



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA LAS
AGUAS RESIDUALES DE LA
DACBIOL, UJAT**

**TESIS DE GRADO QUE COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO DE INGENIERIA Y PROTECCION AMBIENTAL

ES PRESENTADA POR:

ING. SALVADOR CANTO RIVERA

DIRECTOR:

DR. GASPAR LÓPEZ OCAÑA

Junio de 2014



Dedicatorias

Dedico este trabajo antes que nada a Dios que me permitió terminar este posgrado, ya que aun en los momentos de flaqueza, se que siempre está conmigo.

A mi esposa Sandra compañera de mi camino en la vida, quien me ha apoyado en los momentos difíciles, siendo su aliento que me impulsa a seguir cuesta arriba.

A mis hijos Ricardo Abraham y Karen Selene, retoños de un amor limpio, regalos de Dios. Espero que este trabajo les sirva como ejemplo a seguir

A mis padres Samuel (†) y Ma. Antonieta, que me instruyeron en mis años de infancia y me enseñaron a ser un hombre de bien.

**A mi nieta Paula Camila, pequeño capullo que se abre a la vida
Para que recuerde a su abuelo**



Agradecimientos

Expreso mi agradecimiento a los directivos, compañeros maestros y alumnos de la licenciatura, quienes me permiten seguir compartiendo mis experiencias con ellos.

Al Dr. Gaspar López Ocaña, hombre de convicciones, gracias por su empeño, su dedicación y su apoyo, sin esto, todo hubiese sido más difícil.

A la Dra. Lilia María Gamas Campillo, por su apoyo que a través de la beca brindada hizo posible que cursara esta maestría sin problemas económicos.

A la Dra. Dora María Frías Márquez, que gracias a su motivación y relaciones, sirvió de puente entre las personas que me apoyaron en esta maestría.

A mis maestros de la maestría, por sus enseñanzas que han incrementado mi acervo.

A los miembros integrantes de la comisión revisora: Dr. Jorge Alberto Goñi Arévalo, M.I. Pedro Antonio Sánchez Ruiz, Dr. Gaspar López Ocaña, M. en C. Reyna Fócil Monterubio y Dr. Raúl Germán Bautista por sus observaciones y correcciones que enriquecieron este trabajo.

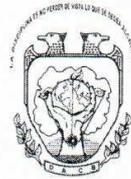
A mis compañeros de maestría, por la camaradería y confianza que me brindaron, fueron el apoyo compartido en esta especialidad.



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN



"2014, Conmemoración del 150 Aniversario de
la Gesta Heroica del 27 de Febrero de 1864"

JUNIO 25 DE 2014

C. SALVADOR CANTO RIVERA
PAS. DE LA MAESTRIA EN INGENIERIA Y PROTECCION
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: **"ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA DACBIOL, UJAT"** asesorado por Dr. Gaspar López Ocaña, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por Dr. Jorge Alberto Goñi Arévalo, M.I. Pedro Antonio Sánchez Ruiz, Dr. Gaspar López Ocaña, M. en C. Reyna Lourdes Fócil Monterrubio y Dr. Raúl German Bautista Margulis.

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. ACCION EN LA FE

M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA

UJAT
DIVISION ACADEMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DIRECCION

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

Miembro CUMEX desde 2008
Consortio de
Universidades
Mexicanas
UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACION SUPERIOR

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400, Fax (993) 354-4308 y 358-1579 E-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx
Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques



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: "**ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA DACBIOL, UJAT**", 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 25 de Junio de 2014

AUTORIZO



SALVADOR CANTO RIVERA



CONTENIDO

Capítulo I. RESUMEN	1
Capítulo II. INTRODUCCIÓN	2
Capítulo III. JUSTIFICACIÓN	4
Capítulo IV. OBJETIVOS	6
IV.1 <i>Objetivo General</i>	6
IV.2 <i>Objetivos Particulares</i>	6
Capítulo V. ANTECEDENTES	7
V.1 <i>Panorama Nacional</i>	8
V.2 <i>Panorama Regional</i>	9
V.3 <i>Panorama Universitario</i>	13
V.4 <i>Antecedentes Locales</i>	14
V.5.1 <i>Aforo de la planta existente</i>	16
V.5.2 <i>Conclusión al estudio previo a la planta existente</i>	22
V.6 <i>Puntos a considerar para una nueva planta</i>	22
V.6.1 <i>Características del área de estudio</i>	22
V.6.2 <i>Normatividad Ambiental Vigente</i>	25
V.6.3 <i>Características de las aguas residuales</i>	26
Capítulo VI. MARCO TEÓRICO	28
VI.1 <i>Consideración de Alternativa</i>	28
VI.1.1 <i>Características de un Sistema Lagunar</i>	30
Capítulo VII. METODOS DE INVESTIGACIÓN	31
VII.1 <i>Investigación de Campo</i>	31
VII.2 <i>Actividades de Laboratorio</i>	35
VII.3 <i>Actividades de Gabinete</i>	35
Capítulo VIII. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PLANTA	38
VIII.1 <i>Localización y Condiciones del Sitio</i>	38
VIII.2 <i>Estructuración de Lagunas</i>	38
VIII.3 <i>Unidades de Pre-tratamiento</i>	38
VIII.4 <i>Cárcamo de bombeo</i>	40
VIII.5 <i>Camino de acceso</i>	40
Capítulo IX. RESULTADOS	40
IX.1 <i>Tren de Unidades de Tratamiento en la Planta Propuesta</i>	40
IX.2 <i>Sitio Destinado para la Construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales</i>	40
IX.3 <i>Cálculos de la ingeniería de la planta de tratamiento por lagunas de estabilización</i>	41
IX.3.1 <i>Población de proyecto</i>	41
IX.3.2 <i>Caudal de diseño</i>	42
IX.4 <i>Diseño Geométrico de Unidades de Tratamiento</i>	43
IX.4.1 <i>Cálculos preliminares</i>	43
IX.4.2 <i>Síntesis del proceso</i>	45
IX.4.3 <i>Diseño de cárcamo</i>	50
IX.4.4 <i>Diseño de canal de acceso</i>	52



IX.4.5 Diseño de rejillas	54
IX.4.5 Diseño de desarenador	55
IX.4.6 Diseño de trampa de grasas y aceites	57
IX.4.7 Dimensionamiento de lagunas.....	58
IX.4.8 Temperaturadel agua	62
IX.4.9 Cinética de degradación	63
IX.4.10 Ajustes de proyecto para lagunas	64
IX.4.11 Remoción de Coliformes	68
IX.5 Características Operativas de la Planta.....	71
IX.6 Presupuesto de Construcción.....	72
Capítulo X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
X.1 Conclusiones	73
X.2 Recomendaciones para la puesta en marcha	73
X.3 Operación y Mantenimiento.....	73
CAPITULO XI. LITERATURA CITADA	75
CAPÍTULO XII. ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales 1992 – 1999. fuente: CNA/SGC/Unidad de Agua potable y Saneamiento/Gerencia de Potabilización y Tratamiento. (N. D.: dato no disponible)	8
Tabla 2. . Plantas de tratamiento de aguas residuales en el estado de Tabasco. Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA, 2006).....	10
Tabla 3. Plantas de tratamiento físicoquímico zeolita de las diferentes divisiones académicas de la UJAT en el estado de Tabasco.Fuente: Zeolitas e Insumos S.A. de C.V.(2012).....	14
Tabla 4. Datos estadísticos de la descarga del cárcamo de la DACBiol. . Fuente: López <i>et al</i> (2012).....	20
Tabla 5. Distribución de áreas ocupadas por instalaciones en la DACBiol.	23
Tabla 6.Límites máximos permisibles para contaminantes básicos, que aplican a la descarga de la PTAR de la DACBiol.....	25
Tabla 7. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y bio-sólidos.	25
Tabla 8. Caracterización de la muestra de agua residual del canal abierto (Osorio <i>et al</i> , 2010).....	26
Tabla 9. comparativa de porcentajes en remoción de patógenos de varios sistemas de tratamiento. Fuente: adaptación de Feachem <i>et al</i> (1981), tomada de "Pathogens" por Charles P. Gerbe, Tucson, Arizona (1983).	28
Tabla 10. Datos generales del proyecto	43
Tabla 11.Gastos de diseño de proyecto.	43
Tabla 12. Datos meteorológicos.....	43
Tabla 13.Concentraciones de entrada.....	44
Tabla 14. Eficiencia requerida del sistema.	44
Tabla 15. Parámetros de entrada.....	44
Tabla 16. Concentración de contaminantes básicos.....	44
Tabla 17. Eficiencias de remoción de DBO.	45
Tabla 18. Operación del sistema con la eficiencia mínima.	46



Tabla19. Operación del sistema con la eficiencia media.	46
Tabla20. Operación del sistema con la eficiencia máxima.....	46
Tabla 21. Balance del sistema con la eficiencia mínima.....	46
Tabla 22. Balance del sistema con la eficiencia media.....	47
Tabla 23. Balance del sistema con la eficiencia máxima.	47
Tabla 24. Eficiencias de remoción de SST.....	47
Tabla25. Operación del sistema con la eficiencia mínima.	48
Tabla 26. Operación del sistema con la eficiencia media.	48
Tabla 27. Operación del sistema con la eficiencia máxima.....	48
Tabla 28. Balance del sistema con la eficiencia mínima.....	48
Tabla 29. Balance del sistema con la eficiencia media.....	48
Tabla 30. Balance del sistema con la eficiencia máxima.....	49
Tabla 31. Comparativo de velocidad calculada vs. Velocidad por norma	53
Tabla 32. Resumen de partidas presupuestales.....	72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Plantas de Tratamiento por Proceso al año 2000.....	8
Figura 2.Planta de Zeolitas, DACBiol, UJAT. Fuente propia.....	14
Figura 3. Diagrama de flujo planta existente en DACBiol, UJAT. Fuente: Zeolitas e insumos nacionales. S.A. de C.V.....	15
Figura 4. Variación del caudal (m ³ /día) de la descarga general de la DACBiol. Aforado el 22/02/2012. Fuente: López et al., 2012.....	17
Figura 5. Aforo del canal de la descarga general de la DACBiol.....	17
Figura 6. Variación del caudal (m ³ /día) de la descarga general de la DACBiol. Aforado el 01/03/2012. Fuente: López et al., 2012.....	18
Figura 7. Aforo de descarga de agua tratada de la PTAR de la DACBiol.	18
Figura 8. Variación del caudal (m ³ /día) de agua tratada de la planta de la DACBiol. Aforado el 22/02/2012. Fuente: López et al., 2012.....	19
Figura 9. Variación del caudal (m ³ /día) de agua tratada de la planta de la DACBiol. Aforado el 01/03/2012. Fuente: López et al., 2012.	19
Figura 10. Comparación del promedio de la descarga con los gastos máximo instantáneo, mínimo y promedio de la descarga del cárcamo de la DACBiol del día 22 de febrero. Fuente: López et al., 2012.	20
Figura 11. Comparación del promedio de la descarga con los gastos máximo instantáneo, mínimo y promedio de la descarga del cárcamo de la DACBiol del día 01 de marzo. Fuente: López et al., 2012.....	20
Figura 12. Comparación del promedio de la descarga con los gastos máximo instantáneo, mínimo y promedio de la descarga del cárcamo de la DACBiol del día 22 de marzo. Fuente: López et al.2012	21
Figura 13.Comparación del promedio de la descarga con los gastos máximo instantáneo, mínimo y promedio de la descarga del cárcamo de la DACBiol del día 26 de marzo. Fuente: López et al.2012.	21
Figura 14. Vista Aérea De La DACBiol, Fuente: Google Earth, 2012	24
Figura 15. Planta de distribución de la DACBiol	24
Figura 16. graduación de la descarga al volumen de control que es el cárcamo.	32
Figura 17. Toma de muestras en la PTAR de la DACBiol.....	33
Figura 18 . Prueba de jarras, en los laboratorios de la DACBiol, UJAT	35
Figura 19. Planta de tratamiento a base de lagunas de estabilización	40



Figura 20 Vista aérea de la DACBIol mostrando propuesta de ubicación de la planta, Fuente: Google Earth, 2012.....	41
Figura 21. Corte transversal del cárcamo concentrador	52
Figura 22. Dimensiones del canal	53
Figura 23. Diagrama de ajuste en rejilla	54
Figura 24. Separación entre barras	55
Figura 25. Planta y sección longitudinal final del desarenador	56
Figura 26. diagrama en planta y corte de la trampa de grasas y aceites	57
Figura 27. Arreglo de lagunas	58
Figura 28. Diagrama de bordo y lagunas.....	58
Figura 29. Diagrama de bordo y lagunas.....	59
Figura 30. Diagrama de bordo y lagunas.....	60
Figura 31. Dimensionamiento final sobre planta y sección longitudinal de lagunas	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Planta Topográfica con Sembrado de Planta y Camino de Acceso</i>	77
Anexo 2. <i>Planta de Trazo Laguna de Estabilización</i>	78
Anexo 3. <i>Planta de trazo camino de acceso a la planta de tratamiento</i>	79
Anexo 4. <i>Planta y corte del cárcamo de bombeo</i>	80
Anexo 5. <i>Planta y corte trampa de grasas</i>	81
Anexo 6. <i>Planta y corte del desarenador</i>	82
Anexo 7.- <i>Planta y corte de Rejilla</i>	82
Anexo 8. <i>Planta y corte del rejilla</i>	83
Anexo 9. <i>Caja de Llegada</i>	84
Anexo 10. <i>Perfil hidráulico desde el cárcamo hasta descarga final</i>	85



Capítulo I. RESUMEN

La División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la UJAT cuenta desde el año 2005 con una planta de tratamiento de aguas residuales, a base de piedras volcánicas denominadas Zeolitas, que tiene una capacidad de tratamiento de 40 m³/día. La DACBiol tiene una descarga mínima de aguas residuales de 34.5 m³/día lo cual lo absorbe la planta sin problemas, solo que la descarga media medida es de 190 m³/día, lo cual rebasa plenamente la capacidad de la planta, esto se agrava en los “picos” de descarga de agua registrados, de hasta 578 m³/día los cuales no pueden ser absorbidos de ninguna manera por la planta existente, descargando la gran diferencia “a cielo abierto” sobre el suelo, generando un problema de insalubridad en la DACBiol. En cuanto a la eficiencia de remoción de contaminantes de esta planta mediante las pruebas efectuadas se obtuvieron valores que van desde -82% al 75% por problemas de manejo de la planta. Debido a lo cerrado del sistema usado, es prácticamente imposible de eficientar la planta en capacidad de tratamiento, por lo que la necesidad de implementar un nuevo sistema es inminente con capacidad de tratamiento para el Q_{med} generado. Por tal situación fue necesario evaluar y diseñar una alternativa de tratamiento natural, que no requiera mecanismos complicados, uso de reactivos y de fácil mantenimiento. Bajo estas premisas, este trabajo propone el uso de Lagunas de Estabilización (Anaerobia-facultativa-maduración) precedido de un tratamiento primario, que en su conjunto puede absorber las fluctuaciones de las descargas de la DACBiol alcanzando eficiencias de remoción de DBO de 85 al 95 %. En este sentido se ha desarrollado la ingeniería para tal efecto bajo la normatividad establecida por la dependencia normativa correspondiente.



Capítulo II. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para la vida humana. El uso que hacemos de ella debe ser racional, cuidando su deposición después de su uso; el re-uso y reciclaje de ser posible con el fin de optimizar este recurso. La explosión demográfica, el crecimiento de las urbes, la escasa planificación en México de estos fenómenos, la ausencia o deficiencia en el tratamiento de aguas residuales causan en el medio problemas tales como escasez de agua, la contaminación de mantos freáticos y de cuerpos de agua por la deposición directa al medio de aguas residuales sin tratar. Hoy día numerosos países luchan contra la escasez del agua, siendo este recurso muy escaso por lo que invierten grandes cantidades de capital para la creación de sistemas de tratamientos que garanticen la suficiencia de ésta para su población.

En México, el estado de Tabasco, no tiene el problema de insuficiencia de agua, el volumen medio anual descargado por el sistema Grijalva-Usumacinta al Golfo de México es de 115,715 millones de metros cúbicos; esta cifra representa el 28% del escurrimiento acuífero del país (Velázquez Villegas, 1994); aunque debido a su escasa pendiente del terreno y la poca profundidad del manto freático, el agua pluvial producto de las grandes precipitaciones propias de este clima tropical, tiende a anegarse, reteniendo los contaminantes que pueda contener, por largos periodos, con ello la calidad del agua demerita, por lo que se hace primordial para quienes hacemos uso de este recurso proveer un tratamiento previo antes de desechar las aguas residuales. En el plano del estado producido por UNOSAT se muestra a Tabasco con un 24.5% de zonas inundables (CONAGUA, 2012) Durante los periodos de lluvias ocurren inundaciones que arrastran todo tipo de contaminantes depositados sobre el suelo y anegaciones, a ríos y lagunas provocando con ello una contaminación general de cuerpos de aguas reduciendo con ello la probabilidad de la vida silvestre y la calidad del agua generalmente usada como fuente para el servicio de agua potable a las poblaciones del estado.

Los tratamientos que se deben de proveer al agua residual varían de acuerdo a la calidad del efluente, el uso que se le dará al agua tratada, la cantidad del agua a tratar, y de los recursos económicos y de espacio con que se cuenta. Las plantas de tratamiento son centrales especializadas para este fin, que cuentan con diversos elementos en los que se les puede dar a las aguas residuales, colectadas previamente por una red de drenaje, procesos considerados como primarios, secundarios y/o terciarios dependiendo si estos son físicos, biológicos o químicos respectivamente.

El uso de plantas de tratamiento de aguas residuales previo a su deposición o re-uso se ha generalizado en centros de población debido a la regulación que se ha establecido por los gobiernos para evitar la contaminación de cuerpos lagunares y ríos, así como de las aguas subterráneas por centros



poblacionales y fábricas emisoras de aguas residuales. Algunas industrias, centros educativos o edificaciones de gran magnitud son requeridos implementar sus propias plantas de tratamientos de aguas residuales antes de deshacerse de ellas.

Los elementos principales que deben utilizarse para el manejo descentralizado de las aguas residuales, incluyen operaciones y procesos unitarios específicos que en combinación deben de brindar un agua de calidad óptima para descarga al cuerpo o sistema receptor. Dichos elementos que pueden comprender un sistema descentralizado incluyen:

- Pre-tratamiento de las aguas residuales
- Recolección de aguas residuales
- Tratamiento de las aguas residuales
- Reutilización o vertimiento del efluente y
- Manejo de bio -sólidos y de lodos de tanques sépticos

Es de observarse que no todos los sistemas descentralizados incorporan todos los sistemas antes citados (Tchobanoglous, 2000). Cuando el agua residual producto de los quehaceres propios de una institución educativa no tiene un fin propio sino solo el depositarla donde ésta no cause mayores problemas, solo debe cumplir con los requerimientos que impongan las normas para el depósito de aguas residuales en cuerpos de aguas nacionales; mas si el uso último es para otros fines de uso humano, la calidad del efluente se deberá incrementar, dependiendo el uso para lo que se requiere en el vertido o aprovechamiento de los efluentes será su calidad solicitada, siendo los tratamientos más costosos entre mayor calidad se requiera.

En México la cantidad de contaminantes permitidos que se pueden descargar en un cuerpo de agua está regulada por la SEMARNAT mediante la norma oficial mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996, 1997) que establece además los métodos para su verificación y grados de concordancia con las normas y recomendaciones internacionales.



Capítulo III. JUSTIFICACIÓN

En el agua residual contaminada por excreta humana o animal, existen más de 100 diferentes tipos de patógenos, incluidos virus, bacterias, protozoarios y helmintos. Estos patógenos son causa de muchas enfermedades tales como: diarreas, tifoideas, meningitis, miocarditis, etc. En Beijing, China, se ha investigado la concentración y remoción de *Cryptosporidium*, *Guardia* y *microbios indicadores*, a través de procesos de tratamientos de aguas residuales (Fu, 2010). Los centros de agrupación humana tales como grandes fábricas, instituciones de educación, pequeñas poblaciones, colonias de urbes, etc., concentran grandes cantidades de aguas residuales que requieren un tratamiento previo antes de depositarlas sobre cuerpos de agua circundantes, ríos o lagunas, para evitar que los contaminantes causen problemas de salud al ser humano y a animales que habiten el sitio. Hoy día existe una serie de normas cuyo propósito es regular la cantidad de contaminantes que puedan ser depositados en aguas nacionales.

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco es una institución de educación superior que durante los últimos años ha establecido divisiones académicas en diferentes sitios del estado, varias de éstas se encuentran en el municipio de Centro, siendo la División Académica de Ciencias Biológicas localizada en la zona oeste de la ciudad de Villahermosa, en el km 0.5 sobre la carretera que va a Bosques de Saloya, camino construido sobre la margen izquierda del río Carrizal. El sitio donde se encuentra ubicada la DACBiol no está conectado a la red municipal de drenaje de aguas negras, ya que no existe en la zona, por lo que requiere de un sistema de saneamiento para eliminar las aguas residuales generadas en la DACBiol. Actualmente la institución cuenta con una planta de tratamiento que efectúa esta función. En una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) la principal meta es reducir el nivel de contaminación del agua residual generada, lo que significa remover dentro de ciertos límites considerables cantidades de contaminantes antes de ser descargada en el ambiente natural. Esto puede ser llevado a cabo por diferentes medios correspondiente a diferentes tipos de plantas de tratamiento. La selección del proceso de tratamiento de aguas varía en forma directa a los requerimientos de espacios, tipos de aguas, ubicación de la planta, costo de construcción o adquisición de la planta, producción de olores, cantidad del agua a tratar y el uso del agua después de haber sido tratada.

Cuando ya se cuenta con una planta en funcionamiento se requiere frecuentemente verificar su eficiencia, en cuanto a su capacidad y calidad del agua tratada. El monitoreo de la calidad del agua del efluente es parte esencial de la evaluación en la eficiencia de la planta. Actualmente se tienen sistemas de controles tradicionales y automatizados. La aplicación de la tecnología en el proceso de tratamiento de aguas residuales permite hoy día llevar un rápido y preciso control en una PTAR (Lordache, 2009). Una vez efectuada la verificación



de la planta si su resultado es positivo se integrará un conjunto de recomendaciones para continuar con estos resultados. De no ser así, si la planta cuenta aún con la capacidad de tratamiento y su problema es la calidad del efluente se deberán realizar las adecuaciones para optimizar esta deficiencia. Si su resultado es deficiente en cuanto a la capacidad de tratamiento se tendrá que evaluar la ampliación del sistema o su sustitución en caso de ser apreciable la diferencia.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.



Capítulo IV. OBJETIVOS

IV.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar una alternativa de sistema natural para el tratamiento de las aguas residuales generadas por la División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT (DACBiol).

IV.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar de los gastos actuales y proyecto.
- Caracterizar la fisicoquímica de las aguas residuales.
- Evaluar las alternativas de sitio para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Sintetizar de proceso de la alternativa propuesta de tratamiento.
- Desarrollar la Ingeniería básica y de detalle con planos de diseño-constructivos de la alternativa propuesta de tratamiento.
- Elaborar el presupuesto de construcción de la alternativa propuesta de tratamiento



Capítulo V. ANTECEDENTES

En la actualidad uno de los tantos conflictos de contaminación preocupantes que existen en el mundo, es la generación de grandes volúmenes de aguas residuales domésticas y de uso industrial, lo que exige la aplicación de sistemas de tratamiento para estas aguas, con una gran infraestructura para satisfacer las necesidades de dicho tratamiento. Buscar la adaptación de tecnologías de sistemas de tratamientos de aguas residuales para cada sitio particular, es un reto, ya que estos deben satisfacer y adaptarse a las condiciones del lugar.

Las tecnologías avanzadas de los países desarrollados puestas en marcha en países como México y de América Latina, carecen de recursos suficientes para la operación, se deben de buscar opciones más apropiadas como sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales que utilizan fuentes de energías renovables, mientras que los convencionales (Lodos Activados, Biofiltros, etc.) utilizan fuentes de energías no renovables (Metcalf & Eddy, 1996); (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Entre las tecnologías naturales para el tratamiento de las aguas residuales, se tienen dos grandes grupos: los sistemas de aplicación sobre el terreno por un lado y por el otro los sistemas que utilizan plantas acuáticas flotantes y enraizados como los pantanos construidos o artificiales (Reed & R.A., 1989) Los sistemas convencionales se han utilizado y desarrollado en países industrializados con el objetivo de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua y los sistemas naturales en países en vías de desarrollo, donde además es necesario reutilizar el agua en riego agrícola, para proteger el recurso (Williamms, Bahgat, May, Ford, & Butler, 1995).

Dependiendo de las características del agua, un sólo proceso de tratamiento puede dar el cambio deseado en la composición del agua, pero en la mayoría de los casos es necesario utilizar la combinación de procesos y operaciones unitarias (Metcalf & Eddy, 1996).



V.1 PANORAMA NACIONAL

A diciembre de 1999 se han inventariado 1,000 plantas en la República Mexicana, 86 más que en el año anterior, con una capacidad instalada de 67,547 l/s. Se encuentran en operación 777 plantas (Tabla 1) con un gasto tratado de 42,397 l/s., por lo que el 21.5% del volumen total de aguas residuales que proceden de las localidades urbanas a nivel nacional, estimado en 196 m³/s, reciben algún tipo de tratamiento (CNA / SGC, 2003) (Tabla 1).

Tabla 1. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales 1992 – 1999.
 Fuente: CNA/SGC/Unidad de Agua potable y Saneamiento/Gerencia de Potabilización y Tratamiento (N. D.: dato no disponible).

