



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

TESIS DE MAESTRÍA

**DIAGNÓSTICO INTEGRAL DEL AGUA EN LA VILLA UNIÓN
OCULTZAPOTLÁN - MACULTEPEC Y FRACCIONAMIENTOS
ALEDAÑOS, MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO.**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA Y PROTECCIÓN AMBIENTAL**

PRESENTA:

ING. SANTA DE LA O LEDESMA

DIRECTORES:

**DR. ERNESTO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
DR. GASPAR LÓPEZ OCAÑA**

VILLAHERMOSA, TABASCO, ENERO DE 2017.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN



FEBRERO 02 DE 2017

**C. SANTA DE LA O LEDESMA
PAS. DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y PROTECCIÓN
AMBIENTAL
PRESENTE**

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: **"DIAGNÓSTICO INTEGRAL DEL AGUA EN LA VILLA UNIÓN OCULTZAPOTLÁN-MACULTEPEC Y FRACCIONAMIENTOS ALEDAÑOS, MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO"**, asesorado por el M. en C. Ernesto Rodríguez Rodríguez y Dr. Gaspar López Ocaña sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por la Dra. Claudia Elena Zenteno Ruiz, Dr. Raúl German Bautista Margulis, M. en C. Ernesto Rodríguez Rodríguez, Dr. Gaspar López Ocaña y Dra. Ena Edith Mata Zayas.

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

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

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA**

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

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



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: **“DIAGNÓSTICO INTEGRAL DEL AGUA EN LA VILLA UNIÓN OCULTZAPOTLÁN-MACULTEPEC Y FRACCIONAMIENTOS ALEDAÑOS, MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

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

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

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 02 de Febrero de 2017.

AUTORIZO



SANTA DE LA O LEDESMA



Dedicatorias

Dedicado con mucho cariño a Zuhuy- Ha, mi (Agua bendita) y único motivo para seguir en la lucha diaria .Por los momentos que le he robado a su derecho de disfrutarnos como madre e hija.

A mi hermana Verónica por su paciencia, tolerancia y apoyo desinteresado en el cuidado de mi hija para contar con el tiempo para la realización del presente.

A mi familia, amigos y a todos aquellos seres queridos a quienes me he visto obligada a abandonar por la dedicación a este trabajo y a los que agradezco su comprensión.

Mi sincero y especial agradecimiento a:

Mis maestros. Por transmitirme parte de sus conocimientos durante la estadía en aulas.

A mis asesores. Dr. Ernesto Rodríguez Rodríguez y Dr. Gaspar López Ocaña, por brindarme sus valiosos comentarios e incondicional apoyo y tiempo para la conducción y revisión de este proyecto.

Dra. Claudia Elena Zenteno Ruíz, por su valioso tiempo y por los acertados comentarios para la mejora de este trabajo.

Al Ing. Candelario Frías Baeza, por su desinteresado y especial apoyo de acompañamiento para realizar actividades de campo y laboratorio.

A Mis compañeros estudiantes de la MIPA: Ing. Laudiel Vinalay Carrillo, Ing. Juan Ismael Ledesma Herrera, Ing. Gabriel Tenoch Tahuilán Gómez, Ing. Edgar Zavala Absalón y al Técnico Juan Hernández Tejeda, por su valioso apoyo y peripecias para realizar los muestreos en las lagunas.

A la Maestra Guadalupe Nuncio del Instituto Técnico Agropecuario de Ocuilzapotlán (ITA), y a la Ing. Angélica Mata de la Comisión Nacional del Agua por facilitarme reportes metereológicos utilizados en el presente trabajo.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera participaron y me apoyaron para la consolidación de este proyecto de Tesis



INDICE

1. RESUMEN.	8
2. INTRODUCCIÓN.	9
3. JUSTIFICACIÓN.	11
4. ANTECEDENTES.	14
4.1. Bases conceptuales para una gestión sustentable del agua.	14
4.2. Inventario de fuentes de abastecimiento de agua.	17
4.3. Inventario de la infraestructura de tratamiento de agua residual.	19
4.4. Inventario de recursos acuáticos de Tabasco.....	22
4.5. Muestreos de calidad del agua.	23
4.6. Evaluación de tecnologías para el tratamiento de agua residual.	24
4.7. Modelos hidrológicos para aporte de carga orgánica doméstica.	31
5. OBJETIVOS 34	34
5.1. Objetivo general.....	34
5.2. Objetivos específicos.....	34
6. ÁREA DE ESTUDIO..... 35	35
6.1. Localización.	35
6.1.1. Macro localización.	35
6.1.2. Micro localización.....	35
6.2. Delimitación del entorno ambiental y socioeconómico.....	36
6.2.1. Clima.	36
6.2.2. Geología 37	37
6.2.3. Edafología.....	37
6.2.4. Hidrología 38	38
6.2.5. Vegetación.....	38
6.2.6. Ecología.....	38
6.2.7. Demografía 39	39
6.2.8. Actividades socioeconómicas 39	39
6.2.9. Infraestructura de salud.	39
6.2.10. Servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.	39
7. MATERIALES Y MÉTODO..... 41	41
7.1. Sistograma metodológico.	41
7.2. Revisión y análisis documental.....	42



7.3. Actividades de campo.....	42
7.3.1. Levantamiento de inventarios.....	42
7.4. Actividades de laboratorio.....	43
7.5. Actividades de gabinete.....	45
8 RESULTADOS Y DISCUSIONES	49
8.1. Inventario de infraestructura de abastecimiento de Agua Potable y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARD).	49
8.1.1. Inventario infraestructura de abastecimiento de agua potable.....	49
8.1.2. Inventario de alcantarillado y tratamiento de agua residual.....	50
8.2. Caracterización volumétrica, fisicoquímica y bacteriológica la calidad de las aguas de abastecimiento potable en el área de estudio.	54
8.2.1. Dotación de abastecimiento de agua en base a la infraestructura instalada.	54
8.2.2. Volumen temporal y espacial de abastecimiento de agua mediante pozos.....	56
8.2.3. Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de pozos profundos.	58
8.2.4. Abastecimiento de la planta potabilizadora carrizal.....	69
8.3. Caracterización volumétrica, fisicoquímica y bacteriológica la calidad de las aguas de los cuerpos receptores en el área de estudio.	70
8.3.1. Laguna el Mosquito.....	70
8.3.2 Arroyo Macultepec.....	70
8.3.3. Lagunas El Calabozo y Paso Segundo.....	73
8.4. Caracterización volumétrica, fisicoquímica y biológicamente el agua residual originada en el área de estudio.....	81
8.4.1. Caudal teórico de aguas residuales actual y de proyectada.....	81
8.4.2. Distribución espacial de aguas residuales al 2015.....	81
8.4.3. Aforo del agua residual en el cárcamo Macultepec.....	83
8.4.4. Caudal de agua residual doméstica en descargas puntuales.....	85
8.4.5. Caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua residual doméstica del cárcamo Macultepec.....	86
8.5. Eficiencia de tratamiento de las PTARD localizadas en el área de estudio.	87
8.5.1. Planta de tratamiento de aguas residuales del Fracc. Las Rosas.....	87
8.5.2. Planta de tratamiento de aguas residuales Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán dos Km. 15 (INVITAB).	89
8.5.3. Planta de tratamiento de aguas residuales del Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km.17 (ISSET).....	91
8.5.4. Planta de tratamiento de aguas residuales Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17	93



8.5.5. Planta de tratamiento de aguas residuales tipo Pantano Artificial Villa Macultepec..	95
8.6. Balance de carga contaminante del área de estudio.	100
8.6.1. Estimación de las cargas contaminantes básicas en la zona de estudio en base a la población proyectada.....	100
8.6.2. Modelación de aportes y carga contaminante.	102
9. CONCLUSIONES.....	104
10. BIBLIOGRAFÍA	107
11. ANEXOS	110
Anexo 1. Memoria fotográfica.....	110
Anexo 2. Calculo de la Proyección de Población.....	124



1. RESUMEN.

La población de Villa Unión Ocuilzapotlán - Macultepec y los fraccionamientos adyacentes representan requerimientos de abastecimiento de agua potable del orden de 7,445.75 m³/día y que hasta el año 2009 provenía de 13 pozos subterráneos que no proporcionaban el volumen y calidad de agua requerido por problemas operativos. Estas localidades urbanas originan un aporte de 5,956.60 m³/día de agua residual doméstica del cual hasta el año 2003 se trataba solamente el 50.7% de dicho caudal, correspondiendo al tratamiento primario 1,296 m³/día y al de tipo secundario 1,728 m³/día, mismo que se realizaba en tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica (PTARD) ubicadas en tres de los fraccionamientos. Hasta noviembre del 2004, inicio su operación la PTARD de tipo Pantano artificial; las aguas negras se estuvieron bombeando a cárcamos para su descarga directa a cuerpos de agua superficiales perennes como son la laguna el Calabozo y paso segundo e intermitentes como lo es la Laguna el Mosquito. La principal descarga, El Cárcamo Macultepec presenta Q máximo fue de 84.82 l/s, el Q medio de 55.14 l/s y el Q mínimo fue de 7.47 l/s. El mayor escurrimiento de aguas residuales se presenta en la margen derecha de la zona de estudio por donde escurre el 62.51% de dichas aguas, siendo la micro cuenca izquierda la que menor impacto tiene al recibir el 37.50 % de las aguas residuales. Al respecto es el Arroyo Macultepec o Garduza el que recibe un mayor impacto ambiental debido a las cargas orgánicas contaminantes. Los cuerpos de agua superficial el calabozo y paso segundo presentan aún condiciones aceptables para el desarrollo de actividades productivas de pesquerías, sin embargo, de continuar descargándose el agua residual en forma directa hacia estas lagunas, se agilizará el proceso de eutrofización de las aguas superficiales, por lo que es urgente que se rehabilite y ponga en operación las PTARD de Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán dos Km. 15, Fraccionamiento ISSET y Fraccionamiento Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17, o en su defecto se canalicen las aguas residuales hacia la Planta Macultepec.



2. INTRODUCCIÓN.

En Tabasco, no obstante contar con cerca del 30% de los recursos hidrológicos del País, son escasos los estudios que proporcionan información objetiva para la gestión integral del agua. Este tipo de investigaciones son necesarias con el propósito de brindar información útil para la gestión y el manejo integral del agua en una localidad o región geográfica definida, y debe sustentarse en los siguientes aspectos:

- 1) El inventario de fuentes de abastecimiento de agua;
- 2) El inventario y evaluación de sistemas de tratamiento de agua residual doméstica e industrial relacionadas con el área de influencia de la localidad;
- 3) La caracterización volumétrica, fisicoquímica y biológica del agua subterránea y superficial localizada en el área de estudio;
- 4) La caracterización volumétrica, fisicoquímica y biológica de aportes residuales y;
- 5) La modelación de los procesos hidrometeorológicos relacionados con el uso del agua y la generación de la carga contaminante.

Estos componentes dentro de una investigación se deben orientar a obtener información para una correcta gestión del agua en una región geográfica y/o localidad, conforman además la base medular para el desarrollo sustentable de la infraestructura requerida para el saneamiento de las cuencas hidrológicas que permitan reducir sustancialmente los niveles de la contaminación del agua.

El crecimiento económico y demográfico alcanzado por algunas localidades cercanas a la ciudad de Villahermosa, ha definido que en ellas se diversifiquen los problemas relacionados con el abastecimiento de agua potable y con la generación de agua residual doméstica. Esta situación determina alteraciones de magnitud variable dentro del ciclo hidrológico y conlleva diversos efectos de índole social y económica, que coadyuvan al incremento de las enfermedades de origen hídrico e incluso a la escasez del vital líquido en algunas épocas del año (sobre todo si la principal fuente de aprovisionamiento es de tipo subterráneo).

Para hacer frente a dicha problemática, en el presente estudio se propone presentar información generada, desde el año 2002 a 2012 que permita mostrar los elementos necesarios de la gestión del agua y el saneamiento en los asentamientos urbanos conformados por la localidad de las Villas Ocuiltzapotlán y Macultepec y por fraccionamientos cercanos a la misma. De acuerdo con el último censo de población Ocuiltzapotlán - Macultepec y los fraccionamientos aledaños cuentan con 29,783 habitantes (INEGI, 2010).

En estos asentamientos urbanos se ha observado en últimas fechas una tasa de crecimiento demográfico superior al 3% y a la tasa promedio correspondiente al Estado de Tabasco. Además la población Ocuiltzapotlán - Macultepec y los fraccionamientos adyacentes representan requerimientos reales de abastecimiento de agua potable o desinfectada del orden de 7,445.75 m³/día y que hasta el año 2009 provenía de 13 pozos subterráneos que no proporcionan el volumen y calidad de agua requerido



debido a que algunos de estos presentan serios problemas de abatimiento lo que ha implicado cierta escasez del recurso hídrico en temporada de estiaje y mala calidad del agua.

Por otra parte, estas localidades urbanas originan un aporte de 5,956.60 m³/día de agua residual doméstica del cual hasta el año 2003 se trataba solamente el 50.7% de dicho caudal, correspondiendo al tratamiento primario 1,296 m³/día y al de tipo secundario 1,728 m³/día, mismo que se realizaba en tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica (PTARD) ubicadas en tres de los fraccionamientos.

Las Villas Macultepec y Ocuiltzapotlán así como los demás fraccionamientos, hasta noviembre del 2004, (año en que inicio su operación la Planta de Tratamiento de Agua Residual Doméstica (PTARD) de tipo Pantano artificial); las aguas negras se estuvieron bombeando a cárcamos para su descarga directa a cuerpos de agua superficiales perennes como son la laguna el calabozo y paso segundo e intermitentes como lo es la laguna el mosquito.

En este estudio se presenta información generada durante el periodo 2002-2012 sobre la calidad del agua proveniente de los acuíferos de abastecimiento y sobre las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual doméstica generada por esta población, que permita en primer término, ubicar los niveles de alteración de los cuerpos receptores que se encuentran en el entorno adyacente de dichos asentamientos humanos y a la vez, evaluar la eficiencia para la remoción de contaminantes orgánicos que se alcanza en las plantas de tratamiento existentes.

Desde una perspectiva integral, se aplicaron métodos de muestreo fisicoquímico y microbiológico de acuerdo con la normatividad mexicana en materia de aguas residuales de origen doméstico, agua subterránea y superficial, conjuntamente con un análisis de proyección demográfica y la aplicación del modelo hidrometeorológico del programa SMADA versión 6.26, permitió calcular la carga contaminante de la zona prediciendo los efectos de la misma sobre los cuerpos receptores ubicados en el área de estudio.

La presente investigación sienta las bases para un programa de Gestión Integral del Agua y Saneamiento con el cual se pretende proteger los recursos acuáticos localizados en la zona para definir y proponer alternativas tecnológicas para el control de la contaminación del agua en el área de estudio.



3. JUSTIFICACIÓN.

El auge petrolero a mediados de los años setenta, incidió sensiblemente en el desarrollo urbano del Municipio del Centro. Desde el año 1978 el Gobierno Estatal a través de la Subsecretaría de Asentamientos Humanos, marcó las estrategias de desarrollo para este Municipio, enfocando la atención al desarrollo urbano de la Ciudad de Villahermosa, a través de un crecimiento urbano poli nuclear que consideraba la integración de localidades de apoyo a esta Ciudad. Villa Unión Macultepec-Ocuilzapotlán entre otras, fue considerada como una de las localidades de apoyo para Villahermosa por las siguientes características: a) Su cercanía a la ciudad, b) La existencia de suficientes medios de transporte (autobuses cada hora), c) Su adecuada comunicación carretera (Villahermosa-Frontera), d) Disponibilidad de áreas para el crecimiento de la localidad y e) Por su acelerado crecimiento y rápida transformación del perímetro agrícola, que fue convertido en una zona habitacional.

Dentro de la estrategia de desarrollo urbano implementada por el Gobierno, se preveía la incorporación progresiva de infraestructura de apoyo para las localidades en crecimiento con servicios básicos como: energía eléctrica, agua potable y alcantarillado sanitario, sin embargo la dotación de servicios en Villa Unión (Ocuilzapotlán – Macultepec) y sus fraccionamientos aledaños, han sido rebasados por la dinámica del crecimiento poblacional que se deriva de la cantidad de los nuevos fraccionamientos populares que actualmente se están asentando en las cercanías. Un problema visible relacionado con lo anterior, se manifiesta en la insuficiencia de la recarga de los acuíferos subterráneos que se explotaron hasta el año 2009 en la zona a través de 13 pozos profundos, mismos que durante la época de estiaje o sequía, presentaban disminución en los volúmenes de extracción con la consecuente falta de abastecimiento del vital líquido para la población de esta zona.

Asimismo, se observa un rezago importante relacionado con el tratamiento de las aguas residuales ya que en la Villa Unión (Ocuilzapotlán- Macultepec), principal mancha urbana de la zona de estudio, hasta el año 2004 no se contó con infraestructura de tratamiento para atender el problema que representaban las aguas negras que eran desalojadas mediante un cárcamo que recibe las aguas negras de las dos localidades y las descargaba en forma directa al arroyo Garduza también conocido como "Macultepec".

En lo que se refiere a los fraccionamientos, durante el periodo de estudio se localizaron unidades de saneamiento como en el caso del Fracc. Las Rosas que contó con una planta de tratamiento y los Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán que cuentan con dos unidades de saneamiento una en el Km. 15 y otra en el Km. 17 de la carretera Villahermosa – Frontera, sin embargo, el gasto de diseño de dichas unidades fue rebasado por el crecimiento de los propios fraccionamientos, además de la escasa operación de las Plantas de tratamiento de agua residual doméstica (PTARD), que desde su inicio presentaron problemas de diseño y problemas técnico-operativos que impedían cumplir satisfactoriamente con el propósito de tratamiento del agua.



En el año 2003 se construyó un sistema a base de pantano artificial de 125 LPS, sin embargo, la contaminación de los mantos superficiales y subterráneos en la zona de estudio ha ido en aumento durante los últimos años como consecuencia de la construcción de nuevos asentamientos y del incremento en la generación de aguas residuales y el inadecuado manejo de los residuos sólidos generados en la zona, situación que incide negativamente en la población por la presencia de enfermedades gastrointestinales que afectan mayormente a los habitantes de las Villas.

Esto se demuestra en base a datos proporcionados por la Dirección General de Epidemiología de la Secretaria de Salud del Estado donde se reporta que durante los años 1998-2000 se presentó un incremento del 41.88% en las enfermedades gastrointestinales ubicadas en la Villa Macultepec, Cuadro 1, no así la Villa Ocuilzapotlán que indica casos a la baja . Cuadro 2.

Cuadro 1.- Incidencia de enfermedades Gastrointestinales en Villa Macultepec			
Diagnóstico	Casos Reportados		
	1998	1999	2000
<i>Amibiasis intestinal</i>	165	138	48
<i>Ascariasis</i>	9	25	24
<i>Shigelosis</i>	2	1	3
<i>Giardiasis</i>	1	1	1
<i>Infecciones intestinales por organismos</i>	51	28	225
<i>Oxiuriasis</i>	4	9	1
<i>Otras Helminthiasis</i>	2		
<i>Paratifoides u otras salmonelosis</i>		28	
<i>Otras infecciones intestinales</i>		42	
<i>Hepatitis vírica-A (+)</i>			1
<i>Otras enfermedades debido a Protozoarios</i>			29
Total	234	272	332

Fuente: Secretaria de Salud del Estado de Tabasco, Dirección General de Epidemiología. Octubre de 2001

Cuadro 2.- Incidencia de enfermedades Gastrointestinales en Villa Ocuilzapotlán			
Diagnóstico	Casos Reportados		
	1998	1999	2000
<i>Amibiasis intestinal</i>	274	349	185
<i>Ascariasis</i>	143	17	26
<i>Shigelosis</i>		1	3
<i>Giardiasis</i>	2	304	1
<i>Infecciones intestinales por organismos</i>	236	10	80
<i>Oxiuriasis</i>	22		40
<i>Otras Helminthiasis</i>	1		15
<i>Paratifoides u otras salmonelosis</i>	66	39	
<i>Otras infecciones intestinales</i>	61		
<i>Hepatitis vírica-A (+)</i>			
<i>Otras enfermedades debido a Protozoarios</i>			
Total	805	720	384

Fuente: Secretaria de Salud del Estado de Tabasco, Dirección General de Epidemiología. Octubre de 2001



Asimismo, en estas localidades la calidad del agua en los pozos presenta alteraciones fisicoquímicas que inciden negativamente en el bienestar de los seres vivos que sumadas al crecimiento de las actividades antropogénicas y a la generación de residuos sólidos que aunados a las descargas directas de agua residual a cuerpos superficiales, están alterando el sistema lagunar de la región, afectándose las microcuencas y la red hidrológica de la región cuyas aguas se desplazan hacia la zona protegida denominada pantanos de Centla. Si bien es cierto, de manera acertada el Gobierno Estatal construyó una PTARD tipo Pantano Artificial, este sistema no ha resuelto de manera total la problemática de saneamiento de las aguas residuales domésticas de la zona, ya que el proyecto original integra la recepción de las aguas residuales generadas por las dos principales Villas de la zona y los fraccionamientos aledaños, sin embargo sólo las dos Villas y los fraccionamientos Las Rosas, Lomas de Ocuiltzapotlán Km. 17 y Fraccionamiento ISSET están enviando sus aguas hacia la PTARD, porque aún no se han concluido las líneas de presión necesarias para la conducción de las aguas residuales de los demás fraccionamientos. Por otro lado, como parte de la conceptualización no entendida de la gestión integral del agua, el Gobierno Municipal, actual responsable de las PTARD de la zona ha abandonado y prácticamente desmantelado las PTARD construidas en los fraccionamientos.

Socialmente se justifica este proyecto desde 1974 en que fue introducida la red de drenaje en los pueblos de Macultepec y Ocuiltzapotlán, las aguas negras fueron descargadas al arroyo Garduza cuyo destino aguas abajo son las tierras del ejido “El Mosquito”, donde pequeños propietarios de la zona realizan actividades ganaderas y agrícolas quienes señalan que con este problema la pastura no crece, han perdido muchas cabezas de ganado y existen problemas de salud tanto en la población como en los animales. Estos habitantes y las comunidades directamente afectadas proponían desde entonces la construcción de una planta de tratamiento en un terreno de diez hectáreas donado para tal propósito (SAPAET, 2001). Paralelamente, los fraccionamientos construidos en la zona han estado descargando un importante volumen de aguas negras hacia los cuerpos de aguas perennes de la zona (Laguna el Calabozo y la Laguna Paso Segundo). Por lo anterior, el presente proyecto se justifica académicamente ya que son escasos los estudios a nivel local que proporcionan información objetiva para la gestión integral del agua en localidades sub-urbanas y además no existe disponibilidad de trabajos que aporten datos para relacionar el efecto de las descargas de agua residual y sus impactos en la calidad del agua de los cuerpos lagunares así como en la salud de la población y en las actividades agro económicas. Finalmente, es importante dejar plasmado que la información que se presenta se desarrolló durante el periodo de los años 2002-2012 y pretende dejarse para que sirva de base para investigaciones futuras, ya que la zona ha estado creciendo durante los últimos cuatro años de forma muy rápida con la integración de nuevos fraccionamientos que continúan descargando sus aguas negras hacia los cuerpos lagunares afectando a asentamientos ubicados aguas abajo como es el caso de la población de la Ranchería Espino, donde sus pobladores manifiestan alteraciones en sus ecosistemas, relacionando sus problemas de mortandad y disminución en la producción de peces, con la contaminación de cuerpos lagunares ubicados en el área de estudio del presente proyecto.



4. ANTECEDENTES.

4.1. Bases conceptuales para una gestión sustentable del agua.

Para definir el significado de gestión integral del agua es necesario conceptualizar los términos de desarrollo sustentable y gestión sustentable, que una vez revisados permiten el entendimiento y el conocimiento de los alcances que debe considerar la gestión integral del agua.

El concepto de Desarrollo Sustentable tiene sus raíces en la década de los años setenta. Su antecedente se remonta a la Conferencia de la Naciones Unidas sobre Ambiente Humano efectuada en Estocolmo en 1972, allí la comunidad internacional señaló entre otros aspectos, la degradación del ambiente y manifestó con preocupación las tendencias hacia el agotamiento y la continua degradación de los recursos naturales, entre los que se incluían los recursos hidráulicos, recomendando adoptar enfoques integrales para su administración y manejo, así como la aplicación de mecanismos económicos para incidir en su aprovechamiento racional (Montes, 1998).

El término "Desarrollo Sustentable" fue popularizado en la década de los años ochenta cuando fue utilizado por primera vez en el reporte Bruntland "Nuestro futuro común" presentado en 1987; allí se denomina sustentable a "aquel desarrollo que permita a las generaciones actuales satisfacer sus necesidades pero sin comprometer la posibilidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas" (Montes, 1998).

Debido a la dificultad para llevar a la práctica esta definición y a que la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Río de Janeiro en el año de 1992, recogió las mismas preocupaciones de veinte años atrás, sólo que con problemas más graves, se sugirió por parte del Banco Mundial que el desarrollo sustentable puede definirse como "aquel que atiende a las tres dimensiones del desarrollo como son: eficiencia económica, desarrollo social y sustentabilidad ambiental" (Montes, 1998)

Se redefine así el concepto de *desarrollo sustentable*, como el manejo de los recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Este desarrollo no degrada el medio ambiente, es económicamente viable, técnicamente factible y socialmente aceptable (Ortiz, 1997).

Es así como en el primer lustro de la década de los años noventa, se presentó el período de mayor legitimación y generalización del concepto de desarrollo sustentable, donde las peculiaridades y características propias de cada país o región hicieron que éstos adoptaran los conceptos más afines a su realidad. Por ejemplo, la región Centroamericana, acuñó el siguiente concepto: "Desarrollo sostenible es un proceso de cambio progresivo en la vida del ser humano, que lo coloca como centro y sujeto primordial del desarrollo, por medio del crecimiento económico con equidad social y la transformación de los métodos de producción y de los patrones de consumo y que se



sustenta en el equilibrio ecológico y en el soporte vital de la región. Este proceso implica el respeto a la diversidad étnica y cultura regional, nacional y local, así como el fortalecimiento y la plena participación ciudadana, en convivencia pacífica y en armonía con la naturaleza, sin comprometer y garantizando la calidad de vida de las generaciones futuras" (Dávila, 2001).

México definió su propio concepto al emitir la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en la cual señala en el Artículo 3° del Capítulo I, Título Primero lo siguiente: "Desarrollo Sustentable (es) el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección al ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras" (SEMARNAP, 1997).

Existen otras muchas interpretaciones aplicadas al término y cabe señalar que algunas de éstas aplican la palabra "sostenible" creándose confusiones en el empleo de las expresiones "sustentable" y "sostenible". Al respecto, algunos estudiosos plantean que se trata de sinónimos, derivados de las distintas traducciones de la palabra inglesa *sustainable*.

Montes (1998), señala que dentro de las muchas interpretaciones que se han dado al concepto "sustentabilidad", destaca el proporcionado por el sueco Carl-Henry Robert, en el documento The Natural Step (TNS).

Menciona que la teoría del sistema TNS, es un enfoque científico al desarrollo sustentable; y que su mayor riqueza radica en que permite a diversos actores sociales compartir un modelo mental respecto a este concepto. El TNS se expresa mediante cuatro condiciones que son principios socio-ecológicos para una sociedad sustentable, proporcionando una valiosa herramienta para medir la cercanía o alejamiento de la sustentabilidad. Las cuatro condiciones del TNS, se resumen en:

- 1.-Las sustancias sustraídas de la corteza de la tierra (litosfera) no deben acumularse sistemáticamente en el medio natural.
- 2.-Las sustancias producidas por la sociedad no deben de acumularse sistemáticamente en el medio ambiente.
- 3.-La base física para la productividad y diversidad de la naturaleza no debe ser sistemáticamente disminuida y;
- 4.- Uso eficiente y justo de los recursos respecto a la satisfacción de las necesidades básicas.

Se puede añadir que "el llamado desarrollo sustentable es un paradigma constituido por diversas estrategias de desarrollo que buscan contemplar el desarrollo económico con prácticas, productivas sustentables en el largo plazo, en términos no solamente económicos, sino sociales y ecológicos, (ambientales), es decir que mantengan la productividad de los sistemas naturales" (Guzmán, 2001).



En lo general se manejan el término sostenible y sustentable para dejar en claro que un sistema debe desarrollarse y conducirse tomando como premisa estos conceptos para que se pueda garantizar la permanencia del mismo. En Tabasco ya se maneja dentro de los Programas de Gobierno, los términos de sostenibilidad y sustentabilidad, particularmente en los sistemas de agua potable y de tratamiento de agua residual, estos conceptos que se empezaron a aplicar incipientemente en los años 80's, se fueron entendiendo y atendiendo con mayor claridad en los años 90's y actualmente se aplican dentro de un proceso de Gestión comunitaria para la sustentabilidad y sostenibilidad de los Sistemas de agua y de tratamiento de agua residual, esto se ve reflejado en el modelo de gestión que actualmente está trabajando la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Tabasco, (CEAS).

“La Gestión Sustentable del Agua”, es un término comúnmente utilizado para definir un proceso generalmente administrativo, normativo o regulatorio. En su sentido más amplio, se refiere al conjunto de actividades, funciones, formas de organización institucional de organismos de gobierno, y no gubernamentales, recursos e instrumentos de política y sistemas de participación, relacionados con uno o varios objetivos que definen el sentido y el objeto de la gestión. Esto significa que no hay una gestión sin adjetivos, neutral ni general, por el contrario la gestión como proceso administrativo o de conducción y regulación, sólo tiene sentido si se le asocia a adjetivos y funciones o recursos concretos” (CCVM, 2002).

Actualmente, se acepta que las prácticas de uso y aprovechamiento del agua, tienen impactos sociales y ambientales que deben valorarse adecuadamente y que en su expresión negativa deben evitarse para garantizar la sustentabilidad y el desarrollo futuro de las regiones y los países. Sin embargo, el uso y aprovechamiento sustentable del agua depende de múltiples factores como son: las prácticas de manejo del recurso, la educación, costumbres y cultura de la sociedad con relación al agua; las formas de organización de esa sociedad, las características y eficiencia de las instituciones u organismos operadores que atienden los asuntos hídricos, las políticas y ordenamientos públicos relacionadas con el recurso; la participación de los usuarios y de la sociedad en su cuidado y preservación; la implementación y seguimiento de sistemas de información, administración y planificación para ordenar sus usos; y los recursos financieros que se destinen al aprovechamiento y manejo del agua y también la calidad de los recursos humanos que participan en estas actividades.

