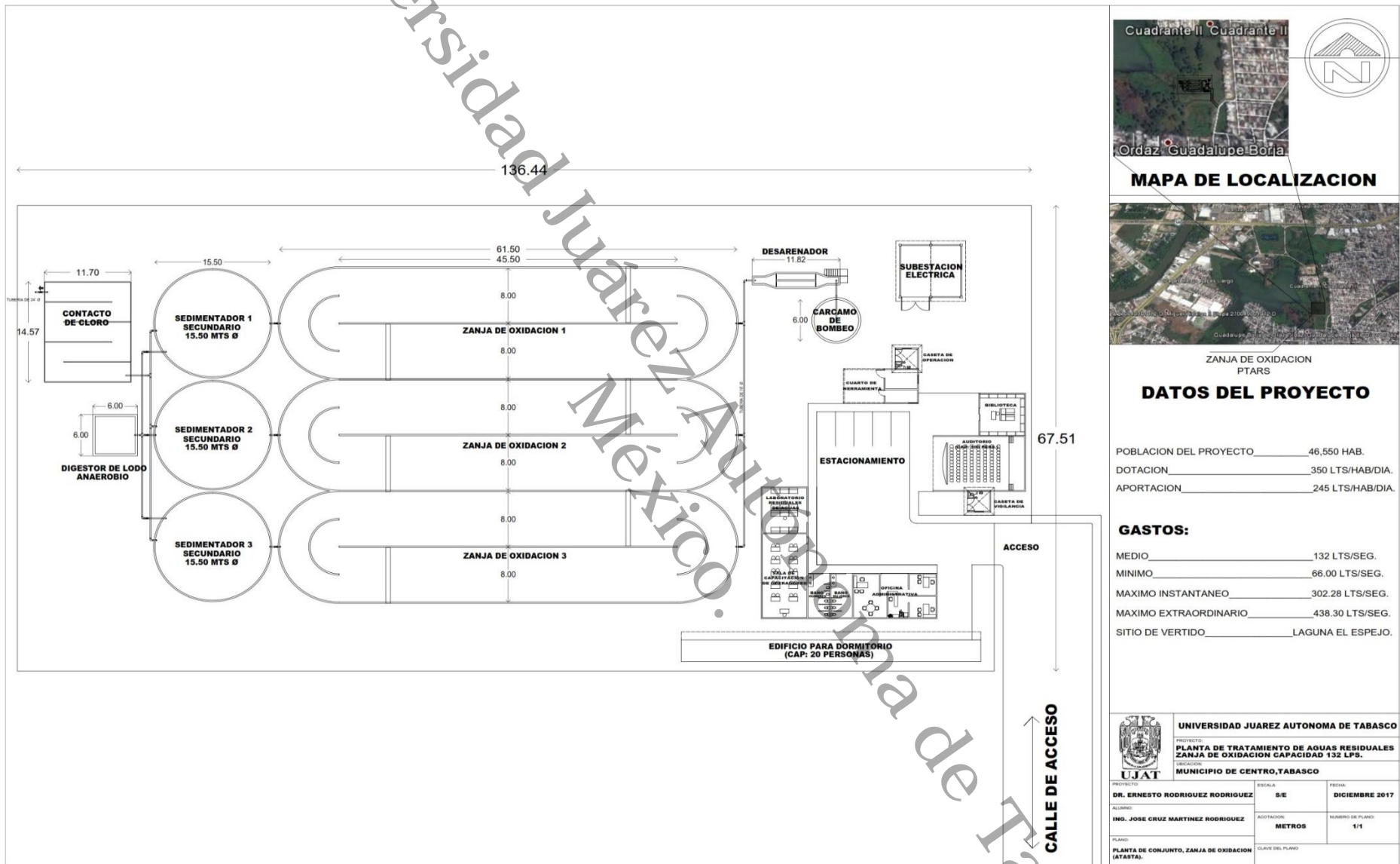
GASTOS:
 MEDIO _____ 42.75 LTS/SEG.
 MINIMO _____ 21.37 LTS/SEG.
 MAXIMO INSTANTANEO _____ 97.89 LTS/SEG.
 MAXIMO EXTRAORDINARIO _____ 141.94 LTS/SEG.
 SITIO DE VERTIDO _____ LAGUNA EL ESPEJO.

 UNIVERSIDAD JUAREZ AUTONOMA DE TABASCO		
PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZANJA DE OXIDACION CAPACIDAD 42.75 LPS.		
UBICACION: MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO		
PROYECTO:	ESCALA:	FECHA:
DR. ERNESTO RODRIGUEZ RODRIGUEZ	S/E	DICIEMBRE 2017
ALABADO:	ACOTACION:	NUMERO DE PLANO:
ING. JOSE CRUZ MARTINEZ RODRIGUEZ	METROS	1/1
PLANO:	CLAVE DEL PLANO	
PLANTA DE CONJUNTO, ZANJA DE OXIDACION (STAIUJAT Y PAGES LLERGO)		

Figura 9. Plano conjunto PTARD 1. Pagés Llergo y STAIUJAT (Zanja de Oxidación)



Control de Vertidos Residuales en la Cuenca de Drenaje de la Laguna El Espejo



ZANJA DE OXIDACION PTARS

DATOS DEL PROYECTO

POBLACION DEL PROYECTO _____ 46,550 HAB.
 DOTACION _____ 350 LTS/HAB/DIA.
 APORTACION _____ 245 LTS/HAB/DIA.