Año	Total		En Operación			Fuera de Operación	
	No. de plantas	Capacidad de diseño (l/s)	No. de Plantas	Capacidad Instalada (l/s)	Gasto Tratado (l/s)	No. de plantas	Capacidad Instalada (l/s)
1992	546	N.D.	394	N.D.	30,554	152	N.D.
1993	650	N.D.	454	N.D.	30,726	196	N.D.
1994	666	42,788	461	N.D.	32,065	205	N.D.
1995	680	54,638	469	48,172	41,706	211	6,466
1996	793	54,765	595	51,696	33,745	198	3,069
1997	821	61,653	639	57,402	39,389	182	4,251
1998	914	63,151	727	58,560	40,855	187	4,591
1999	1,000	57,547	777	61,559	42,397	223	5,988

Los procesos que más se utilizan en las plantas de tratamiento municipales, corresponden a: laguna de estabilización en 491 plantas (49.1%), lodos activados en 212 plantas (21.2%), tanques Imhoff en 58 plantas (5.8%) y reactores anaeróbicos (4.3%) en 43 plantas, que en su conjunto representan el 80% del total, como muestra la figura 1 (CNA / SGC, 2003).

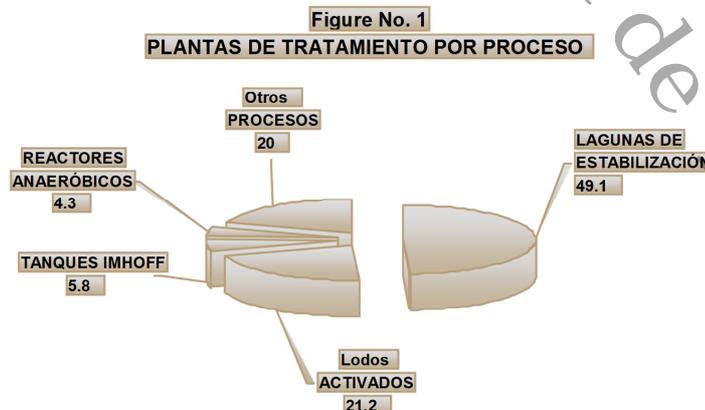


Figura 1. Plantas de Tratamiento por Proceso al año 2000.



En cuanto al diseño de las plantas, el de lodos activados representa el 45.3% (30,571 l/s.); el de lagunas de estabilización el 21.4% (14,442 l/s) y el de lagunas aireadas el 7.7% (5,202 l/s.); estos tres procesos en conjunto equivalen al 74.4% del diseño total de las plantas registradas (67,547 l/s) (CNA / SGC, 2003). En materia de tratamiento de aguas residuales industriales, el número de plantas que se tienen registradas es de 1,374, de las cuales 1,367 están en operación con un volumen de tratamiento de 22,021 l/s, que equivale al 81.8% de la capacidad de diseño de las plantas (CNA / SGC, 2003). Del total de las plantas de tratamiento industrial a nivel nacional, 475 cumplen con las Condiciones Particulares de Descarga (CPD), con una capacidad aprovechada de 7,621 l/s, en tanto que 884 plantas con un gasto de 14,665 l/s, aún no cumplen con esta condición (CNA / SGC, 2003).

Dentro de las plantas utilizadas en espacios pequeños están los tipos de plantas compactas, con diferentes materiales usados como filtros y coagulantes/ floculantes que permiten darle al agua tratamientos de tipo secundario y terciario que bajo una correcta operación permite remover contaminantes en un alto grado. La escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Malasia ha probado usar filtros de carbón activado y zeolitas en el tratamiento de aguas residuales para la remoción de DQO y de colorantes (Syafalni *et. al.*, 2012).

Actualmente se puede disponer de un inventario nacional de Plantas de Tratamientos para aguas residuales domésticas (CNA, 2006). En dicho documento se señala que existen actualmente 1593 plantas construidas y operando. De acuerdo a su proceso 3 son aerobio, 25 anaerobio, 9 biológico, 7 discos biológicos o bio-discos, 9 dual, 43 filtros biológicos o rociadores o percoladores, 74 fosas sépticas, 8 fosas sépticas + filtro biológico, 40 fosas sépticas + wetland, 51 humedales (wetland), 19 lagunas aireadas, 622 lagunas de estabilización, 372 lodos activados, 17 primario avanzado, 15 primario o sedimentación, 6 RAFA + filtro biológico, 116 RAFA o WASB, 4 RAFA + WASB + humedal, 50 reactor enzimático, 15 sedimentación + wetland, 50 tanques Imhoff, 13 tanques Imhoff + filtro biológico, 2 terciarios, 23 zanjas de oxidación.

V.2 PANORAMA REGIONAL

En el estado de Tabasco, existe un incipiente infraestructura de tratamiento de aguas residuales, generándose alrededor de 600 millones de metros cúbicos de éstas en cuerpos lagunares y ríos, yendo a parar hasta un 60% de la misma, sin tratar; envenenando el vital líquido que paradójicamente es usado mediante captaciones y tratamiento, para proveer a la población del servicio de agua potable a la población. El tratamiento de aguas residuales todavía es muy pobre, inicia en 1974 con el primer tanque Imhoff construido para tratar aguas de desecho domésticos. Actualmente existen 60 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas distribuidas en 15 municipios de la entidad. El inventario estatal prospectivo demuestra que el 56.6 % de los



sistemas de tratamiento de la entidad, son tratamientos con tanque Imhoff (Tabla 2).

Tabla 2. Plantas de tratamiento de aguas residuales en el estado de Tabasco. Fuente: Comisión Nacional del Agua (CNA, 2006).

Municipio	Localidad	Nombre	Proceso	Diseño Q (l/s)	Operación Q (l/s)	Cuerpo receptor
Balancán	Balancán	Cd. De Balancán	L. Estabilización	80	80	Río Usumacinta
Balancán	Hulería	Hulería	Tanque Imhoff	5	5	Río Mezcalapa
Cárdenas	Cárdenas	Cd. de Cárdenas	L. Estabilización	280	280	Dren velero-río Cucuxapa
Cárdenas	Cárdenas	Fraccionamiento Cañales	Tanque Imhoff	10	8	Dren Innominado
Centla	Vicente Guerrero	Vicente guerrero	Tanque Imhoff	10	8	Popal Innominado
Centro	Buenavista 1ra. Sección	Buena vista 1ra. Sección	Tanque Imhoff	20	10	Río Jolochero
Centro	Dos montes	Dos montes	L. Estabilización	20	10	Pantano Innominado
Centro	Macultepec	Villa de Macultepec-	Humedales	125	80	Arroyo Garduza
Centro	Miramar 3ra.sección	R/a Miramar	Tanque Imhoff	20	10	Pantano Innominado
Centro	Parrilla II	Fraccionamiento Parrilla II Km. 15	Lodos Activados	20	20	Arroyo Chiflón
Centro	Paso real de la Victoria	Ranchería Paso Real de la Victoria	Tanque Imhoff	20	10	Arroyo Garduza
Centro	Río viejo 3ª. Sección	Río viejo 3ª. Sección	Tanque Imhoff	10	10	Río Viejo Mezcalapa
Centro	Tamulté de las Sabanas	Tamulté de las Sabanas	Tanque Imhoff	20	10	Laguna Estanzuela
Centro	Villahermosa	Fraccionamiento Infonavit Parrilla	Lodos Activados	20	20	Arroyo el Chiflón
Centro	Villahermosa	Fraccionamiento ISSET Lomas de Ocuiltzapotlán II	Tanque Imhoff	20	10	Laguna el Paso de Segunda
Centro	Villahermosa	Lomas Ocuiltzapotlán km 15 INVITAB	Tanque Imhoff	20	10	Laguna el Paso Segunda
Centro	Villahermosa	Lomas Ocuiltzapotlán Km. 17	Tanque Imhoff	20	10	Laguna el Paso Segunda
Centro	Villahermosa	Parrilla I Policía y Transito	Tanque Imhoff	20	10	Arroyo el Chiflón
Centro	Villahermosa	Tabasco 2000	Lodos Activados	20	20	Río Carrizal



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas
 Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental



Municipio	Localidad	Nombre	Proceso	Diseño Q (l/s)	Operación Q (l/s)	Cuerpo receptor
Comalcalco	Comalcalco	Cd. Comalcalco	L. Estabilización	180	180	Río Seco
Comalcalco	Comalcalco	INFONAVIT Comalcalco	Biológico	5	5	Río Seco
Cunduacán	Cucuyulapa 1 ^a Sección	Poblado Cucuyulapa 1 ^a Sección	Tanque Imhoff	10	8	Río Samaria
Cunduacán	Cunduacán	Cd. De Cunduacán	L. Estabilización	59	56	Río Samaria
Emiliano Zapata	Coronel Gregorio Méndez Magaña	Pob. Gregorio Méndez	Tanque Imhoff	10	10	Arroyo Polín
Huimanguillo	Chontalpa	Estación Chontalpa	Zanjas de Oxidación	16	12.5	Arroyo el Negro y Encomendero
Huimanguillo	Huimanguillo	Huimanguillo	Humedales	125	75	Río Mezcalapa
Huimanguillo	San Manuel	Estación San Manuel	Tanque Imhoff	10	8	Río Mezcalapa
Jalapa	Aquiles Serdán 1 ^a Sección	Aquiles Serdán 1 ^a Sección	L. Estabilización	10	10	Arroyo el Barrial
Jalapa	Benito González	Benito González	L. Estabilización	5	5	Arroyos Mal Paso y el Sauce
Jalapa	Fco. Santamaría (Cacao)	Fco. Santamaría (Cacao)	Tanque Imhoff	5	5	Río de la Sierra
Jalapa	Jalapa	Ejido Jalapa	Tanque Imhoff	10	8	Dren el Chilero
Jalapa	Tequila 1 ^a Sección	Tequila	L. Estabilización	5	5	Laguna el Limón
Jalapa	Víctor Fernández Manero 1 ^{ra} Secc. (San	Ej. Víctor Fernández	Tanque Imhoff	5	3	Arroyo el Espino
Jalpa de Méndez	Ayapa	Ayapa	Tanque Imhoff	10	8	Arroyo Innominado
Jalpa de Méndez	Jalupa	Jalupa I	Tanque Imhoff	10	8	Río Chacalapa
Jalpa de Méndez	Jalupa	Jalupa II	Tanque Imhoff	10	10	Río Chacalapa
Jalpa de Méndez	Soyataco	Soyataco	Tanque Imhoff	10	8	Dren W50
Nacajuca	Fraccionamiento la Selva	Fraccionamiento la Selva	Tanque Imhoff	20	18	Río Carrizal
Nacajuca	Oxiacaque	Poblado Oxiacaque	Tanque Imhoff	10	10	Innominado
Paraíso	Paraíso	Cd. Paraíso	Filtros Biológicos	75	75	Río Seco



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas
 Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental



Municipio	Localidad	Nombre	Proceso	Diseño Q (l/s)	Operación Q (l/s)	Cuerpo receptor
Paraíso	Paraíso	Col. Lázaro Cárdenas	Lodos Activados	10	8	Río el Limoncito
Tacotalpa	Graciano Sánchez	Graciano Sánchez	Tanque Imhoff	5	5	Río la Sierra
Tacotalpa	Madrigal 2 ^{da} . Sección	Reforma	Tanque Imhoff	7.5	6	Río la Sierra
Tacotalpa	Poaná	Poaná	Tanque Imhoff	3	3	Río la Sierra
Tacotalpa	Puxcatán	Puxcatán	Tanque Imhoff	3	2	Río Puyacatenco
Tacotalpa	Raya Zaragoza	La Raya Zaragoza	Tanque Imhoff	5	5	Río Raya Zaragoza
Tacotalpa	San Ramón	San Ramón	Tanque Imhoff	5	5	Río Puyacatenco
Tacotalpa	Santa Rosa 1 ^a . Sección	Santa Rosa	Tanque Imhoff	7.5	7.5	Río Puxcatán
Tacotalpa	Tacotalpa	Ejido Mira Flores	Tanque Imhoff	3	2	Río Puxcatán
Teapa	Andrés Quintana Roo 1 ^a . Sección	Andrés Quintana Roo	Filtros Biológicos	3	3	Río Pichucalco
Teapa	Eureka y Belén	Eureka y Belén	Filtros Biológicos	3	3	Río Puyacatenco
Teapa	Francisco Sarabia (San Joaquín)	Ranchería Sarabia	Filtros Biológicos	3	3	Dren Santa Cecilia y Descarga Río
Teapa	Ignacio Allende 1 ^a . Sección Chapultepec	Ignacio Allende Chapultepec	Filtros Biológicos	3	3	Río Pichucalco
Teapa	Juan Aldama 1 ^a . Sección	Aldama	Biológico	3	3	Río Pichucalco
Teapa	Nicolás Bravo 1 ^a . Sección	Ejido las Delicias	Filtros Biológicos	3	3	Río Puyacatenco
Teapa	Vicente Guerrero (las Nieves)	Ej. Vicente Guerrero (las Nieves)	Filtros Biológicos	5	3.3	Río Puyacatenco
Teapa	Vicente Guerrero (San Lorenzo)	Ej. Vicente Guerrero (San Lorenzo)	Filtros Biológicos	5	3	Río Puyacatenco
Teapa	Vicente Guerrero/ Lerma	Ej. Vicente Guerrero/Lerma	Filtros Biológicos	5	3	Río Puyacatenco
Tenosique	Arena de Hidalgo	Arena Hidalgo	Tanque Imhoff	10	8	Arroyo Polín
Tenosique	Gregorio Méndez	Poblado Gregorio Méndez	Tanque Imhoff	10	10	Arroyo Polín



La mayoría de las plantas de tratamiento construidas en México no funcionan como se predijo en el diseño o simplemente se encuentran fuera de servicio, lo cual es debido a aspectos como los siguientes:

1) Factores de índole técnico entre los que destaca la excesiva mecanización, instrumentación y automatización; 2) Factores económicos y financieros; 3) Factores institucionales y 4) Factores socioculturales (Romero Álvarez, García Ollervides, & Janetti Dávila, Noviembre 3-7 1996).

En México como en otros países de América Latina tenemos tecnologías importadas y no son las opciones apropiadas; por ello debe darse preferencia a las lagunas de estabilización, ya que no requieren de muchos mecanismos de operación ni el uso de reactivos tan costosos y su mantenimiento es más sencillo y sólo si estas no son factibles, se debe analizar bien los otros métodos convencionales (Romero, 1999).

La tecnología anaerobia para mejorar la sustentabilidad del tratamiento de las aguas residuales se ha prestado principalmente después de la crisis de la energía en los años 70. El uso acertado de reactores anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales domésticas crudas en regiones tropicales y subtropicales abrió la oportunidad de los procesos aerobios en el retiro de la materia orgánica del influente (Foresti, Zaiat, & Vallerio, 2006). Los sistemas convencionales se han utilizado y desarrollado en países industrializados con el objetivo de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua y los sistemas naturales en países en vías de desarrollo, donde además es necesario reutilizar el agua en riego agrícola, para proteger el recurso (Williams *et al.*, 1995).

Dependiendo de las características del agua, un sólo proceso de tratamiento puede dar el cambio deseado en la composición del agua, pero en la mayoría de los casos, es necesario utilizar la combinación de procesos y operaciones unitarias (Metcalf & Eddy, 1996).

V.3 PANORAMA UNIVERSITARIO

La División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT, genera aguas residuales domésticas y de laboratorio, estas aguas residuales poseen tipologías contaminantes, las cuales pueden ser biológico infecciosas (aguas domésticas o sanitarias), tóxicas y peligrosas (aguas provenientes de los laboratorios), por lo que deben de cumplir lineamientos ambientales con un tratamiento específico que elimine dichos contaminantes antes de ser descargadas a cuerpos receptores (NOM-001-SEMARNAT-1996, 1997). La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se ha comprometido en contrarrestar los efectos de la contaminación (UJAT, 2011), por lo que ha colocado equipos para tratamientos en algunas de sus Divisiones Académicas, con la finalidad de reducir hasta los límites permitidos la descarga de contaminantes sobre cuerpos de aguas. Actualmente la UJAT, es la única institución que ha implementado sistemas de tratamiento fisicoquímico dentro



del estado, en sus diferentes divisiones académicas de los municipios de: Centro, Cunduacán y Comalcalco. En la *Tabla 3* mencionamos la ubicación y capacidad de cada una de las plantas con este sistema de tratamiento que existen en cada división.

Tabla 3. Plantas de tratamiento fisicoquímico zeolita de las diferentes divisiones académicas de la UJAT en el estado de Tabasco. Fuente: Zeolitas e Insumos S.A. de C.V. (2012).

Localidad	Estado	Lugar donde opera la planta	Capacidad (l/día)
Centro	Tabasco	Unidad deportiva UJAT	20,000
Centro	Tabasco	UJAT Bicentenario	40,000
Centro	Tabasco	DACBiol UJAT	40,000
Centro	Tabasco	DACBiol UJAT	10,000
Comalcalco	Tabasco	UJAT Facultad de Ciencias múltiples	20,000
Cunduacán	Tabasco	DAIA UJAT	10,000

V.4 ANTECEDENTES LOCALES

La PTAR de la DACBiol está instalada desde el año 2005, siendo de tecnología fisicoquímica con coagulación, floculación y filtración, tratamiento poco usual para aguas residuales domésticas por la variación de carga, caudal y temperatura, planta compacta tipo “paquete” que utiliza un sistema a base de zeolitas (Osorio, Canepa, & Paz, 2010) (Figura 2).



Figura 2. Planta de Zeolitas, DACBiol, UJAT. Fuente propia.

V.5 Identificación y Análisis del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Actual

Las aguas generadas por la DACBiol tienen el siguiente proceso de tratamiento actualmente (Figura 3):

Recepción: mediante un sistema de drenaje subterráneo, las aguas llegan a una cisterna de aprox. 3 x 3 x 3 m, que tiene un espacio específico para atrapar los sólidos. Este almacenaje tiene instalado una bomba que eleva el agua hacia el sistema de tratamiento.

Sedimentación: mediante la ayuda de una sustancia coagulante y floculante en proporciones calculadas, los sólidos disueltos contenidos en el agua residual son removidos en el sedimentador cuya forma de serpentín aumenta el tiempo de residencia para formar macro poros que se puedan depositar y filtrar.

Filtración: Después que el agua ha sido clarificada, se hace pasar en forma de llovizna a través de un manto de con granulometría de 1 a 3 mm, Este sistema trabaja mediante intercambio iónico.

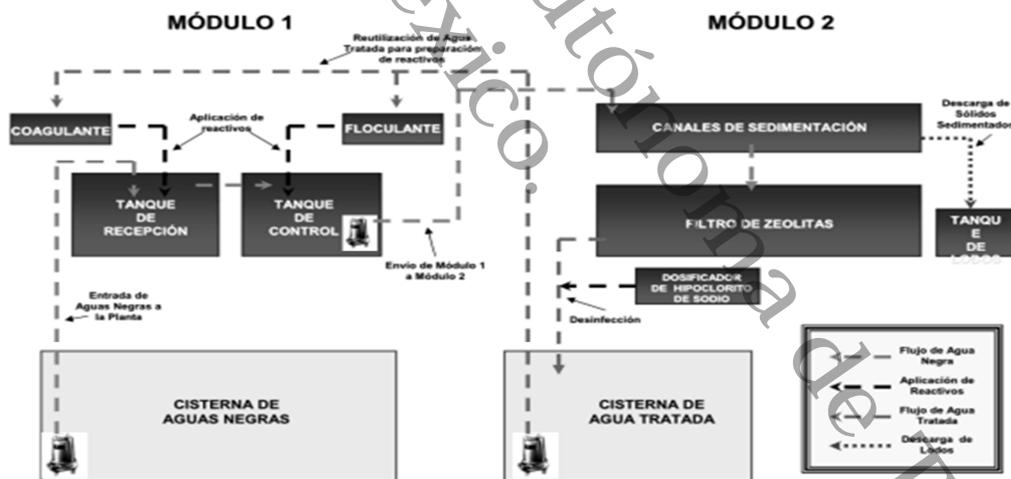


Figura 3. Diagrama de flujo planta existente en DACBiol, UJAT. Fuente: Zeolitas e insumos nacionales. S.A. de C.V.

Control de sólidos y escurrimientos: Por último, los sólidos se generan durante el proceso de almacenamiento y tratamiento son controlados por una limpieza manual en forma periódica.

Las zeolitas son piedras de origen volcánico que tienen una estructura inusual y una habilidad extraordinaria de intercambio iónico. Poseen en su



estructura una gran cantidad de canales que van de 0.5 a 0.7 nanómetros poco mayor que el tamaño de la molécula de agua. También poseen un gran número de poros más grandes, denominándose micro-porosidad y meso-porosidad respectivamente. Los iones positivos están presentes en esos canales y pueden ser intercambiados por otros iones. Esta sustitución permite la absorción de ciertos contaminantes del agua. Los meso poros de las zeolitas retienen partículas en suspensión o coloidales, asimismo moléculas orgánicas disueltas pueden ser absorbidas.

Evaluación física de las unidades de tratamiento

. Para estas actividades se hizo necesario realizar una medición física de unidades, con apoyo de varas batimétricas, discos de seccionamiento, cintas métricas, flexómetros, etc. Los parámetros principales medidos son, espesores de muros, bordos libres, tirante de agua, longitud y anchura, diámetro de las tuberías, etc. Debido a que el proveedor no proporcionó un plano de construcción, también se determinó la volumetría de las unidades de tratamiento, ya que es necesario conocer las capacidades para determinar tiempos de retención.

V.5.1 Aforo de la planta existente

La población estudiantil de esta institución se ha incrementando, y con ello el caudal de agua residual, por lo que se hizo necesario evaluar la eficiencia hidráulica y remoción de contaminantes de la planta para verificar si cumple con las normas establecidas (NOM-001-SEMARNAT-1996, 1997).

El monitoreo y evaluación de plantas de aguas residuales se llevó a cabo con el propósito de observar la eficiencia del tratamiento de las aguas descargadas. Para poder evaluar este tratamiento se contemplaron las características del agua residual. En la División Académica de Ciencias Biológicas mediante aforo directo López (2012) estimó la generación promedio de 160 m³/día de agua tan sólo por el personal realizando actividades por más de 6 horas en la institución, con esto se rebasa la capacidad de la planta de tratamiento máxima de 40 m³/día, con ello se deduce que la capacidad de tratamiento de aguas residuales está rebasada y no cumple con la normatividad vigente y solo está tratando una cuarta parte del volumen de las aguas residuales descargando el resto de manera directa sin tratar sobre la superficie del terreno en la misma institución.

El aforo realizado de la descarga general el día 22 de febrero muestra valores del caudal que tienden a incrementarse conforme transcurre la mañana alcanzando un pico de descarga alrededor de las 10:30 de 532.22 m³/día. (Figura 4). Los valores de los aforos se presentan en m³/día para hacer la comparativa con el valor nominal de gasto diario de la planta.

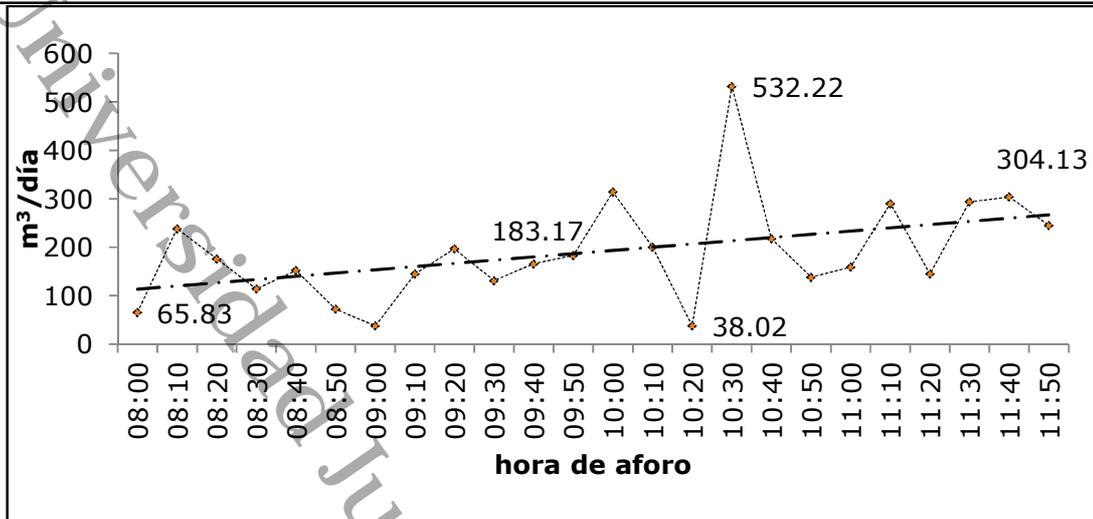


Figura 4. Variación del caudal ($\text{m}^3/\text{día}$) de la descarga general de la DACBiol. Aforado el 22/02/2012. Fuente: López *et al* (2012).

En el aforo a la descarga general efectuado el día 1 de marzo (Figura 5), se pudo observar variaciones del caudal tendiendo ligeramente a la baja, pero esta vez el pico de caudal se presentó a las 9:50 a.m., todas estas descargas superan la capacidad nominal de la planta existente (Figura 6).



Figura 5. Aforo del canal de la descarga general de la DACBiol.

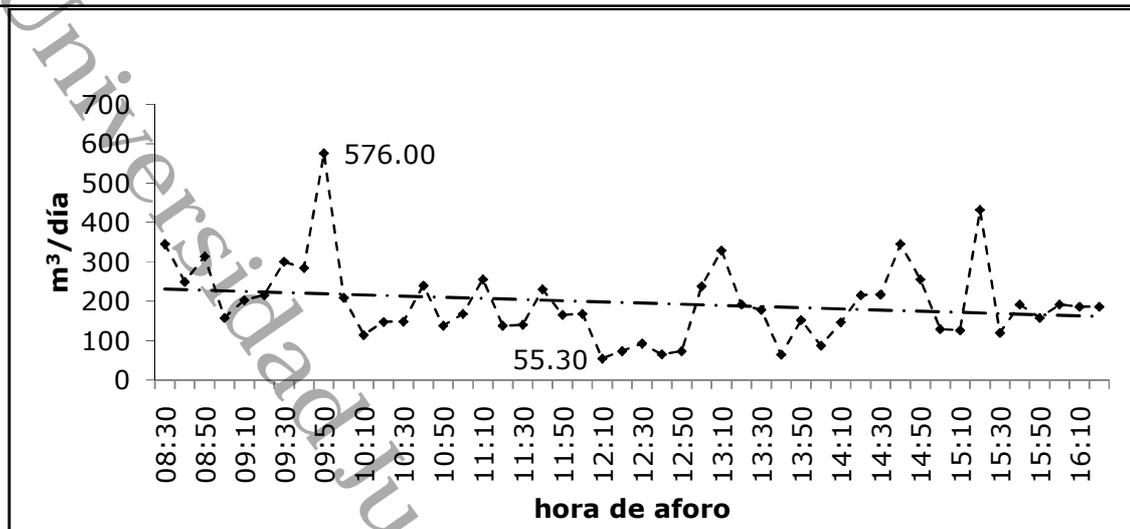


Figura 6. Variación del caudal ($\text{m}^3/\text{día}$) de la descarga general de la DACBiol. Aforado el 01/03/2012. Fuente: López *et al* (2012).