Con esto se comprende entonces, que el agua es un sistema natural complejo que se encuentra íntimamente vinculado y en interacción permanente con otros sistemas de tipo ambiental económico y social y que para lograr su integral aprovechamiento y eficaz administración, sin afectar la calidad y cantidad es indispensable tomar en cuenta todas sus relaciones de interdependencia, así como las variadas y complejas funciones que desempeña en las actividades de la sociedad y en los procesos naturales.



Así, con base en los alcances conceptuales de los términos "sustentabilidad" y "gestión", se puede decir entonces que: "La gestión integral del agua se orienta a armonizar el uso, aprovechamiento y administración del recurso, tomando en consideración el equilibrio entre las prácticas productivas, las formas de organización social adoptadas para la satisfacción de las necesidades básicas y las relaciones establecidas entre el recurso y los ecosistemas".

4.2. Inventario de fuentes de abastecimiento de agua.

Las aguas subterráneas que se depositan en los acuíferos del país son vitales para garantizar los abastecimientos de agua de la población urbana, pues gran parte de las ciudades y localidades dependen de ellas. Existen evidencias de que un número significativo de los acuíferos que cubren el territorio nacional están siendo sobre explotados o se encuentran muy cercanos a sus niveles máximos de extracción (CCVM, 2002). La sobreexplotación de los acuíferos se debe a diversos factores entre los que destacan: el incremento demográfico y la consecuente demanda de agua de los sectores industrial, comercial y social, la falta de medición y de sistemas de control de las extracciones del subsuelo, el desconocimiento de las disponibilidades de agua y de balances hidráulicos de los acuíferos y la ausencia de infraestructura hidráulica que propicie y facilite la recarga.

Cabe mencionar que las extracciones de aguas subterráneas superiores a las recargas naturales también se asocian a comportamientos sociales negligentes, prácticas de explotación depredadoras de los recursos naturales y procesos productivos ineficaces. En las distintas ciudades y localidades del país es común observar la exigencia de construcción de nuevos pozos para el abastecimiento de agua potable, sin que los Organismos Operadores del servicio y los propios usuarios propongan o apliquen la práctica de métodos para el ahorro del agua existente o para el mejoramiento de redes y eliminación de fugas en las líneas de distribución.

En este sentido, la gestión integral del agua se constituye como una pieza clave para la preservación y el manejo adecuado del recurso, sin embargo es indispensable conocer el inventario de las fuentes de abastecimiento existente en cada País, ciudad o localidad para calcular el volumen de agua que se está extrayendo y asociarlo con los volúmenes de recarga para determinar la disponibilidad local del recurso, también se puede asociar con el número potencial de beneficiarios (con tomas industriales, comerciales y domésticas), y observar la relación *volumen extraído- dotación a población beneficiada*, lo cual será un indicativo del buen o mal manejo del recurso. Se puede afirmar que en México aún no se dispone de un inventario de fuentes de abastecimiento confiable y generalizado, al respecto la bibliografía existente señala sólo datos del inventario de los sistemas de abastecimiento constituidos por plantas potabilizadoras, no así la cantidad pormenorizada de pozos subterráneos existentes y las fuentes de abastecimiento superficiales que están siendo explotadas en el país y la calidad de los acuíferos.

Al respecto la Comisión Nacional del Agua en el documento *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento 2013*, reporta que en México el



inventario de plantas potabilizadoras es de 699 plantas con una capacidad instalada de 135,136 l/s, (litros por segundo) y un caudal potabilizado de 96,446 l/s. (71.36%) del total instalado. Cuadro 3 (Conagua, 2013).

Analizando la información se observa que en cuanto a la distribución por regiones y entidades federativas en el citado documento se denota una fuerte concentración de los sistemas de abastecimiento en el Norte del país, 436, (62.37%). La capacidad instalada en esta región es de 59,329 l/s y se tiene un caudal potabilizado de 39,553 l/s. Para el Centro de la república se reportan 197 plantas potabilizadoras con un gasto instalado de 52,957 l/s, y un caudal potabilizado de 40,652 l/s, para el Sur- sureste se señalan un total de 66 sistemas de abastecimiento de agua potable con una capacidad instalada de 22,850 l/s., y un caudal potabilizado de 16,241 l/s.

En lo que respecta al estado de Tabasco la Comisión Nacional del agua reportó que al año 2012, existían 39 plantas potabilizadoras con una capacidad instalada de 9,960 l/s y un caudal potabilizado de 8 465.0 l/s. Estos datos colocan al Estado de Tabasco en el cuarto lugar nacional de caudal potabilizado. Cabe señalar que con apoyo del Organismo Operador Comisión Estatal del Agua potable y Saneamiento de Tabasco, (antes Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, SAPAET), desde el año de 1997 se inició la integración del inventario general de identificación de fuentes de abastecimiento (plantas potabilizadoras y pozos profundos y someros). Los resultados obtenidos al mes de Diciembre 2012 de plantas potabilizadoras en los estados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Plantas Potabilizadoras por Entidad Federativa 2012			
Entidad Federativa	En Operación		
	No. De Plantas	Capacidad instalada(l/s)	Caudal potabilizado (l/s)
Aguascalientes	3	44	26
Baja california	31	12,156	6,636
Baja california Sur	17	216	215
Campeche	2	25	23
Chiapas	6	4,662	2,588
Chihuahua	4	650	380
Coahuila de Zaragoza	18	2,132	1,707
Colima	39	12	5
Distrito Federal	39	4,593	3,422
Durango	34	130	122
Guanajuato	29	430	363
Guerrero	13	3,548	3,186
Hidalgo	20	332	332
Jalisco	26	16,263	12,031
México	11	22,164	16,739
Michoacán de Ocampo	5	3,025	2,495



Cuadro 3. Plantas Potabilizadoras por Entidad Federativa 2012

Entidad Federativa	En Operación		
	No. De Plantas	Capacidad instalada(l/s)	Caudal potabilizado (l/s)
Morelos	3	6	3
Nayarit	0	0	0
Nuevo León	12	14,571	7,708
Oaxaca	6	1,291	771
Puebla	5	815	515
Queretaro de Arteaga	7	1,769	1,562
Quintana Roo	0	0	0
San Luis Potosi	14	1,315	957
Sinaloa	144	9,523	8,263
Sonora	23	4,034	1,989
Tabasco	39	9,960	8,465
Tamaulipas	54	14,545	11,538
Tlaxcala	0	0	0
Veracruz de Ignacio de la Llave	13	6,912	4,394
Yucatán	0	0	0
Zacatecas	82	13	12
Total	699	135,136	96,446

Fuente: CONAGUA/SGAPDS/Gerencia de Potabilización y Tratamiento.

4.3. Inventario de la infraestructura de tratamiento de agua residual.

En el renglón de Agua Residual, la infraestructura instalada en México ha crecido en forma sostenida, en este renglón la Comisión Nacional de Agua reportó a *Diciembre del año 2012* un inventario total de 2,342 plantas de tratamiento de agua residual municipal, un gasto instalado de 140,142 l/s., un caudal tratado de 99,750 l/s, y una media nacional de cobertura de tratamiento de 47.5%, Cuadro 4. Durante los últimos diez años la evolución de plantas a nivel nacional ha crecido en un 45.98%, esto se da en gran medida por las disposiciones emitidas en la NOM-ECOL-001-1996, donde se señala que para el año 2010 todas aquellas localidades mayores a 2,500 habitantes deben de contar con una planta de tratamiento para el saneamiento de sus aguas residuales. (Conagua, 2013). En cuanto al tipo de proceso, Cuadro 5., del total de plantas municipales construidas en el País predominan las lagunas de estabilización, seguidas de las plantas de lodos activados, RAFA, tanque sépticos humedales o wetlands y reactores enzimáticos, (Conagua 2013). En los últimos años se ha dado importancia a la construcción de sistemas wetlands por ser sistemas de tipo natural que si bien es cierto para su construcción requieren de grandes extensiones de terreno, tienen muy bajos costos de operación y son de fácil operación y mantenimiento, además de que garantizan una eficiencia de remoción de contaminantes.



Cuadro 4. Plantas de Tratamiento de Agua Residual por Entidad Federativa 2012

Entidad Federativa	En Operación			
	No. De Plantas	Capacidad instalada(l/s)	Caudal tratado (l/s)	Cobertura de Tratamiento %
Aguascalientes	132	4,783	3,352	100.00
Baja california	37	7,532	5,222	93.00
Baja california Sur	25	1,672	1,173	70.80
Campeche	26	175	147	6.80
Chiapas	40	1,584	900	23.10
Chihuahua	162	9,384	6,549	78.00
Coahuila de Zaragoza	20	4,957	3,858	48.20
Colima	56	1,866	1,356	53.30
Distrito Federal	28	6,771	3,063	14.00
Durango	174	4,452	3,396	73.20
Guanajuato	64	6,290	4,634	54.70
Guerrero	57	3,890	3,142	75.00
Hidalgo	14	203	203	7.90
Jalisco	157	7,105	6,277	47.30
México	142	8,962	6,789	29.90
Michoacán de Ocampo	33	3,675	2,856	30.40
Morelos	53	2,861	1,826	27.50
Nayarit	66	2,715	1,809	90.70
Nuevo León	63	17,754	10,623	100.00
Oaxaca	69	1,521	995	39.80
Puebla	66	3,200	2,757	49.00
Querétaro de Arteaga	84	2,293	1,506	46.90
Quintana Roo	35	2,381	1,734	61.60
San Luis Potosí	38	2,510	2,115	60.50
Sinaloa	220	6,269	5,082	77.30
Sonora	83	5,113	3,237	39.00
Tabasco	78	2,113	1,649	21.50
Tamaulipas	45	7,783	5,876	85.60
Tlaxcala	66	1,229	862	51.30
Veracruz de Ignacio de la Llave	108	7,416	5,614	41.30
Yucatán	28	491	99	2.70
Zacatecas	73	1,195	1,049	25.50
Total	2342	140,142	99,750	47.50

Fuente: Conagua/SGAPDS/Gerencia de Potabilización y Tratamiento.



Cuadro 5. Plantas de tratamiento en México por tipo de proceso

Tipo de Proceso	No. de Plantas	Q (l/s)	Porcentaje
Primario avanzado	13	4,802	0.56
Primario avanzado	21	1,600	0.90
Lodos activados	698	55,280	29.80
Lagunas aeréadas	35	7,501	1.49
Lagunas de estabilización	732	13,983	31.26
Filtros biológicos	39	5,765	1.67
Dual	14	5,043	0.60
Discos biológicos	10	358	0.43
R.A.F.A.	188	1,331	8.03
Reactor enzimático	69	131	2.95
Tanque Imhoff	54	354	2.31
Tanque séptico	97	119	4.14
Humedal o wetland	69	513	2.95
Zanjas de oxidación	17	1,391	0.73
Otros	286	1,578	12.21
Total	2342	99,750	100.00

Fuente: Conagua/SGAPDS/Gerencia de Potabilización y Tratamiento.

La distribución de las plantas de tratamiento de aguas municipales por regiones y entidades federativas, refleja una marcada concentración de Plantas de tratamiento de agua residual doméstica en los estados que conforman el Norte y Centro del país, donde se cuenta con el 45.72% y 37.83% respectivamente del total de plantas existentes, siendo la región Sur- Sureste, la que agrupa el menor número de plantas de Tratamiento al contar con sólo el 16.45% de Plantas. De entre los gastos instalados y de tratamiento al año 2012, la región Norte del País destaca con el 51.66 % de cobertura de tratamiento, y la región Centro con 37.17%, quedando rezagada la región Sur- Sureste con el 11.17% de Cobertura de tratamiento. (Conagua 2013).

Considerando la información señalada en el cuadro 4, se registra para el estado de Tabasco al año 2012, la existencia de 78 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales con un gasto de instalación total de 2,113 l/s., y un caudal tratado de 1,649 l/s. Prevalcen los procesos a base de tanques Imhoff y lagunas de estabilización. (Conagua 2013).

Con el objeto de evitar que se prosiga con la contaminación de los ríos, Grijalva, Mezcalapa y Carrizal, en la Ciudad de Villahermosa del año 2008 al 2012 se construyeron con recursos de la CONAGUA y el Gobierno del Estado de Tabasco a través de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Tabasco, (antes SAPAET), dos nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas denominada "Planta "Noreste" con un gasto de diseño de 1,030 l/s., y la Planta "Sureste" con un gasto de diseño de 600 l/s. que se espera entren en operación oportunamente para tratar las aguas de la Cd. De Villahermosa.



Independientemente de los datos reportados por los documentos emitidos por la Comisión Nacional del agua, y para efectos del presente trabajo de Tesis, se hizo la verificación del inventario de dispositivos de tratamiento de aguas residuales municipales en colaboración con personal del Organismo Operador Comisión de Agua y Saneamiento de Tabasco (antes SAPAET).

4.4. Inventario de recursos acuáticos de Tabasco.

El estado de Tabasco se caracteriza por la gran cantidad de agua que baña su territorio y cuenta con un impresionante sistema hidrológico constituido fundamentalmente por ríos, lagunas y pantanos. Velásquez (1994), menciona que “el sistema lacustre en el interior del estado, lo conforman depósitos estancados de aguas en forma de pantanos y lagos sin propiedades de diagnóstico de salinidad, donde convive un ambiente netamente acuático. Existiendo en ellos los siguientes tipos: pantanos entre diques o “bajiales” entre terrazas aluviales de las áreas bajas del Usumacinta y Grijalva y lagos al margen de terrazas del pleistoceno configurados en forma irregular, a lo largo de los puntos de contacto entre las formaciones aluviales, recientes y los sedimentos antiguos del pleistoceno”. Menciona también que “las lagunas interiores de la planicie Tabasqueña incluyen una enorme variedad de condiciones, que abarcan desde pequeños depósitos de unos cuantos metros cuadrados y unos cuantos centímetros de profundidad hasta grandes ambientes acuáticos con 3-4 metros de profundidad. Así como numerosas transiciones entre estos dos extremos que por supuesto, también tienen grandes fluctuaciones (en su volumen y niveles), de acuerdo a los periodos de lluvia o sequía en el transcurso del año”.

De esta forma la planicie Tabasqueña conforma su inventario de recursos acuáticos entre los que se incluyen lagunas permanentes y temporales que cumplen una importante función dentro del ciclo hidrológico del agua y que favorecen además el desarrollo de variados ecosistemas. Rodríguez (2002), señala la existencia en el estado de Tabasco de un inventario total de: 484 lagunas permanentes y 1684 temporales que en su conjunto ocupan una superficie de 73, 027.3 hectáreas. Menciona también que por su distribución regional el mayor número de cuerpos lagunares permanentes y temporales se localizan en la región de los ríos seguidos de las regiones Chontalpa y Centro. En esta última región se reporta la existencia de 100 lagunas permanentes y 303 temporales que ocupan una superficie de 13,346.40 y 1667.70 hectáreas respectivamente. Dentro de los cuerpos de agua permanentes más importantes del municipio de Centro destacan: El Maluco, Ismate y Chilapilla, Jaguacté, El Corcho, Sabana Nueva, El Manguito, Jitalito, Los Micos, Playa el Pozo, El Vigía, Trujillo, El Cuy, El Pueblo, El Campo, El Guao, El Espino, El Negro, El Espejo y de Las Ilusiones. Asimismo cruzan el municipio las corrientes de agua de: Grijalva-Mezcalapa, Carrizal, la Sierra, Pichucalco, el Zapote, Tepaté, El guatope, Medellín y Pigua, Macultepec, Jahuactal, Tabasquillo y Chilapilla. (INEGI, 2000).



4.5. Muestreos de calidad del agua.

Dentro de las acciones para la gestión integral del agua, un componente indispensable para determinar el grado de alteración o contaminación de los acuíferos superficiales y subterráneos, lo constituyen las acciones de monitoreo de la calidad del agua mediante acciones de muestreo.

El muestreo frecuente permite establecer los valores medios y su variación, así como el grado de fluctuación en la calidad del agua. A su vez un muestreo bien dirigido asegura la confiabilidad y la validez de los resultados analíticos. Para este fin, las muestras deberán representar verdaderamente a la masa del agua monitoreada y no debe haber cambios significativos en las muestras tomadas y entre los tiempos de muestreo y análisis. Por otro lado si se toman muestras al azar éstas pueden proporcionar información incompleta y errónea, debido a que las características o situaciones existentes en el lugar de muestreo entre un tiempo y otro presentan variabilidad (por ejemplo, cambios de temperatura, del ambiente, volúmenes de llegada, etc.). Es recomendable que la interpretación de los resultados analíticos se complemente con muestreos paralelos no sólo de las aguas y aguas residuales sino también de los constituyentes del medio, como natas flotantes y residuos arrojados por las tuberías; así también la flora y fauna de los bancos y fondos, junto con los sedimentos y depósitos (Fair, *et al.*, 1999).

Otro tipo de información importante que contribuye junto con el muestreo a señalar los posibles acontecimientos futuros para la zona de estudio, son las observaciones meteorológicas e hidrológicas, incluyendo temperatura, registros de tormentas, escurrimientos, sequías e inundaciones anteriores.

El muestreo de la calidad del agua del estado de Tabasco, se realiza mediante la red de monitoreo de la calidad de agua, conformada por 73 estaciones establecidas en la cuenca de los ríos Grijalva-Usumacinta, a través de éstas se hacen mediciones periódicas para el monitoreo de 26 parámetros distintos para determinar la calidad del agua. Las muestras de agua son analizadas para determinar parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos tales como: color, turbiedad, temperatura, pH, carbonatos, fosfatos, nitratos, cloruros, entre otros. Un parámetro también considerado es la variación de la materia orgánica, ya que cuando aparece de manera abundante abaten las cantidades de oxígeno disuelto y acaban con la vida en los cuerpos de agua, siendo este último un parámetro muy importante para determinar el grado de contaminación. Cuando se realiza un muestreo ya sea de agua superficial o residual se debe realizar la toma de muestras respetando los criterios señalados en las Normas Oficiales Mexicanas señaladas en la NOM-014-SSA1-1993 que establece los procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados y NMX-AA-003-1980 que orienta sobre el muestreo de aguas residuales.

Así mismo es necesario definir el tipo de muestreo que se va a realizar es decir: muestreo simple o compuesto y este último cuando se trata de aguas residuales, se



debe realizar en base a lo dispuesto en la tabla de frecuencia de muestreo señalado en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-002 -SEMARNAT-1996.

4.6. Evaluación de tecnologías para el tratamiento de agua residual.

La evaluación de tecnologías adoptadas para el tratamiento de las aguas residuales persiguen los siguientes objetivos: los directamente relacionados con la salud humana y el bienestar de la comunidad, los relativos a lograr la sostenibilidad ambiental y la estética y los que persiguen el reciclamiento o reúso del agua tratada. Santiago (1998), señala que en México y América Latina existen metodologías ex -situ (fuera de sitio), para la evaluación tecnológica de sistemas de agua residual que tradicionalmente derivan en el diseño y construcción de prototipos experimentales (plantas piloto), en los que se simulan las condiciones reales de operación del sistema a evaluar, estableciendo las bases de diseño para validar los principales parámetros cinéticos que proporcionan elementos o criterios de escalamiento.

Menciona también que otra forma de evaluar los sistemas de remoción se fundamenta en la metodología in-situ (en el sitio), en la que se efectúan análisis de los procesos operativos reales del sistema y en el que ejecutan acciones de aforo, muestreos, análisis de las diferentes etapas del proceso, análisis estadísticos de serie cronológica, de serie temporal, de medias móviles, etc., con cuyos resultados y en la medida de lo posible, se efectúan ajustes, modificaciones, sustituciones de insumos y modernización de equipos y procedimientos de ingeniería. Para la realización de evaluaciones tecnológicas mediante esta metodología, es necesaria una actividad interdisciplinaria en la que intervengan el diseñador, el constructor y el personal operativo de los sistemas de remoción. Para la realización de cualquier proyecto de infraestructura tanto de recogida como de tratamiento y evacuación de las aguas residuales, se considera fundamental la caracterización del agua a tratar a través del muestreo simple o compuesto del agua residual. La elección de tecnología se determina a partir de la consideración de diversos aspectos entre los que se encuentran:

- a) El uso final del agua tratada tomando en cuenta la normatividad mexicana vigente.
- b) La comparación de resultados obtenidos en la caracterización del agua residual a tratar contra los valores típicos señalados en el Cuadro 6, (Metcalf & Eddy, 1994); para determinar en base al uso final del agua tratada el requerimiento del grado de remoción de componentes, siendo determinante para definir la complejidad o simplicidad del sistema a construir.
- c) Las condiciones biofísicas y sociopolíticas de la región.
- d) El costo de la obra civil, su equipamiento y mantenimiento del sistema.
- e) Los sistemas de redes, instalaciones eléctricas y mecánicas, terreno, pruebas de arranque, disposición final de lodos, etc.

Hay que resaltar que cuando se realiza la evaluación de tecnologías; es necesario considerar la agrupación de operaciones y procesos unitarios para constituir lo que se conoce como tratamientos primarios, secundario y terciario (o avanzado), (Metcalf &



Eddy, 1994). Dentro de estos tratamientos comúnmente se conjugan procesos físicos, químicos y biológicos. Los procesos físicos dependen esencialmente de las propiedades físicas de la impurezas presentes en el agua como son: tamaño de partícula, peso específico, viscosidad, etc., algunas operaciones comunes son: cribado, sedimentación, filtrado, transferencia de gases (Tebbut, 1999). Los procesos físicos y químicos incluyen operaciones para remover contaminantes mediante la adición de reactivos químicos, entre las que se encuentran la coagulación, precipitación, intercambio iónico, ajuste del pH y la desinfección.

Cuadro 6. Composición típica del agua residual doméstica bruta

Contaminantes	Unidad	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales(ST)	mg/L	350	720	1200
Disueltos Totales (SDT)	mg/L	250	500	850
Fijos	mg/L	145	300	525
Volátiles	mg/L	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/L	100	220	350
Fijos	mg/L	20	55	75
Volátiles	mg/L	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/L	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/l: 5 días, 20°C (DBO ₅ , 20 °C)	mg/L	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/L	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/L	20	40	85
Orgánico	mg/L	8	15	35
Amoníaco libre	mg/L	12	25	50
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/L	4	8	15
Orgánico	mg/L	1	3	5
Inorgánico	mg/L	3	5	10
Cloruros ^a	mg/L	30	50	100
Sulfato ^a	mg/L	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/L	50	100	200
Grasa	mg/L	50	100	150
Coliformes totales ^b	n.º/100ml.	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	mg/l	<100	100-400	>400

^a Los valores se deben aumentar en la cantidad en que estos compuestos se hallen presentes en las agua de suministro. **Fuente:** Metcalf & Eddy, 1994

Los procesos biológicos se utilizan para transformar la materia disuelta en el agua residual en materia orgánica particulada (microorganismos) que después se



separan por sedimentación, flotación o filtración. Se clasifican en sistemas convencionales que exigen estructuras complejas y costosas; y en sistemas naturales que aprovechan los mecanismos naturales de auto-depuración para reducir la carga contaminante del agua residual. La combinación de estos procesos da lugar a distintos tipos de tratamientos como los siguientes:

Tratamientos Primarios: Que se utilizan para acondicionar el agua a fin de poder aplicar operaciones físicas de tratamiento para disminuir o eliminar la contaminación orgánica o inorgánica. Los métodos más comunes de tratamiento primario son: cribado, desbaste, homogeneización, neutralización, sedimentación, separación de grasas y aceites (flotación), y coagulación, ejemplo de este tipo de tratamiento son los tanques sépticos

Tratamientos secundarios: Integran procesos biológicos y químicos encaminados a la eliminación de sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte de este tratamiento. Se realiza mediante el cultivo de bacterias aerobias y anaerobias. El tratamiento secundario más utilizado sobre todo en plantas municipales, es el aerobio, que tiene a su vez una serie de variantes: lodos activados convencionales, lodos activados de mezcla completa, lodos activados de alta tasa, aireación extendida, aireación por pasos, proceso Krauss, oxígeno puro, lagunas aireadas, lagunas facultativas, zanjas de oxidación, biodiscos y reactor de cargas secuenciales. Para aguas residuales con una mayor carga orgánica se utilizan los procesos anaerobios, los más comunes: fosa séptica, tanque imhoff, manto de lodos de flujo ascendente, biofiltros.

Tratamientos terciarios o avanzados: Consideran operaciones más caras y sofisticadas, como filtración por carbón activado, desmineralización por osmosis inversa o resinas, coagulación-sedimentación-filtración y métodos electroquímicos. En este tipo de tratamientos se utilizan combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias para eliminar a otros componentes tales como el nitrógeno y el fósforo, que no son eliminados por el tratamiento secundario. Dentro de las tecnologías aplicadas para el tratamiento de agua residual municipal se localizan un sinnúmero de alternativas tecnológicas para remover los contaminantes de aguas residuales y atenuar el impacto ambiental negativo al descargarlas a ríos y arroyos y sería imposible describir en este documento todos tipos de sistemas disponibles en el mercado, sin embargo nos limitaremos a enumerar como simple referencia algunos de los más utilizados.

Fosas o tanques sépticos. Se utilizan principalmente para el tratamiento de las aguas residuales de viviendas individuales y en zonas rurales, a menudo constan de una o dos cámaras. En una fosa séptica de doble cámara, el primer compartimiento se utiliza para la sedimentación, digestión anaerobia y almacenamiento del fango, el segundo compartimiento proporciona sedimentación y capacidad de almacenamiento de fango adicional y por lo tanto, sirve para proteger contra la descarga de fango u otro material que pueda escaparse de la primer cámara, (Metcalf & Eddy, 1994).



Tanques Imhoff. Aunque los tanques imhoff se consideran obsoletos desde 1970 en los países desarrollados, en México se siguen construyendo. Este sistema consiste en un tanque de dos pisos en el cual la sedimentación tiene lugar en el compartimiento superior, y la digestión anaerobia y acumulación de lodos en el compartimiento inferior. Los tanques imhoff se utilizan como unidad para tratamiento de aguas provenientes de zonas residenciales y demás zonas que cuenten con red de alcantarillado por gravedad o sistemas de recolección a presión con bombas trituradoras. Los tanques imhoff fueron usados ampliamente antes de que se hiciera común la digestión con calentamiento de tanques separados. Debido a que no requieren personal muy calificado por su sencilla operación, los tanques imhoff se continúan usando de manera ocasional. Estas unidades no cuentan con unidades mecánicas que requieran mantenimiento, y la operación consiste en la remoción diaria de espuma, en su evacuación por el orificio más cercano y en la inversión del flujo dos veces al mes para distribuir los sólidos de manera uniforme en los dos extremos del digester de acuerdo con el diseño y retirarlos periódicamente al lecho de secado, (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Lagunas de estabilización. Conocidas también como lagunas de oxidación, son cuerpos de agua creados artificialmente (construidos de tierra) con una profundidad menor de 5 metros y diseñados para el tratamiento de aguas residuales mediante la acción de una masa biológica en suspensión, constituida por algas, bacterias, protozoarios, etc., con la intervención de otros procesos y factores naturales (re-aireación, sedimentación, desorción, adsorción, transformaciones químicas, dinámica de flujo y factores meteorológicos). El proceso de tratamiento en las lagunas de estabilización es una combinación de sedimentación, digestión y conversión de desechos orgánicos por bacterias y algas así como de su propia reproducción, y pueden ser anaerobias, aerobias o una combinación de ambas. En el caso de la digestión anaerobia las bacterias anaerobias producen *biogás*, una mezcla de metano (CH_4), bióxido de carbono (CO_2) y una pequeña cantidad de ácido sulfhídrico (H_2S) e hidrógeno (H_2). Durante el proceso aerobio, con la energía del sol las algas producen oxígeno (O_2) durante el proceso de fotosíntesis y por su reproducción generan nueva biomasa algal. Las bacterias aerobias usan el oxígeno para transformar los desechos orgánicos existentes en el agua residual en productos finales (bióxido de carbono, nitritos, nitratos, sulfatos y agua) y nueva biomasa, (Môeller, 1998). Las lagunas de estabilización se clasifican, de acuerdo con el contenido de oxígeno en: Anaerobias, facultativas y aerobias, de acuerdo con el propósito de tratamiento de las aguas residuales, las lagunas se pueden clasificar en: lagunas para remoción de sólidos y carga orgánica, lagunas para remoción de microorganismos patógenos (maduración). Hay algunos tipos especiales de lagunas: lagunas facultativas parcialmente aireadas, lagunas aireadas, lagunas sépticas, reservorios para almacenamiento de efluentes, lagunas de micrófitos y lagunas de alta tasa algal. Las últimas dos en particular son más complicadas, caras y problemáticas que las lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. En relación con la secuencia de sus unidades pueden clasificarse en lagunas en serie o en paralelo, pudiendo existir combinaciones de varios tipos.



Filtros intermitentes de arena. Están formados por canchas o cámaras especialmente preparadas con arena u otro material fino, sobre la cual se aplican las aguas negras en modo intermitente. Los filtros intermitentes de arena se emplean para pequeñas comunidades, escuelas rurales de importancia, hospitales, etc., y sólo para tratar los efluentes de las fosas sépticas y estanques imhoff. El rendimiento de estos filtros es relativamente bueno si se opera en condiciones satisfactorias. En tal caso es posible esperar una remoción del orden de 90% de la DBO, y sólidos suspendidos, y sobre 95% de bacterias, (Unda, 1999). No obstante sus porcentajes de remoción, en la actualidad ha disminuido el uso de este sistema por la preferencia hacia el uso de filtros de contacto por las facilidades de operación que éstos encierran, o por filtros percoladores, con sistema fijo de distribución de agua.

Filtros o cámaras de contacto. Este sistema de tratamiento secundario consiste en un estanque relleno con grava u otro material granular grueso y un sistema de drenaje. El estanque se llena con aguas negras, se deja en reposo durante un tiempo y se drena. Antes de repetir el ciclo debe permitirse una aireación suficiente para mantener la vida aerobia de la película mucilaginosa que se forma en la superficie del material filtrante. La profundidad de los estanques varía de 1.20 a 1.80 metros y la granulometría del material de $\frac{1}{2}$ " a $1\frac{1}{2}$ ". El sistema de drenaje es similar al que se usa en los filtros percoladores y las cámaras pueden operar como estanques independientes o en serie, en una o más etapas, y deben precederlas estanques de sedimentación. Normalmente, el efluente se somete a una sedimentación secundaria y digestión de los lodos sedimentados. Este tipo de sistemas suelen usarse con buen éxito en pequeñas localidades. El grado de purificación obtenido por este tipo de filtros varía enormemente pero se pueden establecer las siguientes cifras generales de remoción: Sólidos en suspensión (80- 90%); D.B.O. (65- 85%); Bacterias (recuento, 37° C. en 24 h.) (60-80%).