GASTOS:

MEDIO _____ 132 LTS/SEG.
 MINIMO _____ 66.00 LTS/SEG.
 MAXIMO INSTANTANEO _____ 302.28 LTS/SEG.
 MAXIMO EXTRAORDINARIO _____ 438.30 LTS/SEG.
 SITIO DE VERTIDO _____ LAGUNA EL ESPEJO.

UNIVERSIDAD JUAREZ AUTONOMA DE TABASCO		
PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZANJA DE OXIDACION CAPACIDAD 132 LPS.		
MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO		
PROYECTISTA: DR. ERNESTO RODRIGUEZ RODRIGUEZ	ESCALA: S/E	FECHA: DICIEMBRE 2017
ALABO: ING. JOSE CRUZ MARTINEZ RODRIGUEZ	ACOTACION: METROS	NUMERO DE PLANO: 1/1
PLANO: PLANTA DE CONJUNTO, ZANJA DE OXIDACION (ATASTA).	CLAVE DEL PLANO	

Figura 10. Plano conjunto PTARD Zanja de Oxidación 2 Colonia Infonavit de Atasta.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

ANEXO B-2
PLANO PERFIL DE LAS PTARD
1 Y 2

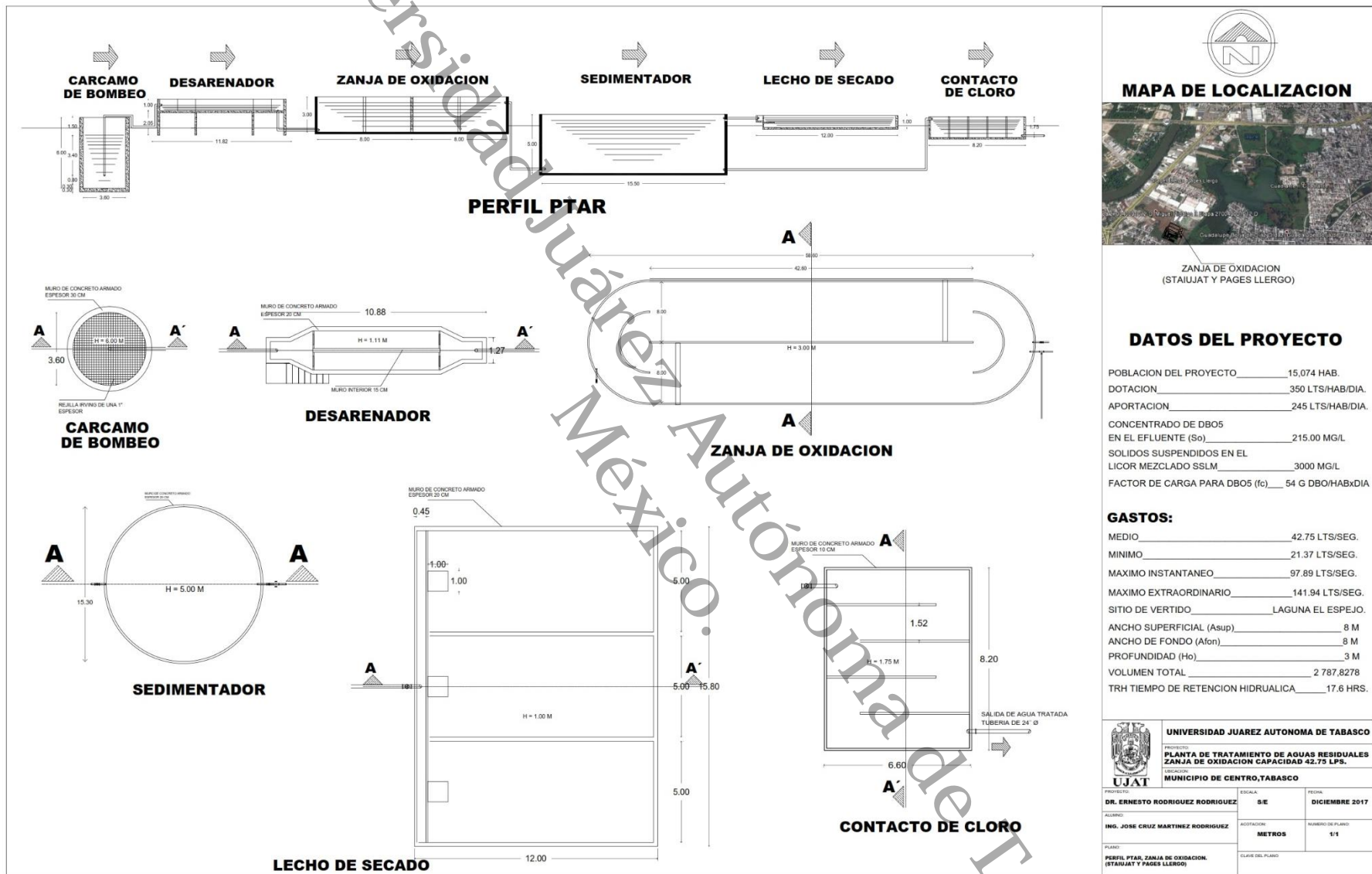


Figura 11. Plano perfil PTARD Zanja de Oxidación 1, Pagés Llergo y STAIUJAT.



Control de Vertidos Residuales en la Cuenca de Drenaje de la Laguna El Espejo

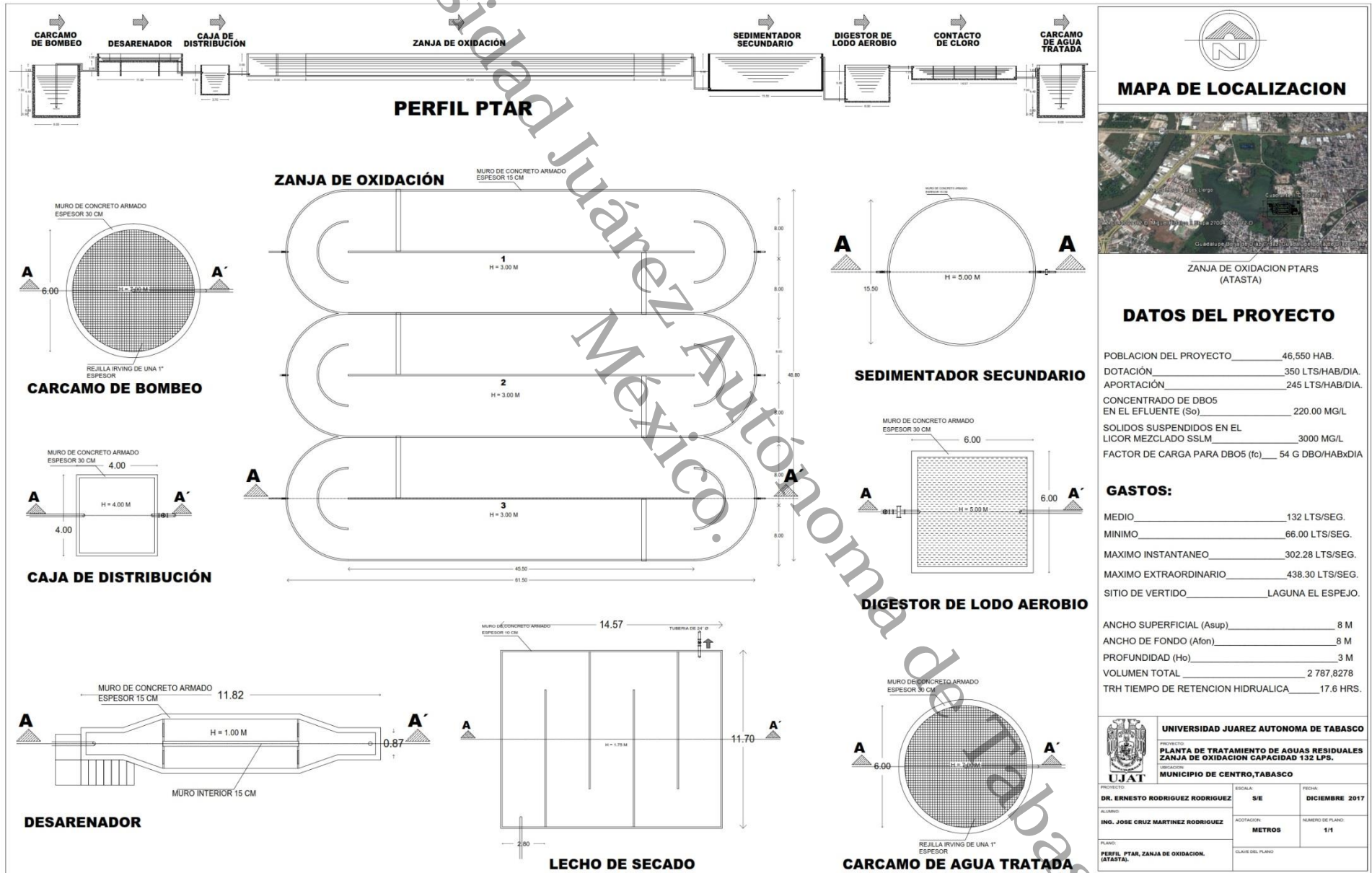


Figura 12. Plano perfil de la PTARD Zanja de Oxidación 2, Colonia Infonavit de Atasta.