El caudal de agua tratada de la planta (Figura 7) se aforó por dos días siendo la del día 22 de marzo bastante uniforme, por debajo de su capacidad nominal y tendiendo a la baja; en cambio el día 26 de marzo, la planta tuvo un mejor desempeño, pues todos los registros estuvieron sobre los $40 \text{ m}^3/\text{día}$, aunque con tendencia a la baja (Figura 8 y 9).



Figura 7. Aforo de descarga de agua tratada de la PTAR de la DACBiol.

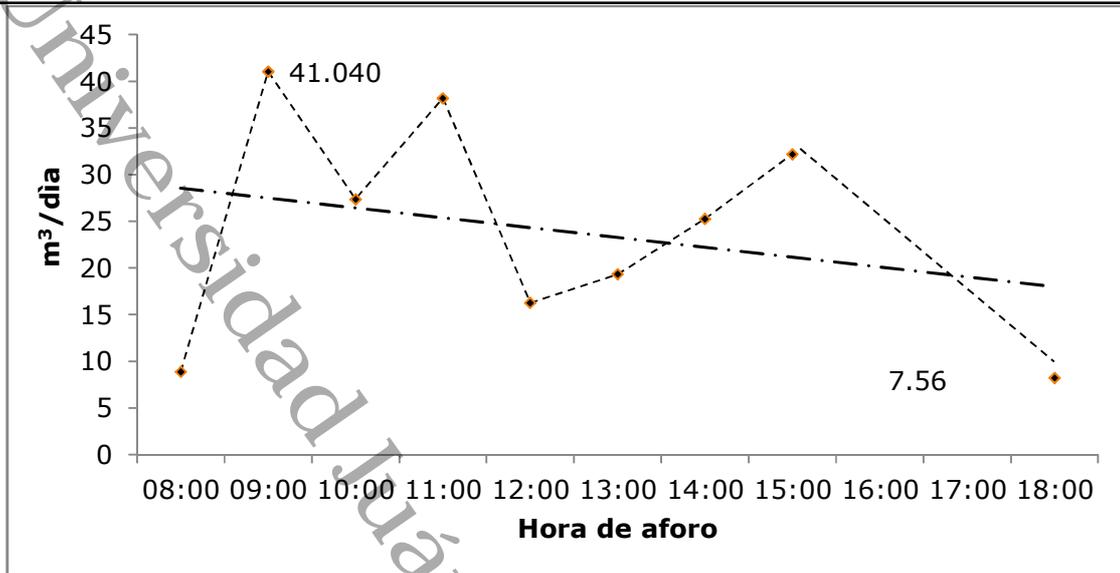


Figura 8. Variación del caudal ($m^3/día$) de agua tratada de la planta de la DACBiol. Aforado el 22/02/2012. Fuente: López *et al* (2012).

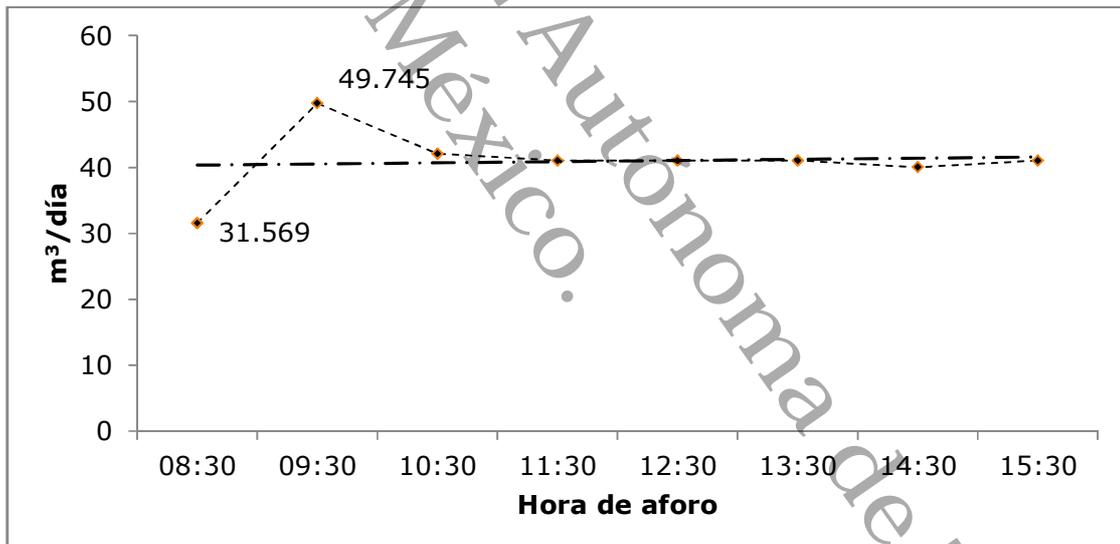


Figura 9. Variación del caudal ($m^3/día$) de agua tratada de la planta de la DACBiol. Aforado el 01/03/2012. Fuente: López *et al* (2012).

Para poder tener parámetros de estudio se analizaron los datos aforados de la descarga del cárcamo de donde se obtuvieron valores comparativos de gasto mínimo, gasto medio, gasto máximo y la desviación estándar (Tabla 4).



Tabla 4. Datos estadísticos de la descarga del cárcamo de la DACBiol. .
Fuente: López et al (2012).

Caudales actuales	(m ³ /día)
Q _{min}	8.21
Q _{medio}	33.24
Q _{máxima instantánea}	59.28
Desviación	2.13

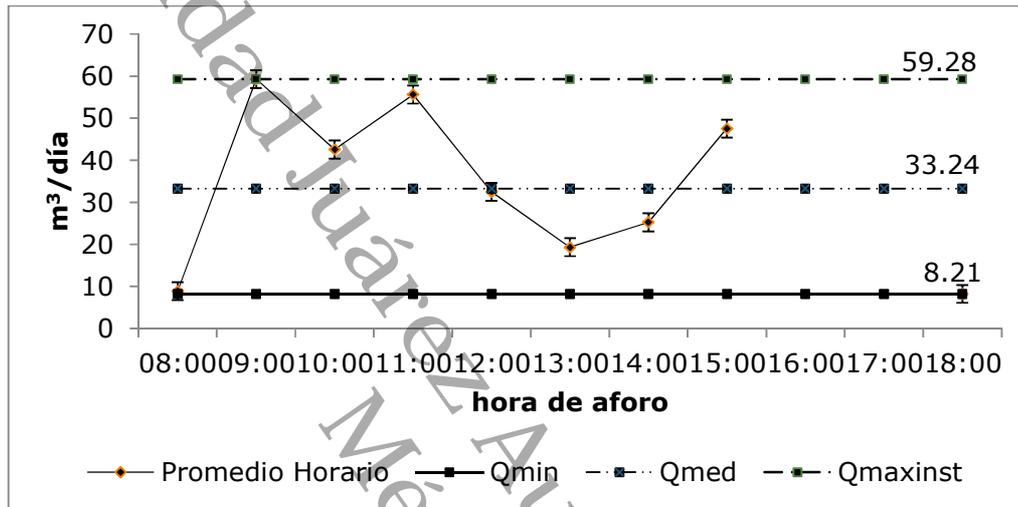


Figura 10. Comparación del promedio de la descarga con los gastos máximo instantáneo, mínimo y promedio de la descarga del cárcamo de la DACBiol del día 22 de febrero. Fuente: López et al (2012).

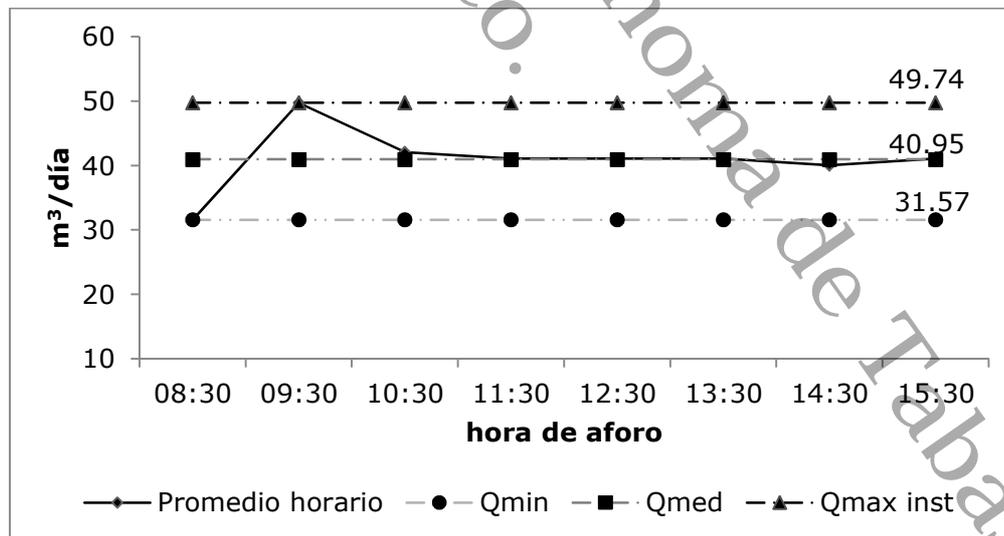


Figura 11. Comparación del promedio de la descarga con los gastos máximo instantáneo, mínimo y promedio de la descarga del cárcamo de la DACBiol del día 01 de marzo. Fuente: López et al (2012).

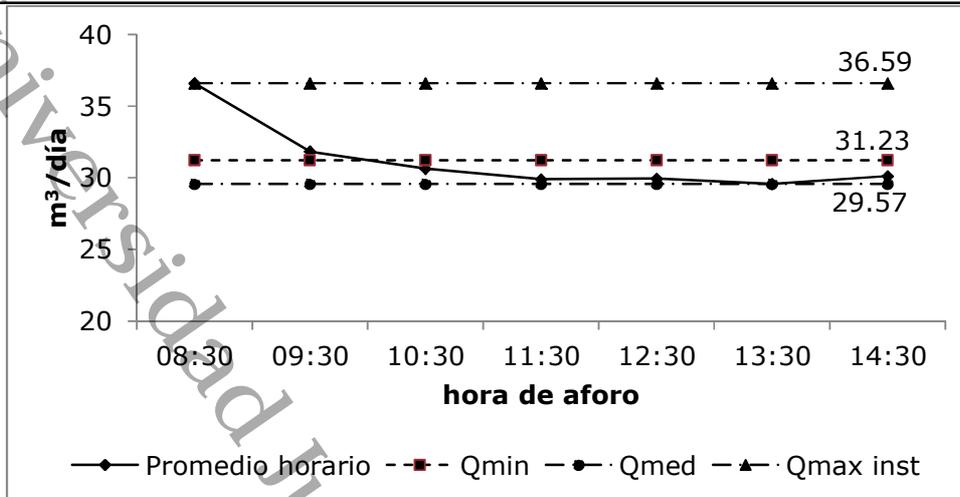


Figura 12. Comparación del promedio de la descarga con los gastos máximo instantáneo, mínimo y promedio de la descarga del cárcamo de la DACBiol del día 22 de marzo. Fuente: López et al (2012).

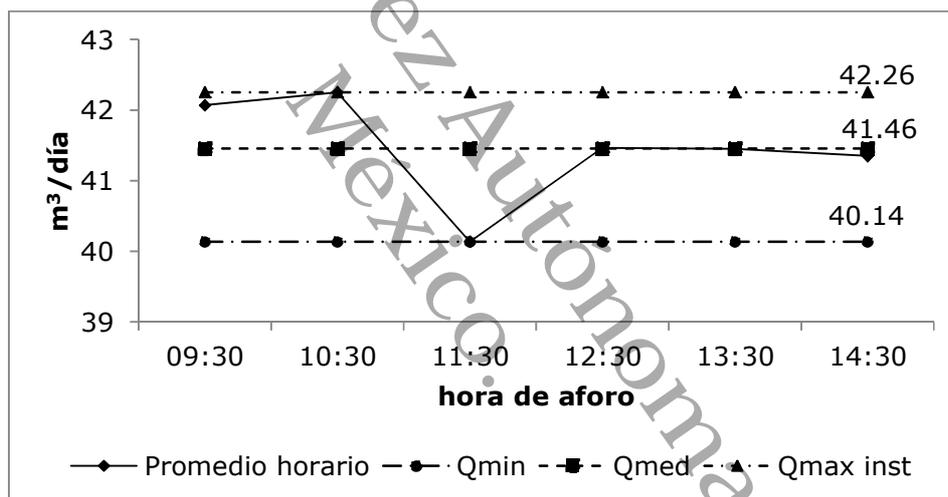


Figura 13. Comparación del promedio de la descarga con los gastos máximo instantáneo, mínimo y promedio de la descarga del cárcamo de la DACBiol del día 26 de marzo. Fuente: López et al (2012).

López Ocaña (2012) concluyó que el sistema de tratamiento con capacidad de $40 \text{ m}^3/\text{día}$, opera con una eficiencia de remoción que va de 66 a 84% y que esto se debe a la deficiencia de dosificación de coagulantes floculantes. Mediante pruebas de tratabilidad efectuadas para determinar el consumo ideal de reactivos, como el $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$ y $\text{Ca} (\text{OH})_2$ los cuales son empleados como parte del proceso fisicoquímico del sistema de tratamiento de aguas residuales para remoción de contaminantes en concentraciones de 2,500 ppm para ambas sustancias, se obtuvo que las dosis óptima para el tratamiento están en un rango de 50 a 80 ppm de $\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$ y entre 40 y 50 ppm de $\text{Ca} (\text{OH})_2$.



Del mismo modo se observó que la planta de tratamiento en dos días evaluados presentan diferentes eficiencias remoción, una con el 75 % y otra con -82 %, esta eficiencia negativa hace ver que la planta tiene problemas de corto circuito por el arrastre de sólidos que deben ser atrapados en el canal sedimentador y el filtro, sin embargo al incrementar el caudal y por consecuencia su velocidad, las partículas se mueven con el fluido arrastrando aún a aquellas que ya han sido depositadas.

El mantenimiento no se da adecuadamente cuando se requiere (la limpieza es semanal) y el material retenido azolva las unidades, reduciendo la capacidad de volumen provocando que el tiempo de retención hidráulica disminuya en la planta presentándose cortos circuitos (López *et al*, 2012). También es importante aclarar que Osorio *et al* (2010), afirmó que la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales zeolitas® de la DACBiol no es suficiente para el tratamiento de 24,937 l/semana (3.5 m³/día) de aguas residuales. López *et al* (2012) demostró mediante aforo directo que en la DACBiol la descarga general en el periodo observado, el Q_{\min} fue de 0.4 l/s (34.5 m³/día), el Q_{med} de 2.2 l/s (190.1 m³/día) y el $Q_{\text{máx. Inst.}}$ de 6.7 l/s (578 m³/día). En cuanto caudal que trata la planta, durante estos dos primeros cuatrimestres del 2012, el Q_{\min} fue de 0.095 l/s (8.2 m³/día), el Q_{med} de 0.34 l/s (29.4 m³/día) y el $Q_{\text{máx. Inst.}}$ de 0.49 l/s (42.3 m³/día).

V.5.2 Conclusión al estudio previo a la planta existente

De acuerdo al comportamiento hidráulico de la planta de tratamiento observada y dada a la deficiencia registrada en volumen de tratamiento de aguas residuales ya que se ha visto rebasada por gran porcentaje, debido a las características muy cerrada de tratamiento de agua de la planta se concluye que una adecuación sería no procedente, se estima que se debe optar por la sustitución de la planta por otro sistema que garantice un mejor desempeño, rendimiento y vida útil.

V.6 PUNTOS A CONSIDERAR PARA UNA NUEVA PLANTA

Para elegir las características de una nueva planta de tratamiento habrá que considerar varios puntos elementales con el propósito de darle pertinencia al nuevo proyecto. Entre los elementos a discurrir están: espacio, recursos, eficiencia en remoción de contaminantes y, características propias de la nueva planta.

V.6.1 Características del área de estudio

Localización geográfica: El sitio de estudio de encuentra ubicado en el hemisferio norte entre coordenadas UTM Cuadrante 15 Q al norte 1'989,043.5°



y 1'989,626.3; al este entre 502,225.4 y 502,954.8 y una elevación media que va de 5 a 10 metros sobre el nivel del mar.

Clima. Villahermosa tiene un clima cálido y húmedo, con una temperatura promedio anual de 26°C y una precipitación media anual de 1,500 mm. Presenta el menor índice de precipitaciones pluviales comparado con otras ciudades y pueblos aledaños, aunque sus lluvias son abundantes y persistentes durante el verano (CONAGUA, 2012).

Ubicación y distribución de espacios. El predio donde se encuentra ubicada la División Académica de Ciencias Biológicas se encuentra ubicado en el noroeste de la Cd. de Villahermosa, próximo a la zona conurbada del municipio de Nacajuca, sobre la intersección de la carretera Coatzacoalcos – Villahermosa (Km 165) y el acceso a Saloya, en la ranchería Emiliano Zapata, sobre la margen izquierda del río Carrizal. Cuenta con una superficie de 22 ha. ocupando con sus instalaciones una superficie aproximada de 8.7 ha. las que están distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 5. Distribución de áreas ocupadas por instalaciones en la DACBiol.

Área	Superficie (m ²)
Edificios	10,229.53
Estacionamiento y vialidades	8,581.11
Áreas verdes	38,990.64
Andadores	6,853.11
Cocodrilaro	22,345.61

Vegetación. De las 13.3 has no ocupadas, 9.1 ha. se encuentran cubiertas por vegetación tipo selva baja (acahual) y 4.2 has. por pastizales, el 70% de estos terrenos no ocupados son inundables, existe un escurrimiento permanente en los límites con el área ocupada.



Figura 14. Vista Aérea De La DACBiol, Fuente: Google Earth (2012).

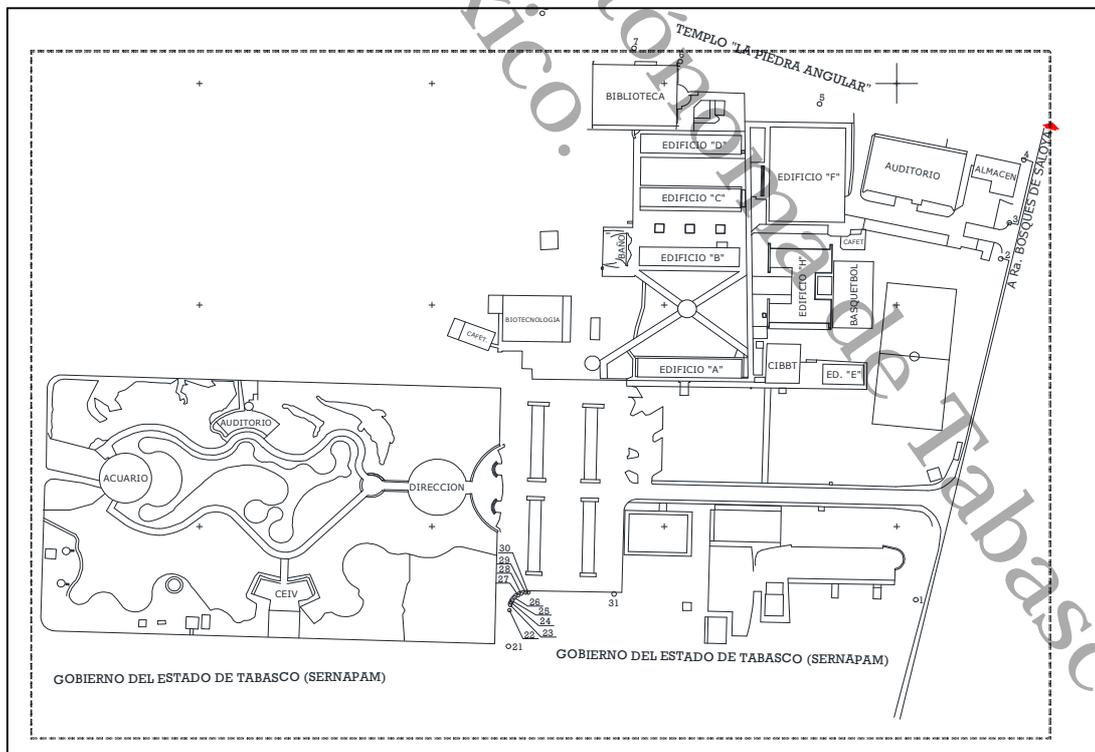


Figura 15. Planta de distribución de la DACBiol.



V.6.2 Normatividad Ambiental Vigente

Con el objetivo de preservar espacios y cuerpos de aguas libres de contaminantes el gobierno federal mexicano a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el 24 de junio de 1996 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, a fin de proteger su calidad y posibilitar sus usos. Esta normatividad no aplica para aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales. La ley establece como aguas residuales a aquellas de composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas. Las aguas residuales provenientes de este centro educativo en estudio caen dentro de esta normatividad. En la Tabla 6 se presentan los criterios de descarga tanto en aguas residuales como en lodos que debe cumplir de la normatividad ambiental vigente.

Tabla 6. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos, que aplican a la descarga de la PTAR de la DACBiol.

Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Embalse natural y artificial		Humedales Naturales (B)	
	Uso público urbano		P.M.	P.D.
	P.M.	P.D.		
Temperatura °C (1)	40	40	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	Ausente			
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	40	60	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	30	60	75	150
Nitrógeno Total	15	25	N.A	N.A
Fósforo Total	5	10	N.A	N.A

(1) Instantáneo. (2) Muestra simple promedio ponderado. (3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX—AA-006. P.D.= Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual. N.A. = No es aplicable. (A), (B) y (C): Tipo de cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Tabla 7. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y bio-sólidos.

Clase	Indicador bacteriológico	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base fecal	Salmonella spp. NMP/g en base seca.	Huevos de helmintos/g en base seca.
A	Menor de 1,000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1,000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2'000,000	Menor de 300	Menor de 35



V.6.3 Características de las aguas residuales

Las aguas residuales colectadas mediante un sistema de drenaje sanitario para ser tratadas antes de ser conducidas a cuerpos de agua receptores o al mismo terreno. Requieren de una caracterización para conocer los contaminantes presentes en estas aguas con el fin de aplicar un tratamiento adecuado que evite la degradación y contaminación de los cauces. El conocimiento de las características fisicoquímicas y biológicas de las aguas residuales es de vital importancia, no solo para cumplir con la normatividad establecida sino para preseleccionar los métodos de tratamiento posibles que con base a los estudios de tratabilidad y la experiencia, conduzcan al diseño de una planta de tratamiento que optimice la remoción de contaminantes y sea de carácter económico.

Cuando se trata de aguas de origen domésticas o municipales, tendremos que considerar las concentraciones de sustancias químicas orgánicas (nitrogenados: proteínas, ureas, aminos, aminoácidos, bacteriológicas; nitrogenados: celulosa, grasas y jabones) e inorgánicas (Nitrógeno, Fosforo, Cloruros, Sulfatos, Carbonatos, Bicarbonatos, Arsénico, Cianuro, Cadmio, Cromo Zinc). Para determinar la concentración de materia, cobre, mercurio, plomo y orgánica se utiliza el DBO₅. Conforme a la caracterización efectuada en 2010 por Osorio *et al.*, se observa que la planta tiene serias deficiencias en el tratamiento de estas aguas residuales, rebasando los valores permitidos de Coliformes Fecales y Nitrógeno total. (Tabla 8).