Filtros biológicos (biofiltros). Son estanques generalmente circulares rellenos con medio de soporte de roca o plástico, a través del cual fluye verticalmente el afluente, el que es recogido junto a la biomasa en exceso que se desprende del medio, por medio de un fondo falso, desde donde pasa a sedimentación secundaria. El criterio de diseño de estas unidades es la carga orgánica (kg DBO) aplicada diariamente por metro cúbico de medio de soporte y la carga hidráulica aplicada ($m^3/día$), por metro cuadrado de superficie horizontal de biofiltro. Estos sistemas presentan estabilidad ante variaciones de carga y concentración, afluente, bajos costos de operación y mantenimiento comparados con otros procesos de tipo convencional, (Arango, L., 2003)

Filtros rociadores o percoladores. Los filtros rociadores modernos consisten en depósitos circulares con un lecho formado por algún medio altamente permeable, al cual se le adhieren los microorganismos y a través del cual las aguas residuales son percoladas por medio de un sistema de rocío. El medio que sostiene a los microorganismos pueden ser piedras de entre 25 y 100 mm de diámetro, la piedra volcánica resulta muy adecuada. La profundidad del lecho varía según su diseño específico, generalmente entre 0.9 y 2.5 m, con un promedio de 1.8 m. En este sistema la materia orgánica presente en el agua residual es degradada o digerida por una



población de microorganismos adheridos al medio filtrante, la materia orgánica del líquido es absorbida por la capa de lama (biopelícula), al aumentar el espesor de esta última se despega de medio filtrante para ser arrastrada por el agua. El efluente del filtro rociador contienen agua residual tratada y los sólidos biológicos que se han despegado del medio filtrante. Este líquido pasa a un tanque de sedimentación que separa los sólidos del agua tratada. (Unda, 1999), señala que el agua resultante de este tipo de sistema tiene para los filtros de tasa lenta los siguientes rendimientos medios: D.B.O. (80 a 95% de remoción), Sólidos en suspensión (70 a 92%), bacterias (90 a 95%), los filtros de tasa rápida con recirculación del efluente alcanza menores rendimientos. D.B.O (60 a 85%) Sólidos en suspensión (69 a 88%) La comunidad biológica que habita en el filtro incluye bacterias aerobias que tienen su función en la parte superior del lecho, bacterias facultativas que actúan en la capa intermedia y bacterias anaerobias que tienen actividad en la parte inferior del filtro. Predominan microorganismos tales como: hongos, algas y protozoarios y animales mayores como gusanos, larvas de insectos y caracoles. Generalmente este tipo de sistema es precedido por un tratamiento primario, un sedimentador y deben de ser seguidos por una sedimentación secundaria, clarificador y un tratamiento terciario, sin embargo aunque existen varias plantas de este tipo en el país, no se le considera una de las alternativas más recomendables, debido a que requieren de flujos y cargas orgánicas constantes para funcionar adecuadamente. También producen problemas de malos olores y la cría de moscos y mosquitos.

Lodos Activados. El proceso de lodos activados es quizá el proceso biológico de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales orgánicas e industriales. El principio básico del proceso consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión floculante en un sistema aireado y agitado. La materia en suspensión y la materia coloidal, se eliminan rápidamente de las aguas residuales por adsorción y aglomeración en los flóculos microbianos. Esta materia y los nutrientes se descomponen lentamente por metabolismo microbiano, proceso conocido como "estabilización". En este parte del material nutriente se oxida a sustancias simples como el anhídrido carbónico (mineralización), y parte se convierte en una materia celular microbiana (asimilación). Parte de la masa microbiana se descompone a su vez en un proceso llamado "respiración endógena". Una vez que se alcanza el proceso de tratamiento que se desea, la masa microbiana floculenta conocida como "lodo", se separa del agua residual por asentamiento. La etapa de separación se conoce también como "clarificación" o "sedimentación". El sobrenadante de la etapa de separación es el agua residual tratada y debe estar virtualmente libre de lodos. La mayor parte del lodo asentado en la etapa de separación regresa a la etapa de aireación para mantener la concentración de los microorganismos en el tanque de aireación al nivel necesario para un tratamiento efectivo y para que actúe como un inóculo microbiano. El lodo restante se extrae para su descarga, y se conocen como "lodos de desecho o de purga". (Noyola, *et al.*, 2000). El proceso de lodos activados precedido y seguido de estanques de sedimentación remueve de 85 a 95% de la D.B.O. y sólidos en suspensión, con una eficiencia bacteriana del orden de 90 a 98%. (Unda, 1999).



UASB. (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). El UASB o reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente, fue desarrollado en la década del '70 por el profesor Lettinga y su equipo de la Universidad Agrícola de Wageningen-Holanda. Es el sistema más usado de tratamiento de aguas residuales de alta tasa. La Asociación para investigación de tecnologías apropiadas, S.C. 2004, señala que en este proceso el reactor es inoculado con lodos anaerobios activos en el fondo. Las aguas residuales son introducidas en el fondo del reactor y fluyen hacia arriba a través del lecho de lodos compuesto por gránulos o partículas de formación biológica. Los gases producidos bajo condiciones anaerobias (principalmente metano y bióxido de carbono) crean una circulación interna, la cual ayuda a la formación y mantenimiento de las partículas biológicas. Parte del gas producido se adhiere a las partículas juntos suben hacia la parte superior del reactor. Las partículas al subir, impactan contra el aparato desgasificador, el impacto provoca el desprendimiento del gas de la partícula, la cual cae de nuevo al lecho de lodos. Los reactores UASB requieren tiempos de retención entre 4 y 12 horas y proveen entre 75 y 85 % de remoción de la DQO.

Filtros Anaerobios. Consiste en una columna rellena con uno o varios medios sólidos. Son utilizados para la remoción de materia orgánica de aguas residuales. En este sistema, las aguas fluyen hacia arriba a través de la columna, entrando en contacto con el medio al cual están adheridos las bacterias anaerobias. El proceso permite periodos de retención cortos. Por esto el filtro anaerobio es ocupado comúnmente para el tratamiento de aguas residuales diluidas y a temperatura ambiente. Este sistema se ha comprobado como uno de los más efectivos, ya que es capaz de soportar cambios bruscos en la concentración del agua y choques volumétricos, evitando el arrastre de las bacterias. Una desventaja es que ocupa mucho volumen y sus costos son altos.

Reactor Anaerobio Híbrido de Flujo Ascendente. (RAHFA). Desde hace 10 años la Asociación para la investigación de Tecnologías Apropiadas S. C., ha desarrollado este reactor, el cual ha sido aplicado con éxito en aguas residuales con altos contenidos de materia orgánica. El RAHFA, es un reactor semi-empacado que combina las características y ventajas de dos de los procesos de digestión anaerobia más aplicados en la actualidad: el UASB y el filtro anaerobio. En este reactor las aguas residuales entran por la parte superior donde a través de contacto con el lecho de lodos anaerobios, la materia orgánica que estas contienen es digerida. Estas aguas fluyen hacia arriba dentro del reactor, en el transcurso de su digestión. Dentro del reactor, en la última tercera parte, hay una parrilla que soporta un empaque de piedra. El agua al golpear con el lecho de piedra inicia un cambio de fase, los lodos se sedimentan de nuevo, y el gas producido pasa al sistema de recolección, mientras que el agua tratada sale del RAHFA hacia un estanque profusamente sembrado de vegetación asociada a ciénagas naturales. Este reactor tiene la capacidad de remover entre 75-85% de los contaminantes orgánicos del agua residual. Las ventajas de este tipo de sistema son: que puede tratar flujos altos de aguas residuales y cargas orgánicas fuertes, así como responder a cambios bruscos tanto de flujo como de la carga orgánica, además requiere de menos volumen que un filtro de flujo ascendente para tratar la misma cantidad de agua. Sin embargo también presenta algunas desventajas: primero, por pasar por un proceso de arranque de aproximadamente de 2 a 4 meses, en el caso



específico de aguas residuales domésticas. Durante el periodo de arranque la eficiencia de remoción de contaminantes del RAHFA varía entre 30- 50%, empieza a dar un tratamiento del 75-85% de eficiencia hasta que se establece el proceso en tercer o cuarto mes de operación. (A'i Ta., 2004)

Humedales artificiales (Wetlands). En los últimos años el sistema de tratamiento a base de pantanos artificiales "Wetlands", ha ganado interés, especialmente en los Estados Unidos, debido fundamentalmente a la alta remoción de todo tipo de contaminantes, incluyendo metales tóxicos y pesados. El sistema contempla un tratamiento preliminar, consistente en sedimentación primaria, luego de lo cual las aguas del efluente ingresan a lagunas o celdas de baja profundidad en las que se encuentran sembradas distintos tipos de plantas acuáticas.

Los humedales se clasifican en: Humedales artificiales de flujo libre (HAFL), y Humedales artificiales de flujo sub-superficial (HAFS). En un humedal artificial de flujo libre (pantano o ciénaga), la vegetación está parcialmente sumergida en el agua, cuya profundidad varía de 4 a 18 pulgadas (100 a 450 Mm). La vegetación común para los sistemas HAFL incluye eneas, carrizos, juncias y juncos. Este tipo de sistema consta en general de canales o tanques con una barrera natural o artificial para prevenir la percolación del agua. Algunos sistemas HAFL se diseñan de manera que haya retención completa del agua residual que se aplica a través de percolación y evapotranspiración. Las bacterias adheridas a las plantas tratan el agua residual a medida que esta fluye a través de la vegetación y por medio de procesos físicos y químicos. En un humedal artificial de flujo sub-superficial el agua residual se trata a medida que este fluye lateralmente a través de un medio poroso. La vegetación emergente se planta en el medio, que puede ser desde grava gruesa hasta arena. La profundidad del lecho va desde 1.5 a 3.3. Pies (0.45 a 1 m) y tiene una pendiente característica de 0 a 0.5%. (Crites y Tchobanoglous, 2000).

Para la gestión y construcción de un sistema de tratamiento de agua residual deben de considerarse aspectos de tipo social, técnico, proceso constructivo, jurídico, ambiental, económico y financiero y la gestión debe considerar todos estos elementos para tener éxito en el proyecto. Asimismo la selección de alternativa tecnológica debe considerar aspectos como los señalados en el Cuadro 7, (Seóanes, 1999).

4.7. Modelos hidrológicos para aporte de carga orgánica doméstica.

La modelación de los procesos ambientales y de transporte de contaminantes se ha convertido en una herramienta esencial a través de la cual se pueden abordar una variedad de problemas, que de manera tradicional sería difícil trabajar. El propósito de la modelación ambiental consiste básicamente en que a partir de datos de entrada (definidos empírica o conceptualmente) se puede determinar o predecir entre otros datos 1).-Los efectos de la contaminación y los ritmos del transporte de contaminantes. 2).-Estimaciones de velocidades de corriente; 3).-Generación de hidrogramas 4).-Trasporte de sedimentos; y 5).- Predicción de calidad del agua. Estos modelos comúnmente utilizan muchos de los principios fundamentales de hidrología e hidráulica.



En la actualidad existen modelos integrados en software especialmente diseñados para utilizarse en computadoras personales, cuyas aplicaciones están relacionadas con el tratamiento de aguas residuales, el modelamiento hidrológico y para modelar la calidad de agua en sistemas fluviales (Kiely, 1999). Algunos modelos conocidos son:

1. U.S.Army Corps of Engineers Stormwater, Management Models (I.S. Army Corps of engineer, 1974);
2. Hidrologic Engineering Center Flood Hydrograhs Program HRC- 1 (U.S. Army Corps of Engineer, 1985 y;
3. Stormwater Management and Design aid (SMADA), (Wanielista and Eaglin, 1992).



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
"Estudio en la Duda, Acción en la Fé"
División Académica de Ciencias Biológicas



Cuadro 7. Alternativas para la selección de sistemas de tratamiento

Sistema	Superficie necesaria m ² /Hab.	Rendimiento						Costos de construcción	Equipos	Mantenimiento		
		DQO	DBO	SS	N	P	C			Funcionamiento	Personal	Frecuencia de control
Fosa séptica	0,4 - 0,6	30-60	20-60	50-90	0-60	0-75	10 - 90	Poco	Muy poco	Muy sencillo	Poco	Poco
Lecho Filtrante	2,2 - 2,8	90-95	80-98	50-90	10 - 90	35-55		Mucho	Muy poco	Sencillo	Poco	Poco
Zanja Filtrante	6 - 6,5	65-90	90-98		25-98	80-98		Mucho	Muy poco	Sencillo	Poco	Poco
Humedal	2,5 - 9	55-80	60-98	60-98	30-70	20-60	99-99,9	Poco	Muy poco	Muy sencillo	Poco	Mucho
Tanque imhoff o similar	0,05 - 1		30-65	35-85				Poco	Poco a bastante	Sencillo	Poco	Poco
Lecho bacteriano	4 - 7	70-80	60-96	50-95	20-70	5 - 30	80-95	Intermedio	Bastante	Complicado	Mucho	Mucho
Lecho de turba	0,6 - 1	60-75	60-85	85-95	20-75	20-30	99-99,5	Poco	Muy poco	Sencillo	Intermedio	Intermedio
Filtro de arena	1,2 - 10	70-90	80-99	40-99	25-90	20-80	99-99,9	Mucho	Poco.	Sencillo	Intermedio	Intermedio
Riego por encharcamiento	10 - 30	75-85	90-99	95-99	85-90	85-90	99-99,8	Poco	Muy poco	Sencillo	Intermedio	Intermedio
Infiltración-percolación	2 - 10	60-75	80-99	80-99	30-90	90-95	99-99,9	Poco	Muy poco	Sencillo	Poco	Intermedio
Escorrentía superficial	6 - 10	90-95	90-99	95-99	40-95	90-95	95,5-99,9	Poco	Muy poco	Sencillo	Intermedio	Mucho
Biodiscos	5 - 7	70-85	80-98	75-98	30-80	20-30	80-90	Intermedio	Mucho	Complicado	Mucho	Mucho
Aireación prolongada	2 - 8	70-90	85-99	85-99	60-90	20-70	90-95	Intermedio	Mucho	Muy complicado	Mucho	Mucho
Lagunas aireadas	1 - 3	70-90	60-97	70-92	10 - 60	25-40	99-99,5	Poco	Muy poco	Complicado	Intermedio	Intermedio
Lagunas aerobias	4 - 7	50-60	65-90	90-95	60-70	10 - 20	99-99,9	Poco	Muy poco	Sencillo	Poco	Intermedio
Lagunas anaerobias	4 - 7	20-40	50-85	60-80	30-40	10 - 20	99-99,9	Poco	Muy poco	Sencillo	Poco	Intermedio
Laguna facultativa	2 - 14	50-85	60-96	50-90	60-70	10 - 40	99-99,9	Poco	Muy poco	Sencillo	Poco	Intermedio
Tratamiento físico-químico	0,1 - 0,2	70-98	70-98	70-95	20-60	90-98	99-99,8	Intermedio	Mucho	Muy complicado	Mucho	Mucho
Pozo filtrante	1 - 10							Mucho	Muy poco	Muy sencillo	Poco	Intermedio
Riego por aspersión	8 - 10	70-90	95-99	98-99	90-98	90-98	99-99,9	Intermedio	Poco.	Complicado	Mucho	Mucho

Fuente: Seóñez Calvo Mariano, 1999.



5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad de las aguas de abastecimiento potable (subterráneas como pozos y Potabilizadora Carrizal), las descargas de aguas residuales y cuerpos receptores de dichas aguas de la Villa Unión (Ocuilzapotlán–Macultepec) y fraccionamientos aledaños, en el Municipio de Centro, Tabasco para la gestión y manejo del recurso hidrológico en esa zona.

5.2. Objetivos específicos

- Elaborar el inventario de infraestructura de abastecimiento de agua potable (pozos profundos y potabilizadora) y Plantas de Tratamiento de Aguas residuales (PTARD) existente en el área de estudio.
- Caracterizar volumétrica, fisicoquímica y bacteriológicamente la calidad de las aguas de abastecimiento potable, de los cuerpos receptores y del agua residual originada en el área de estudio.
- Evaluar la eficiencia de tratamiento de las PTARD localizadas en el área de estudio.
- Aplicar un modelo de balance hidrológico y de carga contaminante para predecir la magnitud de la contaminación del agua en el área de estudio.



6. ÁREA DE ESTUDIO

6.1. Localización.

Dentro de cualquier investigación en general es necesario delimitar el entorno ambiental y socioeconómico de la zona geográfica o región que se estudia, esta información proporciona elementos y características de suma importancia sobre dicha área y de los seres que en ella conviven, permitiendo al investigador entender el desarrollo evolutivo y la dinámica de cada elemento y su relación e interacción dentro del contexto del sistema en estudio.

6.1.1. Macro localización.

La zona de estudio se localiza en estado de Tabasco, específicamente en el Municipio de Centro, que representa a una de las cinco sub-regiones geográficas en que se encuentra dividido el Estado. Es uno de los 17 municipios del Estado de Tabasco y se localiza en la parte central de la superficie estatal, cuenta con una extensión territorial de 2,019 Km² ubicándose en el séptimo lugar en la escala de extensión municipal, con el 7.9% de la superficie total de la entidad. Colinda al norte con los municipios de Nacajuca y Centla; al este con Macuspana, Jalapa y Centla; al Oeste con Cunduacán, Nacajuca y el Estado de Chiapas y al sur con Teapa, Jalapa y el Estado de Chiapas. El territorio de Centro, se localiza entre los 18°20' al norte, al sur 17°43' de latitud norte y al este 92° 35', al oeste 93° 15' de longitud oeste (Figura 1).

6.1.2. Micro localización.

Los asentamientos de Villa Ocuilzapotlán – Macultepec y los fraccionamientos aledaños, objeto de estudio, se localizan dentro de la Sub-región denominada "Centro", en la parte norte del Municipio del mismo nombre, a la altura de la intersección de las coordenadas 18°08' de latitud norte y 92°52' de longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich.



Figura1. Macro localización

La zona en estudio se encuentra dentro de los 18°02'55'' a 18°09'38'' de latitud norte y 92°50'27'' a 92°04'03'' de longitud oeste, con 10 metros sobre el nivel del mar de altitud de toda la zona. Esta dentro de la Sub-provincia llanuras y pantanos tabasqueños de la unidad fisiográfica de la Provincia llanura costera del Golfo sur.



Considerando la red carretera, las Villas y fraccionamientos objeto de este estudio, están asentados sobre la carretera federal número 180, Villahermosa- Frontera entre el tramo comprendido del kilómetro 15 al 18. (Fig. 2).

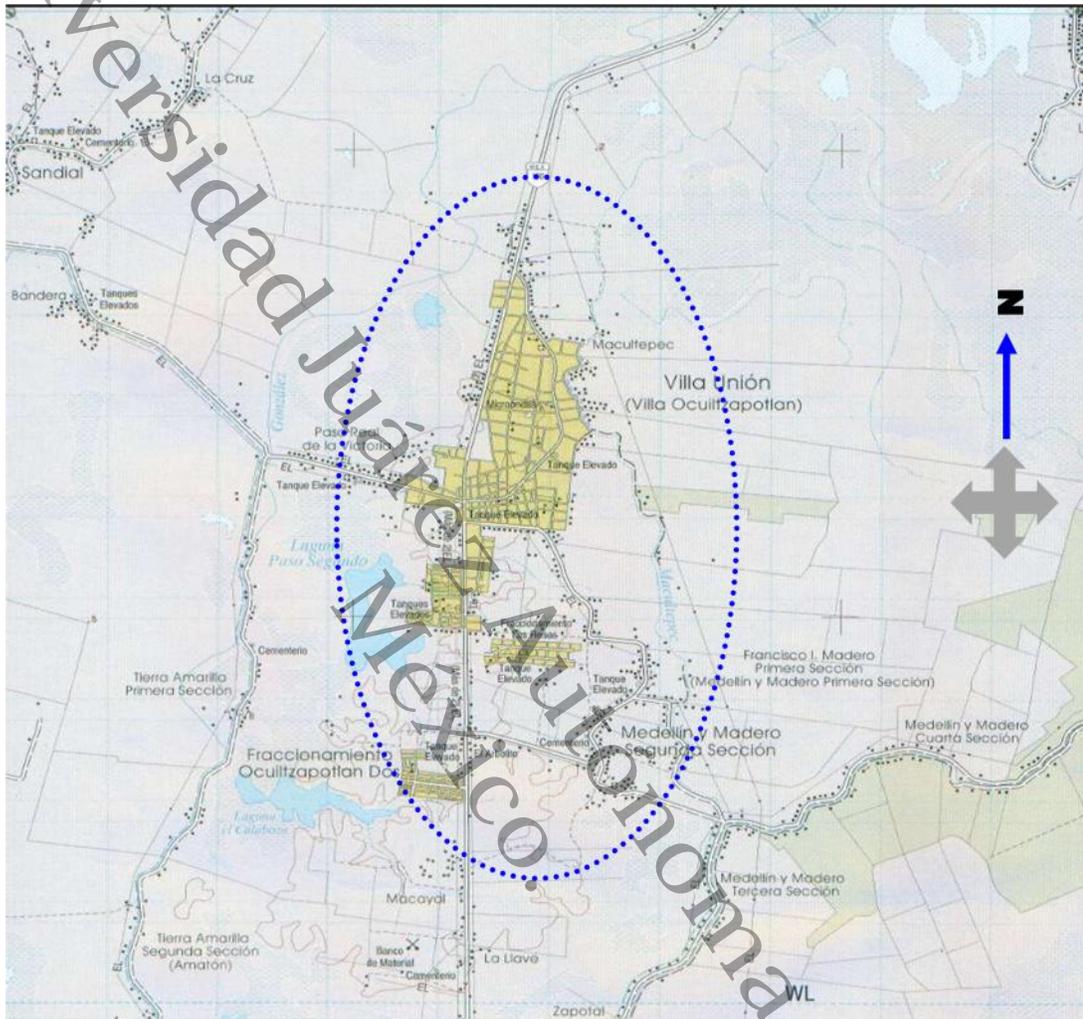


Figura 2. Micro localización

6.2. Delimitación del entorno ambiental y socioeconómico.

6.2.1. Clima.

El clima del lugar, según la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García; es de tipo cálido- húmedo con abundantes lluvias en el verano. La temperatura media anual varía entre los 24° a 28° C, siendo la máxima media mensual de 27.5° C., y la más baja de 25° C. El mes más cálido es Mayo con 33.6° C y el más frío Enero el cual alcanza una temperatura media mensual de 22° C. Las temperaturas máximas absolutas alcanzan los 45° C y 10 ° C, respectivamente. La precipitación total anual oscila de 1500 a 4,000 mm y la media anual fluctúa en los 1,920 mm., siendo la del mes más superior a los 60 mm., teniendo un porcentaje de lluvia invernal mayor de 10.2; con



una evaporación del orden de los 1,370.5 mm. La humedad relativa promedio anual se estima en 60%. Los vientos predominantes son de dirección oeste. Las mayores velocidades medias de los vientos se concentran en los meses de Noviembre y Diciembre con un promedio de 40 Km. /hra., y las velocidades mínimas son del orden de los 18 Km. /hra., en el mes de Junio.

6.2.2. Geología

El suelo forma parte de la provincia fisiográfica denominada Planicie costera del golfo sur, cuya fisiografía se manifiesta por una llanura inundable con pocos metros sobre el nivel del mar. El paisaje geomorfológico local está constituido por lomeríos y por una planicie aluvial que se encuentra con una ligera inclinación hacia el este, ocasionada por el drenaje de los ríos y arroyos de la cuenca del Río Grijalva produciendo depósitos de tipo de barra encontrándose cauces de ríos abandonados que producen aluviones de espesor considerable. La geología del lugar esta modificada por la formación de paisajes y lagunas, en las áreas de inundación.

La zona de estudio está ubicada sobre la subprovincia de llanuras y pantanos tabasqueños, formada por rocas sedimentarias del cenozoico y del sistema terciario; la composición litológica de la zona se caracteriza por areniscas del mioceno, de tipo aluvial areno- arcillosos, de granulometría pequeña muy homogénea cuyos componentes son fragmentos de rocas, cuarzo y feldespatos, pobremente cementados; su estratificación es masiva; son susceptibles de utilizarse como agregados en la industria de la construcción.

Los poblados de Ocuilzapotlán y Macultepec están ubicados sobre capas sedimentarias arenosas cuarzosas esenciales ínter digitadas en forma subordinada por capas de lutitas (suaves plásticas) que constituyen sellos laterales y superior e inferior que limita los acuíferos en esta zona. De acuerdo a perfiles estratigráficos realizados en las dos localidades se señala la litología de la zona. Cuadro 8.

Cuadro 8. Litología de los suelos de Villa Unión Ocuilzapotlán, Macultepec.		
Profundidad (mts.)	Descripción	Permeabilidad
0 - 15.00	Limos arenosos	Baja
15.00 - 36.00	Limos arenosos	Baja
36.00 - 48.00	Arenas limosas	Baja - Media
48.00 - 66.00	Arcillas limosas	Baja
66.00 - 78.00	Arena arcillosa	Baja
78.00 - 120.00	Arcillas	Baja
120.00 - 156.00	Limos arenosos	Media
156.00 - 160.00	Limos arenosos	Baja
160.00 - 175.00	Arenas gruesas	Alta

Fuente: SAPAET, 1999.

6.2.3. Edafología

Al estar constituida por lomeríos el área edafológica presenta procesos de migración y acumulación de arcillas para la formación de un horizonte B argílico y presenta también pérdidas de nutrientes por el lavado que origina suelos ácidos. Las



unidades de suelos de la zona presentan una clase textural media con una coloración de gris oscuro a pardo rojizo y una composición de suelo dominante Gleysol Eútrico más suelo secundario Gleysol Vértico más Fluvisol Gléyico asociado con Acrisol Plíntico. El área edafológica no presenta fases físicas y químicas de los suelos.

6.2.4. Hidrología

En el municipio de Centro, se localiza la región hidrológica Grijalva-Usumacinta la cual tiene una extensión aproximada de 18 mil 500 Km², que junto con los cuerpos de agua que bañan al municipio comprenden alrededor de trece mil hectáreas en donde destacan desde luego los ríos Grijalva y sus afluentes, el río Usumacinta y Carrizal.

Villa Unión Ocuilzapotlán – Macultepec y fraccionamientos aledaños se sitúa dentro de la misma región Hidrológica Grijalva - Usumacinta (RH-30), se constituye por corrientes perennes con patrones de drenaje anastomático y forman parte de la cuenca del río Grijalva- Villahermosa y localmente a la red del río Carrizal, perteneciente a la vertiente del Golfo de México. Los coeficientes de escurrimiento que predominan en la cuenca son de 20 a 30%, alcanzando registros promedio de escurrimientos de 242.70 m³/s. La profundidad del manto freático fluctúa entre los 50 cm y tres metros de profundidad, observándose un drenaje regular.

La hidrología superficial se caracteriza por la presencia de ríos y arroyos que desembocan en lagunas costeras y se enmarca por una serie de lagunas, arroyos y zonas pantanosas propias de suelos arcillosos y de las áreas de inundación. Los principales cuerpos de agua superficial localizados en la zona de estudio lo constituyen: La laguna el calabozo, laguna Paso segundo, laguna el mosquito y el arroyo Macultepec.

La hidrología subterránea se caracteriza por unidad de material no consolidado con permeabilidad media baja, y con condiciones geohidrológicas de zona subexplotada. Los acuíferos de la zona de estudio varían de producción elevada a media, presentando producción de agua dulce de 20 y 40 litros por segundo entre las capas de 120 y 200 m, de profundidad.

6.2.5. Vegetación.

Predomina en el municipio la flora asociada a zonas acuáticas así como la relacionada con selvas pantanos. La vegetación de la zona se clasifica como selva tropical interrumpida por algunos manchones de vegetación hidrófila como el palmar, popal, zarzales, espadañales, tintales y acahuals. Se constituye principalmente por selva alta perennifolia, localizándose vegetación de pastizales cultivados que abarcan áreas considerables (INEGI, 2000).

6.2.6. Ecología.

El estado de Tabasco, alberga comunidades exuberantes como las selvas altas perennifolias o las medianas subperennifolias, las que en su mayoría se han eliminado



para el establecimiento de praderas y agricultura, quedando sólo fragmentos de estos tipos de selva al sur de la entidad. La fauna silvestre está constituida principalmente por tlacuache, humerón, cacomixtle, ardilla, conejo, tuza y rata de campo, y en forma muy escasa, mono araña y saraguato. Se conserva la mayor parte de las aves silvestres que abundan en la región, destacando el pato. La fauna del área de estudio se constituye por animales asociados a las actividades de ganadería extensiva, bovinas, ovinas y porcinas. Se localizan también animales de traspatio gallinas, guajolotes y patos criollos. En los cuerpos superficiales se localiza la fauna característica de la región como peces de diferentes especies (sábalo, róbalo, tilapia, castarica y bobo), así como tortugas, jicotea, guao, pochitoques, peje lagartos, manatíes, lagartos, camarón de laguna y popal.

6.2.7. Demografía

En el municipio de Centro, la ciudad de Villahermosa se constituye como el gran centro comercial y de servicios. El fenómeno de concentración de la población se ha manifestado mayoritariamente como resultado del desarrollo de la actividad petrolera y del crecimiento de actividades económicas asociadas a éste fenómeno. Al considerarse la zona de estudio Villa Unión Macultepec- Ocuilzapotlán como una de las principales áreas de apoyo para el crecimiento de la Ciudad de Villahermosa; se detonó un crecimiento poblacional muy fuerte que se refleja en los datos en el Censo general de Población y Vivienda, realizado en el año 2010 por INEGI, que reporta 29,783 habitantes. El crecimiento de la tasa media anual entre los años 1980- 1990 alcanzó el 4.88 %.

6.2.8. Actividades socioeconómicas

Debido a la relativa cercanía que existe entre Villa Unión Macultepec-Ocuilzapotlán y la Ciudad de Villahermosa, el mayor número de personas se ocupa en el sector dedicado al comercio y servicios y un porcentaje reducido se dedican a actividades agrícolas y pecuarias. Predomina el cultivo de maíz, frijol y plátano, así como la engorda y cría de ovinos, bovinos, porcinos y animales de traspatio. Asimismo se realizan actividades de pesca por parte de los lugareños quienes la utilizan para el consumo familiar y para su venta a los principales mercados de la zona.