Tabla 8. Caracterización de la muestra de agua residual del canal abierto (Osorio *et al.*, 2010)

Parámetro	Unidades	Resultado	Límite máximo permisible		Ldm	Lpc
			1	2		
PH de campo (1 de 6)	U pH	7.6	5-10	5-10	N.a	N.a
PH de campo (2 de 6)	U pH	8.0	5-10	5-10	N.a	N.a
PH de campo (3 de 6)	U pH	7.9	5-10	5-10	N.a	N.a
PH de campo (4 de 6)	U pH	8.6	5-10	5-10	N.a	N.a
PH de campo (5 de 6)	U pH	8.9	5-10	5-10	N.a	N.a
PH de campo (6 de 6)	U pH	8.8	5-10	5-10	N.a	N.a
Temperatura (1 de 6)	°C	26	N.a	N.a	N.a	N.a
Temperatura (2 de 6)	°C	31	N.a	N.a	N.a	N.a
Temperatura (3 de 6)	°C	31	N.a	N.a	N.a	N.a
Temperatura (4 de 6)	°C	28	N.a	N.a	N.a	N.a
Temperatura (5 de 6)	°C	26	N.a	N.a	N.a	N.a
Temperatura (6 de 6)	°C	26	N.a	N.a	N.a	N.a
Materia flotante	Mg/l	Presente	Ausente	Ausente	N.a	N.a
Huevos de helmintos	Org/l	0.0	1	1	N.a	0.02
Coliformes fecales (1 de 6)	Npm/100ml	>24000.00	N.a	N.a	N.a	3
Coliformes fecales (2 de 6)	Npm/100ml	>24000.00	N.a	N.a	N.a	3
Coliformes fecales (3 de 6)	Npm/100ml	>24000.00	N.a	N.a	N.a	3
Coliformes fecales (4 de 6)	Npm/100ml	>24000.00	N.a	N.a	N.a	3
Coliformes fecales (5 de 6)	Npm/100ml	>24000.00	N.a	N.a	N.a	3
Coliformes fecales (6 de 6)	Npm/100ml	>24000.00	N.a	N.a	N.a	3



Parámetro	Unidades	Resultado	Límite máximo permisible		Ldm	Lpc
			1	2		
Coliformes fecales (media)	Npm/100ml	>24000.00	N.a	N.a	N.a	N.a
Arsénico	Mg/l	N.d.	0.2	0.2	0.0026	0.013
Cadmio	Mg/l	0.012	0.2	0.05	0.0017	0.009
Cobre	Mg/l	0.051	4.0	4.0	0.0026	0.013
Cromo	Mg/l	0.077	1.0	0.5	0.0034	0.017
Mercurio	Mg/l	N.d.	0.01	0.005	0.0002	0.001
Níquel	Mg/l	0.049	2.0	2.0	0.0270	0.001
Plomo	Mg/l	0.039	0.5	5.0	0.0038	0.014
Zinc	Mg/l	0.260	10.0	10.0	0.0028	0.019
Grasas y aceites (1 de 6)	Mg/l	64.20	N.a	N.a	N.a	0.013
Grasas y aceites (2 de 6)	Mg/l	15.10	N.a	N.a	N.a	2.5
Grasas y aceites (3 de 6)	Mg/l	37.20	N.a	N.a	N.a	2.5
Grasas y aceites (4 de 6)	Mg/l	108.2	N.a	N.a	N.a	2.5
Grasas y aceites (5 de 6)	Mg/l	32.60	N.a	N.a	N.a	2.5
Grasas y aceites (6 de 6)	Mg/l	29.20	N.a	N.a	N.a	2.5
Grasas y aceites (x ponderado)	Mg/l	N.f.	15.0	15.0	N.a	N.a
Sólidos sedimentables	Mg/l	3.0	1.0	N.a	N.a	0.1
Sólidos suspendidos totales	Mg/l	158.3	150.0	N.a	N.a	5
DBO total	Mg/l	209.0	150	N.a	N.a	2
Cianuros totales	Mg/l	0.003	2.0	2.0	0.0011	0.006
Nitrógeno total	Mg/l	142.7	40	N.a	N.a	N.a
Fósforo total	Mg/l	9.7	20	N.a	0.01	0.005

Notas: Límites máximos permisibles de acuerdo a especificaciones Tabla 2 y 3 de la NOM-SEMARNAT-1996. 1 Descarga a ríos uso riego agrícola. 2 .Descarga a suelos en riego agrícola*El Nitrógeno total ó nitrógeno Kieldhal es la suma del Nitrógeno Orgánico y el Nitrógeno Amoniacal.



Capítulo VI. MARCO TEÓRICO

Romero (1999) discute y propone que en los países latinoamericanos como México se tienen tecnologías importadas y éstas no son las opciones apropiadas, debiendo darse mayor importancia a tratamientos naturales como las lagunas de estabilización que no requieren mecanismos complicados ni el uso de reactivos y su mantenimiento es simple y solo si estas no son factibles se deben contemplar el uso de otros métodos convencionales.

Tabla 9. Comparativa de porcentajes en remoción de patógenos de varios sistemas de tratamiento. Fuente: Feachen *et al* (1983).

Tratamiento	Virus entéricos	Bacterias	Quistes de protozoos	Huevos de helmintos
Primario – Secundario	0-30	50-50	10-50	30-90
Filtro Percolador	90-95	90-95	50-90	50-95
Lodo Activado	90-99	90-99	50	50-99
Zanja de oxidación	90-99	90-99	50	50-99
Tanques Sépticos	50	50-90	0	50-90
Lagunas de Estabilización. Tres unidades en serie con 25 días de retención	≥ 99.99	≥ 99.99	100	100

*Con sedimentación, digestión y secado de lodos

VI.1 CONSIDERACIÓN DE ALTERNATIVA

Analizando el porcentaje de remoción de contaminantes dado en la tabla 9 se observa que los sistemas mencionados tienen diferente valor, siendo la alternativa más recomendable, el uso de Lagunas de Estabilización, que además tienen los siguientes factores a favor:

- El tratamiento a base de lagunas es uno de los sistemas naturales más recomendables para lugares de climas tropicales.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Necesitan poco o ningún componente importado.
- Bajo consumo energético.
- Elevada estabilización de materia orgánica.
- El efluente resultante es de alta calidad.
- Fáciles de construir y operar.
- Pueden absorber aumentos bruscos de cargas hidráulicas u orgánicas.
- Éstas no requieren del uso de sustancias químicas durante el proceso ni personal altamente calificado para su manejo.
- Cuando se cuenta con el área suficiente para su construcción, no se requiere la instalación de equipo sofisticado.
- Su alta eficiencia en la remoción de contaminantes lo hace un sistema atractivo comparado con otros tipos.

Las principales desventajas de otros sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales son:

- Alto costo.



- Requiere la importación de componentes.
- Su construcción resulta compleja.
- Requieren operadores especializados.
- Requieren un mayor consumo de energía eléctrica.
- Deficiente remoción de organismos patógenos.
- Tienden a sobrecargarse.

La desventaja de las lagunas de estabilización es que requieren espacios grandes para su construcción y pueden producir olores, por lo que deben ubicarse lejos de centros de reunión. La tecnología de las lagunas es uno de los métodos naturales en el tratamiento de aguas residuales, consistentes en una serie de reservorios artificiales clasificados como Anaerobias, Facultativas y de Maduración o Pulimento, siendo colocadas en este orden.

VI.1.1 Características de un Sistema Lagunar

Lagunas anaerobias. Es la más pequeña en superficie ocupada aunque la más profunda y pueden recibir cargas orgánicas superiores a 100 mg/m^3 de DBO_5 . Estas cargas y la profundidad de la laguna producen condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno disuelto) en todo el volumen contenido. Estas lagunas funcionan como tanques sépticos y pueden remover alrededor del 60% de DBO_5 a temperaturas de 20°C . Su tiempo de retención es relativamente corto (desde 1 día). El único inconveniente es la posible generación de olores, lo cual puede minimizarse mediante un buen diseño de las unidades y cuando la concentración de SO_4 sea menor de 600 mg/l (Mara & Pearson, 1992).

Lagunas Facultativas. En este tipo se consideran de dos clases, las que reciben aguas crudas y las que reciben aguas sedimentadas de una etapa primaria (comúnmente de una laguna anaerobia). Por la baja carga orgánica con las que se diseñan y que reciben, las lagunas facultativas permiten el crecimiento de una población algal activa; estas algas generan oxígeno requerido por bacterias heterotróficas que remueven el DBO_5 disuelto. Normalmente las algas confieren un color verde oscuro al agua aunque ocasionalmente pueden volverse rojas o rosadas por la presencia de bacterias fotosintéticas oxidantes de sulfuros; esto ocurre debido a ligeras sobrecargas que alteran su ecología y muestran cualitativamente un buen funcionamiento. La densidad algal de una laguna facultativa depende en gran manera de la carga orgánica y de la temperatura, parámetros que tienen que requerir de una continua verificación. Durante el día la actividad fotosintética de las algas produce una mayor concentración del oxígeno disuelto y hace variar la acidez del agua. También el efecto del viento genera efectos importantes en el comportamiento de las lagunas facultativas, distribuyendo de mejor manera la cantidad de DBO_5 , oxígeno disuelto, bacterias y algas, produciendo una mejor mezcla del agua residual (Mara & Pearson, 1992).

Lagunas de Pulimento o Maduración. Estas lagunas representan una tercera etapa para las lagunas de estabilización, recibiendo el efluente de las lagunas facultativas y de su tamaño estriban las características bacteriológicas, tienen como función reducir los coliformes fecales contenidos en los desechos de aguas residuales. Si se construyen adecuadamente pueden conseguir



remociones mayores del 99.999% de coliformes fecales. Las lagunas de maduración remueven solo pequeñas cantidades de DBO_5 pero en cambio contribuyen grandemente en la remoción de nitrógeno y fósforo, llegando a alcanzar un sistema de lagunas (anaerobia + facultativa + pulimento) de hasta el 80% y hasta un 95% de remoción de amonio. La remoción de fósforo en estos sistemas es relativamente baja, pero siempre mayor del 50%. Para la implementación y usos de lagunas de estabilización deben de seguirse recomendaciones en cuanto el arranque y las operaciones de mantenimiento, estos son simples respecto a otros sistemas y se refieren a procesos de llenado, inoculación de bacterias y colonias microbianas para garantizar el proceso, así como el evitar crecimiento de vegetación sobre los terraplenes, remoción de material y plantas flotantes en las lagunas facultativas y de maduración para facilitar la oxigenación, remoción de material grueso retenido en rejillas y sedimentador del tratamiento preliminar; recomendaciones que deberán ser estipuladas por el diseñador de estas lagunas contempladas en la bibliografía especializada. (Mara & Pearson, 1992).

Tabla 10. Uso de las lagunas de estabilización en Latinoamérica y el Caribe. Fuente: Yáñez (2007).

Censo de 1971			Censo de 2007		
No.	País	Unidades	No.	País	Unidades
1	Brasil	30	1	Cuba	350
2	Cuba	24	2	Brasil	48
3	Argentina	23	3	México	25
4	Perú	21	4	Argentina	19
5	México	14	5	Perú	7
6	Ecuador	11	6	Venezuela	5
7	Costa Rica	10	7	Costa Rica	5
8	Chile	9	8	Panamá	3
9	Colombia	7	9	Chile	3
10	Venezuela	7	10	Colombia	3
11	El Salvador	5	11	Ecuador	3
12	Guatemala	4	12	El Salvador	3
13	Trinidad y Tobago	4	13	Bolivia	1
14	Nicaragua	3	14	Honduras	1
15	Panamá	3	15	Rep. Dominicana	1
16	Barbados	2	16	Trinidad y Tobago	1
17	Bolivia	1	17	Nicaragua	1
18	Honduras	1			
19	República Dominicana	1			
20	Uruguay	1			
Total:		181	Total:		499

La tendencia de hoy día sobre el uso de las lagunas de estabilización (Yáñez, 2007) se ha incrementado en las últimas cuatro décadas siendo Cuba quien más ha invertido en la construcción de estas unidades.



Capítulo VII. METODOS DE INVESTIGACIÓN

VII.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Estudio Topográfico. Dentro de las actividades previas al desarrollo de toda Ingeniería de Diseño de se requieren estudios topográficos en el sitio, para conocer la configuración del terreno; para este proyecto de diseño de la PTAR, estas actividades fueron realizadas por estudiantes de ingeniería civil de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura como parte de su formación académica en la materias de Topografía Básica y Topografía Aplicada bajo la dirección de los docentes que imparten esta asignatura, ubicándose los límites de la unidad y sus dimensiones para establecer coordenadas y elevaciones del predio. (Anexo 1)

Se desarrollaron levantamientos planimétricos para configurar límites y ubicación de edificios e instalaciones, y levantamientos altimétricos para la configuración del relieve del terreno. Para este tipo de trabajos se utilizaron los métodos de levantamientos de poligonales cerradas y por radiaciones usando equipo electrónico de lectura indirecta como estaciones totales, y para la configuración del relieve del terreno métodos de nivelaciones diferenciales, se usaron niveles automáticos con lecturas en estadías. Para el procesamiento de datos se empleó el software denominado Civilcad que permite obtener configuraciones tridimensionales de representación gráfica a la vez posibilita la obtención de cortes particulares del terreno de cualquier trazo sobre el área levantada. Para la obtención de coordenadas terrestres se utilizó un equipo topográfico geo-posicionador GPS con el que se ubicaron puntos de referencia con coordenadas UTM y las cuales se propagaron para determinar las coordenadas de todos los vértices del terreno.

Relieve. El terreno donde se encuentra ubicada la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) se puede describir como un terreno de suave relieve, inundable en gran parte en época de lluvias, en las partes más accesibles de mayor altura, se encuentran ubicados los edificios, aéreas de estacionamientos y deportivas. Existe un escurrimiento natural que es usado como desagüe por colindantes y por la misma DACBiol que divide al terreno en dos grandes secciones. La DACBiol descarga sus aguas residuales a este arroyo a través de un canal y solamente una pequeña parte de estas aguas es tratada. La parte posterior del predio tiene una zona relativamente alta y otra inundable donde descarga el arroyo. Esta sección no tiene asentamientos humanos (viviendas) sobre sus colindancias.

Inspección del sitio. Se inspeccionó el sitio de la planta de tratamiento existente para la identificación de los procesos unitarios, lo que nos permitió dimensionar los elementos y analizarlos para determinar su eficiencia y desarrollo del proceso de tratamiento. Se inspeccionaron los sistemas de alcantarillado y descargas considerados relevantes. Se identificaron los sitios más idóneos para realizar los aforos directos del agua residual.



d = diámetro de la unidad de tratamiento (m).

Tiempo de retención hidráulico de la unidad (Metcalf & Eddy, 1996).

$$\text{Vol} = Q \text{ Trh} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\text{Trh} = \text{Vol} / Q \quad (\text{Ec. 6})$$

Dónde:

Vol = volumen de agua contenido en la unidad (m^3).

Q = Gasto de agua de entrada a la unidad de tratamiento (m^3/s).

Trh = Tiempo de retención hidráulico (horas).

Selección de los sitios de muestreos y obtención de las muestras.

Los muestreos de las aguas residuales se realizaron apegados a la Norma NMX-AA-003-1980 (25-03-80) que regula el muestreo de Aguas Residuales y de la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996, 1997), que establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. La norma (NOM-001-SEMARNAT-1996, 1997) indica que si el proceso generados de las descargas opera de 18 a 24 horas, el número de muestras simples que se deben de tomar es de mínimo 6, con un intervalo de tiempo entre las tomas de muestra de 3 a 4 horas, en nuestro muestreo.



Figura 17. Toma de muestras en la PTAR de la DACBiol, UJAT.

La planta no lleva un control específico de todas las unidades de tratamiento, las evaluaciones son generales evaluando la entrada y salida del sistema lo que no permite establecer o identificar en que unidad se está presentando un descontrol de procesos. Sin embargo a partir de la revisión de campo del equipo de trabajo se tomaron los siguientes puntos de muestreo para evaluar adecuadamente el sistema, cárcamo o tanque recepción, Tanque 1 donde se agrega el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Tanque 2 donde se agrega el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, Canaleta 1, entrada de Sedimentador, Canaleta 2, salida del Sedimentador, Filtro, salida del Filtro y Descarga Final (Figura 16).



Evaluación del equipo de bombeo. A continuación se presentan los *Criterios de Evaluación del Cárcamo*. La tubería de entrada de bombeo se calculó mediante las siguientes ecuaciones (Sotelo, 1974), (Metcalf & Eddy, 1996); (CNA, 2007):

$$Q = (3.1416 \cdot D^2 / 4) V \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

Q = Gasto de bombeo en función del área hidráulica.

V = Velocidad de succión de la bomba (1-3) m/S.

D = Es el diámetro de la tubería de transporte.

$$D = [4Q / 3.1416 \cdot V]^{1/2} \quad (\text{Ec. 8})$$

Generalmente la tubería funciona como un vertedor circular y para calcular el tirante de dicho canal se aplicó la siguiente ecuación (Sotelo, 1974), (Metcalf & Eddy, 1996), (CNA (2007)).

$$h = (Q / 1.47 \cdot 2 \cdot 3.1416 \cdot D)^{1/1.42} \quad (\text{Ec. 9})$$

Para el diseño del sistema de bombeo es necesario calcular el dimensionamiento con el gasto diario (Sotelo, 1974); CNA, 1996; (Metcalf & Eddy, 1996). El cálculo de operación se evaluó mediante la siguiente ecuación:

$$Q_B = 2 \cdot Q_E \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

Q_B = gasto de bombeo

Q_E = gasto de entrada

El tiempo de operación de bombeo se describe:

$$T_B = V / (Q_B - Q_E) \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

T_B = tiempo de bombeo

V = volumen de agua

Para el cálculo de las potencias de las bombas se utilizó el cálculo del diámetro conforme lo establece la ecuación de la continuidad $Q = A \cdot U$ (Sotelo, 1974), considerar las pérdidas por la distancia, codos y accesorios, fricción para así tener el cálculo de la carga hidráulica total (H_T). Finalmente el cálculo de la potencia queda establecido por la siguiente ecuación (Metcalf & Eddy, 1996).

$$P = Y \cdot Q_B \cdot (H_T) / 76 \cdot n \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

Q_B = Gasto de bombeo

P = Potencia de la bomba

Y = Peso Específico del agua 1000 Kg/m³

H_T = Carga Hidráulica Total en m.

1 HP = 76 kg/S y n = Eficiencia



VII.2 ACTIVIDADES DE LABORATORIO

Caracterización de aguas residuales. La caracterización fisicoquímica se realizó con base a los procedimientos analíticos señalados por la Norma Oficial Mexicana. Los parámetros se realizaron en el Laboratorio de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (DACBiol/UJAT). Los parámetros de control de procesos son pH, temperatura, SDT, Color, Turbidez, y al final de las evaluaciones se realizaron por un muestreo completo con los parámetros establecidos por la (NOM-001-SEMARNAT-1996, 1997). Para la optimización de procesos se verificó la dosificación correcta de reactivos y para ello se realizaron pruebas de tratabilidad de coagulación floculación con la prueba de jarras, ahí se determinaron los parámetros de control de procesos. (Figura 18).



Figura 18 . Prueba de jarras, en los laboratorios de la DACBiol, UJAT

VII.3 ACTIVIDADES DE GABINETE

Las actividades del proyecto realizadas fueron las siguientes:

- Revisión bibliográfica del tipo de planta de tratamiento de aguas residuales propuesta.
- Recopilación y revisión de información histórica de la operación de la planta de Tratamiento de aguas residuales.
- Recopilación geográfica, demográfica y climatológica, a través de la información disponible del INEGI, CNA y dependencias del Gobierno del estado de Tabasco.
- Plan de muestreo y aforo, de acuerdo con lo establecido en la NMX-AA-003-1990, aguas residuales, municipales e industriales – muestreos.
- Revisión de las metodologías de diseño, como publicaciones, artículos, tesis, Comisión Nacional del Agua (CNA). Para determinar el método de diseño a seguir en la planta. Realización de la síntesis de procesos del sistema acoplado.



Análisis de resultados. Una vez obtenidos los resultados de laboratorio, se analizaron los datos para verificar el porcentaje que se tiene por arriba de los valores máximos permisibles establecidos por la (NOM-001-SEMARNAT-1996, 1997) de los parámetros medidos. Del mismo modo se realizó un análisis de biodegradabilidad de las aguas según lo establece Crites *et al*, (2000). De la misma forma el monitoreo a realizar en campo nos presentó la situación actual del proceso donde se determinó la eficiencia de las operaciones y procesos unitarios, esto con la finalidad de establecer, si es necesario mejorar o replantear una nueva planta de Tratamiento de aguas residuales, y poder cubrir la descarga de la población actual.

Eficiencia requerida del sistema. La eficiencia requerida de un sistema está dada por la concentración promedio de entrada de una sustancia y la concentración de salida que se establece por la (NOM-001-SEMARNAT-1996, 1997), y la eficiencia de proceso está fundamentada en función de la concentración promedio de entrada y salida de una sustancia. Para cualquier sustancia dada se puede aplicar el cálculo de eficiencia requerida y eficiencia de proceso de remoción mediante la siguiente ecuación respectivamente (Metcalf & Eddy, 1996).

$$\eta' = [(C_1 - C_2) / C_1] * 100 \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

η' = Eficiencia de remoción requerida de una sustancia dada (%)

C_1 = Concentración de entrada de la sustancia (mg/L)

C_2 = Concentración máxima permisible de la sustancia (mg/L)

$$H_p = [(C_1 - C_3) / C_1] * 100 \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

H_p = eficiencia de proceso (remoción de una sustancia dada) (%)

C_1 = Concentración de entrada de la sustancia al sistema (mg/L)

C_3 = Concentración de salida de la sustancia del sistema (mg/L)

Excedente de parámetros. Estos excedentes son obtenidos mediante la comparación del resultado del efluente de proceso y los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana donde se comparan los parámetros de control de procesos físicos y químicos. El resultado en negativo nos representa que hay un decremento de la concentración de salida del proceso, es decir, el valor del efluente está por debajo del límite permisible; el resultado positivo indica que el valor de concentración del efluente es mayor que el límite permisible establecido por la Norma Oficial Mexicana. En este apartado se realizaron cálculos numéricos, tomando como referencia las concentraciones de salida y límites permisibles establecidos en la normatividad antes citada.

Evaluación y diseño de unidades. En esta etapa se realizó, de acuerdo a los criterios de diseño de la CNA(2007), una serie de análisis a diversos



sistemas de tratamiento de agua, basado en los límites permisibles por la norma (NOM-001-SEMARNAT-1996, 1997); donde se determina la eficiencia de cada sistema, el costo, la operación, la funcionalidad y la factibilidad, requerida para la adecuación de la planta, o la sustitución por un nuevo sistema de tratamiento que garantice la calidad del agua, para la población beneficiada.



Capítulo VIII. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PLANTA

VIII.1 LOCALIZACIÓN Y CONDICIONES DEL SITIO

Se propone ubicar la planta paralela al lindero marcado por los vértices 15, 16 y 17 indicados en el levantamiento topográfico previo, por poseer una buena ubicación, alejada del área edificada y de viviendas, solo próxima a un espacio utilizado como estacionamiento, con un relieve suficientemente alto para la creación de terraplenes, con buena ventilación, con pastizales como vegetación. Para el sembrado de la planta en este sitio se requiere construir un camino de acceso que cruce sobre el escurrimiento natural que fracciona el predio en dos zonas (Anexo 1).

VIII.2 ESTRUCTURACIÓN DE LAGUNAS

Las lagunas deberán ser construidas a base de terraplenes de arcilla de baja plasticidad compactada al 95% Próctor, formando bordos perimetrales con altura promedio de 4.60 m sobre el nivel natural del suelo de desplante, previamente desmontado y despalmado a 0.30 m de profundidad. De acuerdo a los lineamientos marcados para la construcción de presas de tierra (SAGARPA, 2010), los terraplenes tendrán una corona de 3.00 m para permitir su mantenimiento, taludes interiores y exteriores con relación 2.5:1. Las profundidades de las lagunas tendrán como referencia a la altura máxima del terraplén y de acuerdo a los volúmenes y tiempo de retención hidráulica necesarios definidos en el proyecto (Anexo 2).

VIII.3 UNIDADES DE PRE-TRATAMIENTO

Las unidades deberán ser construidas sobre terraplén anexo a la planta al mismo nivel de las coronas, previamente compactado. El tren del pre-tratamiento estará bi-direccionado hacia cada laguna anaerobia. Comenzará desde la caja receptora que partirá el flujo hacia cada uno de los canales de entrada, pasando por las rejillas donde se retendrán los sólidos gruesos, mayores de una pulgada, que deberán de ser removidos manualmente por medio de rastrillos, el flujo continuará hacia el desarenador, reteniéndose en él, los sólidos inorgánicos tales como arenas, gravas y cenizas, mediante una disminución de la velocidad del flujo por cambio de sección, sólidos que deberán ser removidos manualmente cada tres días. Para hacer la transición de canal a tubería, el flujo tendrá que pasar por una caja de amortiguamiento, que lo conducirá a la trampa de grasas y aceites, última unidad de pre-tratamiento, que retendrá las grasas suspendidas en el flujo, las cuales deberán ser removidas anualmente.



VIII.4 CÁRCAMO DE BOMBEO

La única unidad energizada del sistema es el cárcamo de bombeo, la cual deberá ubicarse a un costado donde se localiza la actual planta de tratamiento. Esta unidad tiene un diámetro interior de 4.00 m, una altura de 5.20 m, y deberá contar con un arreglo mecánico de tres bombas de 6 H.P. cada una, con un tiempo de bombeo de 54 minutos por ciclo. El diámetro de la tubería de succión será de 6" y la tubería de descarga será de 10". La línea de conducción de la descarga llevará el agua cruda hasta la planta de tratamiento.

VIII.5 CAMINO DE ACCESO

Debido a lo inaccesible de la zona donde se propone ubicar la planta se propone la construcción de un camino que permita el tránsito para su construcción y mantenimiento. Esta vía de acceso tendría una longitud de 313.40 m con una corona a nivel de terracerías de 11.00 m que alojaría a una calzada de 6.10 m y banquetas laterales de 2.00 m, dará inicio en el estacionamiento de la DACBiol por un costado del cocodrilaro girando en dirección a la ubicación de la planta y terminando en cajones de estacionamiento propuestos para la planta, a un costado de las unidades de tratamiento. La construcción de este camino sería a base de terraplenes con una altura máxima de 4.00 m.



Capítulo IX. RESULTADOS

Por las características del área, deficiencias de la planta existente y la dificultad en cuanto a la implementación de modificaciones para el aumento de su capacidad ya rebasada de gran manera, se estima que la solución al problema está en la sustitución del sistema existente por uno nuevo. La propuesta de este estudio es el diseño de un sistema natural de tratamiento de aguas residuales que sea capaz de tratar sobradamente los efluentes generados por la institución, requiera de poco mantenimiento, sea acorde al clima nuestro y sea de fácil construcción.

IX.1 TREN DE UNIDADES DE TRATAMIENTO EN LA PLANTA PROPUESTA

La planta de tratamiento en diseño está compuesta por un sistema de lagunas de estabilización hecha a base de terraplenes de arcilla compactados, que previamente capta las aguas residuales procedentes del sistema de recolección existente mediante un cárcamo y las cuales son bombeadas a una tubería a presión hasta las unidades de tratamiento primario (canal, rejillas y desarenador), para luego ingresar al proceso de tratamiento secundario, el sistema lagunar: dos lagunas anaerobias, dos facultativas y una de maduración. El diseño de cada una de las unidades que componen la planta está basado en las normas de la Gerencia de Proyectos de Agua Potable de la CONAGUA (CNA, 2007) y a los criterios de diseño de Metcalf & Eddy (1996).



Figura 19. Planta de tratamiento a base de lagunas de estabilización.