6.2.9. Infraestructura de salud.

Las localidades de la zona cuentan con infraestructura de salud proporcionada por el Gobierno Estatal a través de un centro de salud que depende de la jurisdicción sanitaria del municipio de Centro. Se encuentran también establecidos consultorios privados y farmacias que complementan los servicios en este rubro.

6.2.10. Servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Hasta el mes de abril del año 2003, los servicios los proporciono el Gobierno del Estado a través del organismo operador denominado Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SAPAET), sin embargo a partir del dos de mayo de 2003, se decreta



mediante acuerdo la creación del Sistema de Agua y Saneamiento del municipio de Centro “SAS”, y desde esa fecha la operatividad de los sistemas fue descentralizada hacia el municipio de Centro, quién se hizo cargo de la infraestructura que actualmente es atendida por la instancia municipal.

El agua que se suministra a la población de la zona de estudio se abasteció durante muchos años de pozos profundos y sólo se entregaba desinfectada con hipoclorito de sodio al 13%, fue hasta el mes de marzo del año 2009 cuando se empezó a suministrar agua procedente de la planta carrizal mediante una línea de conducción de 27 kilómetros que inicia desde la planta carrizal con tubería de 28” de diámetro reduciéndose paulatinamente a lo largo del corredor Carrizal-zona industrial-Ocuilzapotlán-Macultepec en diámetros de 18”, 16”, 8” y termina con tubería de 6” de diámetro. Dicha línea abastece a todo el circuito de ciudad industrial y hacia la zona de estudio, abastece a las localidades de Macultepec y Ocuilzapotlán y a Medellín y pigua 1ra, 2da y 3ra. Sección, Samarkanda, Lomas de Ocuilzapotlán Km. 15, Lomas de Ocuilzapotlán (ISSET), Lomas de Ocuilzapotlán Km.17, Fracc. Las Rosas, Fracc. Carlos Pellicer Cámara, Fracc. La Ceiba y Fracc. Las Huertas entre otros.

En relación al agua residual esta es captada mediante redes de alcantarillado hacia los cárcamos de bombeo que se localizan en los distintos fraccionamientos y en la Villas Macultepec – Ocuilzapotlán. Para su saneamiento se cuenta con sistemas mediante tanque Imhoff en los fraccionamientos Lomas de Ocuilzapotlán dos ubicado en el Km. 15 y en el fraccionamiento ISSET ubicado en el Km. 17, un sistema a base de sedimentación primaria y biofiltro en el Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17, así como con un sistema de lodos activados que se ubica en el Fraccionamiento Las Rosas y el actual Sistema de Tratamiento de Agua Residual tipo Pantano Artificial que fue puesto en operación formalmente desde Mayo del año 2005.

De estos sistemas este último es el que permanece en operación ya que de los demás algunos han sido interconectados a la línea de presión que envía el agua residual hacia el pantano artificial; en el caso del Sistema del Fraccionamiento Las Rosas su planta de tratamiento ha sido desmantelada y los Sistemas de los Fraccionamientos del Km. 15 y Km. 17 han sido abandonados en su operatividad por la instancia municipal. Las aguas pluviales de la zona son recogidas a través del alcantarillado sanitario por lo que en temporadas de lluvias el agua que circula en el drenaje es de tipo combinado.



7. MATERIALES Y MÉTODO

7.1. Sistograma metodológico.

El esquema metodológico del presente estudio considera actividades de campo, gabinete y de laboratorio, a través de las cuales se generó información cuantitativa y cualitativa que permita plantear la gestión integral del agua en la Villa Unión (Macultepec-Ocuilzapotlán) y en los fraccionamientos aledaños a la misma. El Sistograma Metodológico de este trabajo se presenta en la figura 3, el cual se describe con detalle en el presente apartado.

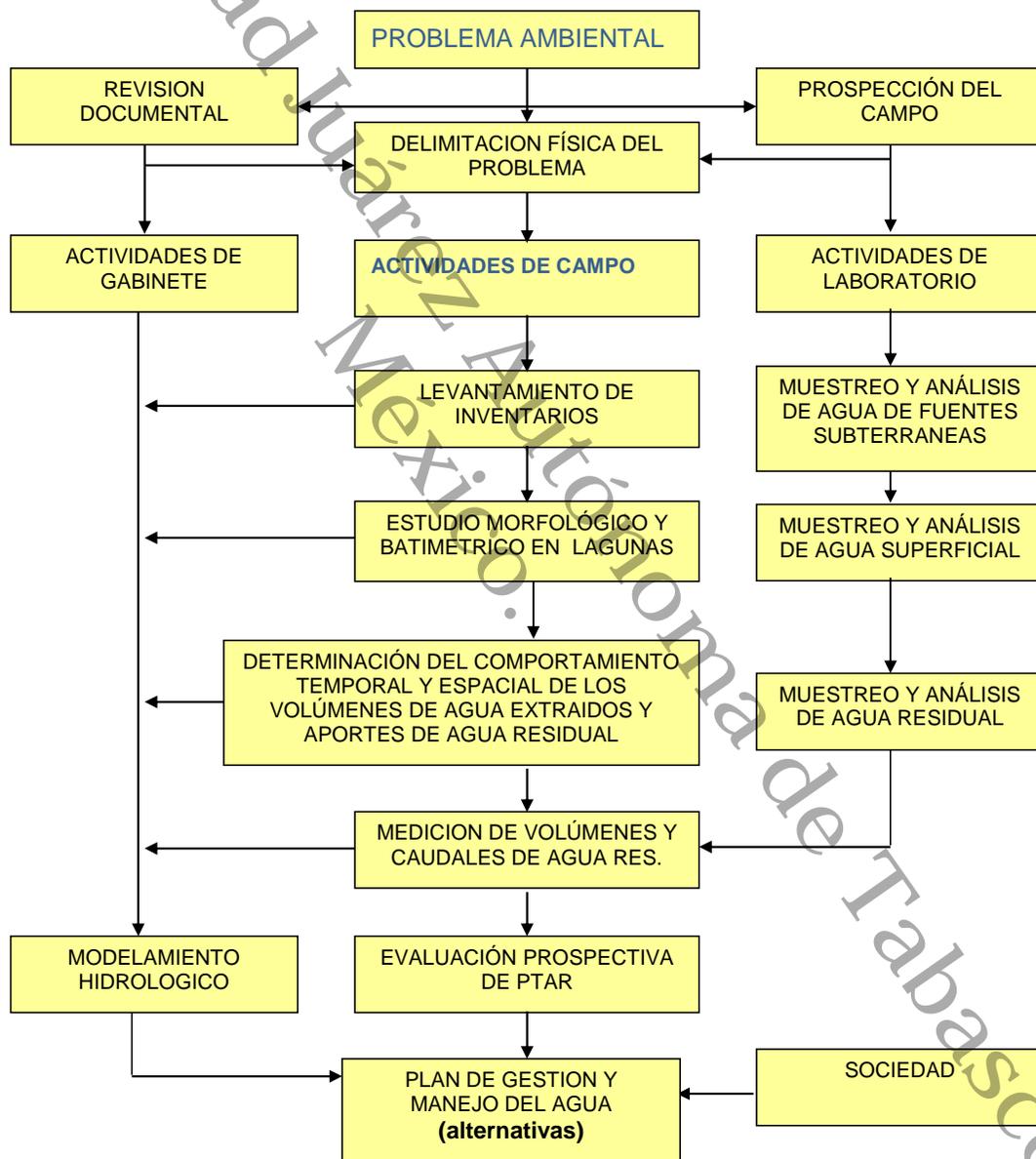


Figura 3. Sistograma Metodológico



7.2. Revisión y análisis documental.

Inicialmente y a partir de la detección de un problema ambiental asociado con el manejo del agua en la zona de estudio, se procedió en una primera etapa al acopio y análisis de documentos sobre los aspectos socioeconómicos y demográficos relacionados con la Villa Unión y los fraccionamientos aledaños, lo que permitió definir la problemática general relacionada con el uso de agua y con la generación de agua residual en dicha zona. Una segunda etapa de análisis documental incluyó la revisión de informes técnicos y de investigación sobre los pozos de abastecimiento de agua y los sistemas de tratamiento empleados en la localidad y en los fraccionamientos aledaños, con lo cual se integró un cuerpo de información básica para la realización de las etapas de prospección física en el campo que confirmó la necesidad aplicar un método que integra actividades de gabinete, campo y de laboratorio que contribuirán para la propuesta de un plan de gestión y manejo del agua derivado de los resultados del modelamiento hidrológico de la microcuenca en estudio y de la participación de la sociedad.

7.3. Actividades de campo.

7.3.1. Levantamiento de inventarios.

Dentro de las actividades de campo, fue necesario el levantamiento de inventarios de agua potable y alcantarillado así como de descargas puntuales para conocer tanto los gastos de agua como los aportes de residuales. Al respecto, se realizó el inventario físico de la infraestructura de fuentes subterráneas y sistemas de tratamiento de agua residual del área en estudio. Se cuantificaron también las descargas de aguas negras que son vertidas directamente al arroyo Macultepec y que se constituyen como descargas puntuales que no se integran al caudal que recibe el Cárcamo Macultepec. En esta actividad se revisaron también los diámetros de cada tubería de descarga y los niveles de tirante hidráulico.

7.3.2. Estudio morfológico y batimétrico de las fuentes de agua superficial.

En relación con los cuerpos de agua superficial localizados en la zona de estudio, se realizó una evaluación de las características morfológicas de la laguna Paso Segundo y laguna el Calabozo, (Håkanson, 1981), así como el inventario de las descargas residuales procedentes de los fraccionamientos ubicados en su cuenca de drenaje (Torres y García 1995).

7.3.3 Medición directa del caudal de Cárcamo Macultepec.

Se efectuó a través de una sección de volumen conocido mediante dos procedimientos: a) a través de una sección del volumen de llenado del Cárcamo Macultepec y b) mediante la técnica de llenado de volumen conocido en relación con las descargas puntuales vertidas al arroyo Macultepec. Ambos métodos de medición de caudal pueden considerarse como de llenado de un recipiente y la medición de un volumen conocido por unidad de tiempo y están descritas por Kemmer y Mc Callion (1989).



7.3.4. Establecimiento de bitácoras de control operativo

Para determinar los volúmenes temporales y espaciales de agua extraída de las fuentes de abastecimiento subterráneo ubicadas en la zona de estudio, se establecieron en campo bitácoras de control diario de Enero a Diciembre, en donde se registraron fechas, horarios de bombeo, capacidad de equipos, paros por diversos motivos y las observaciones de importancia técnica. Estas bitácoras fueron revisadas en campo semanalmente para el seguimiento, verificación y confiabilidad de los datos. Asimismo se revisaron físicamente en las redes de agua instaladas para determinar la distribución espacial del agua hacia los diferentes asentamientos.

7.3.5. Evaluación prospectiva de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual.

Con respecto a las plantas de tratamiento de agua residual doméstica se realizó en campo una evaluación prospectiva sobre su funcionamiento y condiciones generales de operación, en cuya metodología no se incluyó el análisis de eficiencias ya que esta acción requiere de un tiempo mucho más amplio que el considerado dentro de este proyecto. Este procedimiento aunque puede considerarse como cualitativo, permitió ubicar la importancia que tiene la operación de las plantas de tratamiento para la reducción de la carga orgánica proveniente de los residuales domésticos identificados en el área de estudio. La eficiencia de remoción de carga orgánica se evaluó con la información proveniente de los muestreos realizados en los puntos de descarga de las plantas de tratamiento.

7.4. Actividades de laboratorio.

7.4.1. Muestreo y análisis de agua de fuentes subterránea (pozos profundos).

Para la evaluación de la calidad del agua de abastecimiento se tomaron 33 muestras en once fuentes de abastecimiento subterráneo de acuerdo con la NOM-014-SSA1-1993, las muestras se trasladaron al laboratorio de calidad del agua de SAPAET, en donde se les realizó el análisis fisicoquímico a cada muestra para la determinación de 21 de los parámetros indicados en la Norma NOM-127-SSA/1984. Los muestreos para la caracterización del agua proveniente de los pozos se realizaron para los periodos de sequía (Marzo- Junio), de lluvia de verano (Julio-Octubre) y lluvia invernal (Noviembre-Diciembre) y se revisaron en base a la tabla Calidad del agua para el consumo humano (Price, 2003) y de la NOM 127-SSA1-1994. Modificada (Cuadro 9).

7.4.2. Muestreo y análisis de agua de fuentes de agua superficial.

Respecto a los cuerpos de agua superficiales, se realizó el estudio batimétrico para las Lagunas Paso Segundo y el Calabozo y se definieron los principales parámetros morfológicos de acuerdo con las ecuaciones propuestas por Håkanson, (1981). Además se tomaron 5 muestras por laguna para efectuar los análisis fisicoquímicos correspondientes. Estos análisis se relacionaron con la composición iónica para las mismas variables utilizadas en el análisis fisicoquímico de agua subterránea incluyendo además los parámetros conductividad eléctrica, nutrientes (Fósforo y Nitrógeno Totales), DBO, Oxígeno Disuelto, pH y Temperatura, los cuales se determinarán mediante métodos estándares de las Normas Mexicanas.



Las mediciones de campo se efectuaron con los siguientes equipos: la conductividad se estimó con un conductivímetro ISY 33, el Oxígeno Disuelto y el porcentaje de saturación se midieron con el empleo de un oxímetro T55 y la temperatura y el pH con un potenciómetro.

Las variables transparencia y profundidad se valoraron directamente con un disco de Secchi. Durante la temporada de verano y de lluvias de invierno, se realizó también el muestreo simple del agua del arroyo Macultepec en puntos referenciados con el cárcamo del mismo nombre. Así mismo se efectuó un muestreo simple en la laguna de temporal el Mosquito para determinar la calidad fisicoquímica del agua.

Cuadro 9.- Calidad del agua para el consumo humano (concentraciones expresadas en mg/l)			
Parámetro	C.E. Nivel Guía	C.E. CMA	NOM 127-SSA1-1994.
Calcio	100	-	-
Magnesio	30	50	125
Sodio	20	150	200
Potasio	10	12	-
Nitrato	25	50	-
Cloruro	25	-	250
Sulfato	25	250	400
Aluminio	0.05	0.20	0.20
Fierro	0.05	0.20	0.30
Plomo	-	0.05	0.01
Arsénico	-	0.05	-
Mercurio	-	0.001	-
Cianuro	-	0.05	-
Fluoruro	-	1.5	-
Pesticidas(individual)	-	0.0001	-
(total)	-	0.0005	-
El pH debe estar en un rango de 6.5- 8.5. C.E. COMUNIDAD EUROPEA CMA = Concentración Máxima Admisible. Los valores están basados en la Directiva de la CE sobre la calidad del agua para el consumo humano (Directiva 80/778/EEC. Estos valores estaban en revisión en 1995. Fuente: Price M. 2003.			Valores para México

7.4.3. Muestreo y análisis de agua residual.

En lo concerniente a las plantas de tratamiento de agua residual, se efectuaron tres muestreos: uno realizado sólo en las descargas de entrada y dos muestreos aplicados en las descargas de salida. Para caracterizar el agua descargada en el cárcamo Macultepec, se realizaron muestreos compuestos en el principal punto de vertido según la Norma oficial Mexicana NMX-AA-3-1980, durante cinco días del mes de Junio de 2002. La caracterización fisicoquímica del agua residual se realizó de acuerdo con la normatividad existente y esta caracterización incluyó los parámetros señalados en el Cuadro 10. Los parámetros de pH, temperatura y conductividad eléctrica se determinaron en campo al momento del muestreo. Para tal efecto se utilizó un termómetro con escala menos 20 a 110 grados centígrados, un medidor portátil de pH modelo PC18 y un medidor de conductividad Corning PS17.



Cuadro 10. Normatividad empleada para muestreos y caracterización fisicoquímica y bacteriológica de agua residual

Norma técnica	Aplicación analítica
NMX-AA-003-1980	Aguas residuales, muestreo
NMX-AA-004-SCFI-2000	Sólidos sedimentables
NMX-AA-005-SCFI-2000	Grasas y aceites
NMX-AA-006-SCFI-2000	Materia Flotante
NMX-AA-007-SCFI-2000	Temperatura del agua
NMX-AA-008-SCFI-2000	pH
NMX-AA-012-SCFI-2001	Oxígeno disuelto
NMX-AA-014-1980	Cuerpos receptores, muestreo
NMX-AA-017-1980	Determinación de color
NMX-AA-093-SCFI-2000	Conductividad
NMX-AA-034-SCFI-2001	Sólidos Suspendidos Totales
NMX-AA-028-SCFI-2001	DBO5
NMX-AA-030-SCFI-2001	DQO
NMX-AA-026-SCFI-2001	Nitrógeno Total Kjeldahl
NMX-AA-029-SCFI-2001	Fósforo total
NMX-AA-039-SCFI-2001	SAAM
NMX-AA-042-1987	Coliformes fecales
NMX-AA-042-1987	Coliformes totales

Los análisis se realizaron con el apoyo un laboratorio particular de control de calidad del agua acreditado ante la EMA, para el caso de las determinaciones fisicoquímicas de las muestras de las fuentes superficiales y de las muestras compuestas de agua residual proveniente del cárcamo Macultepec así como para los análisis bacteriológicos de pozos y lagunas. El laboratorio de la Secretaría de Desarrollo Social y Protección Ambiental, (SEDESPA), para los análisis de muestras de agua del arroyo Macultepec y de las Plantas de tratamiento de agua residual y el laboratorio de SAPAET y Sistema de agua y Saneamiento (SAS) del municipio de Centro, Tabasco, para los análisis fisicoquímicos de las treinta y tres muestras de agua proveniente de los once pozos profundos y de la Planta Carrizal.

7.5. Actividades de gabinete.

7.5.1. Análisis demográfico y socioeconómico de la zona de estudio.

Dentro de las actividades de gabinete se procedió a realizar el análisis demográfico con datos históricos del INEGI, provenientes de los resultados del Censo General de Población y Vivienda a 2010 (Cuadro 11), y también se calculó la proyección demográfica de la zona de estudio utilizando los métodos: Lineal, geométrico y logarítmico, (López, 1999). Para el análisis socioeconómico se utilizó además información procedente de INEGI, específicamente del sistema de información SCIENCE 2010 del Censo General de Población y vivienda que proporciona datos en las Áreas Geo Estadísticas Básicas (AGEB) relacionados con la zona de estudio, con la ayuda de estos se revisaron 190 variables y para fines del trabajo se presentaron los resultados de sólo aquellas que se consideraron más importantes. Asimismo y para facilitar la comprensión de datos se trabajaron algunas de las variables considerando la distribución de asentamientos por microcuencas definiéndose cada una a criterio



propio y en base a su ubicación del asentamiento (izquierda o derecha) para lo que se tomó como referencia la carretera federal México 180, dirección Villahermosa- Ciudad de Frontera, Cuadro 12.

Cuadro 11. Datos Históricos de Población

Año	Macultepec	Ocuiltzapotlán	Villa Unión*	Lomas de Ocuiltzapotlán	Lomas de Ocuiltzapotlán II	Total
1910	736	1,459				2,195
1930	1,189	1,552				2,741
1940			2,866			2,866
1950			2,866			2,866
1960			3,667			3,667
1970			5,342			5,342
1980	4,009	3,110				7,119
1990	14,401			105		14,506
1995	19,802				2,311	22,113
2000	5,959	15,824			2,920	24,703
2005	6,217	14,799			3,330	24,346
2010	6,485	18,312	311		4,675	29,783

Fuente : INEGI, Archivo histórico de localidades 2010

Cuadro 12. Microcuencas de la zona de Estudio

Microcuenca	Clave de AGEB's	Localidad
Izquierda (MI)	AGEB 2055	Col. Reforma-Refugio de Villa Ocuiltzapotlán y parte de Macultepec.
	AGEB 2024	Fracc. Los Ángeles, Lomas del Encanto, Lomas de Ocuiltzapotlán (ISSET) y Lomas de Ocuiltzapotlán Km.17.
	AGEB 2096	Fracc. Lomas de Ocuiltzapotlán II, Km.15, (INDUVITAB O INVITAB)
Derecha (MD)	AGEB 201A	Villa Ocuiltzapotlán
	AGEB 2039	Población entre el tramo Fracc. Las Rosas- Villa Ocuiltzapotlán (a la altura del restaurant La Selva)
	AGEB 2043	Colonia Vicente Guerrero(el arbolito), Villa Ocuiltzapotlán
	AGEB 205B, AGEB 2062 AGEB 2077	Fracc. Las Rosas Etapa I Fracc. Las Rosas Etapa II Villa Macultepec Fracc. La Ceiba (1er. Etapa de construcción)

7.5.2. Medición y análisis de caudales volumétricos de aguas subterráneas y residuales.

En cualquier comunidad, la estimación de los caudales de aguas residuales puede efectuarse a partir de series históricas y a través de la medición directa de éstos. Cuando no se dispone de dichas series y resulta complicado realizar las mediciones directas, se utilizan datos sobre el abastecimiento del agua suministrada a la comunidad y con ello se calculan los caudales de aguas residuales generados. Dentro de cualquier sistema de gestión y sobre todo en zonas con gran desarrollo suburbano, no basta conocer sólo los datos de abastecimiento y de generación de aguas residuales, se requiere además efectuar la estimación de los volúmenes de agua necesaria para atender las demandas futuras de la población y para dar tratamiento a los caudales de agua residual esperados.



A).- Aguas Subterráneas.

Para el cálculo de la dotación teórica estimada de abastecimiento de agua, se tomó como referencia los datos de proyección de la población y la dotación proporcionada en el Cuadro 13, emitida por la Norma Mexicana de dotación de agua (1969) y señalada en Noyola et. al., 2000.

Población (habitantes)	Cuadro 13. Dotación típica para las comunidades		
	Tipo de clima		
	Cálido (l/hab/día)	Templado (l/hab/día)	Frío (l/hab/día)
2,500 - 15,000	150	125	100
15,001 - 30,000	200	150	125
30,001 - 70,000	250	200	175
70,001 - 150,000	300	250	200
150,001 en adelante	350	300	250

Fuente: Noyola et. al., 2000

Se utilizó también la ecuación:

$$Q_{dt} = V_t * P$$

Donde:

Q_{dt} = Dotación teórica ó agua suministrada en (litros / día) ó (litros / seg.).

V_t = Valor típico (para nuestro caso 250 lts./habitante/día)

P = Población de la localidad.

Para el cálculo de la dotación teórica, se utilizaron las siguientes consideraciones:

1.- La infraestructura existente en la zona de estudio (pozos profundos), 2.- Horarios de bombeo. 3.- Pérdidas y desperdicios de agua que suponen porcentajes de 30% o más. (Metcalf & Eddy, 1998). 4.- Condiciones de equipos de bombeo, desgaste y tiempo de operación (eficiencia de bombeo). 5.- Bitácoras de campo relativas a la operación del equipo de la infraestructura.

Se utilizó también la siguiente ecuación:

$$Q_{dt} = [(Q_{eq} *) * T_b]$$

Donde:

Q_{dt} = Dotación ó gasto teórico de agua suministrada L.p.s., o Litros / día

Q_{eq} = Gasto del equipo (L.p.s.)

= Eficiencia de la bomba (80%)

T_b = Horas de suministro de agua.

B).- Aguas Residuales.

Para determinar la aportación teórica de agua residual como gastos: promedio, mínimos y máximo o punta, se utilizó la proyección de población estimada y las siguientes ecuaciones:



$$Q_{AR\ Pr\ om.} = \frac{(No.deHabitantes)(AportaciónAguaR.)}{86,400seg / dia}$$

Para los cálculos de Q_{min} (Gasto mínimo) y Q_{max} (Gasto máximo o caudal punta) se efectuaron los siguientes cálculos:

$$Q_{min} = (0.5)(Q_{prom})$$
$$Q_{max} = (2.17)(Q_{prom})$$

1) Estimación de caudales teóricos a partir de valores típicos y proyección de población. Para el cálculo de estas estimaciones Metcalf & Eddy (1998), proponen que entre el 60 y el 85 por 100 del consumo por habitante se convierte en agua residual. Para efectos de este trabajo se consideró el valor de 85% como la proporción de agua que se convierte en residual y que es enviada a la red de alcantarillado sanitario. 2) Estimación teórica de agua residual en base a datos de población utilizando información del Software SCIENCE 2000 del INEGI y datos de las variables de los AGEB del Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2010. 3) Estimación de carga de contaminantes y caudal en base a datos de proyección de población.

La carga orgánica medida como DBO_5 , la de sólidos totales y la de nutrientes se obtuvo mediante los datos de población resultantes de los métodos aritmético, logarítmico y geométrico, descritos por (López, 1999) y con el empleo de los factores de carga señalados por Metcalf & Eddy, (1998) y por Noyola *et.al.* (2000).

7.5.3. Modelación Ambiental.

En este trabajo de investigación se pretende obtener un esquema de gestión y de manejo integral del agua para la Villa Unión y los fraccionamientos aledaños a la misma. Para lo cual, conjuntamente con una evaluación prospectiva de la infraestructura de tratamiento del agua residual doméstica, se aplicó un modelo de carácter conceptual para predecir la carga neta de contaminación generada como resultado del arrastre de sólidos y carga orgánica que puede derivarse de precipitación pluvial. Este tipo de modelo permite predecir la carga neta de DBO_5 , de sólidos y de nutrientes que puede esperarse en los primeros 30 minutos de una lluvia intensa, y que en localidades con drenaje combinado únicamente puede identificarse de manera indirecta, en relación con variables como el área urbana y escurrimiento superficial. Wanielista y Yousef (1992), han propuesto el empleo de la Subrutina Load Runnof para el modelamiento y la predicción de dicha carga, la cual viene integrada en el Programa SMADA Ver. 6.26 para ambiente Windows, el cual se empleó en el presente trabajo, para la obtención de datos relativos a la carga orgánica de DBO_5 , fósforo total, sólidos suspendidos, plomo, Cobre, Zinc, Nitrógeno total, para la modelación se utilizaron los datos de las áreas urbanas obtenidas de cada AGEB, y los coeficientes de escurrimiento por tipo de suelo, así como datos de precipitación promedio mensual de la estación climatológica más cercana a la zona de estudio.



8 RESULTADOS Y DISCUSIONES

8.1. Inventario de infraestructura de abastecimiento de Agua Potable y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARD).

8.1.1. Inventario infraestructura de abastecimiento de agua potable.

Específicamente en el municipio de Centro al año 2012 se contabilizaron 54 Sistemas de agua potable, 51 pozos profundos, 33 pozos someros y 19 plantas potabilizadoras con un gasto de operación de 5,579 l/s (Sistema de Agua y Saneamiento, SAS, 2012). De manera particular, en la zona de estudio Villa Ocuilzapotlán- Macultepec, se localizaron 13 pozos profundos que estuvieron operando hasta el año 2009 y que abastecían de agua desinfectada o clorada a las Villas y fraccionamientos del lugar. Actualmente solo opera el pozo del fraccionamiento ISSET. La producción promedio de estos pozos era de 155 l/s. (Cuadro 14). En la zona se ubicaron también 8 tanques elevados para rebombeo del agua. Las localidades de la zona hoy se abastecen de agua potable procedente de una línea de conducción que sale de la Planta potabilizadora Carrizal, ubicada en la Ra. Emiliano Zapata del Municipio de Centro. Dicha línea tiene una longitud de 27 Km, iniciando en la Planta Carrizal, con un diámetro de 28” de diámetro misma que se va reduciendo llega a Cd. Industrial con 14” finalizando en Ocuilzapotlán y Macultepec con 6” de diámetro, y es conocida como el “Corredor Carrizal-Macultepec”.

Cuadro 14. Inventario de Pozos en zona de Estudio

Localidad	Año en que se construyó	No. De Pozos	Horas de bombeo/día	l/s	No. De Tomas	Opera
Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán dos (Km.15)	1985	1	24	15	545	No
Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán (Km.17).Fracc. Los Angeles	1984	1	24	10	465	No
Villa Ocuilzapotlán (Pozo 1)	1973	1	24	10	1,373	No
Villa Ocuilzapotlán (Pozo 2)	1993	1	24	5		No
Villa Ocuilzapotlán-Col.Vicente Guerrero -El arbolito (Pozo 3)	2000	1	18	15		No
Villa Macultepec (Pozo 1)	1989	1	24	20	1,074	
Villa Macultepec (Pozo 2)	1994	1	24	10		No
Villa Macultepec (Pozo 3)	1994	1	24	30		No
Fracc. Las Rosas (Pozo 1)	1993	1	14	10	1,200	No
Fracc. Las Rosas (Pozo 2)	1995	1	10	10		No
Lomas de Ocuilzapotlán (Fracc. ISSET)	1989	1	17	20	280	Si
Fracc. Lomas del Encanto	1999	1	8	10	24	No
Fracc. La Ceiba (Infonavit)	2002	1	8	10	165	No
Total		13	243	175	5,126	

Los Pozos estuvieron en servicio hasta 2009, actualmente se abastece de la Planta Carrizal.



8.1.2. Inventario de alcantarillado y tratamiento de agua residual.

En la principal mancha urbana localizada en las Villas Ocuilzapotlán-Macultepec, se cuenta con red de alcantarillado sanitario y pluvial (27,141 metros lineales), fue construido desde 1974 con tubería de concreto simple de 20 y 30 cm de \varnothing , actualmente estas líneas descargan por gravedad hacia el cárcamo de bombeo ubicado en Villa Macultepec, el cual rebombee las aguas residuales hacia la PTARD tipo pantano artificial mediante una línea de presión de 14” \varnothing . Por su parte los fraccionamientos aledaños cuentan con su propia red de alcantarillado y cárcamos de bombeo y en su mayoría descargan hacia las lagunas Paso Segundo y el Calabozo. Es importante mencionar que como parte de las acciones del Programa de Saneamiento Integral de la zona, el Organismo Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Tabasco en el año 2004 construyó una línea de presión de 12” \varnothing con longitud de 5,220 metros lineales que parten desde el cárcamo del Fraccionamiento “Las Rosas”, con el objeto de conducir las aguas negras crudas de este asentamiento hacia el cárcamo Macultepec para su posterior envío hacia la PTARD tipo pantano artificial, tomando la decisión de dejar fuera de operación la PTARD a base de lodos activados del fraccionamiento “Las Rosas”, misma que está prácticamente desmantelada. En resumen a diciembre de 2012 en la zona de estudio se inventariaron siete estaciones de bombeo con capacidad de operación de 698 l/s y 5 PTARD con gasto de diseño de 165 l/s de las cuales solo opera la planta Macultepec (Cuadro 15)

Cuadro 15. Inventario de Plantas de Tratamiento de Agua Residual y Cárcamos de la zona de estudio.