IX.2 SITIO DESTINADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La ubicación de un sistema de lagunas de estabilización debe de reunir características de espacio, condiciones climáticas de iluminación y temperatura, ventilación y aislamiento de zona habitacional además de garantizar la no infiltración a mantos freáticos y el acceso a la planta para su conservación y mantenimiento (Figura 19).



La DACBiol posee zonas abiertas espaciosas, rodeadas de áreas verdes con condiciones excelentes de iluminación y temperatura, propios de un clima cálido tropical, adecuado para tratamiento de cargas orgánicas fluctuantes mucho mayores que en climas fríos. Los métodos de ingeniería actuales permiten garantizar que mediante los procesos constructivos adecuados, la impermeabilidad de las lagunas de estabilización. Así mismo, la DACBiol cuenta con espacios propios para la ubicación de accesos a la planta.



Figura 20 Vista aérea de la DACBiol mostrando propuesta de ubicación de la planta, Fuente: Google Earth (2012).

Este sitio tiene las características ideales para el sembrado de la obra, alejado del área de edificios y de toda área de vivienda, completamente ventilado y con una proximidad a un escurrimiento natural de aguas pluviales que mediante ductos de paso bajo vialidades próximas llegan al río Carrizal (Figura 29).

IX.3 CÁLCULOS DE LA INGENIERÍA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO POR LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

IX.3.1 Población de proyecto

Determinación de población de proyecto. La matrícula de la DACBiol en el 2011 es de 2,192 estudiantes, siendo en el año 2004 de 1329 (Padrón López, 2011), para una vida útil de la planta de 25 años tendremos: Para la determinación de la población futura al término del periodo de vida utilizaremos



tres métodos: El método Aritmético, el método usado por el INEGI y el método Malthus.

Método de aritmético. Este método considera que el incremento de la población será lineal, tomando los censos entre el periodo ocurrido y proyectándolo para el número de años esperado.

Censo 2011= 1,329 estudiantes

Censo 2014= 2,192 estudiantes

$$K = (P_f - P_o) / (T_f - T_o) = (2192 - 1329) / (2014 - 2011) = 101.5 \text{ estudiantes/año}$$

$$P_f = P_o + K_n = 2192 + 101.5 (25) = 4579 \text{ estudiantes}$$

Método de INEGI:

Tasa de crecimiento media anual en %

$$TCMA \% = [(PFP/PIP)^{1/n}] - 1 \times 100$$

PFP = Población al final del periodo

PIP = Población al inicio del periodo

n = No. de años entre censos

Proyección De Población

$$P_f = P' (TCMA \% / 100 + 1)^N$$

P'= Población del último censo

N = años a proyectar;

$$TCMA \% = ((PFP/PIP)^{1/n}) - 1 \times 100 \quad (\text{Tasa de crecimiento medio anual})$$

$$TCMA = ((2040 - 1329) / (2011 - 2004)) - 1 \times 100 = 155.55 \%$$

$$PP = PFP (TCMA \% / 100 + 1)^N = 2040 (155.55 / 100 + 1)^{25} = 3000 \text{ estudiantes}$$

Método Malthus:

$$PFP = P_a (1 + D)^n$$

$$D = (P_a / P_o)^{1/T}$$

Donde:

P_a = población actual = 2,192 estudiantes

P_o = población previa = 1,329 estudiantes

T = Número de años entre la población actual y la población previa = 7 años

D = Tasa anual

n = años a proyectar en decenas = 2.5 decenas de años

$$D = (2192 / 1329)^{1/7} = 1.0741$$

$$PFP = 2192 (1 + 1.0741)^{2.5} = 13,580 \text{ estudiantes}$$

Como el valor dado por Malthus es demasiado elevado y el del INEGI es muy reducido, tomaremos el valor del método aritmético redondeado a 5000 estudiantes

IX.3.2 Caudal de diseño

En el cálculo teórico se considera la población estudiantil de proyecto y se aplican los modelos establecidos por la CONAGUA (2007), considerando la capacidad de carga de la DACBiol y se realiza la estimación del gasto con una



descarga de 60 l/hab.día con una Carga Orgánica Unitaria de 40 gr/hab/día estimada así a partir de la dotación que hace. Con respecto a la carga orgánica expresada como DBO₅ serán determinadas con un factor de carga equivalente a 40 g/hab/día. El análisis de precipitación, evaporización y temperatura ambiental, se realizará con el análisis de datos proporcionados por la CONAGUA de la estación meteorológica de la Ciudad de Villahermosa, la cual presenta datos históricos desde 1993 a 2005 para la temperatura y evaporación. En la evaluación del gasto teórico de aguas residuales se realizaron dos cálculos uno teórico y otro directo en campo.

IX.4 DISEÑO GEOMÉTRICO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO

El presente diseño va acorde a los lineamientos marcados por la CONAGUA en el Manual de Diseño de Lagunas de Tratamiento de Aguas Residuales.

IX.4.1 Cálculos preliminares

Tabla 10. Datos generales del proyecto

Concepto	Valor	Unidad
Población de proyecto (Pob)=	5,000	Hab.
Dotación por habitante=	60	l/hab/día
Aportación de agua residual individual (Aport Ind)= 0.8x dot. por hab.	48	l/hab/ día
Carga Orgánica Unitaria COU=	40	gr/hab/día
Coeficiente de Harmon M=	3.25	
Coeficiente de Seguridad Cs=	1.5	
No. de módulos=	2	

Para calcular la aportación de agua residual se consideró el 80% de la dotación por habitante debido a que el Edificio del CICART tiene su propia planta de tratamiento y algunos edificios de la zona norte no se encuentran conectados a la red de drenaje de la DACBiol.

Tabla 11. Gastos de diseño de proyecto.

Gastos de operación	Gastos totales		Gastos por modulo	
Gasto medio Q med =	2.8	l/s	1.4	l/s
Gasto mínimo Q min=	1.39	l/s	0.69	l/s
Gasto máx. inst. Q inst=	9.01	l/s	4.51	l/s
Gasto máx. ext. Q ext.=	13.52	l/s	6.76	l/s

Tabla 12. Datos meteorológicos.

Datos	Mes más cálido (junio)		Mes más frío (diciembre)	
Temperatura	29.6	°C	24.3	°C
Precipitación	227.4	mm / mes	162	mm / mes
Evaporación	5	mm / mes	2	mm / mes
Infiltración	5	mm / día		



Tabla 13. Concentraciones de entrada.

Conceptos	Del sistema		Por módulo	
Concentración orgánica total COT=Pob x Apor ind /1000	200	Kg/día	100	Kg/día
Flujo Volumétrico F vol=	240	m ³ /día	120	m ³ /día
Concentración DBO (C DBO)=(COT/F vol)x1000	833	mg/l	833	mg/l

Tabla 14. Eficiencia requerida del sistema.

Conceptos	Valor	Unidad
Concentración Lim. Max. Perm. DBO(C LIM DBO)	30	mg/l
Concentración Lim. Max. Perm. SST(C LIM SST)	50	mg/l
Eficiencia de remoción de DBO η =	96.4	%

Tabla 15. Parámetros de entrada.

Conceptos	Valor	Unidad
Temperatura del ambiente T amb=	32	°C
Temperatura del agua T agua=	28	°C
Concentración DBO (C DBO)=	833	mg/l
Concentración de sólidos suspendidos totales C SST=	1250	mg/l
Concentración SSED (C DBO)=	60	ml/l

Tabla 16. Concentración de contaminantes básicos.

Parámetros	Rango g/hab/día	Aplicable a este proyecto		
		P. Unitario g/hab/día	Flujo másico M (kg/día)	Concentración C (mg/l)
DBO ₅	40 a 120	40.0	200	833
DQO	110 a 295	110.0	550	2292
SST	60 a 150	60.0	300	1250
NH ₃	5 a 12	5.0	25	104
N org N	4 a 10	4.0	20	83
NTK	4 a 10	4.0	20	83
P ORG COMO P	0.9 a 1.8	0.9	5	19
P INORG COMO P	1.8 a 2.7	1.8	9	38
P TOTAL COMO P	2.7 a 4.5	2.7	14	56
Grasas y Aceites	10 a 40	10.0	50	208

Dimensionamiento preliminar de lagunas

Cálculos de las Áreas requeridas por Laguna

LA: Laguna Anaerobia

$$t_{r1} = 4.0 \text{ días}$$

$$h_1 = 3.0 \text{ m}$$

Fuente : CNA (2007), Tabla 3.15

Diseño de Lagunas de Estabilización



Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

$$V_{TLA} = V_d \cdot t_{r1} \quad 480.00 \quad m^3$$

$$A_{TLA} = V_{TQ1} / h_1 \quad \underline{160.00} \quad m^2$$

LF: Laguna Facultativa

$$t_{r2} = 7.0 \quad \text{días}$$

$$h_2 = 2.0 \quad m$$

$$V_{TLF} = V_d \cdot t_{r2} = \quad 840.00 \quad m^3$$

$$A_{TLF} = V_{TQ2} / h_2 = \quad \underline{420.00} \quad m^2$$

LP: Laguna Pulimento

$$t_{r1} = 7.0 \quad \text{días}$$

$$h_1 = 1.5 \quad m$$

$$V_{TQ1} = V_d \cdot t_{r1} \quad 1,680.00 \quad m^3$$

$$A_{TQ1} = V_{TQ1} / h_1 \quad \underline{1,120.00} \quad m^2$$

$$A_T = 1.2 (A_{TQ1} + A_{TQ2} + A_{TQ3}) \quad 2736 \quad m^2 \quad \text{ó} \quad 0.27 \quad \text{Ha.}$$

IX.4.2 SÍNTESIS DEL PROCESO

Datos de entrada al sistema.

Concepto	Valor	Unidad
Gasto de diseño Qm =	2.8	l/s
Concentración DBO (C DBO)=	833.3	mg/l
Flujo másico m=	200.0	kg/día
Concentración SST	1250.00	mg/l
Flujo másico M=	300.00	kg/día

Tabla 17. Eficiencias de remoción de DBO.

Operaciones y Procesos Unitarios	Remoción de DBO %		
	Mínimo	Promedio	Máximo
Rejilla	0.0		0.0
Desarenador	8.0	8.0	8.0
Laguna Anaerobia	21.5	35.8	50.0
Laguna Facultativa	75.0	77.5	80.0
Laguna de Pulimento	75.0	77.5	80.0



Tabla 18. Operación del sistema con la eficiencia mínima.

Operaciones y Procesos Unitarios	Concentración (mg/l)			Eficiencia de rem. DBO
	Entrada Ce	Salida Cs	Removida Cr	
Rejilla	833.3	833.3	0.0	0.0
Desarenador	833.3	766.7	66.7	8.0
Laguna Anaerobia	766.7	601.8	164.8	21.5
Laguna Facultativa	601.8	150.5	451.4	75.0
Laguna de Pulimento	150.5	37.6	112.8	75.0

Total= 95.5%

Tabla19. Operación del sistema con la eficiencia media.

Operaciones y Procesos Unitarios	Concentración (mg/l)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Ce	Salida Cs	Removida Cr	
Rejilla	833.3	833.3	0.0	0.0
Desarenador	833.3	766.7	66.7	8.0
Laguna Anaerobia	766.7	492.6	274.1	35.8
Laguna Facultativa	492.6	110.8	381.8	77.5
Laguna de Pulimento	110.8	24.9	85.9	77.5

Total= 97.0%

Tabla20. Operación del sistema con la eficiencia máxima.

Operaciones y Procesos Unitarios	Concentración (mg/l)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Ce	Salida Cs	Removida Cr	
Rejilla	833.3	833.3	0.0	0.0
Desarenador	833.3	766.7	66.7	8.0
Laguna Anaerobia	766.7	383.3	383.3	50.0
Laguna Facultativa	383.3	76.7	306.7	80.0
Laguna de Pulimento	76.7	15.3	61.3	80.0

Total= 98.2%

Tabla 21. Balance del sistema con la eficiencia mínima.

Operaciones y Procesos Unitarios	Flujo másico (kg/día)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Me	Salida Ms	Removida Mr	
Rejilla	200.0	200.0	0.0	0.0
Desarenador	200.0	184.0	16.0	8.0
Laguna Anaerobia	184.0	144.4	39.6	21.5
Laguna Facultativa	144.4	36.1	108.3	75.0
Laguna de Pulimento	36.1	9.0	27.1	75.0

191.0 kg/día



Tabla 22. Balance del sistema con la eficiencia media.

Operaciones y Procesos Unitarios	Flujo másico (kg/día)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Me	Salida Ms	Removida Mr	
Rejilla	200.0	200.0	0.0	0.0
Desarenador	200.0	184.0	16.0	8.0
Laguna Anaerobia	184.0	118.2	65.8	35.8
Laguna Facultativa	118.2	26.6	91.6	77.5
Laguna de Pulimento	26.6	6.0	20.6	77.5
			194.0 kg/día	

TABLA 23. Balance del sistema con la eficiencia máxima.

Operaciones y Procesos Unitarios	Flujo másico (kg/día)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Me	Salida Ms	Removida Mr	
Rejilla	200.0	200.0	0.0	0.0
Desarenador	200.0	184.0	16.0	8.0
Laguna Anaerobia	184.0	92.0	92.0	50.0
Laguna Facultativa	92.0	18.4	73.6	80.0
Laguna de Pulimento	18.4	3.7	14.7	80.0
			196.3 kg/día	

Tabla 24. Eficiencias de remoción de SST.

Operaciones y Procesos Unitarios	REMOCION DE SST %		
	Mínimo	Promedio	Máximo
Rejilla	0.0	0.0	0.0
Desarenador	5.0	7.5	10.0
Laguna Anaerobia	65.0	70.0	75.0
Laguna Facultativa	60.0	62.5	65.0
Laguna de Pulimento	55.0	60.0	65.0



Tabla 25. Operación del sistema con la eficiencia mínima.

Operaciones y Procesos Unitarios	Concentración (kg/l)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Ce	Salida Cs	Removida Cr	
Rejilla	1250.0	1250.0	0.0	0.0
Desarenador	1250.0	1187.5	62.5	5.0
Laguna Anaerobia	1187.5	415.6	771.9	65.0
Laguna Facultativa	415.6	166.3	249.4	60.0
Laguna de Pulimento	166.3	74.8	91.4	55.0
		eficiencia	Total=	93%

Ce: Concentración de entrada
 Cs: Concentración de salida
 Cr: Concentración removida

Tabla 26. Operación del sistema con la eficiencia media.

Operaciones y Procesos Unitarios	Concentración (kg/l)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Ce	Salida Cs	Removida Cr	
Rejilla	1250.0	1250.0	0.0	0.0
Desarenador	1250.0	1156.3	93.8	7.5
Laguna Anaerobia	1156.3	346.9	809.4	70.0
Laguna Facultativa	346.9	130.1	216.8	62.5
Laguna de Pulimento	130.1	52.0	78.0	60.0
			Total=	95.8%

Tabla 27. Operación del sistema con la eficiencia máxima.

Operaciones y Procesos Unitarios	Concentración (kg/l)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Ce	Salida Cs	Removida Cr	
Rejilla	1250.0	1250.0	0.0	0.0
Desarenador	1250.0	1125.0	125.0	10.0
Laguna Anaerobia	1125.0	281.3	843.8	75.0
Laguna Facultativa	281.3	98.4	182.8	65.0
Laguna de Pulimento	98.4	34.5	64.0	65.0
			Total=	97.2%

Tabla 28. Balance del sistema con la eficiencia mínima.

Operaciones y Procesos Unitarios	Flujo másico (kg/día)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Me	Salida Ms	Removida Mr	
Rejilla	300.0	300.0	0.0	0.0
Desarenador	300.0	285.0	15.0	5.0
Laguna Anaerobia	285.0	99.8	185.3	65.0
Laguna Facultativa	99.8	39.9	59.9	60.0
Laguna de Pulimento	39.9	18.0	21.9	55.0
		282.0		kg/día

Me: Flujo másico de entrada
 Ms: Flujo másico de salida
 Mr: Masa removida



Tabla 29. Balance del sistema con la eficiencia media.

Operaciones y Procesos Unitarios	Flujo Másico (kg/día)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Me	Salida Ms	Removida Mr	
Rejilla	300.0	300.0	0.0	0.0
Desarenador	300.0	277.5	22.5	7.5
Laguna Anaerobia	277.5	83.3	194.3	70.0
Laguna Facultativa	83.3	31.2	52.0	62.5
Laguna de Pulimento	31.2	12.5	18.7	60.0

287.5 kg/día

Tabla 30. Balance del sistema con la eficiencia máxima.

Operaciones y Procesos Unitarios	Flujo Másico (kg/día)			Eficiencia de rem. DBO.
	Entrada Me	Salida Ms	Removida Mr	
Rejilla	300.0	300.0	0.0	0.0
Desarenador	300.0	270.0	30.0	10.0
Laguna Anaerobia	270.0	67.5	202.5	75.0
Laguna Facultativa	67.5	23.6	43.9	65.0
Laguna de Pulimento	23.6	8.3	15.4	65.0

291.7 kg/día

IX.4.3 Diseño de cárcamo

Cárcamo concentrador

Criterios de diseño

Tiempo de retención hidráulica $Tr_h =$		45.0 min
Gasto máx. ext. $Q_{max\ ext.} =$	13.52 l/s =	0.81 m ³ /min
Vol. requerido Cárcamo $V_{req\ ext.} = Tr_h \times Q_{max\ ext.} =$		36.5 m ³
Tirante máximo $T_i =$		3.5 m
Área resultante $A_r = V_{req} / T_i =$		10.43 m ²
Diámetro resultante $(D_r) =$	$\sqrt{\frac{4A}{\pi}}$	3.64 m
Diámetro Tipo $(D_t) =$		4.00 m
Área nueva $(A_n) =$		12.57 m ²
Volumen nuevo $V_d =$	$A_n \times T_i$	43.98 m ³
Nuevo tiempo de retención $N\ Tr_h =$		54.22 min



Área y volúmenes de sedimentos

Concentración de Sólidos Sedimentarios C S Sed.=	60.00 ml/l=	0.06 m ³	arena/m ³
			de agua
Volumen de Agua en cárcamo V _d =		43.98 m ³	
Volumen de sedimentos en cárcamo V _s =	V _d x C S Sed. =	2.64 m ³	
Tirante de sedimentos (T _{is})=		0.21 m	

Diámetro de succión

Velocidad de bombeo		2.5 m/s	
Gasto a bombear máximo=	2 x Q _{max} ext. =	27.04 l/s	= 0.027 m ³ /s
Área hidráulica del tubo=		0.011 m ²	
Diámetro de tubo requerido=	$\sqrt{\frac{4A}{\pi}}$	0.117 m=	4.62 "
Diámetro comercial (D _{ts}) =			6 "
Área nueva (A _s)=	$\frac{\pi \times D_{ts}^2}{4}$		0.018 m ²
Velocidad nueva (V _s) =	$\frac{Q}{A_s}$		1.48 m/s

Diámetro de descarga

Velocidad de descarga		0.6 m/s	
Gasto a bombear máximo=	2 x Q _{max} ext. =	0.027 m ³ /s	
Área hidráulica del tubo=	$\frac{Q}{V}$		0.045 m ²
Diámetro de tubo requerido=	$\sqrt{\frac{4A}{\pi}}$	0.240 m=	9.43 "
Diámetro comercial (D _{ts}) =			10 "
Área nueva (A _s)=	$\frac{\pi \times D_{ts}^2}{4}$		0.0507 m ²
Velocidad nueva V _s =	$\frac{Q}{A_s}$		0.53 m/s

Dimensionamiento final de cárcamo

Tirante máximo Ti =	3.5 m
Bordo libre	1.5 m
Tirante de sedimentos	0.21 m
Long tubo succión=	4.71 m
Altura total del Cárcamo	5.20 m



Cálculo de la potencia del sistema de bombeo

Tirante máximo $T_i =$		3.5 m
Desnivel desde espejo de agua a plataforma de bombeo (PI) =		1.5 m
Altura de Tanque de Cárcamo		5.20 m
Desnivel de plataforma de bombeo a descarga $\Delta Z =$		4 m
Altura total (Ht) =		14.2 m
Gasto a bombear máximo = $2 \times M_{ax} \text{ ext.} =$		0.027 m ³ /s
Eficiencia de bombeo $\eta =$		80 %
Potencia $P =$	$\left(\frac{Q \times \rho_{\text{agua}} \times Ht}{76} \right) \eta$	6 H.p.

Tiempo de Retención

PARA GASTO MEDIO:

Gasto medio ($Q_{med.}$) =	2.778 l/s	=	0.17 m ³ /min
Volumen llenado de cárcamo (V_d) =			43.98 m ³
Tiempo de retención hidráulica (Tr_h) =	$\frac{V_d}{Q_{med}}$	263.9 min	4.4 Hrs

PARA GASTO MINIMO:

Gasto mínimo (Q_{min}) =	1.389 l/s	=	0.08 m ³ /min
Tiempo de retención hidráulica (Tr_h) =	$\frac{V_d}{Q_{min}}$	527.8 min =	8.8 Hrs

Tiempo de Bombeo

Gasto a bombear =	0.027 m ³ /s	=	1.62 m ³ /min
Gasto máximo extraordinario =	13.52 l/s	=	0.81 m ³ /min
	Volumen		54.22 min
Tiempo de bombeo (T_b) =	$\frac{\text{Volumen}}{Q_{\text{bombeo}} - Q_{\text{max. ext}}}$		

Tiempo de llenado (T_{ll})	54.22 min
No. de ciclos por día = minutos x día / ($T_b + T_{ll}$)	13.3 ciclos
No. De Bombas =	3
Tiempo por bomba	4 hrs

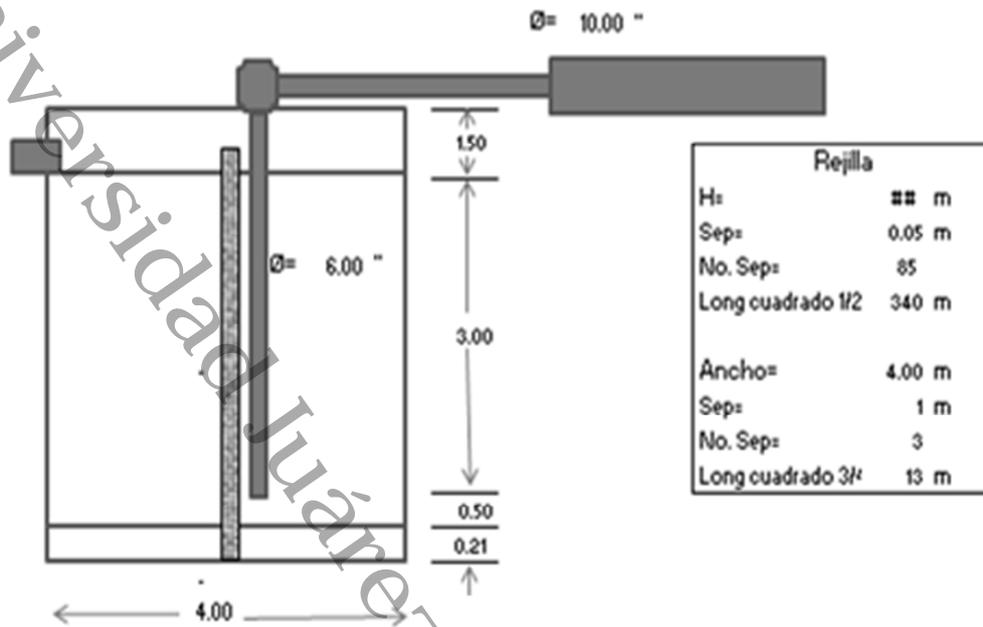


Figura 21. Corte transversal del cárcamo concentrador

IX.4.4 Diseño de canal de acceso

Canal de acceso

Datos:

No. de canales:	1
Gasto Máximo Extraordinario=	13.5 l/s
Gasto Medio=	2.8 l/s
Velocidad Max. =	0.60 m/s

Datos de Normas CNA

Ancho del canal (b) =	0.50 m
Velocidad en la rejilla (v _r)=	0.60 m / seg
Bordo libre (B)=	0.30 m
Velocidad en desarenador (v _D)=	0.30 m / seg (± 20 %)

Cálculo:

$$\text{Área del Canal} = \frac{\text{Gasto Max. Ext. (m}^3\text{/s)}}{\text{Vel. Max. (m/s)}} = 0.023 \text{ m}^2$$

Tirante hidráulico(h)

De $A = b * h$
 tenemos $h = A_r / b = 0.045 \text{ m}$
 Altura total del canal= $H = h + B = 0.345$

Altura total del canal (H)

Área hidráulica (A_r)

Borde libre (B) = 0.25 m



TABLA 31. Comparativo de velocidad calculada vs. Velocidad por norma

Velocidad propuesta para el $Q_{max,ext}$ (m/seg)	Área Hidráulica Actual (m^2)	Tirante Hidráulico Actual (m)	Altura Total Actual del Canal (m)	Revisión de velocidad en el desarenador para Q_{med} (m/seg)	VD norma (m/seg)			Comparación VD calculada CON VDmed norma
					Max.	Med	Min.	
0.90	0.0150	0.030	0.330	0.185	0.36	0.30	0.24	No cumple
1.20	0.0113	0.023	0.323	0.247	0.36	0.30	0.24	Si cumple

- $A_h = 0.01 \quad m^2$
- $h = 0.02 \quad m$
- $H = 0.32 \quad m$
- $v_D = 0.25 \quad m/s$
- $b = 0.50 \quad m$
- $B = 0.30 \quad m$

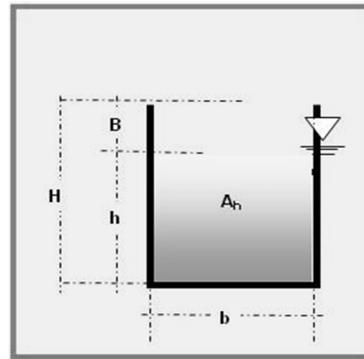


Figura 22.- Dimensiones del canal

Pendiente necesaria

$$V_c = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S^{1/2}$$

$n = 0.013$ para concreto

$$Rh = \frac{\text{Área hidráulica}}{\text{Perímetro mojado}}$$

Perímetro mojado = $2 \times 0.02 + 0.50 = 0.5451 \text{ m}$
 Radio hidráulico = 0.021 m

Pendiente $S = \left(\frac{V_c \times n}{Rh^{2/3}} \right)^2 = 1.07\%$



IX.4.5 Diseño de rejillas

Rejillas			
Datos	b =	0.50	m
	H =	0.32	m
	B =	0.30	m

Datos de Normas CNA

Espesor de solera (d) =	1/4	pulg.=	0.64	cm
Ancho de solera (a) =	1	pulg.=	2.54	cm
Separación entre soleras (e) =	1	pulg.=	2.54	cm
Separación a eje de soleras (z) =	1 1/4	pulg.=	3.18	cm
Inclinación de la rejilla (α) =	45	grados		
Eficiencia de rejilla para solera de espesor d (n) =	0.8			
Velocidad a través de las barras (v_1) =	0.6	m / seg		
Velocidad aguas arriba de la rejilla ($v_2 = 0.6n$) =	0.48	m / seg		
Cte. de la aceleración de la gravedad (g) =	9.81	m / seg ²		

Cálculos

Número de espacios generados (E_b)

$E_b = b/z = 15.75$ espacios

Ajuste de barras

No. de Barras = 15 Pza.

Ajuste de separación = 0.056 Pza.

Ajuste de canal

$b = 0.60$ m

Longitud de la barra (L)

$L = H / \text{sen } \alpha = 0.4561$ m

Soportes $b+0.10 = 0.70$ m

Longitud total de acero (L_a)

Barras = 6.84 10.15 m

Soportes = 2.09

Área útil en sección de rejillas (A_u)

$A_u = e * H * E_b = 0.1290$ m²

Área Total en sección de rejillas (A_t)

$A_t = A_u / n = 0.1613$ m²

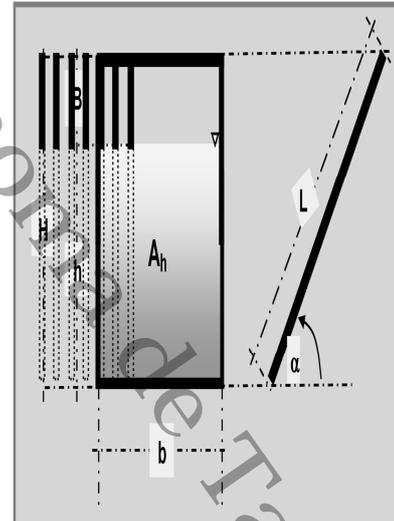


Figura 23.- Diagrama de ajuste en rejilla



Área de acero (A_a)

$$A_a = A_t - A_u = 0.0323 \quad m^2$$

Pérdida de carga en la rejilla (h_f)

$$h_f = [(v_1^2 - v_2^2) / 2g] * (1 / 0.7) = 0.0094$$

Área útil hidráulica en sección de rejillas (A_{uh})

$$A_{uh} = e * (H - B) * E_b = 0.0090 \quad m^2$$

Velocidad en la sección de la rejilla (v_{rej})

$$v_{rej} = Q_{máx.ext} / A_{uh} = 1.3675 \quad m / seg$$

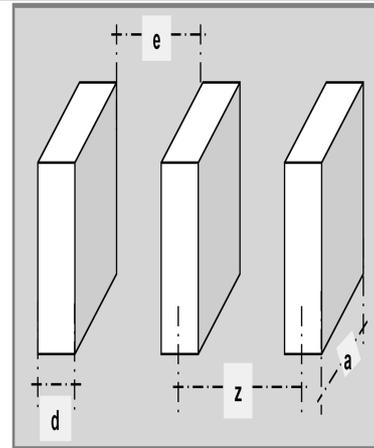


Figura 24.-Separación entre barras

IX.4.5 Diseño de desarenador

Desarenador

Velocidad Max. de Depósito=		0.3
Altura del canal H=		0.32
Velocidad de caída de partícula=		0.024
Constante del sistema C_s =		1.5
Longitud teórica del depósito $L_{dteor} = 15 H$		4.80
Longitud práctica del depósito $L_d = \left(\frac{Vel. Roy.}{Vel. Partícula} \times Tirante \right) C_s$		6.00
Longitud práctica- teórica del depósito $LD = 1.5 L_{dteor}$		7.20
Longitud promedio del depósito $L_D = (L_d + LD) / 2$		6.60
Volumen de arena		
Proporción de arena por cada 1000 m ³ de Agua P_a =		0.06
Frecuencia de desazolve (días) F=		3
Gasto medio=	1.4 l/s =	120.00
Volumen de Arena V_a	$V_a = Q_{máx.ext} \left(\frac{P_a}{1000} \right) F$	0.02
Ancho de canal A_c =		0.50
Área de desarenador $A_d = L_c \times A_c$		3.30
Profundidad de desarenador $P = V_s / A_d$		0.01
Ajuste por pérdida de carga		
V_1 = Velocidad de entrada del canal		0.60
V_2 = Velocidad al perder carga= 0.8 V_1		0.48
f_r = Factor de rugosidad del canal=		0.70
g= gravedad		9.81



Ajuste por pérdida de carga para rejilla limpia $h_{fl} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \left(\frac{1}{f_r} \right)$	0.009
Ajuste por pérdida de carga para rejilla sucia $h_{fs} = \frac{(2v_1)^2 - v_2^2}{2g} \left(\frac{1}{f_r} \right)$	0.088
Profundidad ajustada $P_d = P + h_{fs}$	0.095

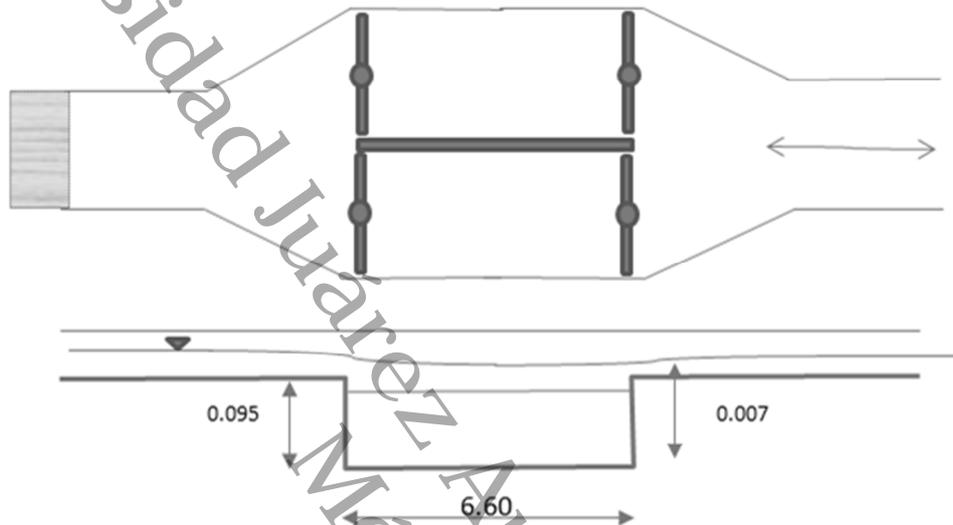


Figura 25.- Planta y sección longitudinal final del desarenador



IX.4.6 Diseño de trampa de grasas y aceites

Trampa de Grasas y Aceites

CRITERIOS DE DISEÑO

Tiempo de retención hidráulica $T_{rh} =$				15.0 min
Gasto máximo extraordinario $Q_{max\ ext.} =$	13.52	l/s	=	0.81 m ³ /min
Vol. req. Trampa $V_{req} = T_{rh} \times Q_{max\ ext.} =$				12.2 m ³
Tirante máximo $T_i =$				2 m
Área resultante $A_r =$	$V_{req} / T_i =$			6.08 m ²
Proporción del Área	$A = a \cdot b$			
	$a = 2b$			
	$A = 2b \cdot b = 2 b^2$			
	$b = \sqrt{A/2} =$			1.80 m
	$a =$			3.60 m
Vol. Llenado Trampa $V = a \cdot b \cdot T_i$				12.96 m ³
Nuevo tiempo de retención =				16.0 min

DIAMETRO DE TUBERIA DE ENTRADA Y SALIDA

Velocidad Max. =				0.60 m/s
Gasto máx. ext.	13.52	l/s =		0.014 m ³ /s
Área hidráulica del tubo =	$\frac{Q}{v}$			0.023 m ²
Diámetro de tubo requerido =	$\sqrt{\frac{4A}{\pi}}$	0.169 m =		6.67 "
Diámetro comercial (D_{ts}) =				8 "
Área nueva (A_s) =	$\frac{\pi \times D_{ts}^2}{4}$			0.0324 m ²
Velocidad nueva (V_s) =	$\frac{Q}{A_s}$			0.42 m/s

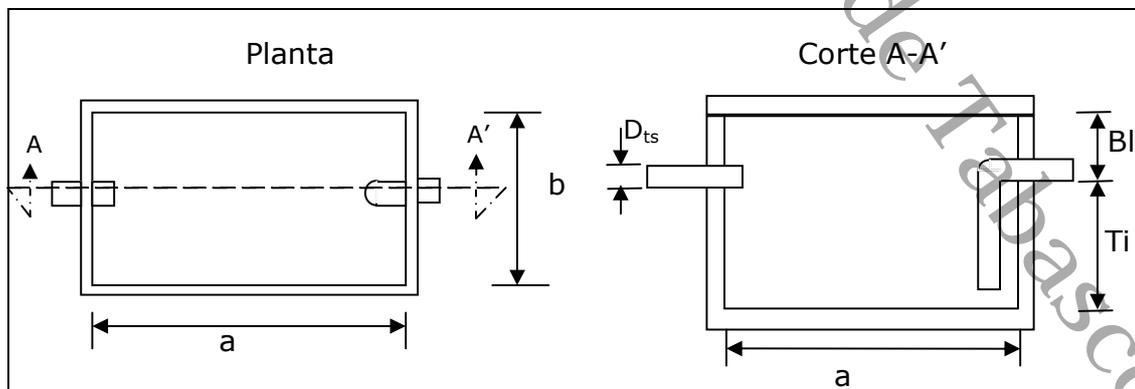


Figura 26. Diagrama en planta y corte de la trampa de grasas y aceites.

IX.4.7 Dimensionamiento de lagunas

Dimensionamiento de Lagunas Anaerobias LA1 Y LA2

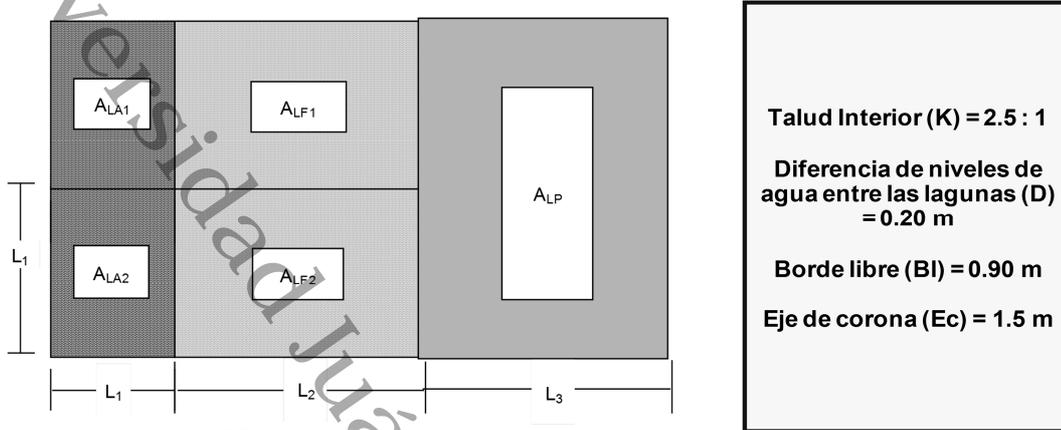


Figura 27. Arreglo de lagunas.

Datos de Normas CNA

- Tirante (h_1) = 3.0 m
- Eje de corona (Ec) = 1.5 m
- Bordo libre (Bl) = 0.9 m

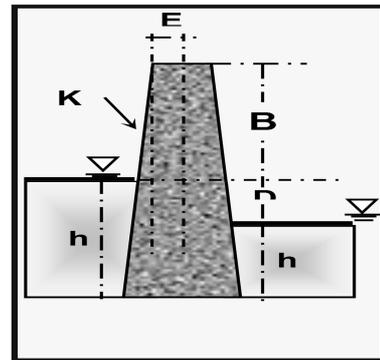


Figura 28. Diagrama de bordo y lagunas.

Cálculo de la Longitud al nivel medio ($L_{n.med}$)

$$\begin{aligned}
 A_{T LA} &= 160.00 \text{ m}^2 \\
 L_1^2 &= 160.00 \\
 L_1 &= (160.00)^{1/2} \\
 L_1 &= 12.65 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$L_1 = \text{Longitud de LA al nivel medio} = L_{n.med} = 12.70 \text{ m}$

Cálculos de Longitudes a diferentes niveles

		Lado corto =	
		Lado largo	
$L_{fondo} =$	$L_{n.med} - 2(h_1 * K) =$	5.20 m	No. de Cajas 3
$L_{n.med} =$		12.70 m	Relación L/B 3
$L_{n.máx.} =$	$L_{n.med} + 2(h_1 * K) =$	20.20 m	D entre cajas 4.23
$L_{b.int} =$	$L_{n.máx.} + 2(Bl * K) =$	24.70 m	12.7
$L_{c.cor} =$	$L_{b.int} + 2 Ec =$	27.70 m	

Cálculos de Áreas y Volúmenes

$A_{fondo} = (L_{fondo})^2 = 27.04 \text{ m}^2$



$$A_{n. med} = (L_{n. med})^2 = 161.29 \text{ m}^2$$

$$A_{n. máx.} = (L_{n. máx.})^2 = 408.04 \text{ m}^2$$

$$V_{n. med} = (A_{n. med} + A_{fondo})/2 * (h_1/2) = 141.25 \text{ m}^3$$

$$V_{n. máx.} = (A_{n. máx.} + A_{fondo})/2 * h_1 = 652.62 \text{ m}^3$$

Cálculos de la Potencia Mínima Requerida

$$HP_{mín.req} = V_{TQ1} * 0.0035 = 2.28 \text{ HP}$$

Dimensionamiento de Lagunas Facultativas LF1 y LF2

Datos de Normas CNA

Tirante (h_2) = 2.0 m

Eje de corona (E_c) = 1.5 m

Bordo libre (B_l) = 0.9 m

Desnivel de agua entre lagunas (D) = 0.2 m

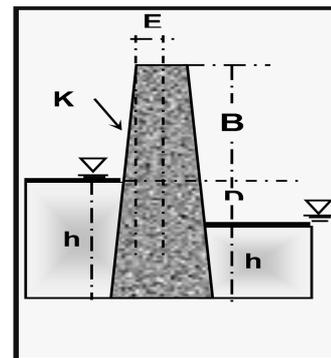


Figura 29. Diagrama de bordo y lagunas.

Datos

$$A_{LF2} = 420.00 \text{ m}^2$$

$$L * L_2 = A_2$$

$$L_2 = A_2 / L$$

Cálculo de L Lado corto al tirante medio.

$$L_{n. med} = L_{LF1} = 14.20 \text{ m}$$

$$\text{Longitud del LF1 al nivel medio} = L_{n. med} = 14.20 \text{ m}$$

Cálculo de L_2 Lado largo al tirante medio.

$$L_2 = 29.60 \text{ m}$$

Cálculos de Longitudes a diferentes niveles, en ambos sentidos

	Lado corto	Lado largo
$L_{fondo} = L_{n. med} - 2(h * K) =$	9.20 m	24.60 m
$L_{n. med} =$	14.20 m	29.60 m
$L_{n. máx.} = L_{n. med} + 2(h * K) =$	19.20 m	34.60 m
$=$		
$L_{b. int} = L_{n. máx.} + 2(B_l * K) =$	24.70 m	40.10 m
$L_{c. cor} = L_{b. int} + 2 E_c =$	27.70 m	43.10 m

Cálculos de Áreas y Volúmenes

$$A_{fondo} = L_{fondo \text{ lado corto}} * L_{fondo \text{ lado largo}} = 226.32 \text{ m}^2 \quad \text{No. de Cajas} = 3$$

$$A_{n. med} = L_{n. med \text{ corto}} * L_{n. med \text{ largo}} = 420.32 \text{ m}^2 \quad \text{Relación L/B} = 6.3$$

$$A_{n. máx.} = L_{n. máx. \text{ corto}} * L_{n. máx. \text{ largo}} = 664.32 \text{ m}^2 \quad \text{D entre cajas} = 9.9$$

$$V_{n. med} = (A_{n. med} + A_{fondo})/2 * (h_2/2) = 323.32 \text{ m}^3 \quad 29.6$$

$$V_{n. máx.} = (A_{n. máx.} + A_{fondo})/2 * (h_2) = 890.64 \text{ m}^3$$



Dimensionamiento de Laguna de Pulimento LP

Datos de Normas CNA

Tirante (h_2) =	1.5 m
Eje de corona (Ec) =	1.5 m
Bordo libre (Bl) =	0.9 m
Desnivel de agua entre lagunas (D) =	0.2 m

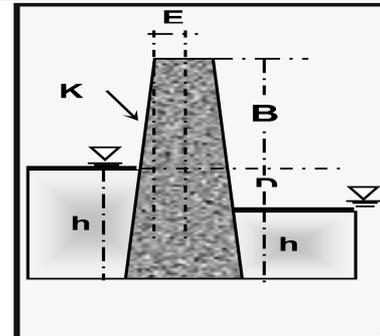


Figura 30. Diagrama de borde y lagunas.

Datos

$$A_{LP} = 1,120.00 \text{ m}^2$$

$$L * L_3 = A_3$$

$$L_3 = A_3 / L$$

Cálculo de L Lado largo al tirante medio.

$$L_{n.med} = L_{LF1} = 42.15 \text{ m}$$

Longitud del LF1 al nivel medio = $L_{n.med} = 42.15 \text{ m}$

Cálculo de L_2 Lado corto al tirante medio.

$$L_3 = 26.57 \text{ m}$$

Cálculos de Longitudes a diferentes niveles, en ambos sentidos

	Lado largo	Lado corto
$L_{fondo} = L_{n.med} - 2(h * K) =$	38.40 m	22.90 m
$L_{n.med} =$	42.15 m	26.57 m
$L_{n.máx.} = L_{n.med} + 2(h * K) =$	45.90 m	30.40 m
$L_{b.int} = L_{n.máx.} + 2(Bl * K) =$	52.40 m	36.90 m
$L_{c.cor} = L_{b.int} + 2 Ec =$	55.40 m	39.90 m

Cálculos de Áreas y Volúmenes

$A_{fondo} = L_{fondo} \text{ lado corto} * L_{fondo} \text{ lado largo} =$	879.36 m ²	No. de Cajas	3
$A_{n.med} = L_{n.med} \text{ lado corto} * L_{n.med} \text{ lado largo} =$	1,120.00 m ²	Relación L/B	1.9
$A_{n.máx.} = L_{n.máx.} \text{ lado corto} * L_{n.máx.} \text{ lado largo} =$	1,395.36 m ²	D entre cajas	8.9
$V_{n.med} = (A_{n.med} + A_{fondo}) / 2 * (h_2 / 2) =$	749.76 m ³		26.6
$V_{n.máx.} = (A_{n.máx.} + A_{fondo}) / 2 * (h_2) =$	1,706.04 m ³		

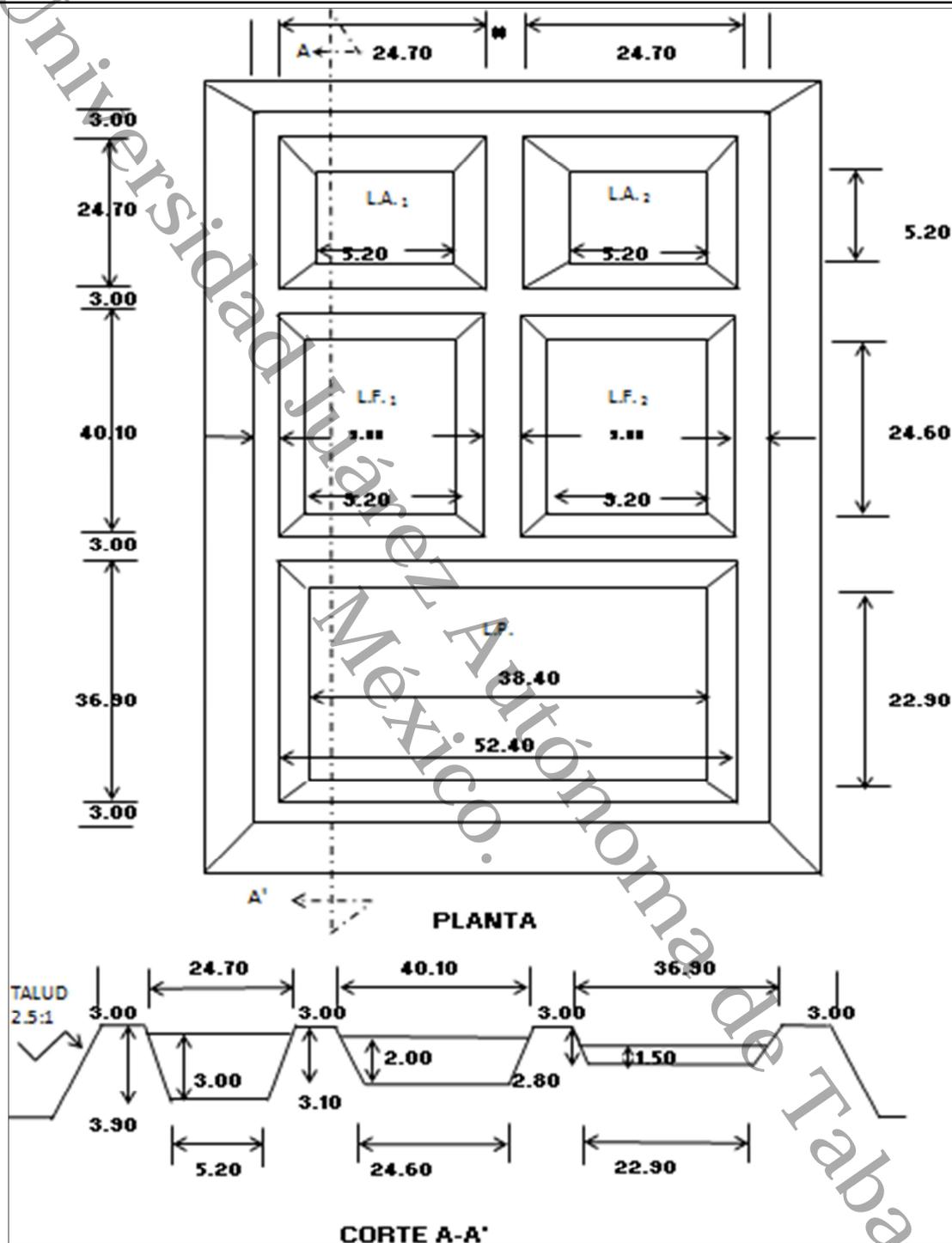


Figura 31. Dimensionamiento final sobre planta y sección longitudinal de lagunas.



IX.4.8 Temperatura del agua

Temperatura del agua de las lagunas

$$TL = (f A Ta + Q Ti) / (f A + Q)$$

Esta temperatura se utiliza para obtener el factor de carga orgánica

TL : Es la temperatura de las lagunas en ° C

Ta: Es la temperatura del ambiente (en invierno y en verano).