Localización	Año de Construcción	Estaciones de bombeo (Cárcamos)				Plantas de Tratamiento de Agua Residual					
		No	Profundidad (m).	\varnothing (m)	Bombeo l/s	No	PTARD	Q diseño l/s.	Tipo	Cuerpo receptor	No. de Descargas
Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán II Km. 15 (INVITAB)	1998	1	7.00	3.00	30	1	FO	15	Tanque Imhoff	Lag. El calabozo	422
Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán II Km.17	N.D.	1	6.00	3.00	240	1	FO	15	Sed. primario con biofiltro	Lag. Paso segundo	480
Villa Macultepec	2003-2004	1	7.00	3.00	350	1	EO	125	Pantano artificial	Arroyo Macultepec	1733
Fracc. Las Rosas	1992	1	7.00	3.00	40	1	FO	15	Lodos activados	Arroyo Macultepec	1200
Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17 (ISSET)	1989	1	7.00	3.00	30	1	FO	10	Tanque Imhoff	Lag. Paso segundo	280
Fracc. Lomas de ocuilzapotlán (Los Angeles)	N.D.	1	4.00	3.00	5					Lag. Paso segundo	67
Col. El refugio	N.D.	1	6.00	3.00	3					Arroyo Macultepec	N.D.
Total		7	44	21	698	5		180			4182

N.D.= No determinado, FO= fuera de operación, EO= en operación.
 Red de alcantarillado existente es de tipo mixto o combinado (agua residual + Agua Pluvial)



8.1.3. Inventario de descargas de aguas residuales localizadas en la zona de estudio.

Los resultados señalan 15 descargas puntuales que están vertiendo en forma directa los cuerpos de agua superficial denominados Laguna Paso Segundo, Laguna el Calabozo y Arroyo Macultepec (Cuadro 16). Durante el recorrido por los distintos fraccionamientos de la zona se verificó con personal técnico de SAPAET, la existencia de una descarga de aguas negras sobre la calle membrillo del fraccionamiento Lomas del Encanto. Esta descarga sólo se visualiza en la parte posterior de una pequeña instalación que los colonos denominan "Planta de Tratamiento", misma que no pudo verificarse por encontrarse cerrada desde que el fraccionador entregó las casas. Los habitantes del fraccionamiento explicaron que antes de la construcción del Fraccionamiento Lomas del Encanto, existía un paso de aguas pluviales provenientes de los asentamientos ubicados en el otro lado de la carretera (restaurante "La selva"), mismo que se construyó con alcantarillas de lámina corrugada de 91 cm de \varnothing para desalojar el agua de lluvia hacia la Laguna Paso Segundo. Al construirse el fraccionamiento Lomas del Encanto los habitantes del Fraccionamiento Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17 ISSET, se negaron a que Lomas del Encanto se interconectara a la red de drenaje, por lo que el fraccionador construyó sobre la calle membrillo una aparente PTARD en un espacio de 12 m², donde por la parte posterior de ésta se interconectaron a la alcantarilla de aguas pluviales. Actualmente la descarga a base de alcantarillas de lámina corrugada se ubica por debajo de las casas y no está visible el vertido de la descarga final. Según SAS, en el 2001 se realizaron sondeos para ubicar la punta de la descarga sin resultados favorables, es probable que las alcantarillas estén totalmente colapsadas y el agua se está infiltrando hacia el subsuelo.

Como parte de las acciones del programa de saneamiento de la zona se tiene contemplado por parte del Gobierno Estatal, la instalación de una línea de presión de 12" de \varnothing para la recogida de las aguas residuales de los fraccionamientos, Ocuilzapotlán II, Km 15, Km. 17, Lomas del Encanto y Los Ángeles para enviar las aguas residuales hacia la PTARD tipo pantano artificial ubicada en Villa Macultepec, sin embargo por problemas sociales y desacuerdos de los habitantes de los distintos fraccionamientos no se han podido concluir los trabajos de esta línea, aun cuando ya se dio inicio parcial a los trabajos. En las descargas directas de casas localizadas sobre el arroyo Macultepec, se observó durante temporadas de lluvias que éstas se encuentran por debajo del tirante máximo alcanzado por el arroyo. Esta situación ocasiona anegaciones importantes en terrenos situados en las márgenes del arroyo Macultepec y problemas operativos en el cárcamo del mismo nombre donde los operadores manifiestan que con la presencia de lluvias y al crecer el nivel del arroyo se entorpecen las actividades del bombeo del cárcamo ya que en lugar de desalojarse las aguas residuales, hacia el arroyo este ingresa agua hacia la red sanitaria y se recircula el agua pluvial combinada con aguas residuales teniéndose que parar el bombeo del cárcamo Macultepec inundándose los terrenos aledaños al cárcamo y las propias instalaciones del sistema de bombeo. En la parte frontal del Cárcamo Macultepec aún existe la descarga directa de 12" \varnothing misma que es abierta y utilizada en épocas de lluvias para desalojar la mezcla o combinación de agua pluvial y residual directamente al arroyo del mismo nombre. Esta misma acción se efectúa cuando los equipos de bombeo dejan de operar por fallas mecánicas o eléctricas (Figura 4).



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
“Estudio en la Duda, Acción en la Fé”
División Académica de Ciencias Biológicas



Cuadro 16. Inventario de descargas puntuales localizadas en la zona de estudio

No.	Ubicación de la descarga	Diámetro (in)	Tipo de material	Tipo de descarga	Cuerpo receptor del agua residual descargada	Observación
1	A orilla de arroyo macultepec	4"	P.V.C.	A.R. Doméstica	Arroyo Macultepec	
2	A orilla de arroyo macultepec	4"	P.V.C.	A.R. Doméstica	Arroyo Macultepec	
3	A orilla de arroyo macultepec	4"	P.V.C.	A.R. Doméstica	Arroyo Macultepec	
4	A orilla de arroyo macultepec	4"	P.V.C.	A.R. Doméstica	Arroyo Macultepec	
5	A orilla de arroyo macultepec	4"	P.V.C.	A.R. Doméstica	Arroyo Macultepec	
6	A orilla de arroyo macultepec	6"	P.V.C.	A.R. Doméstica	Arroyo Macultepec	
7	A orilla de arroyo macultepec	4"	P.V.C.	A.R. Doméstica	Arroyo Macultepec	
8	Zona baja de la calle Tomás Garrido Canabal (Villa Ocuilzapotlán)	6"	P.V.C.	A.R. Doméstica	Popal innominado dentro la Villa	
9	PTARD, Lomas de Ocuilzapotlán II Km. 15 INVITAB	12"	Fo.Fo.	A.R. Doméstica y pluvial	Laguna el calabozo	
10	PTARD, Lomas de Ocuilzapotlán I Km. 17 -Fracc. Los Ángeles	12"	Fo.Fo.	A.R. Doméstica y pluvial	Laguna Paso Segundo	
11	Cárcamo de PTARD, Lomas de Ocuilzapotlán I Km. 17	12"	Asbesto -Cemento	A.R. Doméstica y pluvial	Laguna Paso Segundo	
12	Cárcamo Macultepec	12"	Fo.Fo.	A.R. Doméstica y pluvial	Arroyo Macultepec	
13	PTARD Las Rosas	8"	P.V.C.	A.R. Doméstica y pluvial	PTAR, Macultepec	Descarga cancelada en 2005, al interconectarse a la línea que va a la PTAR, Macultepec
14	PTAR DMacultepec	12"	Fo.Fo.	A.R. Doméstica y pluvial	Arroyo Macultepec	
15	Calle Membrillo, Fracc. Lomas del Encanto	12"	La Lámina corrugada de 91 cm. Fue sustituida por tubería de polietileno de alta densidad 1.07 m. ø	A.R. Doméstica y pluvial	Laguna Paso Segundo	En 2012 se rehabilitó el alcantarillado de la zona y se construyó una estructura de descarga de 12" de diámetro

Fo. Fo. = Fierro fundido

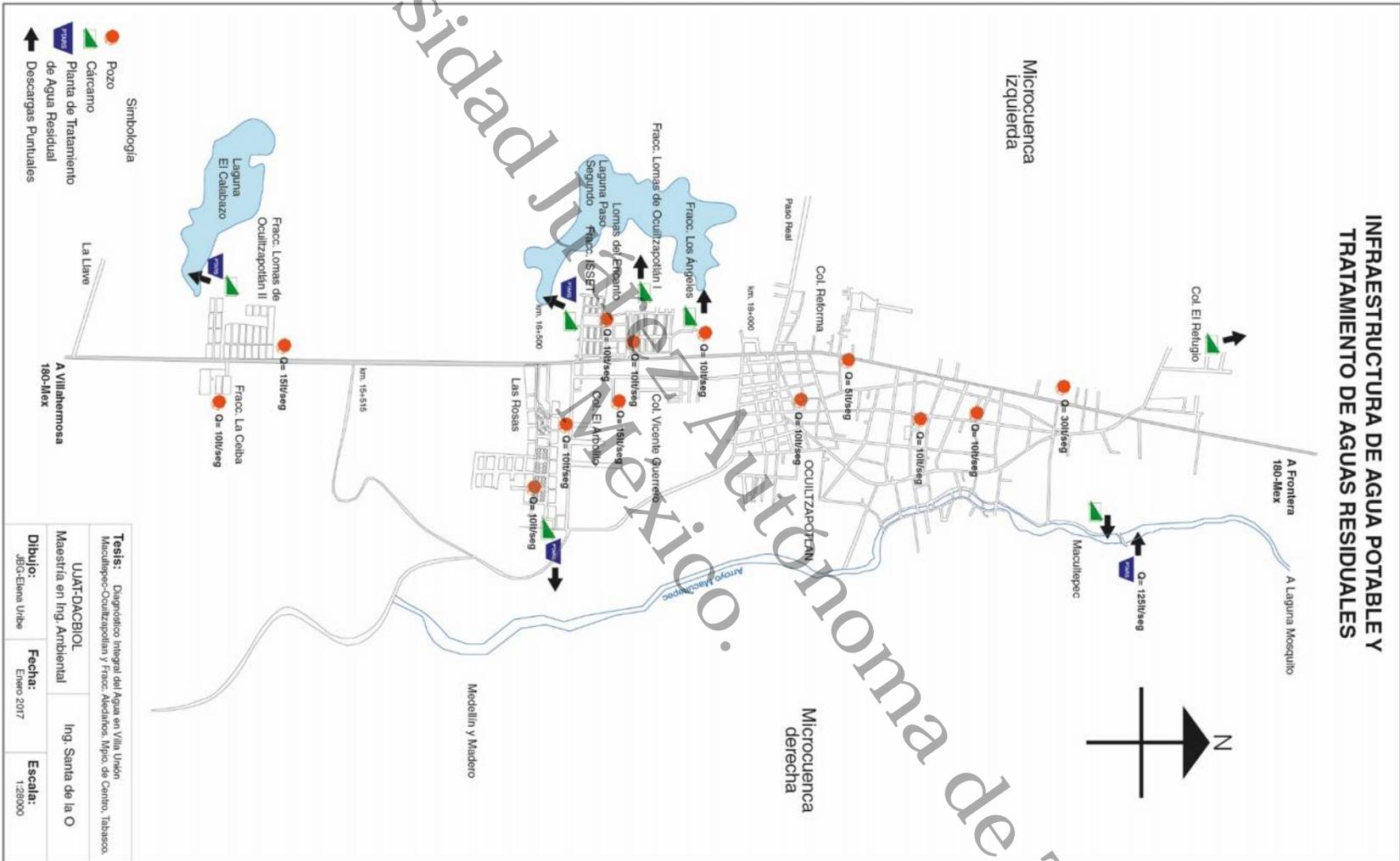


Figura 4.-Infraestructura de agua potable, tratamiento de aguas residuales y descargas a cuerpos receptores.



8.2. Caracterización volumétrica, fisicoquímica y bacteriológica la calidad de las aguas de abastecimiento potable en el área de estudio.

8.2.1. Dotación de abastecimiento de agua en base a la infraestructura instalada.

Para el cálculo de dotación teórica actual se consideró, la existencia de 13 pozos profundos en operación con un gasto de 155 LPS, y que en algunos fraccionamientos se suministra agua por horarios (menos de 24 horas por día).

Cuadro 17. Dotación Teórica de abastecimiento de agua en la Zona de estudio				
Año	Proyección histórica de Población	Qdt (Litros)	Pérdidas 30%	Estimado (Litros)
1980	7,119	1,779,750	533,925.00	1,245,825
1990	14,506	3,626,500	1,087,950.00	2,538,550
2005	24,706	6,176,500	1,852,950.00	4,323,550
2010	29,783	7,445,750	2,233,725.00	5,212,025
2015	37,171	9,292,667	2,787,800.00	6,504,867
2020	45,568	11,392,083	3,417,625.00	7,974,458
2025	55,933	13,983,250	4,194,975.00	9,788,275
2030	68,812	17,202,917	5,160,875.00	12,042,042
2035	84,891	21,222,750	6,366,825.00	14,855,925

Dotación típica por habitante: 250 Litros /día

De acuerdo a los resultados obtenidos en base a la infraestructura y equipos instalados actualmente (Cuadro 18), el volumen de agua explotado por día en las 13 fuentes subterráneas es de 6,048, 000 Litros/día.

Considerando que en la zona de estudio existe un porcentaje en pérdidas por fugas en redes del 30 %, (Metcalf & Eddy, 1998), podemos estimar que de acuerdo a la infraestructura instalada; alcanzo a llegar a los hogares un volumen de 6 048,000 litros/día (6,048 m³/día) de agua desinfectada procedente de los pozos profundos, y que dividido entre el número de habitantes de la zona de estudio de 24,706,(INEGI 2005), nos conduce a una dotación promedio real por habitante de 244.79 litros/día, esto hasta el mes de marzo del 2009 ya que a partir de esta fecha se entrega agua potabilizada a la población a través de la Línea de conducción procedente de la Planta Potabilizadora Carrizal.

El resultado comparativo entre la dotación estimada y la dotación teórica en base a los pozos existentes, indica que el valor de dotación es congruente con el valor típico para poblaciones de clima cálido señalado por Noyola, et al, 2000.



Cuadro 18. Dotación teórica de abastecimiento de agua en la Zona de estudio en base a pozos existentes

No.	Infraestructura	Tb Horas de suministro de Agua	Qeq (l/s)	Qeq (0.80) Volumen total suministrado (l/s.)	Qdt Gasto Teórico (l/día)	Dotación Teórica (l/día)-pérdidas (30%)
Microcuenca derecha	Pozo 1 de Villa Ocuilzapotlan	24	10	8	691,200	483,840
	Pozo 2 de Villa Ocuilzapotlan	24	5	4	345,600	241,920
	Pozo 3 de Villa Ocuilzapotlan(zona el arbolito- Col. Vicente Guerrero)	18	15	12	777,600	544,320
	Pozo 1 Villa Macultepec	24	10	8	691,200	483,840
	Pozo 2 Villa Macultepec	24	10	8	691,200	483,840
	Pozo 3 Villa Macultepec	24	30	24	2,073,600	1,451,520
	Pozo 1 de Fracc. Las Rosas	14	10	8	403,200	282,240
	Pozo 2 de Fracc. Las Rosas	10	10	8	288,000	201,600
	Pozo Fracc. La Ceiba (Infonavit)	8	10	8	230,400	161,280
Subtotal		170	110	88	6,192,000	4,334,400
Microcuenca izquierda	Pozo de Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán II, Km 15 (INVITAB)	24	15	12	1,036,800	725,760
	Pozo del Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km.17- Fracc. Los Angeles	24	10	8	691,200	483,840
	Pozo Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17 (ISSET)	17	10	8	489,600	342,720
	Pozo de Fracc. Lomas del Encanto	8	10	8	230,400	161,280
Subtotal		73	45	36	2,448,000	1,713,600
Total		243	155	124	8,640,000	6,048,000



8.2.2. Volumen temporal y espacial de abastecimiento de agua mediante pozos.

Los resultados obtenidos mediante el operativo de pozos, se reflejan en el Cuadro 19 donde se refleja que el volumen real enviado a las redes durante el año fue de 3'726,259 m³, es decir un 40.75% menos de lo esperado, al dotarse realmente de 145.04 litros /habitante/día, esto se traduce en una escasez de agua particularmente en la margen izquierda. (Figura 5). Es importante señalar que dentro de los reportes de bitácoras se refleja una fuerte problemática relacionada con la incorrecta operación de los sistemas de bombeo, ya que la falla en el suministro de agua está vinculado en forma directa a las constantes fallas mecánicas y eléctricas en equipos, (sea por variación de voltajes, falta de mantenimientos preventivos, mala reparación y recalentamientos de éstos y por ausencias o descuidos del operador de bombeo). Se observó también que debido a que los pozos de Macultepec y Ocuiltzapotlán están interconectados en su totalidad, las redes disminuyen su presión cuando por alguna circunstancia se presentan problemas operativos en alguna de las fuentes subterráneas. Esta situación aunada a las fugas presentadas en las redes explica parcialmente el problema de escasez de agua en las zonas altas y en los puntos más alejados de la red. Con el cierre de la gran mayoría de los pozos profundos de la zona en el año 2008 y con el suministro de agua a través de una línea de conducción procedente de la planta Carrizal, las comunidades de la zona de estudio hoy en día se les ha mejorado relativamente el servicio y la calidad del agua ya que hoy reciben agua potabilizada y desinfectada, sin embargo al no existir cisternas de rebombeo de gran volumen en el tramo de la Planta Carrizal hasta Macultepec (28Km), y mucho menos válvulas de control, la población que es abastecida por esta línea de conducción se queda sin servicio cuando se presentan problemas operativos en la Potabilizadora de Carrizal.

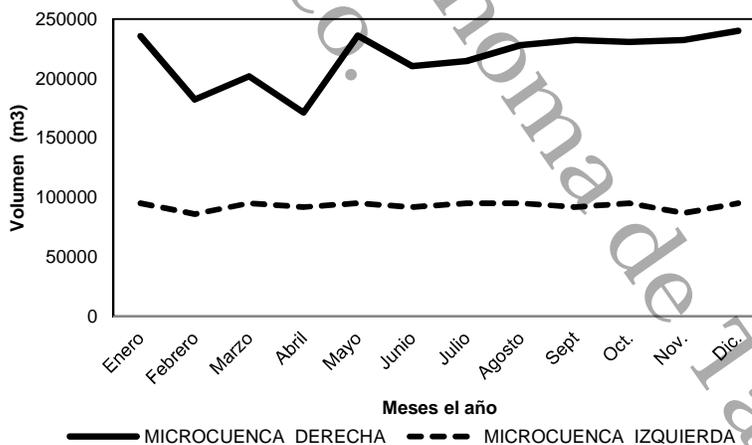


Figura 5.- Volumen Temporal de fuentes subterráneas (Pozos) en m³.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
“Estudio en la Duda, Acción en la Fé”
División Académica de Ciencias Biológicas



Cuadro 19. Volumen temporal promedio en m³, suministrado por fuentes subterráneas de 2002 a 2009.

Pozo profundo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Villa Ocuilzapotlán Pozo 1	26,784	24,192	26,784	25,920	26,784	25,920	26,784	21,600	25,920	26,784	25,920	26,784	310,176
Villa Ocuilzapotlán Pozo 2	13,392	4,838	5,357	5,184	13,392	12,960	13,392	13,392	12,960	13,392	12,960	13,392	134,611
Villa Ocuilzapotlán Pozo 3 (El arbolito)	30,132	0	0	972	26,244	8,748	4,860	23,328	29,160	22,356	29,160	30,132	205,092
Villa Macultepec Pozo 1	26,784	24,192	26,784	25,920	26,784	25,920	26,784	26,784	25,920	26,784	25,920	26,784	315,360
Villa Macultepec Pozo 2	26,784	24,192	26,784	864	26,784	25,920	26,784	26,784	25,920	26,784	25,920	26,784	290,304
Villa Macultepec Pozo 3***	80,352	72,576	80,352	77,760	80,352	77,760	80,352	80,352	77,760	80,352	77,760	80,352	946,080
Frac. Las Rosas Pozo 1	15,624	14,112	15,624	15,120	15,624	15,120	15,624	15,624	15,120	14,112	15,120	15,624	182,448
Frac. Las Rosas Pozo 2	11,160	10,080	11,160	10,800	11,160	10,800	11,160	11,160	10,800	11,160	10,800	11,160	131,400
Frac. La Ceiba Infonavit	4,320	8,064	8,928	8,640	8,928	7,200	8,928	8,928	8,640	8,928	8,640	8,928	99,072
Microcuenca Derecha	235,332	182,246	201,773	171,180	236,052	210,348	214,668	227,952	232,200	230,652	232,200	239,940	2,614,543
Frac. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 15 (Pozo INVITAB)	40,176	36,288	40,176	38,880	40,176	38,880	40,176	40,176	38,880	40,176	33,696	40,176	467,856
Frac. Lomas de Ocuilzapotlán Km.17	26,784	24,192	26,784	25,920	26,784	25,920	26,784	26,784	25,920	26,784	25,920	26,784	315,360
Frac. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17 (Pozo ISSET)	18,972	17,136	18,972	18,360	18,972	18,360	18,972	18,972	18,360	18,972	18,360	18,972	223,380
Frac. Lomas del Encanto	8,928	8,064	8,928	8,640	8,928	8,640	8,928	8,928	8,640	8,928	8,640	8,928	105,120
Microcuenca Izquierda	94,860	85,680	94,860	91,800	94,860	91,800	94,860	94,860	91,800	94,860	86,616	94,860	1,111,716
Total	330,192	267,926	296,633	262,980	330,912	302,148	309,528	322,812	324,000	325,512	318,816	334,800	3,726,259

***Este pozo se incluyó en la m. derecha debido a que esta interconectado con los pozos de Macultepec y Ocuilzapotlán y el mayor suministro de agua es hacia esa zona.
NOTA: En este cálculo no se consideraron las pérdidas en redes por fugas.



8.2.3. Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de pozos profundos.

Para la evaluación del agua de las fuentes subterráneas, se realizaron tres muestreos en once fuentes y se analizaron 24 parámetros fisicoquímicos y uno bacteriológico por muestra. Los resultados obtenidos fueron contrastados con la normatividad permisible en México y referenciada por la NOM-127-SSA1-1994 (Modificada), al revisar la bibliografía existente (Price, 2003.) se tiene que la Comunidad Europea, (CE), aplica valores permisibles para la calidad de agua para consumo humano más restrictivos que los existentes en el México. Los resultados de análisis en pozos profundos se señalan en los Cuadros 20, 21 y 22.

Cuadro 20. Calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas (Pozos Profundos Primer Muestreo).													
Parámetro	NOM127-SSA1-1994	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura °C		29	27	29	29	28	29	29	29	29	Na	29	29
Turbiedad U.T.N.	5	1.03	3.62	1.85	0.99	7.9	3.67	3.71	13.10	1.28	Na	2.89	15.5
Color UC.	20	5	5	5	5	45	5	5	20	5	Na	5	25
P.H.	6.5 a 8.5	7.43	7.14	7.19	7.55	6.93	6.86	6.83	6.85	7.59	Na	7.52	7.49
Olor	Agradable	inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Fétido	Inodoro	Inodoro	Fétido	Inodoro	Na	Inodoro	Inodoro
Conductividad		600	651	620	600	266	280	525	376	851	Na	723	596
Cloro Residual	0.2-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Na	0.0	0.0
Sólidos Tóales		326	508	410	392	238	242	404	260	542	Na	444	428
SDT	1000	290	468	310	372	182	200	284	218	448	Na	432	358
CO ₂ libre		17	42	34	13	32	58	56	40	14	Na	16	15
Calcio (Ca)		44.8	56	27.2	33.6	24	16.8	16.8	24.8	60.8	Na	46.4	42.4
Magnesio(Mg)	125	23.52	24.96	19.2	30.24	18.24	21.12	17.28	25.44	41.28	Na	34.08	24.96
Fierro (Fe)++	0.3	0.211	0.770	0.043	0.054	2.482	0.502	0.367	2.561	0.435	Na	0.267	1.543
Manganeso (Mn)	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Na	0.0	0.0
Sodio (Na) calc	200	58.60	94.09	88.39	59.89	17.34	39.98	88.9	24.73	61.64	Na	80.95	68.99
Carbonatos(CO ₃) ²⁻		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Na	0.0	0.0
Bicarbonatos(HCO ₃)		309.88	348.92	331.84	302.56	170.8	134.2	234.24	273.24	361.12	Na	344.04	307.44
Sulfatos (SO ₄) ²⁻	400	15.59	48.53	14.97	23.73	6.00	12.68	24.77	21.02	34.99	Na	42.91	36.32
Cloruros (Cl)	250	35.29	42.72	25.54	29.26	14.39	17.18	44.58	24.61	61.76	Na	43.19	26.47
Fosfatos (PO ₄)		0.0	0.0	0.050	0.019	0.203	0.129	0.039	0.308	0.028	Na	0.008	0.073
Dureza Calcica		112	140	68	84	60	42	42	62	152	Na	116	106
Dureza Carbonato*		210	244	148	210	136	110	114	142	296	Na	258	210
Dureza Total* (CaCO ₃)	500	210	244	148	210	136	130	114	168	324	Na	258	210
Alcalinidad (T)*		254	286	272	248	140	110	192	142	296	Na	282	252
Coliformes Totales	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

RESULTADOS EXPRESADOS EN: mg/lit ó * mg/lit de CaCO₃. ND. No detectado, Na: No aplica

CLAVES:
1.- Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km.15.(Pozo Único).
2.- Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán II Km.17 (Pozo Único).
3.-Villa Ocuilzapotlán (Pozo 1)
4.- Villa Ocuilzapotlán (Pozo 2)
5.- Villa Ocuilzapotlán (Pozo 3, el arbolito)
6.- Villa Macultepec (Pozo 1)
7.- Villa Macultepec (Pozo 2)
8.- Villa Macultepec (Pozo 3)
9.- Fracc. Las Rosas (Pozo 1)
10 Fracc. Las Rosas (Pozo 2)
11 Fracc. ISSET (Lomas de Ocuilzapotlán)
12 Fracc. Lomas del Encanto.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
“Estudio en la Duda, Acción en la Fé”
División Académica de Ciencias Biológicas



Cuadro 21. Calidad fisicoquímica y bacteriológica de las aguas subterráneas. (Pozos Profundos, Segundo Muestreo)

Parámetro	NOM127-SSA1-1984	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura °C		29	29	29	29	29	29	29	29	29	Na	29	29
Turbiedad N.T.U.	5	1.19	0.93	0.22	0.99	0.84	1.40	0.66	5.78	1.52	Na	1.76	6.86
Color UND C.	20	5	5	5	5	5	5	5	15	5	Na	5	25
P.H.	6.5 a 8.5	7.22	7.39	7.56	7.26	6.64	6.67	7.08	6.67	7.20	Na	7.37	7.49
Olor	Agradable	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Cloro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Na	Inodoro	Inodoro
Conductividad		548	705	572	513	213	275	572	355	819	Na	692	732
Cloro Residual	0.2-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	Na	0.0	0.0
Sólidos Tóales		320	334	334	316	176	186	304	248	374	Na	518	390
SDT	1000	294	262	286	310	116	178	290	242	350	Na	246	350
CO ₂ libre		28	19	15	25	44	41	35	97	35	Na	22	18
Calcio (Ca)		44.8	31.2	27.2	32	13.6	16.8	15.2	27.2	7.2	Na	42.4	41.6
Magnesio(Mg)	125	13.44	29.76	8.64	16.80	6.24	6.72	10.8	14.40	65.28	Na	29.76	33.12
Fierro (Fe)++	0.3	0.132	0.490	0.166	0.042	0.613	0.803	0.457	2.202	0.389	Na	0.490	0.927
Manganeso (Mn)	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Na	0.0	0.0
Sodio (Na) calc	200	69.32	85.55	107.35	81.45	24.44	38.92	110.26	40.16	86.96	Na	85.48	88.49
Carbonatos(CO ₃) ²⁻		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Na	0.0	0.0
Bicarbonatos(HCO ₃)		302.56	280.6	336.72	292.80	117.12	119.56	256.2	161.04	346.48	Na	322.08	334.28
Sulfatos (SO ₄) ²⁻	400	11.22	46.45	13.30	22.68	2.25	14.13	25.18	21.85	54.16	Na	42.70	38.74
Cloruros (Cl)	250	33.12	42.38	23.59	27.67	8.62	19.05	42.38	26.31	55.99	Na	43.56	55.35
Fosfatos (PO ₄)		0.337	0.106	0.259	0.494	0.153	0.259	0.028	0.366	0.106	Na	0.028	0.140
Dureza Calcica		112	78	68	80	34	42	38	68	18	Na	106	104
Dureza Carbonato*		168	202	104	150	60	70	80	128	284	Na	230	242
Dureza Total*	500	168	202	104	150	60	70	80	128	290	Na	230	242
Alcalinidad (T)*		248	230	276	240	96	98	210	132	284	Na	264	274
Coliformes Totales	ND	2.2	N.D	N.D.	8.8	2.2	N.D.	N.D	N.D	N.D		N.D	7.6

RESULTADOS EXPRESADOS EN: mg/lit ó * mg/lit de CaCO₃. ND. No detectado, Na: No aplica

CLAVES:

- 1.- Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km.15.(Pozo Único).
- 3.-Villa Ocuilzapotlán (Pozo 1)
- 5.- Villa Ocuilzapotlán (Pozo 3, el arbolito)
- 7.- Villa Macultepec (Pozo 2)
- 9.- Fracc. Las Rosas (Pozo 1)
- 11 Fracc. ISSET (Lomas de Ocuilzapotlán)

- 2.- Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán II Km.17 (Pozo Único).
- 4.- Villa Ocuilzapotlán (Pozo 2)
- 6.- Villa Macultepec (Pozo 1)
- 8.- Villa Macultepec (Pozo 3)
- 10 Fracc. Las Rosas (Pozo 2)
- 12 Fracc. Lomas del Encanto.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
“Estudio en la Duda, Acción en la Fé”
División Académica de Ciencias Biológicas



Cuadro 22. Calidad fisicoquímica y bacteriológica de las aguas subterráneas. (Pozos Profundos, Tercer Muestreo)

Parámetro	NOM127-SSA1-1984	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura °C		30	29	26	25	26	25	26	26	30	Na	29	27
Turbiedad N.T.U.	5	2.03	2.37	0.01	1.12	1.28	1.16	3.21	5.80	5.91	Na	5.90	39.78
Color UND C.	20	5	5	5	5	5	15	5	15	5	Na	15	90
P.H.	6.5 a 8.5	7.36	7.11	7.43	7.50	7.83	7.42	7.51	7.17	7.61	Na	7.46	7.41
Olor	Agradable	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Inodoro	Pantano	Inodoro	Inodoro	Fétido	Inodoro	Na	Inodoro	Inodoro
Conductividad		600	733	570	492	389	304	581	365	855	Na	708	709
Cloro Residual	0.2-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Na	0.0	0.0
Sólidos Tótales		354	430	324	348	304	242	348	278	546	Na	462	480
SDT	1000	340	392	302	284	282	210	332	224	484	Na	380	372
CO ₂ libre		20	38	18	12	7.83	8	13	23	14	Na	17	19
Calcio (Ca)		48	36.0	26.4	32.8	14.4	16	13.6	24.8	66.4	Na	50.4	16.0
Magnesio(Mg)	125	12.48	26.88	10.5	12.48	18.24	10.56	6.72	15.84	33.6	Na	23.04	54.72
Fierro (Fe)++	0.3	0.300	0.289	0.0	0.032	0.037	0.188	0.457	1.352	0.782	Na	0.961	3.154
Manganeso (Mn)	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Na	0.0	0.0
Sodio (Na) calc	200	64.38	99.68	94.10	67.49	47.97	36.81	124.41	41.07	96.66	Na	85.74	65.41
Carbonatos(CO ₃) ²⁻		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Na	0.0	0.0
Bicarbonatos(HCO ₃)		295.24	312.32	307.44	246.44	219.6	136.64	265.46	163.48	356.24	Na	317.2	317.20
Sulfatos (SO ₄) ²⁻	400	9.552	48.331	12.888	20.394	6.842	11.429	21.436	20.602	66.261	Na	46.45	34.363
Cloruros (Cl)	250	35.09	43.05	24.80	25.27	14.97	19.65	49.60	28.08	59.89	Na	41.65	53.81
Fosfatos (PO ₄)		0.050	0.05	0.062	0.0	0.0	0.106	0.050	0.189	0.118	Na	0.189	0.294
Dureza Calcica		120	90	66	82	36	40	34	62	166	Na	126	40
Dureza Carbonato*		172	202	110	134	112	84	62	128	292	Na	222	260
Dureza Total*	500	172	202	110	134	112	84	62	128	306	Na	222	268
Alcalinidad (T)*		242	256	252	202	180	112	218	134	292	Na	260	260
Coliformes totales	ND	ND	ND	ND	40	ND	ND	ND	ND	ND	Na	40	4600

RESULTADOS EXPRESADOS EN: mg/l ó * mg/lit de CaCO₃. ND. No detectado, Na: No aplica

CLAVES:
1.- Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km.15.(Pozo Único).
2.- Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán II Km.17 (Pozo Único).
3.- Villa Ocuilzapotlán (Pozo 1)
4.- Villa Ocuilzapotlán (Pozo 2)
5.- Villa Ocuilzapotlán (Pozo 3, el arbolito)
6.- Villa Macultepec (Pozo 1)
7.- Villa Macultepec (Pozo 2)
8.- Villa Macultepec (Pozo 3)
9.- Fracc. Las Rosas (Pozo 1)
10 Fracc. Las Rosas (Pozo 2)
11 Fracc. ISSET (Lomas de Ocuilzapotlán)
12 Fracc. Lomas del Encanto.