Ti: Temperatura del influente que generalmente es aproximadamente 4° C abajo de la Ta

f: Es un factor 0.483

A: Área superficial en m²

Q: Gasto en m³/día

Ta Invierno 24.3 °C

Ta Verano 29.6 °C

Ti influente Invierno 20.3 °C

Ti influente Verano 25.6 °C

f 0.483

A1 600.25 m²

A2 1,078.65 m²

A3 1,291.65 m²

Qmed 216.00 m³/día

Laguna Anaerobia

TL invierno 22.59 °C

TL Verano 27.89 °C

Laguna Facultativa

TL invierno 23.13 °C

TL Verano 28.43 °C

Laguna de Pulimento

TL invierno 23.27 °C

TL Verano 28.57 °C



IX.4.9 Cinética de degradación

Cálculo de las cargas biológicas y concentración del efluente de lagunas anaerobias

Datos de Normas CNA

K_{35} = Tasa de degradación a 35°C = 1.2

θ = Coeficiente de Temperatura de reacción = 1.085

DICIEMBRE

T_{LW} = Temperatura del agua en la laguna en °C = 22.59

Cálculos

$K_{TW} = K_{35} / \theta^{(35-TLW)}$	0.44	d^{-1}
$P_1 = P_0 / K_{TW}R_1 + 1$	36.44	$Kg / día$
$C_1 = (P_1/F vol)*1000$	303.65	mg / l

MAYO

T_{LS} = Temperatura del agua en la laguna en °C = 27.89

Cálculos

$K_{TS} = K_{35} / \theta^{(35-TLS)}$	0.67	d^{-1}
$P_1 = P_0 / K_{TS}R_1 + 1$	27.12	$Kg / día$
$C_1 = (P_1/F vol)*1000$	225.96	mg / l

Cálculo de las cargas biológicas y concentración del efluente de lagunas Facultativas

Datos de Normas CNA

K_{35} = Tasa de degradación a 35°C = 1.2

θ = Coeficiente de Temperatura de reacción = 1.085

DICIEMBRE

T_{LW} = Temperatura del agua en la laguna en °C = 23.13

Cálculos

$K_{TW} = K_{35} / \theta^{(35-TLW)}$	0.46	d^{-1}
$P_2 = P_1 / K_{TLW}R_2 + 1$	8.70	$Kg / día$
$C_2 = (P_2/V_d)*1000$	72.49	mg / l

MAYO

T_{LS} = Temperatura del agua en la laguna en °C = 28.43

Cálculos

$K_{TS} = K_{35} / \theta^{(35-TLS)}$	0.70	d^{-1}
$P_2 = P_1 / K_{TLS}R_2 + 1$	4.59	$Kg / día$
$C_2 = (P_2/V_d)*1000$	38.21	mg / l



Cálculo de las cargas biológicas y concentración del efluente de la laguna de pulimento

Datos de Normas CNA

K_{35} = Tasa de degradación a 35°C = 1.2

θ = Coeficiente de Temperatura de reacción = 1.085

DICIEMBRE

T_{LW} = Temperatura del agua en la laguna en °C = 23.27

Cálculos

$K_{TW} = K_{35} / \theta^{(35-TLW)}$ 0.46 d^{-1}
 $P_3 = P_2 / K_{TLW}R_2 + 1$ 2.06 Kg / día
 $C_2 = (P_2/V_d) * 1000$ 8.58 mg / l

MAYO

T_{LS} = Temperatura del agua en la laguna en °C = 28.57

Cálculos

$K_{TS} = K_{35} / \theta^{(35-TLS)}$ 0.71 d^{-1}
 $P_3 = P_2 / K_{TLS}R_2 + 1$ 33.49 Kg / día
 $C_2 = (P_2/V_d) * 1000$ 139.55 mg / l

IX.4.10 Ajustes de proyecto para lagunas

Datos Meteorológicos

	Mes más frío: Diciembre			
Precipitación (Pr_w)=	162.0	mm / mes =	0.162	m / mes
Evaporación (Ev_w)=	2.0	mm / mes =	0.002	m / mes
	Mes más cálido: Mayo			
Precipitación (Pr_s)=	227.4	mm / mes =	0.2274	m / mes
Evaporación (Ev_s)=	5.0	mm / mes =	0.005	m / mes
Infiltración (Inf) =	5	mm / día =	0.005	m / día



Ajuste de proyecto para laguna anaerobia

CONDICIONES DE TRABAJO A NIVEL MÁXIMO

	Mes más frío: Diciembre		Mes más cálido: Mayo	
<i>Precipitación por día</i> $Pr = (A_{n. \text{ máx.}} * Pr_i) / 30 =$	2.20	$m^3 / \text{ día}$	3.09	$m^3 / \text{ día}$
<i>Evaporación por día</i> $Ev = (A_{n. \text{ máx.}} * Ev_i) / 30 =$	0.03	$m^3 / \text{ día}$	0.07	$m^3 / \text{ día}$
<i>Infiltración por día</i> $Inf = A_{n. \text{ máx.}} * Inf_i =$	2.04	$m^3 / \text{ día}$	2.04	$m^3 / \text{ día}$
<i>Volumen neto</i> $V_{\text{neto}} = V_d - Ev + Pr - Inf =$	120.14	$m^3 / \text{ día}$	120.98	$m^3 / \text{ día}$
<i>Tiempo de retención</i> $R_1 = V_{n. \text{ máx.}} / V_{\text{neto}} =$	5.43	 día^{-1}	5.39	 día^{-1}
<i>Concentración total</i> $P_1 = P_0 / (K_t R_1 + 1) =$	29.68	$\text{ Kg} / \text{ día}$	29.83	$\text{ Kg} / \text{ día}$
<i>Retención de DBO</i> $R_{\text{retención}} = P_0 - P_1 =$	70.32	$\text{ Kg} / \text{ día}$	70.17	$\text{ Kg} / \text{ día}$
<i>Eficiencia</i> $E_{\text{eficiencia}} = (R_{\text{retención}} / P_0) * 100 =$	70.32	%	70.17	%
<i>Concentración del Influyente</i> $C_{\text{efluente}} = (P_1 / V_{\text{neto}}) * 1000 =$	247.07	$\text{ mg} / \text{ l}$	246.56	$\text{ mg} / \text{ l}$
<i>Carga Orgánica Superficial</i> $COS = R_{\text{retención}} / A_{n. \text{ máx.}} =$	1,723.30	$\text{ Kg} / \text{ Ha día}$	1,719.69	$\text{ Kg} / \text{ Ha día}$
<i>Carga Orgánica Volumétrica</i> $COV = R_{\text{retención}} / V_{n. \text{ máx.}} =$	107.75	$\text{ g} / \text{ m}^3 \text{ día}$	107.52	$\text{ g} / \text{ m}^3 \text{ día}$



Ajuste de proyecto para laguna facultativa

CONDICIONES DE TRABAJO A NIVEL MÁXIMO

	Mes Diciembre	más frío:	Mes Mayo	más cálido:
<i>Precipitación por día</i> $Pr = (A_{n. \text{máx.}} * Pr_i) / 30 =$	3.59	$m^3 / \text{día}$	5.04	$m^3 / \text{día}$
<i>Evaporación por día</i> $Ev = (A_{n. \text{máx.}} * Ev_i) / 30 =$	0.04	$m^3 / \text{día}$	0.11	$m^3 / \text{día}$
<i>Infiltración por día</i> $Inf = A_{n. \text{máx.}} * Inf_i =$	3.32	$m^3 / \text{día}$	3.32	$m^3 / \text{día}$
<i>Volumen neto</i> $V_{\text{neto}} = V_d - Ev + Pr - Inf =$	120.22	$m^3 / \text{día}$	121.60	$m^3 / \text{día}$
<i>Tiempo de retención</i> $R_1 = V_{n. \text{máx.}} / V_{\text{neto}} =$	7.41	día^{-1}	7.32	día^{-1}
<i>Concentración total</i> $P_2 = P_1 / (K_t R_2 + 1) =$	6.78	$\text{Kg} / \text{día}$	6.88	$\text{Kg} / \text{día}$
<i>Retención de DBO</i> $R_{\text{retención}} = P_1 - P_2 =$	22.90	$\text{Kg} / \text{día}$	22.95	$\text{Kg} / \text{día}$
<i>Eficiencia</i> $E_{\text{eficiencia}} = (R_{\text{retención}} / P_1) * 100 =$	77.14	%	76.94	%
<i>Concentración del Influyente</i> $C_{\text{efluente}} = (P_2 / V_{\text{neto}}) * 1000 =$	56.43	mg / l	56.57	mg / l
<i>Carga Orgánica Superficial</i> $COS = R_{\text{retención}} / A_{n. \text{máx.}} =$	344.68	$\text{Kg} / \text{Ha día}$	345.48	$\text{Kg} / \text{Ha día}$
<i>Carga Orgánica Volumétrica</i> $COV = R_{\text{retención}} / V_{n. \text{máx.}} =$	25.71	$\text{g} / m^3 \text{ día}$	25.77	$\text{g} / m^3 \text{ día}$



Ajuste del proyecto para laguna de pulimento

CONDICIONES DE TRABAJO A NIVEL MÁXIMO

	Mes más frío: Diciembre	Mes más cálido: Mayo
<i>Precipitación por día</i> $Pr = (A_{n. \text{máx.}} * Pr_i) / 30 =$	7.53 $m^3 / \text{día}$	10.58 $m^3 / \text{día}$
<i>Evaporación por día</i> $Ev = (A_{n. \text{máx.}} * Ev_i) / 30 =$	0.09 $m^3 / \text{día}$	0.23 $m^3 / \text{día}$
<i>Infiltración por día</i> $Inf = A_{n. \text{máx.}} * Inf_i =$	6.98 $m^3 / \text{día}$	6.98 $m^3 / \text{día}$
<i>Volumen neto</i> $V_{\text{neto}} = V_d - Ev + Pr - Inf =$	120.47 $m^3 / \text{día}$	123.37 $m^3 / \text{día}$
<i>Tiempo de retención</i> $R_1 = V_{n. \text{máx.}} / V_{\text{neto}} =$	14.16 día^{-1}	13.83 día^{-1}
<i>Concentración total</i> $P_3 = 2 P_2 / (K_t R_3 + 1) =$	1.80 $\text{Kg} / \text{día}$	1.87 $\text{Kg} / \text{día}$
<i>Retención de DBO</i> $R_{\text{retención}} = P_2 - P_3 =$	4.98 $\text{Kg} / \text{día}$	5.01 $\text{Kg} / \text{día}$
<i>Eficiencia</i> $E_{\text{eficiencia}} = (R_{\text{retención}} / P_1) * 100 =$	73.43 %	72.88 %
<i>Concentración del Influyente</i> $C_{\text{efluente}} = (P_3 / V_{\text{neto}}) * 1000 =$	14.96 mg / l	15.12 mg / l
<i>Carga Orgánica Superficial</i> $COS = R_{\text{retención}} / A_{n. \text{máx.}} =$	35.70 $\text{Kg} / \text{Ha día}$	35.93 $\text{Kg} / \text{Ha día}$
<i>Carga Orgánica Volumétrica</i> $COV = R_{\text{retención}} / V_{n. \text{máx.}} =$	2.92 $\text{g} / \text{m}^3 \text{ día}$	2.94 $\text{g} / \text{m}^3 \text{ día}$

Condiciones globales de trabajo del sistema

<i>Retención de DBO</i> $R_{\text{retención}} = P_0 - P_3 =$	198.20 $\text{Kg} / \text{día}$	198.13 $\text{Kg} / \text{día}$
<i>Eficiencia</i> $E_{\text{eficiencia}} = (R_{\text{retención}} / P_0) * 100 =$	99.10 %	99.07 %
<i>Concentración del Efluente</i> $C_{\text{efluente}} = (P_3 / V_{\text{neto}}) * 1000 =$	14.96 mg / l	15.12 mg / l



IX.4.11 REMOCIÓN DE COLIFORMES

Remoción de Coliformes Totales del Sistema Anaerobio

Datos de la laguna anaerobia

Temperatura del mes más frío	22.59	°C
Concentración del influente	1.82E+06	NMP/100 ml
Tiempo de retención hidráulico	4	días
Tirante de la laguna	3	m

Constante de remoción bacteriana

$$K_{CF} = 0.84(1.07)^{TL-20}$$

$$K_{CF} = 1.001 \text{ día}^{-1}$$

Relación Largo -Ancho de la Laguna

Largo =	12.70 m
Ancho =	12.70 m
L/B =	1

Coefficiente de dispersión (¥)

x=	1	
a=	-0.26118	$¥ = x / (a+bx+cx^2)$
b=	0.25392	
c=	1.0136	$¥ = 0.994$

$$\alpha = (1+4(K_{CF})(R)(¥))^{1/2}$$

$$\alpha = 4.113$$

Concentración del efluente

$$C_{FE} = (C_{fi})(4\alpha_E^{1/2¥}) / ((1+\alpha)^2 E^{(\alpha/2¥)} - (1-\alpha)^2 E^{-\alpha/2¥})$$

$$C_{FE} = 239079 \text{ NMP/100 ml}$$



Remoción de Coliformes Totales del Sistema Facultativo

Datos de la laguna anaerobia

Temperatura del mes más frío	23.13	°C
Concentración del influente	2.39E+05	NMP/100 ml
Tiempo de retención hidráulico	7	días
Tirante de la laguna	2	m

Constante de remoción bacteriana

$$K_{CF} = 0.84(1.07)^{TL-20}$$

$$K_{CF} = 1.038 \text{ día}^{-1}$$

Relación Largo/ Ancho de la Laguna

Largo =	29.60 m
Ancho =	14.20 m
L/B =	2.08

Coefficiente de dispersión (¥)

x =	2.08450704	
a =	-0.26118	$¥ = x / (a+bx+cx^2)$
b =	0.25392	
c =	1.0136	$¥ = 0.446$
		$\alpha = (1+4(K_{CF})(R)(¥))^{1/2}$
		$\alpha = 3.737$

Concentración del efluente

$$C_{FE} = (C_{fi})(4\alpha_E^{1/2¥}) / (1+\alpha)^2 E^{(\alpha/2¥)} - (1-\alpha)^2 E^{-\alpha/2¥}$$

$$C_{FE} = 3020 \text{ NMP/100 ml}$$



Remoción de Coliformes Totales del Sistema de Pulimento

Datos de la laguna facultativa

Temperatura del mes más frío	23.27	°C
Concentración del influente	3.02E+03	NMP/100 ml
Tiempo de retención hidráulico	7	días
Tirante de la laguna	1.5	m

Constante de remoción bacteriana

$$K_{CF} = 0.84(1.07)^{TL-20}$$

$$K_{CF} = 1.048 \text{ día}^{-1}$$

Relación Largo Ancho de la Laguna

Largo =	42.15 m
Ancho =	26.57 m
L/B =	1.59

Coefficiente de dispersión (¥)

x =	1.59	
a =	-0.26118	$¥ = x / (a+bx+cx^2)$
b =	0.25392	
c =	1.0136	¥ = 0.589
		$\alpha = (1+4(K_{CF})(R)(¥))^{1/2}$
		$\alpha = 4.277$

Concentración del efluente

$$C_{FE} = (C_{fi})(4\alpha E^{1/2¥}) / (1+\alpha)^2 E^{(\alpha/2¥)} - (1-\alpha)^2 E^{-\alpha/2¥}$$

$$C_{FE} = 66 \text{ NMP/100 ml}$$



IX.5 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DE LA PLANTA

La planta diseñada tiene las siguientes características de funcionamiento:

El agua residual a tratar será tomada del colector general de la DACBiol mediante un cárcamo de 45 minutos de retención hidráulica, con un tirante máximo de 3.5 metros, un diámetro de 4.00 metros, dentro del cual al agua residual le será retenida objetos flotantes o de arrastre de diámetros mayores a 2" (5 cm) y será extraída por bombas de 6 H.P. e impulsada a través de una línea de tubería de acero de 10" de diámetro hasta la ubicación de la planta hasta la caja receptora.

El gasto al llegar a la planta será dividido en 2 secciones, pasará por un sistema de rejillas donde nuevamente será cribado reteniendo sólidos mayores de 1" (2.54 cm) que serán extraídos de forma manual mediante rastrillos transitando luego hacia desarenadores donde por disminución de velocidad provocada por una ampliación de la sección depositará los sólidos granulares arrastrados (arenas), transitando luego por una trampa de grasas para eliminar estas pasando al sistema lagunar.

El gasto llegará primeramente a dos lagunas anaerobias, donde cada módulo presenta las siguientes características de diseño, un volumen de 652.62 m³ con un tiempo de retención de 4 días, una concentración de entrada a de 184.0 kg/día y de salida de 92.0 Kg/día, alcanzando una eficiencia de remoción mínima es de 21.5 % y la máxima de 50%.

Después de pasar por las lagunas anaerobias el flujo entrará a dos lagunas facultativas que fueron diseñadas para un volumen de 890.64 m³, con un tiempo de retención de 7 días, la concentración de entrada a este tanque será de 92.0 Kg/día y la de salida de 18.4 Kg/día, por lo que se considera una eficiencia mínima de 75.0 % y una eficiencia máxima de 80 %.

Como parte final de proceso, el agua proveniente de las lagunas facultativas se conducen a una laguna de maduración, recibiendo un volumen de 1,706.04 m³ y con un tiempo de retención de 7 días, la concentración de entrada se pretende de 18.4 Kg/día y se estima una concentración de salida de 14.7 Kg/día por lo que se estima una eficiencia mínima de 77.5 % y una eficiencia máxima del 80%.

El agua descargará a un canal que va al escurrimiento natural que cruza el predio, por lo que la eficiencia exigida es de 74.24 - 87.12 % y el proceso presenta una eficiencia de diseño de 93.0 – 97.2 %, por lo que esta alternativa cumple con los parámetros requeridos para poder descargar el agua tratada a cuerpos de agua. En el Anexo 2 se presenta el sembrado final del sistema de tratamiento construido.



IX.6 PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN

El presente presupuesto es un valor aproximado con precios unitarios del año 2013, para su construcción deberán hacerse las actualizaciones correspondientes, para mayor detalle por partida específica se presenta el documento anexo de catálogo de conceptos correspondientes en forma digital (Anexo A).

Tabla 32. Resumen de partidas presupuestales

CLAVE	CONCEPTO	IMPORTE
A	Cárcamo	261,086.02
B	Línea de descarga	222,454.32
C	Caja de entrada	178,096.96
D	Canal	71,014.24
E	Desarenador	26,220.97
F	Caja de intercambio	18,983.29
G	Trampa de grasas y aceites	63,990.07
H	Bordos	2,801,996.64
I	Cajas de cambio de nivel	1,912,898.30
J	Caja de salida	300,812.18
K	Camino de acceso	2,590,085.62
	SUBTOTAL	8,447,638.60
	16% I.V.A.	1,351,622.18
	TOTAL	\$ 9,799,260.78



Capítulo X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

X.1 CONCLUSIONES

El volumen actual de descarga de aguas residuales en la DACBiol presenta como gasto diario promedio de 180 m³/día, rebasa plenamente a la planta existente, de 40.00 m³/día de gasto nominal. Con la planta de lagunas de Estabilización, se absorben como gasto medio de 240 m³/día y un máximo extraordinario de 1,168 m³/día. La planta operará a su nivel máximo para una población estimada de 5,000 alumnos (dentro de 22 años), estimándose para entonces hacer las adecuaciones para una posible ampliación.

La temperatura del agua está dentro de normativa ya que estas temperaturas (22.6 a 28.6 °C) no rebasan el valor 40°C.

Aunque los niveles de descarga de grasas y aceites no son significativos, se estima que deberán ser removidos de la Trampa una vez por año.

No obstante los métodos convencionales ocupan áreas menores, los métodos naturales a pesar de ocupa un área mayor presentan las ventajas de ser más económicas en operación y mantenimiento. El tratamiento por medio lagunas Anaerobias - Facultativas – Maduración es una alternativa viable de implementar en el tratamiento de las aguas residuales de la DACBiol, por presentar menores costos de operación y construcción además de cumplir con la eficiencia requerida del sistema, alcanzado eficiencias de diseño de remoción de DBO de 93.0 a 97.2 %.

La planta de tratamiento Anaerobia-facultativa-maduración ocupará una extensión de 1.5 ha, siendo 1 ha en el proceso de las aguas y 0.5 en instalaciones y servicios requeridos.

X.2 RECOMENDACIONES PARA LA PUESTA EN MARCHA

Para dar inicio a las actividades de la planta deben de tenerse en cuenta que esta planta ha sido diseñada para una población mayor que la actual, por ello se recomienda poner en función solo una parte de la misma, teniendo el cuidado de llenarla primeramente con agua limpia, para evitar que las lagunas generen condiciones sépticas y para permitir los microorganismos tengan tiempo para desarrollarse. (Mara *et al*, 1992). Además se recomienda llenar las lagunas una vez construidas para evitar el agrietamiento de terraplenes y el crecimiento de maleza.

X.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Antes de poner en operación la planta de tratamiento, deberá integrarse a este proyecto un manual de procedimientos para el manejo de la planta, así



como para su mantenimiento previendo los deterioros que puedan ser causados por fauna nociva y por los procesos mismos de operación. Asimismo deberá incluirse un plan de verificación de eficiencias en los procesos unitarios y para la eliminación de los residuos que presente la planta (sólidos, lodos y vegetación acuática).

Es además importante establecer las medidas de seguridad del personal que labore en la planta, estableciendo de carácter obligatorio el uso del equipo de seguridad, se recomienda cercar las instalaciones para impedir el paso de personal no autorizado.

Deberá contemplarse la elaboración de un programa de mantenimiento que establezca los lineamientos preventivos y correctivos de ser necesarios para evitar problemas que puedan ser de gran impacto económico resolver.

Debe garantizarse que quién labore en esta planta sea personal calificado, estableciendo sus funciones y responsabilidades para poder avalar el buen funcionamiento de la planta.



CAPITULO XI. LITERATURA CITADA

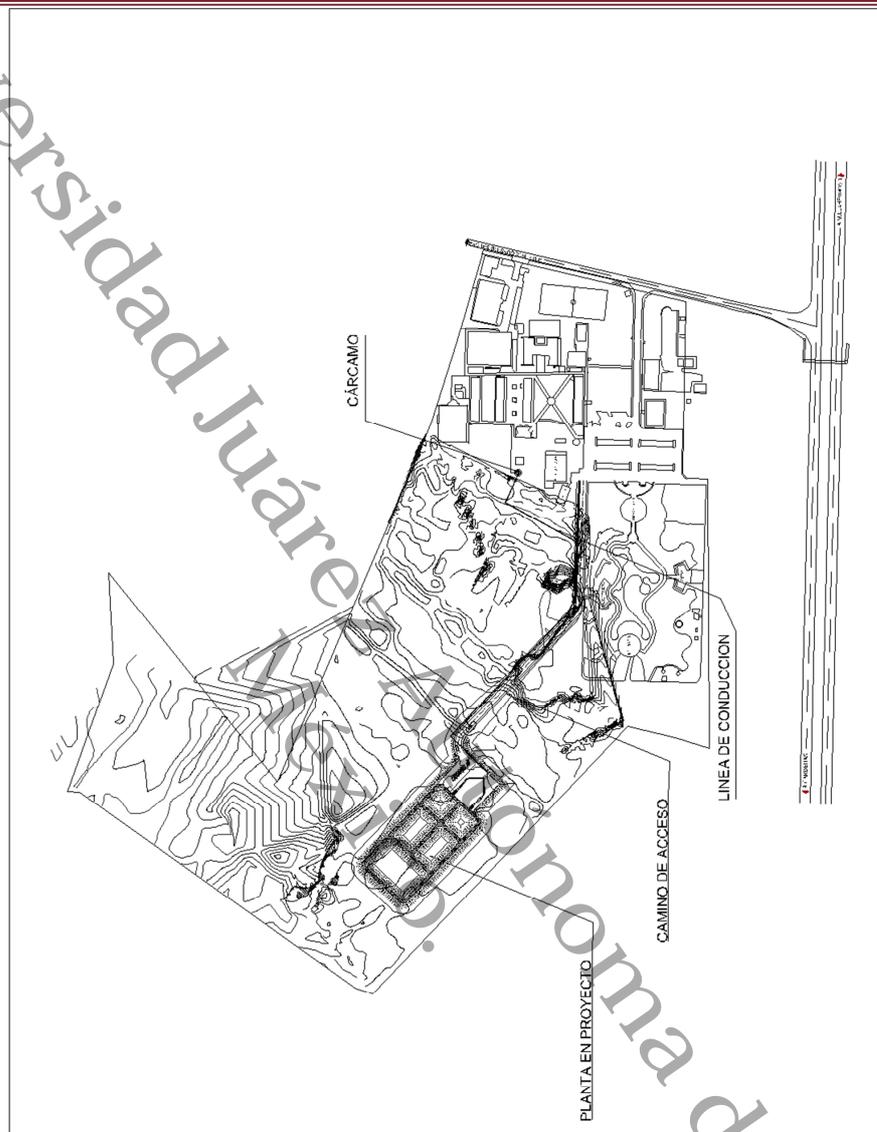
- CNA / SGC. Comisión Nacional del Agua. Unidad de Agua Potable y Saneamiento. Gerencia de Potabilización y Tratamiento. *Tratamiento de aguas residuales. Informe. (2003).*
- CNA. Comisión Nacional del Agua. Inventario Nacional de Plantas de Tratamientos Para Agua Residual Doméstica. Unidad de Agua Potable y Saneamiento. Gerencia de Potabilización y Tratamiento. *Tratamiento de aguas residuales. Informe 2006.*
- CNA, Comisión Nacional del Agua. (2007). Gerencia de Proyectos de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* Méx. D.F.
- Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización* (Vol. Vol. I y II.). México, D.F., México: Mc. Graw Hill.
- CONAGUA. (2012). *Libro Blanco CONAGUA-01, Programa Integral Hídrico de Tabasco.* México, D.F.: CNA.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados.* Colombia.
- Feachem, R. G., et al. (1983). *Sanitation and Disease: Aspect of Excreta and Wastewater Management.* Washigton, D.C.: The World Bank.
- Foresti, E., Zaiat, M., & Valleró, M. (2006). Anaerobic Processes as the Core Technology for Sustainable Domestic Wastewater Treatment Consolidated Applications, New Trenes, Perspectives, and Challenges.
- Fu, C. Y. (2010). Monitoring and evaluation of removal of pathogens at municipal wastewater treatment plants. *Water Science & Technology* .
- López Ocaña, G. (2012). *Evaluación de la eficiencia y Prueba de Tratabilidad de la PTAR de la DACBiol-UJAT.*
- Lordache, Ş. &. (2009). Parameters Monitoring for Process Control in Municipal Wastewater Treatment Plant. *Petroleum - Gas* , 67-72.
- Mara, D., & Pearson, H. (1992). *Waste Stabilization Ponds: Design Manual for Eastern Africa.* England: LeeDs.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. (30 de abril de 1997). Norma Oficial Mexicana. *Diario Oficial de la Federación* .
- Osorio, J. R., Canepa, J. R., & Paz, R. C. (2010). http://www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab/ediciones/32/g_R_eyes_etal_2011_32.pdf. Recuperado el 29 de junio de 2012
- Padrón López, R. M. (2011). *Propuesta de Plan de Trabajo.* Villahermosa, Tabasco: UJAT.
- Reed, M. S., & R.A., C. (1989). *Natural Systems for Waste Management and Treatment.*
- Romero Álvarez, H., García Ollervides, J., & Janetti Dávila, J. (Noviembre 3-7 1996). Las Vicisitudes de las Plantas de Tratamiento de las Aguas Residuales en México. *Memoria XXV. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.* México, D.F.
- SAGARPA. (2010). *Presa con Cortina de Tierra Compactada.*
- Sotelo, G. (1974). *Hidráulica General.* Texas: Editorial Limusa.
- Syafalni, S. S., Abustan, I., Dahlan, I., Chan Kok, W., & Umar, G. (2012). Treatment of Dye wastewater using granular activated carbon and zeolite filter. *Moderrn applied Sciece* , 37-51.



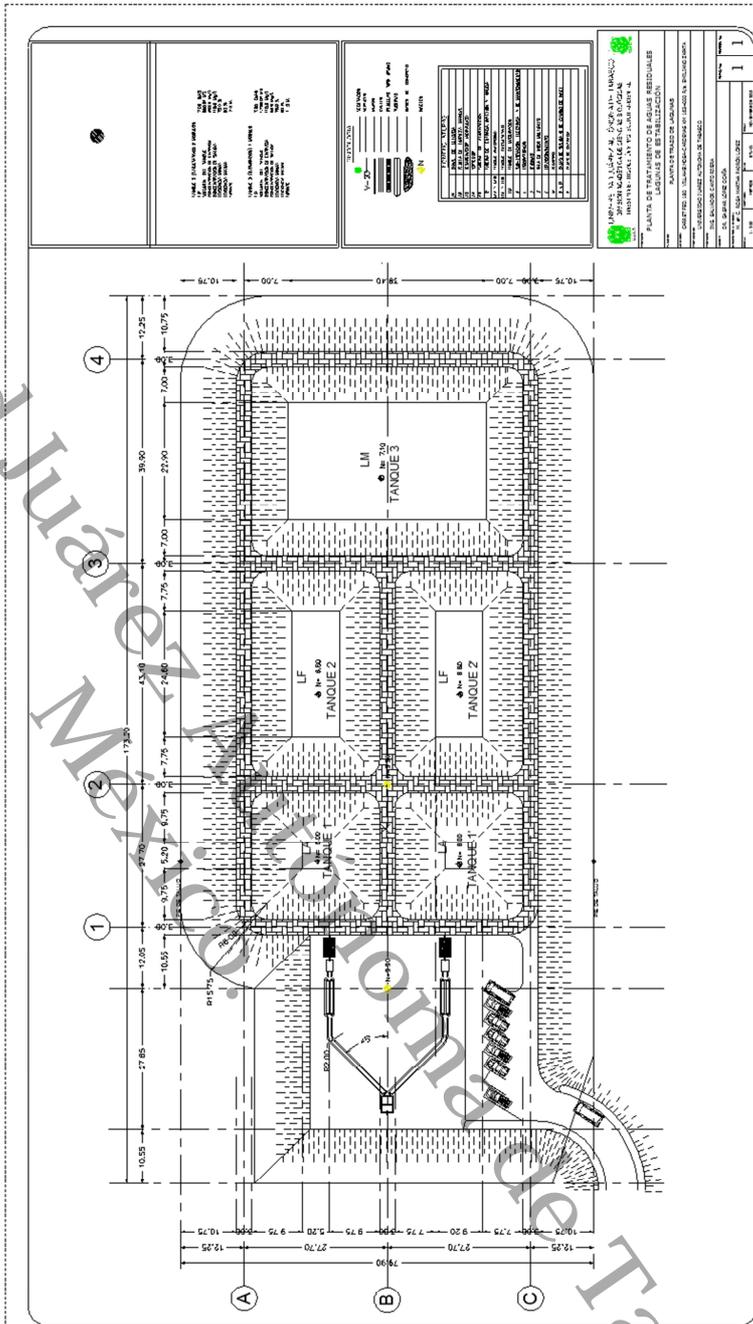
- Tchobanoglous, C. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones*. Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.
- Toledo, A. (21 de diciembre de 2003). <http://www.mapuche.info/fakta/austral031222.html>. Recuperado el 18 de junio de 2012
- UJAT. (30 de 06 de 2011). www.ujat.mx/interioradentro.aspx?ID=16244&NODO=66. Recuperado el 15 de 08 de 2012
- Velázquez Villegas, G. (1994). *Los Recursos Hídricos del Estado de Tabasco*. Cunduacán, Tabasco: Universidad Juárez de Tabasco.
- Williamms, J., Bahgat, M., May, E., Ford, M., & Butler, J. (1995). *Mineralisation and Pathogen Removal in Gravel Bed Hidroponics Constructed Wetland*. Wat. Sci. Tech.
- Yáñez, F. (2007). *Lagunas de Estabilización*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria.



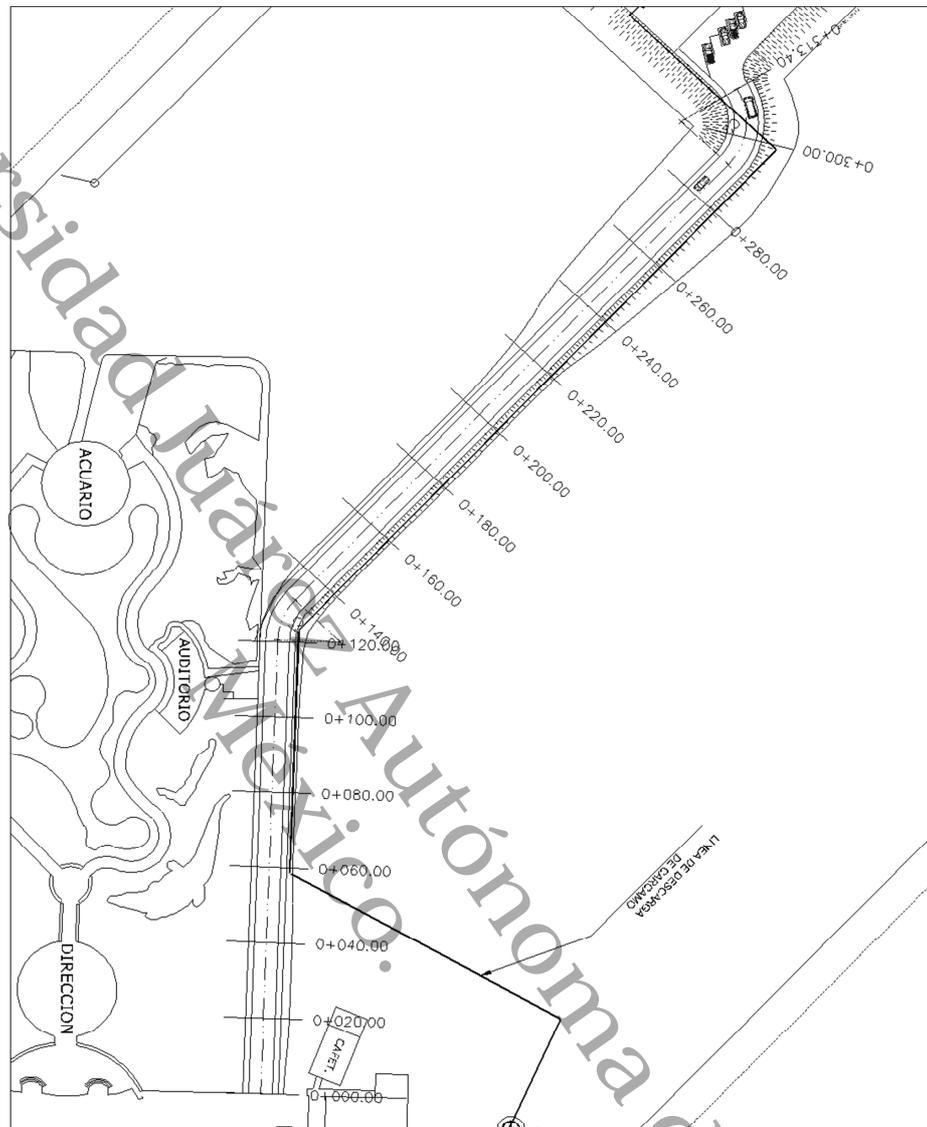
CAPÍTULO XII. ANEXOS



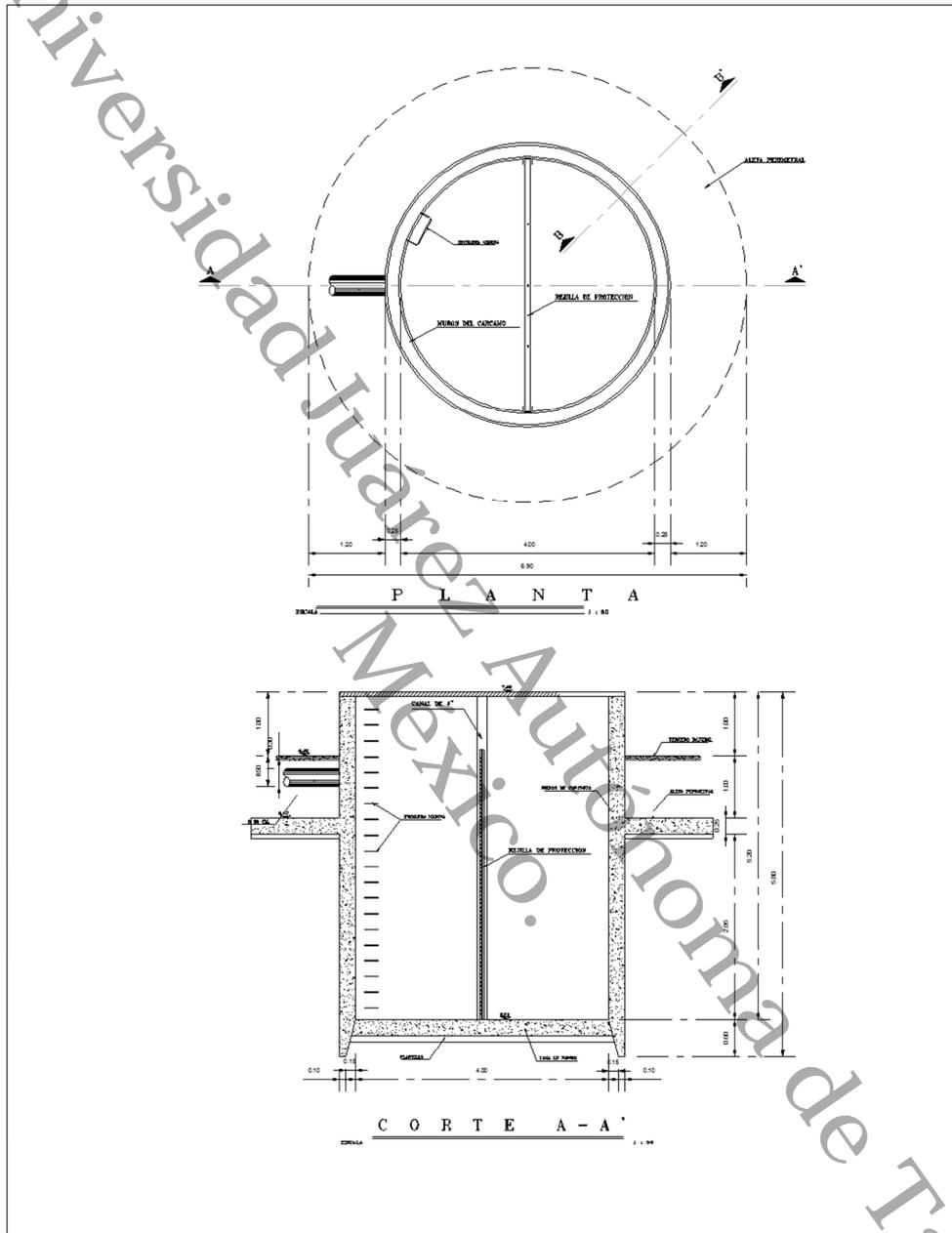
Anexo 1. *Planta Topográfica con Sembrado de Planta y Camino de Acceso*



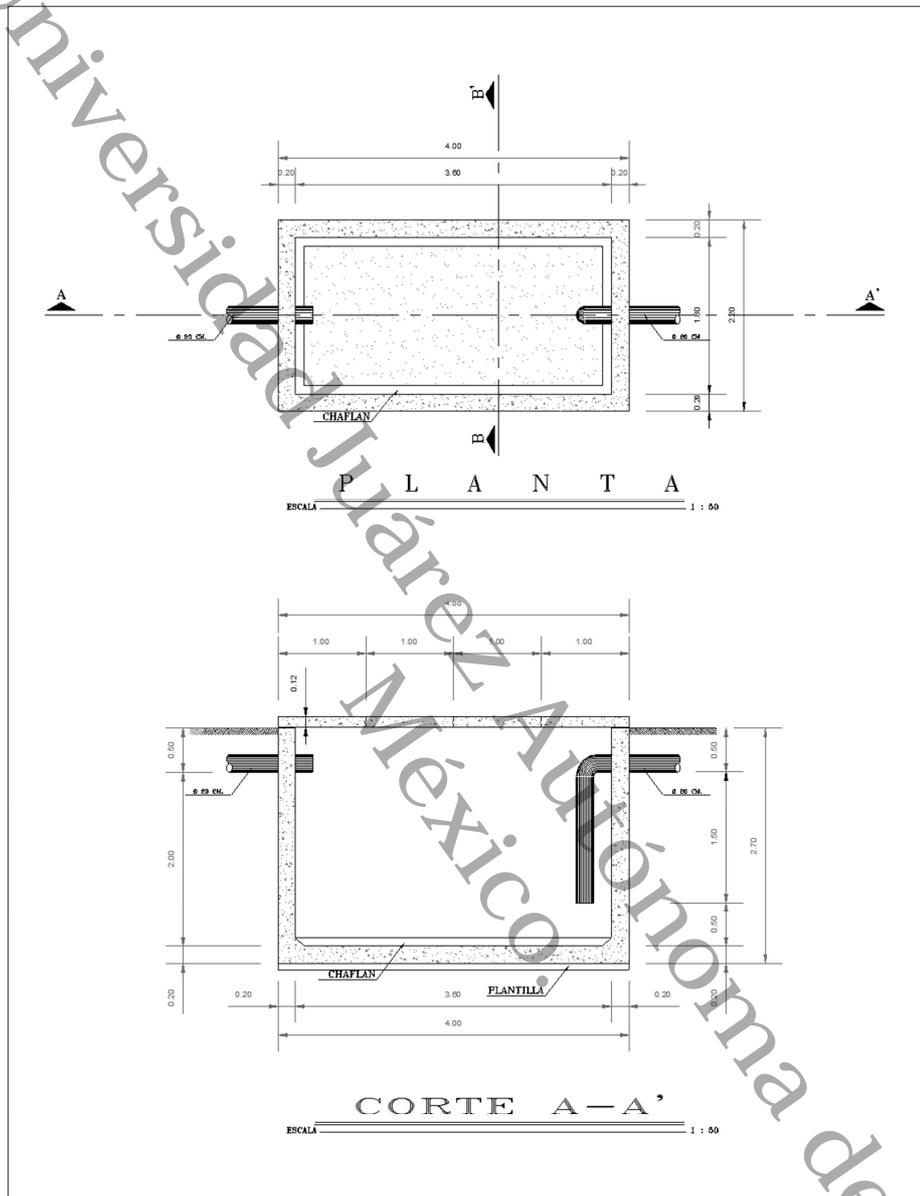
Anexo 2. Planta de Trazo Laguna de Estabilización



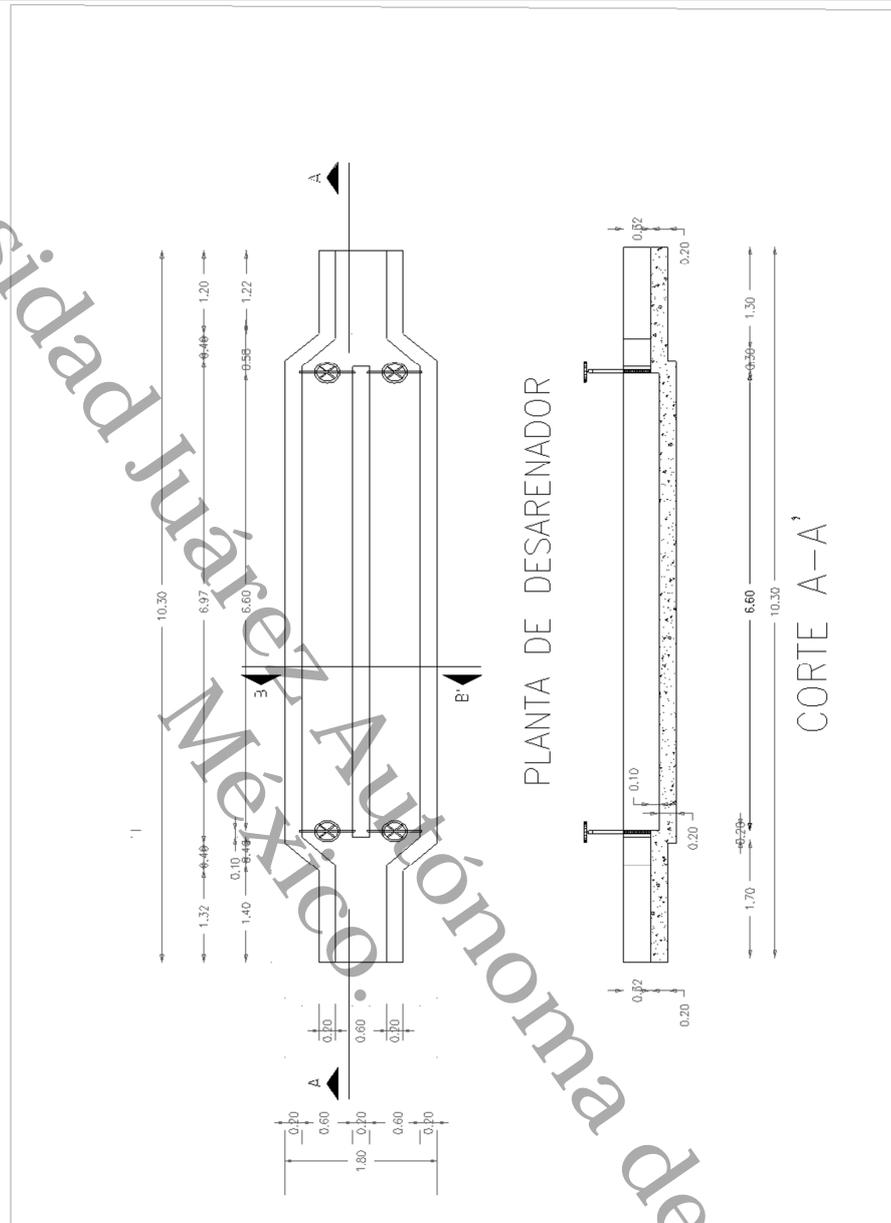
Anexo 3. Planta de trazo camino de acceso a la planta de tratamiento



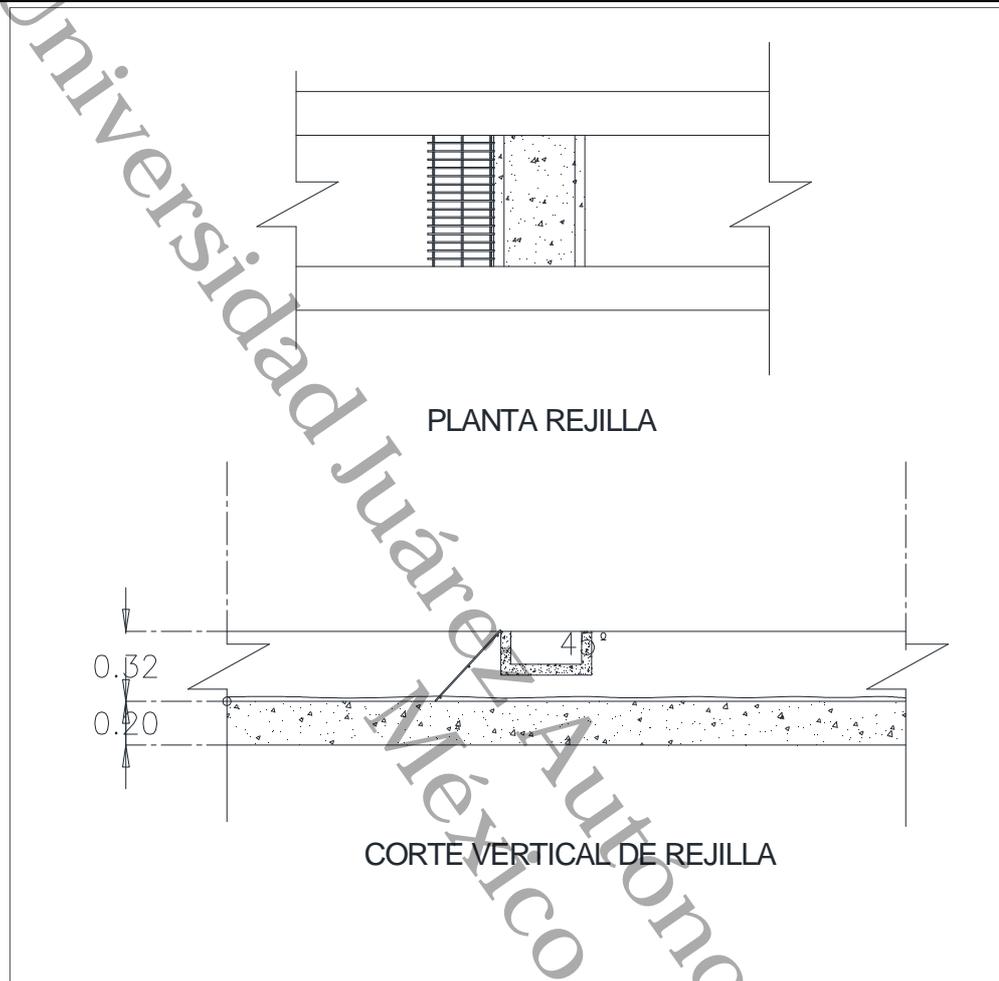
Anexo 4. Planta y corte del cárcamo de bombeo



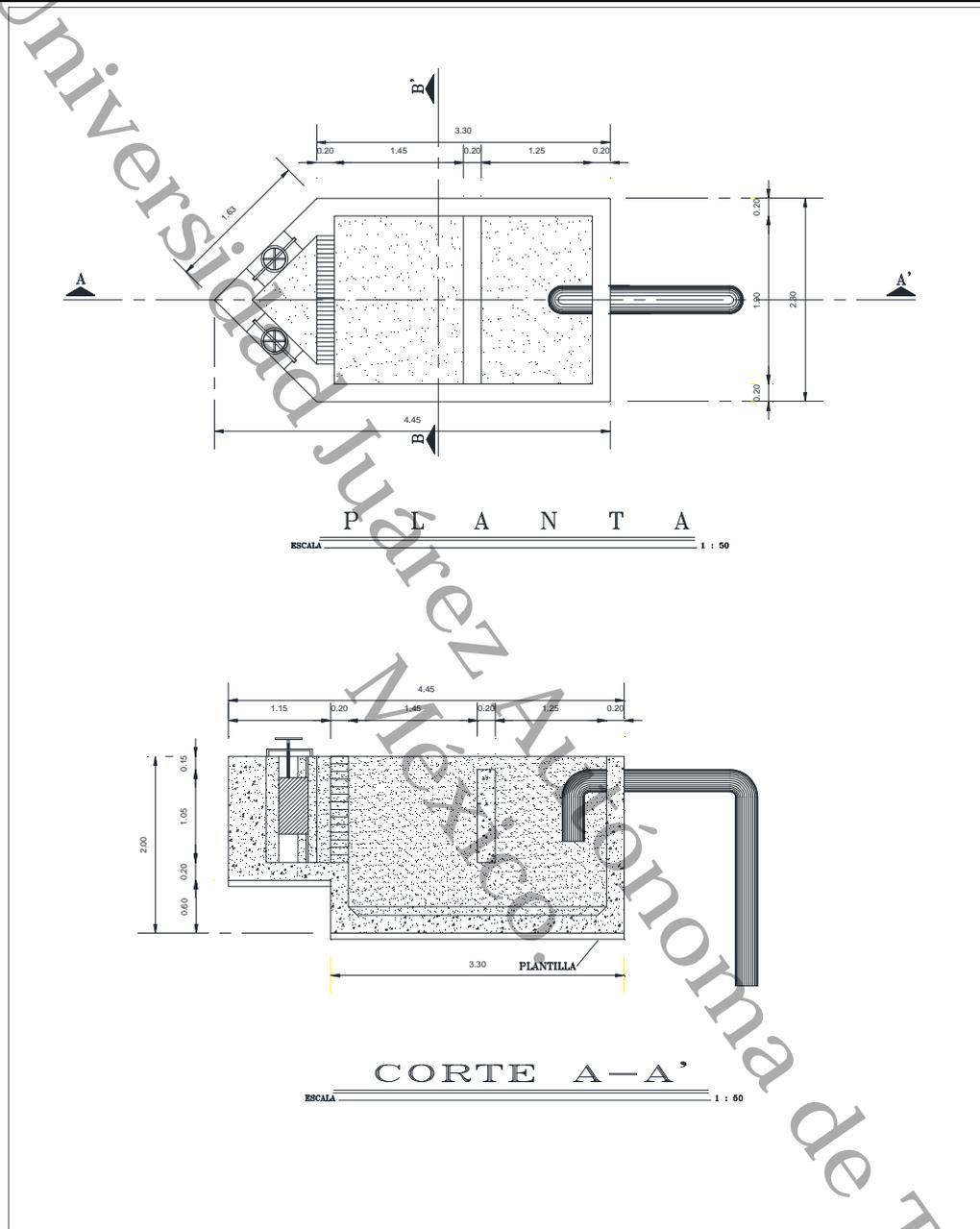
Anexo 5. Planta y corte trampa de grasas



Anexo 6. Planta y corte del desarenador



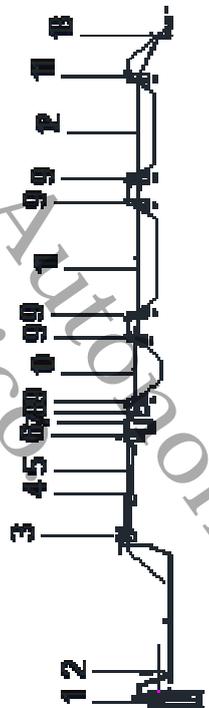
Anexo 8. Planta y corte del rejilla



Anexo 9. Caja de Llegada



- 1.- CÁRCAMO
- 2.- LINEA DE CONDUCCION
- 3.- CAJA DE ENTRADA
- 4.- CANAL DE ACCESO
- 5.- DESARENADOR
- 6.- CAJA DE INTERCAMBIO
- 7.- TRAMPA DE GRASAS Y ACEITES
- 8.- CANAL DISTRIBUIDOR
- 9.- CAJAS DE CAMBIO DE NIVEL
- 10.- LAGUNA ANAEREBIA
- 11.- LAGUNA FACULTATIVA
- 12.- LAGUNA DE PLUJIENTO
- 14.- CAJA DE SALIDA



PERFIL HIDRAULICO

Anexo 10. Perfil hidráulico desde el cárcamo hasta descarga final