Temperatura.

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que el grado de saturación de Oxígeno Disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con este parámetro. En estudios de polución de ríos, estudios limnológicas y en la identificación de la fuente de suministro en pozos, la temperatura es un dato necesario que debe tomarse en el sitio de muestreo. (Romero Rojas, 2000). En general la temperatura del agua a lo largo de los tres muestreos oscilo entre los 25 y 30 centígrados. Durante el muestreo del mes de mayo la temperatura del agua en las fuentes subterráneas fue de 30° centígrados manteniéndose constante en las once fuentes de abastecimiento. Las mediciones en el mes de diciembre fueron ligeramente menores y los datos medidos en el muestreo del mes de octubre observaron los mínimos valores, exceptuándose, el agua de los pozos del Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km 15 y del Fracc. Lomas del Encanto que registraron temperaturas de 30° centígrados.

pH.

El término pH se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. En el suministro de aguas es un parámetro que debe considerarse con respecto a la coagulación química, la desinfección, el ablandamiento y el control de la corrosión. Los valores obtenidos en las fuentes subterráneas indican que el agua analizada en las once fuentes subterráneas se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-/1994 (modificada), que menciona que las aguas para uso y consumo humano deben tener un pH de entre 6.5 y 8.5 unidades.

Turbiedad.

La turbiedad en un agua es causada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros, arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc. La determinación de la turbiedad es de gran importancia para aguas de consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas. Los valores de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

Al respecto la NOM-127-SSA/1994, establece como valor máximo permisible 5 unidades de turbiedad nefelométricas (N.T.U.), para las aguas para uso y consumo humano. Los resultados obtenidos señalan que los niveles de turbiedad se incrementan en algunas fuentes de abastecimiento durante los meses de lluvias de verano y lluvias invernales.

Las fuentes subterráneas que presentan un nivel de turbidez por encima de la Norma Oficial en los tres períodos de muestreos son: el Pozo número 3 de Villa Macultepec y del Fracc. Lomas del Encanto. En octubre los pozos del Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17 (ISSET) y del Fracc. Las Rosas incrementan sus N.T.U., y en



diciembre sucede lo mismo con el pozo Número 3 de Villa Ocuiltzapotlán, también conocido como pozo arbolito.

Color:

Comúnmente la turbidez se asocia con el color y con el pH, sin embargo, es muy importante distinguir entre el color verdadero y aparente. El primero es el que existe cuando se ha removido toda la turbiedad por medio de filtración o centrifugación para evitar que esta quede registrada como color. El segundo es el valor que resulta de medir el color sin remover la turbiedad, lo que da un indicador muy preciso de las características del agua. En cuanto al pH, se le relaciona porque el color presenta un “efecto indicador” y se modifica su intensidad al cambiar el pH. Esto se puede observar en la vida diaria al añadir unas gotas de limón al té. En general, al subir el pH se incrementa el color, pero el mayor incremento se obtiene con aguas que tienen originalmente un color bajo. Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución, el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. La remoción del color es una función del tratamiento del agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es objetivo esencial del tratamiento. Los resultados obtenidos en la zona de estudio señalan que son dos pozos los que prácticamente presentan valores por encima de la Norma Oficial. El pozo del Fracc. Lomas del Encanto es el que presenta en todo el año un alto número de unidades de color (UC) y el pozo 3 de Villa Ocuiltzapotlán sólo en temporada de lluvias invernales incrementa sus unidades de color.

Olor.

Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua, entre las más comunes se encuentran: materia orgánica en solución, H_2S , cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos del cloro, diferentes especies de algas y hongos, etc. La determinación del olor es útil para la calidad del agua y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación. En general dentro de las once fuentes analizadas en la zona de estudio se obtuvo como resultado que 9 fuentes no presentaron olor siendo los pozos: Villa Ocuiltzapotlán No. 3, el arbolito y Villa Macultepec No. 3 presentan problemas de fetidez u olor a pantano en los muestreos realizados en lluvias de verano e invernales.

Conductividad.

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. Este parámetro depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio de la conductividad. Por ello, el valor de la conductividad es muy usado en análisis de aguas para obtener un estimativo



rápido del contenido de sólidos disueltos. Como en el análisis de aguas el valor de la conductividad es muy pequeño, se expresa en $\mu\text{mho/cm}$ o en unidades del sistema internacional $\mu\text{S/cm}$. La experiencia indica que el producto del valor de la conductividad en $\mu\text{mho/cm}$ por un factor que oscila entre 0.55 y 0.70 es igual al contenido de sólidos disueltos en mg/Lt ; dicho factor depende de los iones en solución en el agua y de la temperatura; en general es alto, mayor de 0.7, en aguas salinas o de calderas y bajo, menor de 0.55, en aguas con alcalinidad cáustica o acidez mineral. De acuerdo a los muestreos realizados, las fuentes que mayores valores de conductividad reportaron son: Fracc. Lomas Ocuilzapotlán Km. 17, Villa Ocuilzapotlán, (pozo 2), Villa Macultepec (pozo 2), Las Rosas, Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17 (ISSET) y Lomas del Encanto.

Sólidos totales.

En ingeniería sanitaria es necesario medir la cantidad de material sólido contenido en una gran variedad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde aguas potables hasta aguas contaminadas, aguas residuales, residuos industriales y lodos producidos en los procesos de tratamientos. Los sólidos pueden dividirse en: totales, disueltos, suspendidos, volátiles y fijos. Para efectos de este trabajo se midieron los valores de los sólidos totales y disueltos ya que en aguas potables, la determinación de sólidos totales es la de mayor interés por considerarse que la cantidad existente de sólidos suspendidos es muy pequeña. Los sólidos totales se definen como el residuo o material que permanece después de evaporación y secado a 103°C ., y que incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). Los valores encontrados durante el muestreo de las once fuentes de abastecimiento señalan que los pozos referidos al Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17, Fracc. Las Rosas y Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17 (ISSET), presentan una mayor concentración de sólidos totales con valores arriba de 500 mg/L .

Sólidos disueltos totales.

Los sólidos disueltos también conocidos como residuos filtrables pueden determinarse directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Los resultados obtenidos de los muestreos en las fuentes subterráneas, indican que el agua de todos los pozos analizados presenta valores por debajo de la Norma Oficial Mexicana.

Fierro y manganeso.

El fierro y el manganeso son dos parámetros de suma importancia en la determinación de la calidad del agua. Romero (2000), señala que los problemas originados por estos elementos son más comunes en aguas subterráneas y en aguas del hipolimnio anaerobio de lagos estratificados; en algunos casos también en aguas superficiales provenientes de algunos ríos y embalses. Los hechos que indican que el fierro y el manganeso entran en solución en el agua, mediante cambios producidos en las condiciones ambientales por acción biológica son los siguientes:

- Aguas subterráneas que contienen cantidades apreciables de fierro y/o manganeso carecen siempre de oxígeno disuelto (O.D.), y poseen un contenido alto de CO_2 . El fierro y el manganeso están presentes como Fe^{++} y Mn^{++} . El alto contenido de



- CO₂ indica que ha existido oxidación bacteriana de la materia orgánica; la ausencia de O.D. indica que se han desarrollado condiciones anaerobias.
- A los pozos que producen agua de buena calidad, con bajo contenido de hierro y manganeso, se les deteriora la calidad del agua cuando se han descargado residuos orgánicos sobre el suelo alrededor del pozo y se generan condiciones anaerobias.
 - En embalses o lagos, el problema del hierro o manganeso ocurre solamente cuando se desarrollan condiciones anaerobias en el hipolimnion. Al presentarse la mezcla de las aguas, el hierro y el manganeso del hipolimnion se distribuyen en todo el embalse o lago, causando problemas en el suministro del agua, hasta que nuevamente transcurra un tiempo satisfactorio para la oxidación y sedimentación del hierro y el manganeso en condiciones naturales.
 - Se conoce que el Mn⁴⁺ y el Fe³⁺ son las únicas formas estables de hierro y el manganeso en las aguas que contienen oxígeno. Por ello estas formas pueden ser reducidas, a las formas solubles Mn²⁺ y Fe²⁺, solamente bajo condiciones reductoras anaerobias.
 - De acuerdo a lo anterior el hierro y el manganeso estables (insolubles), son reducidos a sus formas solubles en condiciones anaerobias, es decir que, el desarrollo de condiciones anaerobias es esencial para que el hierro y el manganeso se disuelvan en cantidades apreciables en los suministros de agua.

Por otro lado es necesario señalar que al exponerse al aire el agua que contiene hierro y manganeso, por la simple presencia de oxígeno sufre el efecto de oxidación formando precipitados coloidales que le dan al agua una apariencia turbia y coloraciones rojizas o pardas que la hacen inaceptable estéticamente. En aguas superficiales las concentraciones de hierro son generalmente bajas, menores de 1 mg/L. Las aguas subterráneas, por el contrario pueden contener cantidades apreciables de hierro y manganeso, comúnmente hasta 10 mg/L. El contenido de manganeso es normalmente bajo, en general menor de 0.2 mg/L, aunque en aguas subterráneas con hierro es común encontrar concentraciones de hasta 1 mg/L. Tanto el hierro como el manganeso interfieren en las operaciones de lavado, producen tinciones indeseables a la ropa, a los accesorios de plomería, causan incrustaciones en las tuberías y dificultades en los sistemas de distribución, al soportar el crecimiento de bacterias del hierro (crenithrix, leptothrix, galionella) y del manganeso (sphaerotilus, y leptothrix). La presencia de estos elementos ocasiona también una alta demanda de cloro. En bajas concentraciones imparte un sabor metálico en el agua, sin embargo hasta donde se conoce, el consumo humano de aguas con hierro y manganeso no tienen efectos nocivos para la salud. En estudios de nuevas fuentes de abastecimiento de agua, especialmente de aguas subterráneas, la determinación del hierro y el manganeso en exceso de 0.3 y 0.1 mg/L, respectivamente, son objetables y por ello, en general, aguas con contenido de estos límites requieren tratamiento. Considerando lo anterior y en base a las determinaciones realizadas en las fuentes subterráneas de la zona de estudio podemos afirmar que de once fuentes muestreadas sólo tres pozos (el número 1 y 2 de Villa Ocuiltzapotlán y el del Fracc. Lomas de Ocuiltzapotlán Km. 15), presentan cantidades de hierro menores a lo establecido por la Norma Oficial Mexicana. Los 8 pozos restantes presentan valores de hierro muy por arriba de la norma que afectan la calidad del agua. Asimismo se observa que los contenidos de hierro se elevan durante la



temporada de lluvia invernal. En cuanto a la determinación del manganeso no fue realizado el análisis correspondiente por carencia de reactivos.

Sodio.

El sodio es un metal muy activo que no existe libre en la naturaleza. Todas las sales de sodio son muy solubles en agua; por ello es muy común encontrar aguas con sodio. En aguas de mar el sodio es el catión más abundante; se encuentra en concentraciones del orden de 1 g/L., lo que demuestra que el sodio tiende a permanecer soluble una vez disuelto en el agua. Tanto en aguas de mar como en aguas salinas es común encontrar el sodio asociado con los cloruros. En agua dulce el contenido de sodio es muy variable, generalmente entre 10 –100 mg/L. En aguas residuales, el sodio proviene principalmente de la orina, 1% de cloruro de sodio, así como del contenido propio del agua de suministro y de las sales de uso industrial. En aguas subterráneas se pueden encontrar grandes concentraciones de sodio, especialmente en acuíferos en contacto con compuestos como la halita, NaCl y la mirabilita, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$. La presencia de concentraciones altas de sodio en el agua puede afectar a personas con enfermedades cardíacas, renales y circulatorias. En aguas para irrigación puede ser perjudicial para el suelo y las plantas ya que tiende a aumentar la alcalinidad del suelo debido a la precipitación del carbonato de sodio, reduce también la concentración de calcio del suelo y su permeabilidad disminuye la fertilidad del suelo y las plantas. Los resultados obtenidos en las once fuentes subterráneas indican que éstas no rebasan los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana que establece un valor de 200 mg/L. Sin embargo el pozo 1 de Villa Ocuilzapotlán y el pozo 2 de Villa Macultepec, presentan niveles de sodio por arriba de los 100 mg/L sin rebasar la norma.

Cloruros.

Los cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente. En las aguas de mar el nivel de cloruros es muy alto, en promedio 19,000 mg/L constituyen un anión predominante. En aguas superficiales, sin embargo, su contenido es generalmente menor que el de los bicarbonatos y sulfatos. Los cloruros logran acceder a las aguas naturales en muchas formas: el poder disolvente del agua introduce cloruros de la capa vegetal y de las formaciones más profundas; las aguas de mar son más densas y fluyen aguas arriba a través del agua dulce de los ríos que fluyen aguas abajo, ocasionando una mezcla constante de agua salada con agua dulce. Las aguas subterráneas en áreas adyacentes al océano están en equilibrio hidrostático con el agua de mar. Un sobre bombeo de las aguas subterráneas produce una diferencia hidrostática a favor del agua de mar haciendo que ésta se introduzca en el área de agua dulce. Los desechos orgánicos humanos, principalmente la orina, contienen cloruros en una cantidad casi igual a la de los cloruros consumidos con los alimentos y el agua. Esta cantidad es en promedio unos 6 gramos de cloruros por persona por día, e incrementa el contenido de Cl^- en las aguas residuales en unos 20 mg/L, por encima del contenido propio del agua. Por lo tanto, los efluentes de aguas residuales añaden cantidades considerables de cloruros a las fuentes receptoras. Los cloruros en concentraciones razonables no son peligrosos para la salud y son un elemento esencial para las plantas y los animales. En concentraciones por encima de 250 mg/L, producen un sabor salado en el agua, el cual es rechazado por el consumidor. El contenido de cloruros en aguas para consumo humano se limita a 250



mg/Lt. Al respecto los resultados obtenidos en la determinación de las fuentes de abastecimiento demuestran que ninguno de los pozos rebasa el límite máximo permitido y el comportamiento de los niveles máximos de cloruros se observan entre los 60 y 65 mg/L.

Dióxido de Carbono (CO₂).

El factor de corrosión en la mayoría de las aguas es el CO₂ especialmente cuando está acompañado de oxígeno, pero en residuos industriales es la acidez mineral. El contenido de CO₂ es, también un factor muy importante para la estimación de la dosis de cal y soda en el ablandamiento de aguas duras. En aguas naturales la acidez puede ser producida por el CO₂, por la presencia de iones H⁺ libres, por la presencia de acidez mineral proveniente de ácidos fuertes como el sulfúrico, nítrico, clorhídrico y por la hidrolización de sales de ácido fuerte y base débil. En base a las determinaciones realizadas se observa que en temporada de estiaje se presenta un incremento de la acidez en el agua del pozo 3 de Villa Macultepec y en temporadas de lluvias invernales en los pozos de Villa Macultepec 1 y 2.

Alcalinidad total

La determinación de la alcalinidad total es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón de un agua. En aguas naturales la alcalinidad es debida generalmente a la presencia de tres clases de iones: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Asimismo en algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos que contribuyen a su alcalinidad (boratos, silicatos, fosfatos etc.). El agua cruda de las fuentes subterráneas de toda la zona de estudio presenta valores que oscilan entre 96 y 296 mg/l, por lo que se puede afirmar que dichas aguas no presentan alto nivel de alcalinidades que puedan inferir negativamente en procesos de tratamiento químico.

Dureza.

Se entiende como aguas duras aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuáles se incrementa la temperatura del agua. En términos de dureza las aguas se pueden clasificar de la siguiente manera:

Cuadro 23. Valores de Dureza en función al tipo de agua	
Valores en mg/Lt.	Tipo de Agua
0-75	Blanda
75-150	Moderadamente dura
150-300	Dura
>300	Muy dura

En la práctica se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones. Los principales cationes que causan dureza en el agua y los principales aniones asociados con ellos son los presentados a continuación:



Cuadro 24. Cationes y aniones presentes en el agua

Cationes	Aniones
Ca+	HCO ³⁻
Mg ++	SO ⁴⁼
Sr++	Cl ⁻
Fe++	NO ³⁻
Mn++	SiO ³⁼

En menor grado Al+++ y Fe+++ son considerados como iones causantes de dureza. Se considera que en la mayoría de las aguas la dureza total es igual a la dureza producida por los iones calcio y magnesio es decir: Dureza total = Dureza por Calcio + dureza por Magnesio. La distinción anterior es importante para el cálculo de las dosis de cal y del carbonado de sodio (soda Ash), usadas en la precipitación del Ca y Mg. En aguas crudas los bicarbonatos son la principal forma de alcalinidad; por lo tanto, la parte de la dureza total químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes en el agua es considerada como dureza carbonatada, (o dureza “temporal” o “no permanente”, denominada así porque desaparece mediante ebullición prolongada). Es decir: Alcalinidad (mg/L) = dureza carbonatada (mg/l). En este sentido son dos casos lo que pueden presentarse: a):- Cuando la alcalinidad es menor que la dureza total; entonces: Dureza carbonatada (mg/L) = alcalinidad (mg/L) y b).- Cuando la alcalinidad es mayor o igual a la dureza total; entonces: Dureza carbonatada (mg/L) = Dureza total (mg/L). En base a lo anterior y de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis demuestran que el agua de las fuentes subterráneas presentan los grados de dureza referenciados en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Grados de dureza del agua en la zona de estudio

Fuente Subterránea	Grado de Dureza	Causas
Villa Ocuilzapotlán (pozo 1 y 3) Villa Macultepec (pozo 1,2 y 3)	Moderadamente dura	Mayor presencia de sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio y mínima presencia de bicarbonatos.
Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán (K.15) Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán (Km. 17). Fracc. Lomas de Ocuilz. (Km. 17) ISSET. Fracc. Lomas del Encanto. Villa Ocuilzapotlán (pozo 2)	Dura	Mayor presencia de sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio y regular presencia de bicarbonatos.
Fracc. Las Rosas	Muy dura	Alta presencia de bicarbonatos y de alcalinidad

Bicarbonatos.

El grado de dureza de las fuentes se ve asociada a los resultados de bicarbonatos obtenidos en las determinaciones graficadas en la figura 46 donde los fuentes subterráneas de la Villa Macultepec (pozos 1, 2, y 3) y el pozo 3 de Villa Ocuilzapotlán son las que presentan los valores mínimos de bicarbonatos, no así el Fraccionamiento Las Rosas donde durante los tres muestreos se midieron los valores más altos de este elemento.



Magnesio y Calcio.

Siendo los iones de magnesio y de calcio los principales responsables de la dureza total, las determinaciones obtenidas señalan que son los iones de calcio los que tienen una mayor presencia en las fuentes de aguas subterráneas, lo que resulta lógico al situarse en una zona representada por suelos calcáreos.

Sulfatos.

El ión sulfato es uno de los aniones más comunes en las aguas naturales; se encuentra en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/L. Debido a que los sulfatos de sodio y de magnesio tienen un efecto purgante, especialmente en niños, se recomienda un límite superior en aguas potables de 250 mg/L, de sulfatos, sin embargo la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA/1994, establece un valor máximo permisible de 400 mg/L. El contenido de sulfatos es también importante porque las aguas con alto contenido de sulfatos tienden a formar incrustaciones en las calderas y en los intercambiadores de calor. Los resultados obtenidos señalan que las aguas subterráneas de la zona de estudio presentan un contenido de sulfatos por debajo de los 70 mg/L.

Fosfatos.

El fósforo existe en el agua en variadas formas. Las más importantes son las representadas por ortofosfatos, polifosfatos (entre los que se encuentran pirofosfatos, tripolifosfatos y metafosfatos) y Fosfatos orgánicos. Teniendo en cuenta la importancia del fósforo como nutriente, su determinación es necesaria en estudios de contaminación de ríos, lagos y embalses, así como en los procesos químicos y biológicos de purificación y tratamiento de aguas residuales. En general, en aguas naturales la concentración del fósforo es baja, de 0.01 a 1 mg/L – P; en aguas residuales domésticas varía normalmente entre 1- 15 mg/L –P y en aguas superficiales de lagos entre 0.01 – 0.04 mg/L-P. Los resultados obtenidos muestran una concentración de fosfatos menor de 0.5 mg/L. Se observa también en algunas de las fuentes subterráneas un incremento de la cantidad de fosfatos presentes en el agua cruda en el mes de mayo comparado con los meses de Octubre y diciembre.

Coliformes Totales.

El análisis bacteriológico del agua es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación del agua. El grupo Coliformes incluye bacterias de forma bacilar, aerobias y facultativas anaerobias, Gram-negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas a 35° ó 37° Centígrados. La presencia de organismos Coliformes en el agua es considerada como un índice evidente de la ocurrencia de contaminación fecal y por lo tanto de contaminación con organismos patógenos. Los resultados obtenidos indican que los pozos del: Fraccionamiento Lomas de Ocuiltzapotlán Km. 17 ISSET, Fracc. Lomas del Encanto, Fracc. Lomas de Ocuiltzapotlán Km. 15 y Pozo No. 2 y 3 de Villa Ocuiltzapotlán. Presentan Coliformes totales fuera de la Norma Oficial Mexicana que establece como valor la ausencia o no detección de Coliformes.



8.2.4. Abastecimiento de la planta potabilizadora carrizal.

A partir del 2009 las Villas Ocuilzapotlán y Macultepec y zonas aledañas son abastecidas directamente de agua por la Planta Potabilizadora “Carrizal” y reciben agua tratada de este sistema ya que la suministrada mediante pozos profundos solo era desinfectada con cloro. El agua (300 l/s) se envía a través de una línea de 28” de \varnothing y una longitud de 28 Km., es distribuida en todos los asentamientos que tiene a su paso y termina con una línea de llegada de 6” de \varnothing en la Villa Macultepec. Los resultados del agua tratada indican que la calidad del agua procedente de la planta cumple con los parámetros de la NOM- 127 SSA1-1994, salvo el parámetro de cloro, que sale muy por arriba de la norma en los primeros tres resultados (Cuadro 26).

Cuadro 26. Resultados de la calidad de agua tratada de la Planta Carrizal que se envía a Villa Ocuilzapotlán, Macultepec y fracc. Aledaños.

Parámetro	NOM127-SSA1-1984	Jun 2010	Oct 2010	Sep 2011	Nov 2011
Temperatura °C		26	29	28	27
Turbiedad N.T.U.	5	3	1	1	1
Color UND C.	20	5	5	5	5
P.H.	6.5 a 8.5	7.6	7.2	7.4	7.6
Olor	Agradable	Cloro	Cloro	Cloro	Cloro
Conductividad		239	348	268	397
Cloro Residual	0.2-1.5	3	3	3	0.3
Sólidos Totales		116		202	170
SDT	1000	96		178	146
CO ₂ libre		2	13	4	5
Calcio (Ca)		26	44	32	43
Magnesio(Mg)	125	17	20	10	19
Fierro (Fe)++	0.3	ND	ND	ND	ND
Manganeso (Mn)	0.15	ND	ND	ND	ND
Sodio (Na) calc	200	ND	ND	ND	ND
Carbonatos(CO ₃) ²⁻		0	0	0	151
Bicarbonatos(HCO ₃)		85	146	93	
Sulfatos (SO ₄) ²⁻	400	ND	ND	ND	21
Cloruros (Cl)	250	14	15	12	
Fosfatos (PO ₄)		ND	ND	ND	ND
Dureza Calcica		ND	ND	ND	ND
Dureza Carbonato*		66	110	80	108
Dureza Total*	500	70	120	76	124
Alcalinidad (T)*		0	0	0	0
Coliformes totales	ND	ND	ND	ND	ND



8.3. Caracterización volumétrica, fisicoquímica y bacteriológica la calidad de las aguas de los cuerpos receptores en el área de estudio.

Las principales fuentes superficiales localizadas en la zona de estudio se constituyen por los siguientes cuerpos de agua: Laguna el mosquito, Arroyo Macultepec, Laguna el Calabozo y Laguna Paso Segundo.

8.3.1. Laguna el Mosquito

Está considerada como un cuerpo de agua temporal que define su área superficial de aproximadamente 599,062.5 m², en la época de lluvias sobre las zonas bajas de las tierras del ejido del mismo nombre. Se ubica en la microcuenca hidrológica derecha de la zona de estudio; a 3 km. de distancia aguas abajo del cárcamo Macultepec. Esta laguna recibe además de las aguas de lluvia; el caudal del arroyo Macultepec también conocido coloquialmente como arroyo Garduza (hacia donde se descargan aportaciones de residuales “tratados” del Fraccionamiento Las Rosas, aguas tratadas de la PTARD tipo pantano artificial de Macultepec y de algunas descargas domiciliarias directas al arroyo. La laguna hace contacto con las aguas del río González al cruzar hacia la microcuenca hidrológica izquierda. Esto se efectúa mediante alcantarillas que funcionan como paso de aguas pluviales y por el canal bajo el puente González que permite el contacto con las aguas del río del mismo nombre, las aguas siguen su curso hacia la laguna el manguito, el espino desembocando hacia los pantanos naturales de Centla.

8.3.2 Arroyo Macultepec.

También conocido por los lugareños como arroyo Garduza, tiene su origen como un ramal del río Jolochero a la altura de la Ranchería Medellín y Madero 3ra. Sección, Centro, Tabasco. Desde su punto de origen y hasta su unión con el ejido el Mosquito debajo del puente González; alcanza una longitud de 11,749.6 m (Cuadro. 27). A lo largo de su cauce recibe descargas de aguas residuales de poblaciones como: Medellín y Madero 3ra. Sección, Fracc. Las Rosas, Villa Ocuilzapotlán y Villa Macultepec.

Cuadro 27. Longitud del Arroyo Macultepec	
Tramo	Longitud (m)
Río Jolochero - Ra. Medellín-Madero 3ra. Sección	1555.84
Ra. Medellín-Madero 3ra. Sección-Villa ocuilzapotlán	30403.41
Villa Ocuilzapotlán- Puente González	6790.34
Total	11749.59

Actualmente este arroyo es un cuerpo de agua que a la vista tiene un alto grado de eutroficación y permanece anegado de maleza acuática. De acuerdo a observaciones realizadas en campo, el arroyo incrementa su tirante hidráulico durante las lluvias de verano e invierno. Asimismo en temporadas de estiaje hay zonas en donde el arroyo prácticamente no es visible ya que se seca parcialmente, resurgiendo en los puntos donde hay manchas urbanas que descargan sus aguas residuales domésticas. (por ejemplo, Fracc. Las Rosas). Cabe señalar que debido a las condiciones que presenta este cuerpo de agua se tuvo dificultad para medir tanto su velocidad como su



profundidad, sin embargo se obtuvieron datos referenciales de dos secciones del canal (Cuadro 28.), Se realizaron también muestreos de agua. Los resultados obtenidos fueron los señalados en los cuadros 29 y 30.

Punto de medición Fecha	Profundidad centro (m)	Profundidad un tercio (m)	Velocidad (m/s)	Ancho (m)
Frente al Instituto Tecnológico Agropecuario	0.44	0.30	0.081	5.28
Frente al Colegio de Bachilleres	1.21	0.42	0.074	8.25

Con el objeto de analizar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua del arroyo Macultepec, se realizaron muestreos simples en los meses de Julio y Noviembre del 2002, estableciéndose en forma aleatoria tres puntos de muestreo a lo largo del arroyo. Se tomó como referencia la descarga del cárcamo Macultepec donde se estableció el punto central. Otro punto lo constituyó el ubicado aguas arriba del cárcamo (frente al Instituto Técnico Agropecuario, ITA), y el tercero 1000 m aguas abajo de donde se ubica la descarga del cárcamo Macultepec, es decir frente al Colegio de Bachilleres (CBT). Los resultados obtenidos se muestran en los Cuadros 29 y 30. Los valores obtenidos se contrastaron con los valores de los parámetros de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 referidos a LMP para contaminantes básicos en ríos cuerpo receptor tipo C (Protección de vida acuática).

La revisión de datos señala que el muestreo realizado en el mes de Julio 2002 se tiene un incremento (con respecto del valor de la Norma NOM-SEMARNAT-001-1996) en el parámetro de sólidos suspendidos totales y fosfatos en el punto de muestreo ubicado en el arroyo frente al cárcamo Macultepec, sin embargo estos valores disminuye sustancialmente para el mes de noviembre en que se presentan lluvias invernales, esto por la dilución del agua al recibir el arroyo un aporte importante de agua de lluvias invernales. En cuando a la demanda bioquímica de oxígeno, este parámetro se presenta por arriba de la Norma Oficial Mexicana en el mes de julio para los muestreos efectuados en los puntos 2 y 3 y en el mes de Noviembre para los tres puntos muestreados. La demanda química refleja un valor muy alto en el mes de Julio en el punto donde se ubica el cárcamo y para noviembre aun cuando su valor es menor en el punto del cárcamo se incrementa ligeramente aguas abajo. Por operatividad en Noviembre mes de lluvias, se descarga directamente al arroyo.

Con respecto al nitrógeno y fósforo total, reflejado en el mes de noviembre estos se observan por arriba del valor de la Norma Oficial Mexicana sólo en el punto de muestreo realizado aguas abajo del cárcamo. Los coliformes totales y fecales se presentan en ambos muestreos por arriba de la Normatividad, sin embargo debido al efecto de la lluvia disminuyen parcialmente en el mes de noviembre quedando aun así por arriba de los límites máximos permisibles.



Cuadro 29. Calidad Fisicoquímica y bacteriológica del arroyo Macultepec (Primer Muestreo, Julio)

Determinación	LMP cuerpos de vida acuática (C) NOM-SEMARNAT-001-1996 PD	Arroyo frente al Instituto Técnico Agropecuario (PUNTO 1)	Arroyo frente a Cárcamo Macultepec (PUNTO 2)	Arroyo 1000 m aguas abajo del cárcamo (PUNTO 3)
Temperatura ambiental °C		32	32	32
Temperatura del agua °C	40	27	29	29
Olor		Sí	Si	Si
Color		Amarillo	Gris	Gris
Burbujas		No	No	No
Materia Flotante	Ausente	Ausente	Si	Si
Película visible		No	No	No
Ph	5 a 10 unidades	7.3	6.9	6.9
Conductividad (μ -MHOS/cm)		900	900	650
Sólidos totales (ST)(mg/L)		730	872	514
Sólidos suspendidos totales (SST)(mg/L)	60	34	200	22
Sólidos sedimentables (ml/L)	2	0.3	0.3	0.5
Nitrógeno (N-NH ₃)(mg/L)	25	4.25	19.47	13.0
Nitrógeno (N-NO ₃)(mg/L)		0.03	0.07	0.03
Fosfatos (PO ₄ ⁼)(mg/L)	10	7.33	8.89	4.68
Orto-fosfatos (o-PO ₄ ⁼) (mg/L)		6.39	7.17	3.48
Demanda Bioquímica de Oxígeno(mg/L)	60	22	333	133
Demanda química de Oxígeno(mg/L)		37	239	136
Coliformes Totales (*NMP/100 mL)		>=240000	>=240000	>=240000
Coliformes Fecales (*NMP/100mL)	1000	>=240000	>=240000	>=240000



Cuadro 30. Calidad fisicoquímica y bacteriológica del arroyo Macultepec (Segundo Muestreo, Noviembre)

Determinación	LMP cuerpos de vida acuática (C) NOM-SEMARNAT-001-1996 PD	Arroyo frente al Instituto Técnico Agropecuario (PUNTO 1)	Arroyo frente a Cárcamo Macultepec (PUNTO 2)	Arroyo 1000 m aguas abajo del cárcamo (PUNTO 3)
Temperatura ambiental °C		26	29	29
Temperatura del agua °C	40	23	25	25
Olor		Si	Si	No
Color		Gris	Gris	Amarillo
Burbujas		Si	No	No
Materia Flotante	Ausente	Si	Si	Si
Película visible		Si	Si	No
Ph	5 a 10 unidades	6.5	7.0	6.5
Conductividad (µ-MHOS/cm)		480	540	560
Sólidos totales (ST)(mg/L)		ND	ND	ND
Sólidos suspendidos totales (SST)(mg/L)	60	20	16.0	16.95
Sólidos sedimentables (ml/L)	2	0.5	0.3	1.3
Nitrógeno Total (mg/L)	25	7.92	10.24	48
Fósforo Total (mg/L)	10	3.12	2.10	11.88
Demanda Bioquímica de Oxígeno(mg/L)	60	63.56	95.35	146.99
Demanda química de Oxígeno(mg/L)		6.87	13.20	76.62
Coliformes Totales (*NMP/100 mL)		>11000	>11000	>11000
Coliformes Fecales (*NMP/100mL)	1000	>11000	>11000	>11000
ND = NO DETERMINADO				

8.3.3. Lagunas El Calabozo y Paso Segundo.

Estos cuerpos de agua superficial se ubican en la microcuenca izquierda entre el Km. 15 y 17. 5 de la carretera Villahermosa- Frontera y se constituyen como cuerpos de agua endorreicos. La Laguna el Calabozo se encuentra a un costado del Fraccionamiento Lomas de Ocuiltzapotlán dos Km. 15 (INVITAB) y recibe la descarga directa de aguas residuales procedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de dicho fraccionamiento. La Laguna Paso Segundo se localiza al sur de la zona de estudio, la cual pertenece a la Región Hidrológica 30, es visible por detrás de los Fraccionamiento Lomas de Ocuiltzapotlán Km. 17 y Fraccionamiento ISSET y recibe las descargas directas de estos dos Fraccionamientos y de los Fraccionamientos Los Ángeles y Fracc. Lomas del Encanto (Figura 6).

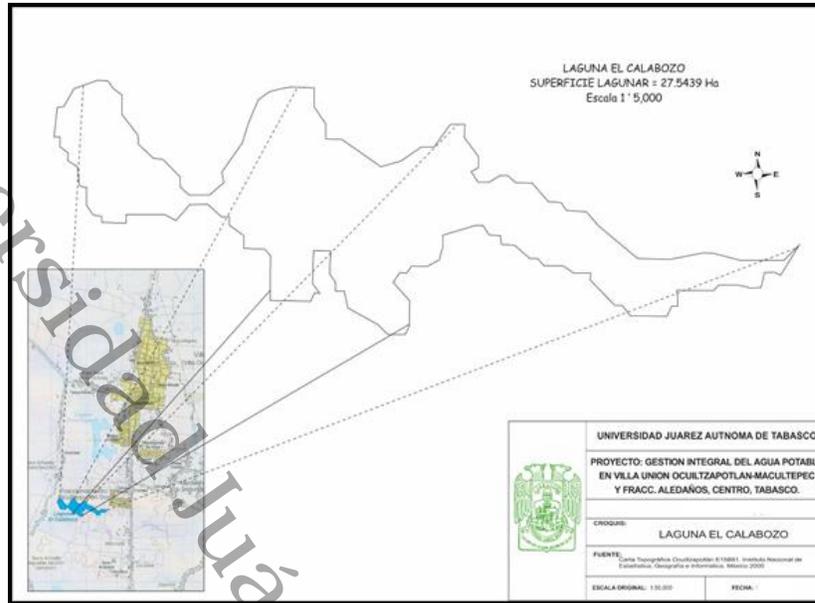


Figura 6.- Localización de la Laguna el Calabozo.

Para la caracterización de estos cuerpos de agua, se realizó el estudio batimétrico que permitió definir los parámetros morfológicos y se realizaron también muestreos espaciales para analizar los principales parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. El número de muestras para análisis comparativo fue de cinco por cada cuerpo lagunar y se realizó en forma aleatoria independientemente de la superficie de cada cuerpo lagunar. Las variables fisicoquímicas medidas en campo fueron: Temperatura, profundidad, transparencia, pH, conductividad, % de saturación y concentración de oxígeno; las estaciones de muestreo se presentan en la Figura 7.

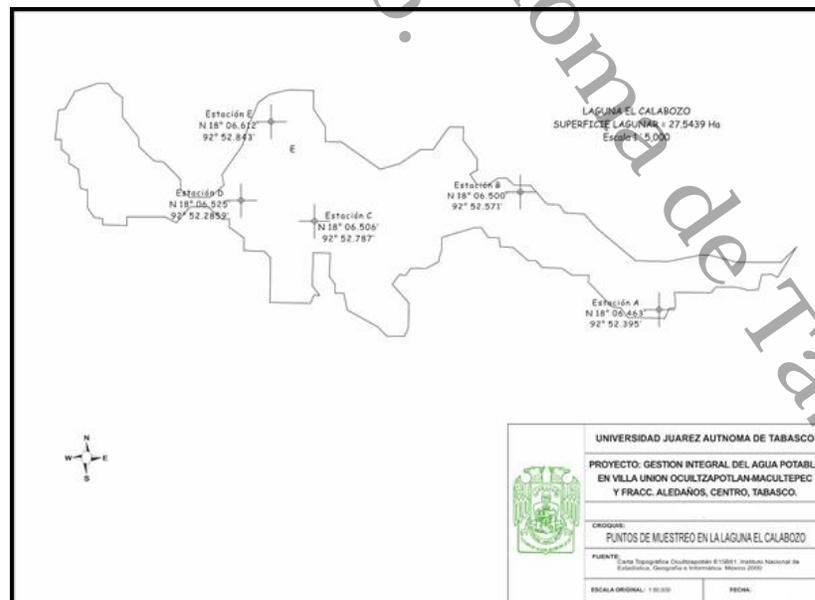


Figura 7.- Puntos de muestreo de agua en la Laguna el Calabozo.



En cuanto a las características hidrológicas y morfométricas de los cuerpos lagunares, estas se definieron de la siguiente manera: La laguna Paso Segundo tiene forma irregular, es originada por contacto y ocupa una superficie de 37.4 Ha. Se ubica sobre el micro cuenca abierta de los cuerpos lagunares de la zona, presenta una línea de costa de 4.88 Km., longitud máxima de 1.03 Km., anchura máxima de 0.69 Km. y una proporción largo ancho de 1.49. Cuadro 31.

Cuadro 31. Características hidrológicas y morfométricas de cuerpos lagunares.		
Características morfométricas	Cuerpos lagunares	
	Paso Segundo	El calabozo
Área Superficial (m ²)	373,789.12	275,439.80
Área de Drenaje (m ²)	5,194,097.52	3,851,373.00
Volumen (m ³)	315,104.23	201,071.05
Desarrollo de la línea de costa(m)	4,886.70	4,842.10
Longitud máxima (m)	1,033.55	1,008.27
Anchura máxima (m)	691.26	444.74
Proporción largo/ancho	1.49	2.27
Profundidad máxima (m)	1.08	1.03
Profundidad media (m)	0.84	0.73

La laguna El Calabozo presenta una forma elongada y posee una superficie de 27.5 Ha. Presenta una línea de costa de 4.84 Km., longitud máxima de 1.00 Km., anchura máxima de 1.12 Km., y una proporción largo ancho de 2.27. Cuadro 31. En cuanto a las características limnológicas de ambos cuerpos lagunares los resultados se detallan en el cuadro 32.

Cuadro 32. Características Limnológicas de los cuerpos lagunares.		
Características limnológicas	Cuerpos Lagunares	
	Paso segundo	El calabozo
Índice morfoedáfico (IME)	632.75	779.69
Tipo de Mezclado	Mezcla completa	Mezcla completa
Tiempo de Residencia (Rd)	567.24	353.271
Origen Evolutivo	Contacto geológico	Contacto geológico
Clasificación trófica	Eutrófico	Eutrófico
Tributarios	Ninguno	Ninguno
Contorno Urbano	3 Localidades	3 Localidades

La vegetación flotante e inundable existente en la laguna Paso Segundo se caracterizó y determino mediante observación directa encontrando que las principales especies asociadas al contorno de la laguna son las señaladas en el Cuadro 33 (Figura 8 y 9).



Cuadro 33. Vegetación flotante e inundable asociada en el contorno de la Laguna Paso Segundo.	
Nombre común	Nombre científico
Españañal	<i>Typha latifolia</i>
Lechuga	<i>Pistia stratiotes</i>
Lirio Acuático	<i>Echhornia crassipes</i>
Popal	<i>Talia geniculata</i>
Tanay	<i>Heliconia latispatha</i>

Respecto a las variables fisicoquímicas analizadas para las lagunas Paso Segundo y el Calabozo, se elaboraron matrices donde se señalan las mediciones realizadas en campo y en laboratorio y se resumen en el Cuadro 34, para el cuerpo lagunar paso segundo y en cuadro 34 para el cuerpo lagunar el calabozo. Para efectos de este trabajo, se tomó también un muestreo simple del agua de las fuentes superficiales y con apoyo de SAPAET, se realizó el análisis fisicoquímico correspondiente en base a la NOM-127-SSA-1994, que determina los límites permisibles de calidad de agua para uso y consumo humano. Los resultados obtenidos muestran que la calidad del agua superficial de la zona que obviamente no cumple con los límites máximos permisibles establecidos y requiere de tratamientos de potabilización y desinfección para su uso y consumo humano. Cuadro 35.

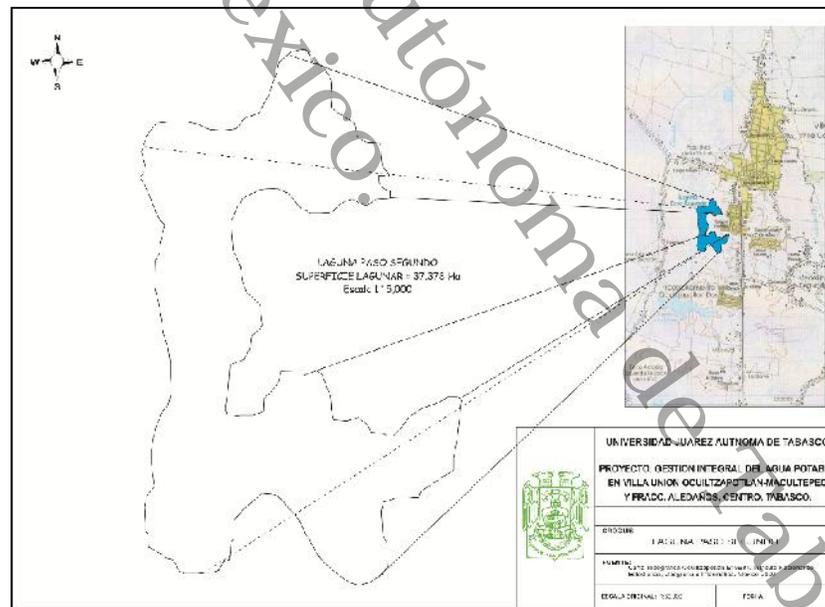


Figura 8.- Localización de la Laguna Paso Segundo.

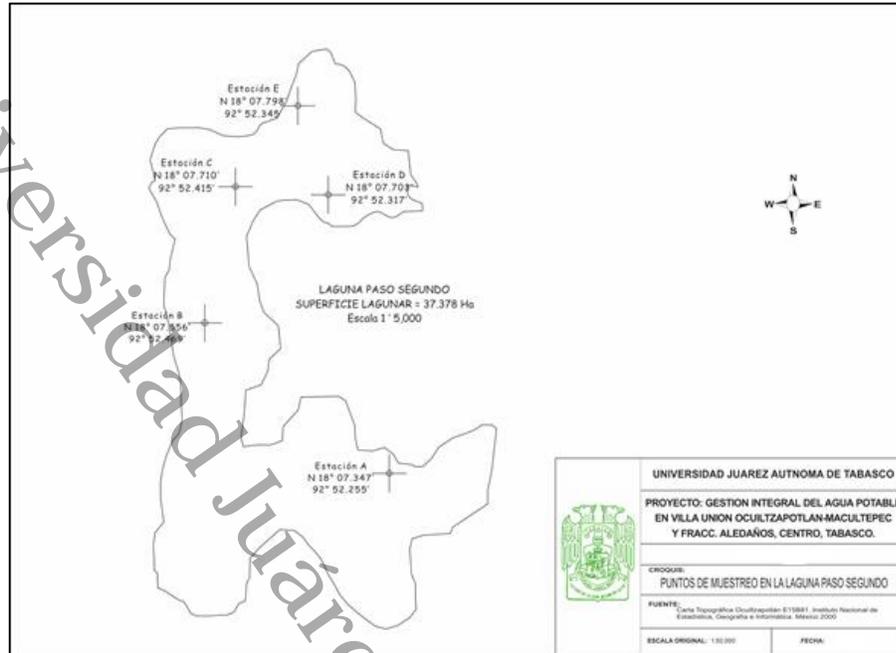


Figura 9.- Puntos de muestreo de agua en la Laguna Paso Segundo.



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
“Estudio en la Duda, Acción en la Fé”
División Académica de Ciencias Biológicas



Cuadro 34. Matriz de evaluación e interpretación de resultados analíticos del cuerpo Lagunar: El Calabozo.

Puntos de muestreo	Mediciones directas realizadas en campo									Mediciones de laboratorio						
	Profundidad (CM)	Transparencia (CM)	Temperatura(°C)	pH	Conductividad Eléctrica (Microohms/cm)	Medición Superficial		Medición en Fondo		Nitrógeno Total (mg/l)	Fosforo Total (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)
						% de Saturación de Oxígeno Disuelto	mg/l Concentración de Oxígeno Disuelto	% de Saturación de Oxígeno Disuelto	mg/L Concentración de Oxígeno Disuelto							
A	68	13	26.4	8.51	600	104.2	10.27	66.2	4.36	4.43	2.105	14.36	119.17	72	11000	4600
1A	67	17	26.5	8.42	550	77.3	7.77	60.2	5.72							
2A	42	20	26.3	7.87	700	95.2	9.05	92.8	8.37							
3A	70	18	26.5	8.42	550	95.9	8.79	51.4	3.62							
B	103	14	26.4	8.51	550	96.7	9.01	51.8	4.32	4.66	1.025	14.99	123.48	52	230	40
1B	80	20	26.6	8.62	550	155.4	14.57	37.2	6.02							
3B	93	18	26.4	8.42	550	89.8	8.75	44.2	4.69							
C	90	20	26.7	8.57	550	160.3	14.27	62.4	5.17	3.81	0.795	14.84	117.99	48	90	0
1C	70	20	27.2	8.53	550	161.6	15.41	39.2	3.69							
3C	90	18	26.7	8.49	550	137.5	12.61	15.3	4.92							
D	69	20	27	8.5	550	192.9	17.86	125.5	12.59	3.69	1.821	14.32	116.82	44	430	430
3D	47	20	27	8.34	550	179.6	16.54	76.8	8.68							
E	60	17	27.1	8.58	550	191.1	18.22	136.4	17.84	4.89	0.569	17.25	129.56	48	40	40
Promedio Arit.	73	18.07	26.67	8.44	565.38	133.65	12.54	66.18	6.92	4.29	1.26	15.15	121.40	52.8	2358	1022
Desv. Estándar	17.16	2.26	0.29	0.18	41.06	40.32	3.64	33.26	3.97	0.47	0.59	1.1	4.6	9.9	4323.1	1795.8



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
"Estudio en la Duda, Acción en la Fé"
División Académica de Ciencias Biológicas



Cuadro 35. Matriz de evaluación e interpretación de resultados analíticos del cuerpo lagunar: Paso Segundo

Puntos de muestreo	Mediciones directas realizadas en campo									Mediciones de laboratorio						
	Profundidad (CM)	Transparencia (CM)	Temperatura(°C)	pH	Conductividad Eléctrica (Microohms/cm)	Medición superficial		Medición en fondo		Nitrógeno Total (mg/l)	Fosforo Total (mg/l)	DBO5 (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)
						% de Saturación de Oxígeno Disuelto	mg/l Concentración de Oxígeno Disuelto	% de Saturación de Oxígeno Disuelto	mg/L Concentración de Oxígeno Disuelto							
A	103	62	26.5	6.2	500	10.9	0.93	10.1	0.92	1.65	0.711	6.84	64.68	72	11000	11000
1A	87	54	27	6.29	500	10.1	0.9	10.6	0.97							
2A	103	53	26.9	6.97	500	10.4	0.94	10.8	0.99							
3A	86	56	27.1	6.71	500	10.3	0.9	8.2	0.68							
4A	100	53	26.9	6.78	500	9.5	0.83	9.4	0.86							
B	106	45	27	7.85	520	8.6	0.68	10.7	1.03	2.16	0.171	8.47	85.26	34	2400	2400
1B	101	37	26.9	7.87	520	8.9	0.77	10.7	1							
2B	106	51	27.1	7.36	550	10.6	0.9	9.1	0.79							
3B	108	49	27	7.74	600	9.1	0.79	10.6	0.92							
4B	104	35	27	7.91	520	8.8	0.77	10.5	0.96							
C	90	34	26.9	8	600	12.4	1.08	14.8	1.13	2.22	0.569	9.18	86.83	36	4600	2400
1C	60	39	27	7.92	600	11.9	1.04	12.7	0.84							
3C	94	33	26.9	8.04	580	9.2	0.94	14.04	1.3							
4C	96	33	26.6	8.11	600	9.5	0.99	14	1.29							
D	83	32	26.5	8.06	600	9.6	1.1	14.3	1.21	2.38	0.19	11.13	87.22	38	11000	11000
1D	59	25	26.5	7.86	600	12.1	1.07	14.4	1.18							
3D	94	30	26.4	7.96	580	12.9	1.3	14.9	1.35							
4D	51	26	26.5	7.79	580	12.3	1.29	13.2	1.28							
E	64	28	26.5	7.96	580	45.2	4.66	4.38	3.89	2.56	0.456	13.72	98.39	52	11000	11000
3E	60	29	26.4	7.97	580	56.8	5.42	59.6	5.52							
Promedio Arit.	87.75	40.2	26.78	7.56	555.5	14.45	1.36	13.85	1.40	2.19	0.42	9.87	84.47	46.4	8000	7560
Desv. Estándar	18.15	11.22	0.24	0.60	41.28	12.38	1.24	10.81	1.14	0.30	0.21	2.36	10.94	14.27	3739.52	4213.12



Cuadro 36. Calidad Fisicoquímica de cuerpos de aguas superficiales

Determinación Fisicoquímica.	NORMA NOM127-SSA1-1994	Final arroyo Macultepec km.6 después de est. bombeo	Laguna El Mosquito	Laguna El Calabozo	Laguna Paso Segundo
Temperatura °C		30	30	25	29
Turbiedad N.T.U.	5	17.28	30.92	33.63	19.43
Color UND C.	20	80	100	250	275
P.H.	6.5 a 8.5	7.11	7.09	8.67	7.64
Olor		Inodoro	Inodoro	Pantano	Pantano
Conductividad		462	546	489	432
Cloro Residual	0.2-1.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Sólidos Totales		262	310	484	410
Sólidos Disueltos Totales	1000	248	298	392	332
CO ₂ libre		35	33	0.0	7
Calcio (Ca)		42.4	48	35.2	24
Magnesio(Mg)	125	13.44	5.76	10.56	16.32
Fierro (Fe)++	0.3	0.938	.972	0.793	0.804
Manganeso (Mn)	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0
Sodio (Na) calc	200	92.88	85.62	67.57	66.28
Carbonatos(CO ₃) ²⁻		0.0	0.0	6.1	0.0
Bicarbonatos(HCO ₃)		295.24	251.32	241.56	214.72
Sulfatos (SO ₄) ²⁻	400	27.27	28.52	9.135	18.726
Cloruros (Cl)	250	45.73	45.73	39.93	39.93
Fosfatos (PO ₄)		3.356	3.750	0.769	0.353
Aluminio	0.2	*****	*****	*****	*****
Dureza Cálcica		106	120	88	60
Dureza Carbonato*		162	144	132	128
Dureza Total*	500	162	144	132	128
Alcalinidad (T)*	400	242	206	198	176
Alcalinidad (F)*		0.0	0.0	10	0.0

RESULTADOS EXPRESADOS EN: mg/lit ó * mg/lit de CaCO₃

N.D. NO DETECTABLE
 Na. NO APLICADO



8.4. Caracterización volumétrica, fisicoquímica y biológicamente el agua residual originada en el área de estudio.

8.4.1. Caudal teórico de aguas residuales actual y de proyectada.

Para el cálculo de estas estimaciones Metcalf & Eddy (1998) proponen que entre el 60 y el 85 por ciento del consumo por habitante se convierte en agua residual. Para efectos de este trabajo se consideró el valor de 85% como la proporción de agua residual enviada a alcantarillas, obteniéndose los resultados señalados en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Proyección de caudal teórico de aguas residuales (1980-2035)						
Año	Población	Qdt (l/día)	Qdt (l/s)	QPROM. (l/s)	QMAX. (l/s)	QMIN. (l/s)
1980	7,119	1,779,750	20.60	17.51	37.99	8.75
1990	14,506	3,626,500	41.97	35.68	77.42	17.84
1995	19,802	4,950,500	57.30	48.70	105.69	24.35
2005	24,706	6,176,500	71.49	60.76	131.86	30.38
2010	29,783	7,445,750	86.18	73.25	158.95	36.63
2015	37,171	9,292,667	107.55	91.42	198.38	45.71
2020	45,568	11,392,083	131.85	112.07	243.20	56.04
2025	55,933	13,983,250	161.84	137.57	298.52	68.78
2030	68,812	17,202,917	199.11	169.24	367.25	84.62
2035	84,891	21,222,750	245.63	208.79	453.07	104.39

8.4.2. Distribución espacial de aguas residuales al 2015.

Con el objeto de determinar la distribución de los caudales de agua Residual y considerando los asentamientos de la zona; se trabajó con los AGEB proporcionados por el INEGI, 2010 y se obtuvieron por microcuenca los resultados mostrados en el Cuadro 38. La microcuenca conformada por los asentamientos de Ocuiltzapotlán, Macultepec, Fracc, Las Rosas y Fracc. La Ceiba recibe el 60.38% de la descarga de agua residual de la zona.



Cuadro 38. Estimación de caudales de agua residual por microcuenca

Microcuenca ¹	Clave del AGEB ²	Localidades que incluye el AGEB	Número de Habitantes reportados en AGEB	Dotación teórica de agua (Qdt)		Caudal de Agua Residual (QAR)	
				m ³ /día	l/s	m ³ /día	l/s
Izquierda	AGEB 202-4	Fracc. Los Ángeles, Lomas del Encanto, Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán ISSET y Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán (KM.17)	3,905	976.25	11.30	829.81	9.60
Izquierda	AGEB 209-6	Fracc. Lomas de Ocuilzapotlan dos (Km 15)	3,012	753.00	8.72	640.05	7.41
Izquierda	AGEB 213-2	Fracc. Ocuilzapotlan II	544	136.00	1.57	115.60	1.34
Izquierda	AGEB 243-3	Fracc. Ocuilzapotlan II	1,012	253.00	2.93	215.05	2.49
Izquierda	AGEB 244-8	Fracc. Ocuilzapotlan II	107	26.75	0.31	22.74	0.26
Subtotal Microcuenca Izquierda			8,580	2,145	25	1,823	21
Derecha	AGEB 201-A AGEB 253-7	Villa Ocuilzapotlán	2,937	734.25	8.50	624.11	7.22
Derecha	AGEB 200-5	Col. Refugio de la Villa Ocuilzapotlán y parte de Macultepec	4,258	1,064.50	12.32	904.83	10.47
Derecha	AGEB 203-9	Población establecida entre el tramo Fracc. Las Rosas- Villa Ocuilzapotlán (Por donde está el restaurante La Selva)	1,609	402.25	4.66	341.91	3.96
Derecha	AGEB 204-3	Colonia Vicente Guerrero (El arbolito)	1,257	314.25	3.64	267.11	3.09
Derecha	AGEB 205-8	Fracc. Las Rosas Etapa I	1,421	355.25	4.11	301.96	3.49
Derecha	AGEB 206-2	Fracc. Las Rosas Etapa I	1,010	252.50	2.92	214.63	2.48
Derecha	AGEB 207-7	Fracc. Las Rosas Etapa I	947	236.75	2.74	201.24	2.33
Derecha	AGEB 208-1	Fracc. Las Rosas Etapa II	968	242.00	2.80	205.70	2.38
Derecha	AGEB 198-6	Villa Macultepec	2,659	664.75	7.69	565.04	6.54
Derecha	AGEB 199-0	Villa Macultepec	3,826	956.50	11.07	813.03	9.41
Derecha	NR	Fracc. La Ceiba (Infonavit) ³	660	165.00	1.91	140.25	1.62
Subtotal Microcuenca Derecha			21,552	5,388.00	62.36	4,579.80	53.01
Total			30,132	7,533.00	87.19	6,403.05	74.11

¹ La orientación esta referenciada en el sentido de la Carretera 180 Villahermosa a Frontera
² Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. (Principales resultados por AGEB y manzana urbana.
³ Este fraccionamiento no aparece referenciado (NR), en el AGEB correspondiente, dato de población obtenido de manera directa.

Cuadro 39. Distribución espacial de los caudales de agua residual



Sistema Cárcamo o PTARD que recepciona las aguas residuales	AGEB, referenciado al punto de Recepción	Caudal de agua residual		
		m ³ /día	l/s	Punto de descarga final
Cárcamo Macultepec	AGEB 198-6	565.04	6.54	Arroyo Macultepec
	AGEB 199-0	813.03	9.41	Arroyo Macultepec
	AGEB 201-A AGEB 253-7	624.11	7.22	Arroyo Macultepec
	AGEB 204-3	267.11	3.09	Arroyo Macultepec
Cárcamo del Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km.17 y PTARD. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17 (ISSET).	AGEB 202-4	829.81	9.60	Laguna Paso segundo
	AGEB 203-9	341.91	3.96	Laguna Paso segundo
PTARD Fracc. Las Rosas	AGEB 205-8	301.96	3.49	Arroyo Macultepec
	AGEB 206-2	214.63	2.48	Arroyo Macultepec
	AGEB 207-7	201.24	2.33	Arroyo Macultepec
	AGEB 208-1	205.70	2.38	Arroyo Macultepec
PTARD Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán II (Km.15)	AGEB 209-6	640.05	7.41	Laguna el calabozo
	AGEB 213-2	115.60	1.34	Laguna el calabozo
	AGEB 243-3	215.05	2.49	Laguna el calabozo
	AGEB 244-8	22.74	0.26	Laguna el calabozo
	N.R. Fracc. Ceiba ¹	140.25	1.62	Laguna el calabozo
Cárcamo de Col. Refugio de la Villa Ocuilzapotlán y parte de Macultepec	AGEB 200-5	904.83	10.47	Arroyo Macultepec
Total caudal de A.R. en zona de estudio		6,403.05	74.11	

¹ Este Fraccionamiento no aparece referenciado (NR), en el AGEB correspondiente

En cuanto a la distribución espacial de las descargas de agua residual, el arroyo Macultepec recibe el 63.99% del total de agua residual generada y la laguna paso segundo y calabozo reciben el 18.305 y 17.71% respectivamente.

8.4.3. Aforo del agua residual en el cárcamo Macultepec.

Para determinar el caudal real de agua residual doméstica vertido en esta zona, se realizó en campo el aforo en el Cárcamo Macultepec, para ello se utilizó una sección del volumen de llenado del Cárcamo y se le instaló una columna de fierro a la cual se le establecieron límites superior e inferior para delimitar el área de volumen. Se aforo mediante la técnica de llenado de volumen conocido en relación con las descarga principal vertidas al arroyo Macultepec. El primer aforo se efectuó de Marzo junio y fue muy irregular debido a que se tenían problemas en la operatividad del cárcamo ya que para esas fechas se procedió por parte de SAPAET, a la reparación de hundimientos en las localidades de Ocuilzapotlán y Macultepec, esta situación obligó a la suspensión del aforo para que se repararan los hundimientos y se esperó hasta el mes de Mayo para iniciar el segundo aforo donde se midió nuevamente el caudal de llegada; observándose que después de reparados los hundimientos la llegada del agua residual hacia el cárcamo se incrementó sustantivamente y el volumen de agua recibida vino a ser representativo del caudal descargado por las dos localidades.

Se efectuaron algunas modificaciones al dispositivo implementado para el área de volumen definido, porque se presentaban retenciones de agua en la red principal como resultado de un incremento sustantivo del caudal al haberse reparado los



principales hundimientos de las Villas, por ello fue necesario corregir el área de volumen definido inicialmente para mantener una descarga de flujo más continuo y evitar las retenciones en la red, también se instaló un equipo de mayor capacidad (250 l/s) para ayudar al sistema a un desalojo rápido del agua. Los resultados del aforo indican que se midió un Q máximo de 88.4 l/s, Q medio de 55.1 l/s y Q mínimo de 7.5 l/s (Cuadro 40). Respecto al comportamiento horario del caudal recibido, se observa que la mayor cantidad de agua residual se genera en los horarios de 12 a 18 horas y tiende a recargarse en el horario de 18 a 24 horas, esto se explica por la dinámica ocupacional de la zona donde la mayoría de los habitantes acuden a la ciudad de Villahermosa para trabajar o estudiar, retornando a sus hogares en horarios que van de las 16:00 a 23:00 horas. Los domingos y lunes son los días de mayor consumo en la semana y se destaca el mayor consumo de agua en el horario de 6 a 12 horas para estos días. En cuanto al comportamiento diario de caudal de agua residual recibido en el cárcamo, se observó que en este aforo, durante las dos primeras semanas los días viernes, sábado y domingo incrementaron los volúmenes de llegada, y en la tercer semana se trasladó este incremento al día 03 de junio, porque el equipo de bombeo presento fallas el sábado anterior y solo se aforo medio día (Figura 10).

Cuadro 40. Caudal de agua residual generado en Villa Unión (Macultepec-Ocuilzapotlan)

No. Aforo	Q Máximo l/s	Q Promedio l/s	Q Mínimo l/s
1	58.9	25.1	3.1
2	98.2	69.0	9.8
3	98.2	67.9	12.3
4	98.2	71.5	14.0
5	98.2	69.4	3.5
6	73.6	43.5	8.7
7	73.6	21.3	8.0
8	98.2	56.1	12.3
9	73.6	59.7	8.0
10	98.2	80.2	7.0
11	98.2	63.7	5.4
12	98.2	58.0	7.0
13	73.6	57.5	5.1
14	15.5	8.3	4.3
15	98.2	63.0	5.6
16	73.6	29.1	5.7
17	73.6	49.2	4.6
18	98.2	49.3	3.8
19	98.2	75.1	8.7
20	98.2	65.4	6.7
21	98.2	64.4	8.4
22	73.6	66.5	12.8
Promedio	84.8	55.1	7.5

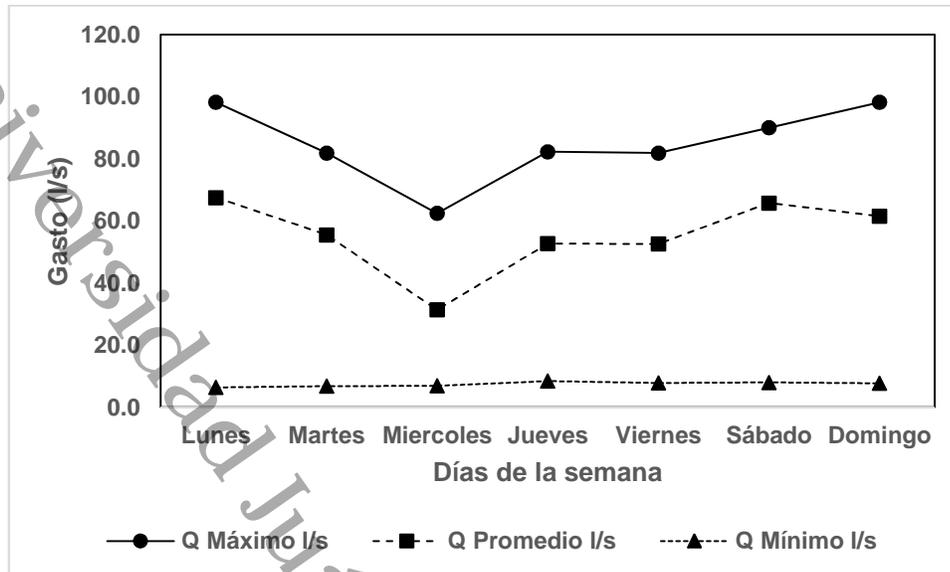


Figura 10.- Comportamiento diario de las descargas con gastos promedios mínimos y máximos.

8.4.4. Caudal de agua residual doméstica en descargas puntuales.

Con el objeto de tener una referencia del volumen de aguas residuales que se maneja dentro de la zona de estudio como descargas puntuales; en el mes de noviembre, se recorrió toda la zona de estudio para localizar las descargas directas hacia los cuerpos de agua superficiales (arroyo y lagunas) y se hizo un aforo simple mediante la técnica de volumen conocido en las descargas localizadas. Para esto se utilizó un cubo de 20 litros, un cronómetro (marca Spear Scientific 810013) y un flexómetro. Los resultados obtenidos se resumen en el Cuadro 41.

Con estos resultados se advierte que tan solo hacia el arroyo Macultepec ubicado en la margen derecha de la zona se enviaba un caudal aproximado de 73.82 l/s, de los cuales 21.18 l/s, eran por descargas puntuales directas al arroyo y 55.14 l/s., eran descargados en promedio por el cárcamo del mismo nombre. Estos valores sirvieron de referencia para el diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual construida en el año 2003-2004 en esa zona. En cuanto a los cuerpos de agua superficial Laguna el calabozo y paso segundo ubicadas en la microcuenca izquierda, de acuerdo a los datos obtenidos podemos considerar que se impactaba a la Laguna el Calabozo con un volumen de 6.02 l/s, y a la laguna Paso Segundo con un volumen no mayor de 10 l/s.

No.	Ubicación	Diámetro (in)	Tirante (cm)	Tiempo de llenado 20 L	Gasto (l/s)
1	Arroyo Macultepec	4	3	11.01	1.82
2	Arroyo Macultepec	4	3.5	13.15	1.53
3	Arroyo Macultepec	4	2.5	16	1.25
4	Arroyo Macultepec	4	2	17.3	1.16
5	Arroyo Macultepec	4	3.1	13.06	1.53



Cuadro 41. Aforo y medición de diámetros de descargas directas hacia cuerpos receptores de agua superficial					
No.	Ubicación	Diámetro (in)	Tirante (cm)	Tiempo de llenado 20 L	Gasto (l/s)
6	Arroyo Macultepec	6	4	12.53	1.6
7	Arroyo Macultepec	4	3	10.08	1.98
8	Calle Tomas Garrido, Ocuilzapotlán Arroyo Macultepec	6	3.5	8.01	2.5
9	PTARD Lomas de Ocuilzapotlán km 15 hacia la Laguna el Calabozo	12	2.5	3.32	6.02
10	PTARD Lomas de Ocuilzapotlán km 17 ISSET hacia la Laguna el Paso Segundo	12	ND	ND	ND
11	PTARD Lomas de Ocuilzapotlán km 17 hacia la Laguna el Paso Segundo	12	10.3	3.2	6.41
12	Cárcamo Macultepec	12	20.4		55.14
13	Fraccionamiento las Rosas hacia arroyo Macultepec	8	7.5	2.56	7.81
	Total				88.75

8.4.5. Caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua residual doméstica del cárcamo Macultepec.

Para caracterizar el agua residual de la zona de estudio se hicieron muestreos en el Cárcamo Macultepec por ser el más representativo de la zona. Para ello, se realizaron muestreos compuestos durante cinco días de la semana tomándose diariamente seis muestras simples cada tres horas. Los resultados obtenidos indican la presencia de un agua residual ligera o débil dentro de los parámetros de sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y grasas, presentándose una tendencia hacia una composición media en los parámetros de DBO₅, DQO, N y F total. (Metcalf & Eddy, 1998) (Cuadro 42).

Cuadro 42. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua residual del cárcamo Macultepec.							
Determinación	Unidades	Resultados					
		Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Lunes	Promedio
PH	Unidades	7.29	6.92	6.85	6.87	7.18	7.02
Temperatura de campo M.G.	°C	29.40	29.43	29.60	29.60	29.20	29.45
Conductividad	µS/cm	1550	1710	1490	1520	1460	1546
Sólidos suspendidos totales	mg/L	100.00	105.00	50.00	25.00	50.00	66.00
Sólidos sedimentables	ml/L	1.80	2.00	1.10	0.80	0.90	1.32
DBO ₅	mg/L	139.93	116.72	70.50	102.78	131.53	112.29
DQO	mg/L	314.40	301.82	210.09	259.53	296.90	276.55
Nitrógeno total	mg/L	28.85	39.98	30.27	27.63	31.99	31.74
Fósforo Total	mg/L	6.03	5.17	3.41	3.18	3.12	4.18
Grasas y aceites P.P.	mg/L	37.14	26.85	23.14	32.76	43.07	32.59
Coliformes totales M.G.	NMP/100ml	>11 000	>11 000	>11 000	>11 000	>11 000	>11 000
Coliformes fecales M.G.	NMP/100ml	>11 000	>11 000	>11 000	>11 000	>11 000	>11 000



8.5. Eficiencia de tratamiento de las PTARD localizadas en el área de estudio.

8.5.1. Planta de tratamiento de aguas residuales del Fracc. Las Rosas.

Se localiza en la Unidad habitacional Infonavit "Las Rosas", en las coordenadas geográficas 18°07'10.4" de latitud Norte y 92°51'18.6 de longitud Oeste, aproximadamente en el km 16+200 de la carretera Villahermosa,-Frontera del municipio de Centro, esta planta recibe las aguas residuales domésticas de 4,309 personas que habitan 1,092 viviendas distribuidas en manzanas. La dotación de agua para consumo doméstico proviene de dos pozos profundos (de 160 metros) para el aprovechamiento de las aguas subterráneas. La infraestructura de la PTARD Las Rosas, fue construida en el año de 1985, y la tecnología que aplico hasta el año 2003 fue de lodos activados. Para el análisis prospectivo de esta PTARD, se revisó en gabinete información del proyecto original y se realizaron visitas técnicas de campo durante el desarrollo del proyecto. Durante la estadía se observó que asociado a esta infraestructura hay la presencia de problemas a nivel técnico y social operativos.

Socialmente existió un gran malestar por parte de la población de las localidades adyacentes (Medellín y Madero 1, 2, 3 y 4a sección, Ocuilzapotlán, Macultepec) ya que están asentadas sobre las márgenes del arroyo Macultepec quien recibe directamente la descarga de las aguas residuales tratadas, misma que se ubica en las coordenadas geográficas 18°07'22.2" latitud Norte y 92°50'56.1" longitud Oeste y que según voz de los pobladores está afectando la salud de los mismos habitantes y de sus animales. Desde su construcción técnicamente la planta presento problemas relacionados con su diseño ya que en temporadas de lluvias habían anegaciones de las aguas residuales en las propias instalaciones y en los terrenos aledaños, asimismo había falta de equipos, y los existentes operaban con deficiencias mecánicas y eléctricas, nunca se otorgó capacitación al personal operativo de la PTARD y existió un nulo control del proceso que se corroboró con los resultados del análisis efectuado en el año 2002 y que se presenta en el cuadro 43 .

En el año 2003, esta planta quedo fuera de operación por decisión del Sistema de Agua y Saneamiento del Municipio de Centro, Tabasco, ya que al haberse construido la Planta de Tratamiento de Agua Residual, tipo Pantano Artificial en Villa Macultepec, se interconecto la línea del cárcamo de Salida de la PTARD Las Rosas con la línea a base de tubería de PVC RD-26 de 305 mm (12" Ø) que se extiende desde la Ranchería Medellín y Madero hasta la PTARD pantano artificial de Villa Macultepec. En el año 2005 la infraestructura de la planta permanece abandonada y solamente se operan los cárcamos de entrada y salida de aguas residuales procedentes del fraccionamiento. Actualmente la PTARD, está abandonada y desmantelada, solo se conserva el casco de la infraestructura original. En base a los resultados de los muestreos realizado en la PTARD "Las Rosas" se tiene que en Octubre los parámetros de salida fueron más favorables que en el mes de junio, particularmente en los parámetros de sólidos y de DBO₅. Cuadro 44.



Cuadro 43. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua residual de la PTARD Las Rosas (Primer Muestreo, 17/Jul/02).

Parámetro	Unidad	L.M.P.	Entrada	Salida	% Remoción
Temperatura ambiental °C	°C		27.00	27.00	
Temperatura del agua °C	°C	40	31.00	30.00	
Olor			Si	Si	
Color	U.C.		Gris	Gris	
Burbujas			Si	Si	
Materia flotante		Ausente	Si	Si	
Película visible			No	No	
p.H			7.50	7.60	
Conductividad	micro-MHOS/cm		1500.00	1350.00	10.00%
Sólidos totales(ST)	mg/L		1254.00	1184.00	5.58%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	60	272.00	292.00	-7.35%
Sólidos sedimentables	ml/L	2	2.50	0.50	80.00%
Nitrógeno (N-NH3)	mg/L				
Nitrógeno (N-NO3)	mg/L	25	6.11	5.84	4.42%
Fosfatos (PO4 =)	mg/L				
Orto fosfatos (O-PO4=)	mg/L	10	26.39	15.82	40.05%
DBO5	mg/L	60	467.00	266.00	43.04%
DQO	mg/L		844.00	653.00	22.63%
Coliformes totales	*NMP/100 ml	1000	>=240000	>=240000	0.00%
Coliformes fecales	*NMP/100 ml	1000	>=240000	>=240000	0.00%



Cuadro 44. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua de la PTARD Las Rosas (Segundo Muestreo, 16-oct-02)

Parámetro	Unidad	L.M.P.	Entrada	Salida	% Remoción
Temperatura ambiental °C	°C		27.00	28.00	
Temperatura del agua °C	°C	40	31.00	25.00	
Olor			Si	Si	
Color	U.C.		Gris	Gris	
Burbujas			Si	Si	
Materia flotante		Ausente	Si	Si	
Película visible			No	No	
p.H			7.50	7.90	
Conductividad	micro-MHOS/cm		1500.00	1100.00	26.67%
Sólidos totales(ST)	mg/L		1254.00	790.00	37.00%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	60	272.00	38.00	86.03%
Sólidos sedimentables	ml/L	2	2.50	0.10	96.00%
Nitrógeno (N-NH3)	mg/L		5.86		
Nitrógeno (N-NO3)	mg/L	25	0.25	0.18	
Fosfatos (PO4 =)	mg/L				
Orto fosfatos (O-PO4=)	mg/L	10	26.39	21.97	16.75%
DBO5	mg/L	60	467.00	80.00	82.87%
DQO	mg/L		844.00		
Grasas y aceites	mg/L			9.00	
SAAM	mg/L			21.90	
Coliformes totales	*NMP/100 ml	1000	>=240000	>=240000	0.00%
Coliformes fecales	*NMP/100 ml	1000	>=240000	>=240000	0.00%

8.5.2. Planta de tratamiento de aguas residuales Fracc. Lomas de Ocuiltzapotlán dos Km. 15 (INVITAB).

Esta Planta de tratamiento de aguas residuales fue construida en el año 1988 por el INVITAB, se trata de un sistema que tiene un tren de tratamiento conformado por las siguientes unidades: cárcamo de llegada, canal desarenador parshall, tanque imhoff, lechos filtrantes y en el lecho de secado. El gasto de diseño es de 15 l/s., y se encuentra localizada en las coordenadas geográficas 18° 06'28" latitud y 92° 52'03" longitud; dentro de un polígono irregular de 2,346.16 M² (Martínez, 2005). E el año 2004 se le construyo un biofiltro (lechos filtrante) para mejorar la calidad del agua, sin embargo aun cuando se mejoró sustancialmente el proceso con esta unidad; la falta de una adecuada operación y mantenimiento condujeron a que para el siguiente año este proceso ya estuviera descontrolado, En el año 2004, sin ningún criterio técnico se autorizó por parte del SAPAET, la interconexión del fraccionamiento “La Ceiba” y para esto se interconecto al cárcamo de llegada una línea de presión de 10” de diámetro para recibir las aguas del nuevo fraccionamiento, con lo que la PTARD, rebaso su gasto de diseño e incremento sus problemas operativos. Desde su construcción este



sistema ha descargado sus aguas residuales hacia la Laguna el calabozo, mismas que al no tener un adecuado tratamiento están contaminando el cuerpo de agua superficial. Como parte del proyecto integral de saneamiento de la zona, el Gobierno estatal ha planteado interconectar esta planta a una línea de presión para conducir las aguas negras hacia la PTARD, tipo pantano artificial de Villa Macultepec, sin embargo a la fecha dicha acción no se ha efectuado y consecuentemente se sigue impactando la laguna el calabozo. Este sistema opera con muchas deficiencias operativas por falta de atención y mantenimiento y permanece prácticamente en un abandono total. (Ver anexo fotográfico). Con el objeto de verificar la calidad del agua descargada hacia la laguna el calabozo; en el año 2002, se realizaron muestreos y análisis de las aguas crudas y tratadas Cuadro 45 y 46.

Cuadro 45. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos al agua de la PTARD Lomas de Ocuiltzapotlán II, Km.15 (INVITAB).(Primer muestreo, 24/ julio/02)					
Parámetro	Unidad	L.M.P.	Entrada	Salida	% Remoción
Temperatura ambiental °C	°C		28.00	28.00	
Temperatura del agua ° C	°C	40	29.00	31.00	
Olor			Si	Si	
Color	U.C.		Gris	Gris	
Burbujas			No	No	
Materia flotante		Ausente	Ausente	Si	
Película visible			No	Si	
pH			7.30	7.30	
Conductividad	micro-MHOS/cm		800.00	900.00	-12.50%
Sólidos totales (ST)	mg/L		2610.00	802.00	69.27%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	60	198.00	137.00	30.81%
Sólidos sedimentables	ml/L	2	0.50	0.30	40.00%
Nitrógeno (N-NH3)	mg/L				
Nitrógeno (N-NO3)	mg/L	25	0.05	0.04	20.00%
Fosfatos (PO4=)	mg/L				
Orto-fosfatos (O-PO4)	mg/L	10	12.01	12.38	-3.08%
DBO5	mg/L	60	200.00	267.00	-33.50%
DQO	mg/L				
Coliformes Totales	*NMP/100 ml	1000	>=240000	>=240000	0.00%
Coliformes Fecales	*NMP/100 ml	1000	>=240000	>=240000	0.00%



Cuadro 46. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua residual de la PTARD Lomas de Ocuilzapotlán II Km 15 (INVITAB). (Segundo muestreo,) 16-oct-02

Parámetro	Unidad	L.M.P.	Entrada	Salida	% Remoción
Temperatura ambiental °C	°C		28.00	29.00	
Temperatura del agua ° C	°C	40	29.00	27.00	
Olor			Si	Si	
Color	U.C.		Gris	Gris	
Burbujas			No	Si	
Materia flotante		Ausente	Ausente	Si	
Película visible			NO	Si	
pH			7.30	7.00	
Conductividad	micro-MHOS/cm		800.00	1000.00	-25.00%
Sólidos totales (ST)	mg/L		2610.00	804.00	69.20%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	60	198.00	215.00	-8.59%
Sólidos sedimentables	ml/L	2	0.50	0.30	40.00%
Nitrógeno (N-NH3)	mg/L				
Nitrógeno (N-NO3)	mg/L	25	0.05	0.14	-180.00%
Fosfatos (PO4=)	mg/L				
Orto-fosfatos (O-PO4)	mg/L	10	12.01	17.54	-46.04%
DBO5	mg/L	60	200.00	200.00	0.00%
DQO	mg/L			428.00	
Grasas y Aceites	mg/L	25			
SAAM	mg/L			14.40	
Coliformes Totales	*NMP/100 ml	1000	>=240000	>=240000	0.00%
Coliformes Fecales	*NMP/100 ml	1000	>=240000	>=240000	0.00%

8.5.3. Planta de tratamiento de aguas residuales del Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km.17 (ISSET).

El sistema de tratamiento de agua residual se encuentra ubicado en el Fraccionamiento ISSET, el cual colinda al Norte con el Fraccionamiento Lomas de Ocuilzapotlán, al Sur con la Laguna Paso Segundo a través de un área inundable no apta para uso pecuario, al Este limitado por la carretera federal 180, siendo esta la única vía de comunicación. Al Oeste con un área de vegetación sin manejo y sujeta a inundación temporal, la cual en su parte posterior tiene colindancia con la Laguna Paso Segundo. El fraccionamiento ISSET, cuenta con 226 viviendas y una población de 2,920 habitantes. Tiene una superficie de 21.9956 ha., fue construido por el Instituto de Seguridad Social para los Trabajadores del Estado de Tabasco (ISSET), para satisfacer la necesidad de vivienda de los trabajadores cuyo centro de trabajo se ubica en la Ciudad de Villahermosa.

La planta de tratamiento de aguas residuales del Fraccionamiento es de tipo Tanque Imhoff, fue construida el año 1987 con un gasto de 10 l/s y se encuentra localizada en las coordenadas geográficas 18° 06'28" latitud y 92° 52'03" longitud;



dentro de un polígono irregular de 4,459.28 M² (Martínez, 2005). Desde su construcción esta PTARD no ha sido operada adecuadamente, porque ni el ISSET ni las autoridades Estatales y Municipales se han querido hacer cargo del sistema, Debido a esto la PTARD permaneció cerrada y el cárcamo de llegada lo único que hacía era recepcionar las aguas residuales generadas por la población para ser vertidas directamente de este cárcamo hacia la Laguna paso Segundo sin tratamiento alguno. (Ver anexo fotográfico). A raíz de la construcción en el año 2003 de la Planta de Tratamiento de Agua Residual tipo Pantano Artificial de Villa Macultepec, Centro, Tab., el Gobierno del Estado realizó en julio del año 2006 la instalación de 1,500 metros lineales de tubería de PVC RD 26 de 10 “ de Ø misma que se interconectó con la línea de 12” de Ø de la Planta de Tratamiento de agua residual del Fraccionamiento “Las Rosas”, para que esta agua junto con las que proceden del Fraccionamiento Lomas del Ocuilzapotlán Km. 17, sean enviadas hacia la PTARD de Villa Macultepec. Como parte del trabajo de campo y con apoyo del Tesista en Ingeniera ambiental José Cruz Martínez Rodríguez, se hizo el levantamiento de la infraestructura del Sistema. Se realizó también muestreos del agua residual obteniendo los siguientes resultados señalados en los cuadros 47 y 48.

Cuadro 47. Resultados de análisis físicoquímicos y bacteriológicos de agua residual en descarga de la PTARD Lomas de Ocuilzapotlan km. 17 (ISSET) (Primer Muestreo, 18/jul/02)

Parámetro	Unidad	L.M.P.	Entrada	Salida	% Remoción
Temperatura Ambiental °C	°C		No se Pudo acceder al interior del sistema	27.00	
Temperatura del Agua °C	°C	40		31.00	
Olor				No	
Color	U.C.			Gris	
Burbujas				No	
Materia Flotante		Ausente		Ausente	
Película Visible				No	
p.H				7.60	
Conductividad	micro-MHOS/cm			900.00	
Solidos Totales(ST)	mg/L			726.00	
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	60		34.00	
Solidos Sedimentables	ml/L	2		< 0.1	
Nitrógeno (N-NH ₃)	mg/L			4.39	
Nitrógeno (N-NO ₃)	mg/L	25		0.07	
Fosfatos (PO ₄ =)	mg/L			5.82	
Orto Fosfatos (O-PO ₄ =)	mg/L	10		3.82	
DBO ₅	mg/L	60		127.00	
DQO	mg/L			230.00	
Coliformes Totales	*NMP/100 ml	1000		>=240000	
Coliformes Fecales	*NMP/100 ml	1000		>=240000	



Cuadro 48. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de agua residual en descarga de la PTARD Lomas de Ocuilzapotlán km. 17 (ISSET) (Segundo Muestreo, 18/oct/02)

Parámetro	Unidad	L.M.P.	Entrada	Salida	% Remoción	
Temperatura Ambiental °C	°C			29.00		
Temperatura del Agua °C	°C	40		27.00		
Olor				SI		
Color	U.C.			Gris		
Burbujas				SI		
Materia Flotante		Ausente		Ausente		
Película Visible				No		
p.H				7.70		
Conductividad	micro-MHOS/cm			900.00		
Solidos Totales(ST)	mg/L			754.00		
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	60	No se pudo acceder al interior del sistema	56.00		
Solidos Sedimentables	ml/L	2		< 0.1		
Nitrógeno (N-NH ₃)	mg/L					
Nitrógeno (N-NO ₃)	mg/L	25		0.10		
Fosfatos (PO ₄ =)	mg/L			6.54		
Orto Fosfatos (O-PO ₄ =)	mg/L	10		6.09		
DBO ₅	mg/L	60		110.00		
DQO	mg/L			140.00		
Coliformes Totales	mg/L	25		16.00		
Coliformes Fecales	mg/L			13.39		
Temperatura Ambiental °C	*NMP/100 ml	1000			>=240000	
Temperatura del Agua °C	*NMP/100 ml	1000			>=240000	

8.5.4. Planta de tratamiento de aguas residuales Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17

Respecto a esta “PTARD”, y después de haber evaluado el sistema que es identificado por los habitantes del fraccionamiento como una Planta de tratamiento de agua residual se puede concluir la PTARD es disfuncional ya que esta infraestructura se constituye básicamente por un tren muy simple constituido por las unidades que son: un registro de llegada, desarenador, eras de secado, biofiltro y un cárcamo de salida. Durante las visitas a este lugar se observó que la PTARD, no tienen función alguna ya que desde que se construyó no se ha operado adecuadamente, funcionando, solo la caja de llegada, el desarenador y el cárcamo de salida que descarga las aguas negras del fraccionamiento sin tratamiento alguno y en forma directa hacia la laguna paso segundo. Cabe señalar que en el mes de julio del año 2006 este fraccionamiento se interconectó a una línea de presión que actualmente conduce las aguas residuales del fraccionamiento ISSET hacia la PTARD, tipo pantano artificial de Villa Macultepec. En el año 2002, se realizó un muestreo del agua que se estaba descargando hacia la laguna paso segundo siendo los resultados los señalados en los cuadros 49 y 50.



Cuadro 49. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de agua residual en descarga de la PTARD lomas de Ocuiltzapotlán km. 17 (Primer Muestreo, 18/07/02)

Parámetro	Unidad	L.M.P.	Entrada	Salida	% Remoción
Temperatura Ambiental °C	°C		En este sitio no hay PTARD, aun cuando la denominan así, solo hay un cárcamo y un par de eras de secado que no funcionan. se tomó la muestra de agua residual de la descarga del cárcamo hacia Laguna Paso Segundo	27.00	
Temperatura del Agua °C	°C	40		31.00	
Olor				SI	
Color	U.C.			Gris	
Burbujas				No	
Materia Flotante		Ausente		Ausente	
Película Visible				No	
p.H				7.70	
Conductividad	micro-MHOS/cm			1000.00	
Solidos Totales(ST)	mg/L			744.00	
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	60		110.00	
Solidos Sedimentables	ml/L	2		0.20	
Nitrógeno (N-NH3)	mg/L	25		3.60	
Nitrógeno (N-NO3)	mg/L			0.11	
Fosfatos (PO4 =)	mg/L	10		7.22	
Orto Fosfatos (O-PO4=)	mg/L			3.95	
DBO5	mg/L	60		240.00	
DQO	mg/L			326.00	
Coliformes Totales	*NMP/100 ml	1000	>=240000		
Coliformes Fecales	*NMP/100 ml	1000	>=240000		

Cuadro 50. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de agua residual en descarga de la PTARD lomas de Ocuiltzapotlán km. 17 (Segundo Muestreo, 26/11/02)

Parámetro	Unidad	L.M.P.	Entrada	Salida	% Remoción
Temperatura Ambiental °C	°C		En este sitio no hay PTARD, aun cuando la denominan así, solo hay un cárcamo y un par de eras de secado que no funcionan. se tomó la muestra de agua residual de la descarga del cárcamo hacia Laguna Paso Segundo	29.00	
Temperatura del Agua °C	°C	40		36.00	
Olor				Si	
Color	U.C.			Gris	
Burbujas				No	
Materia Flotante		Ausente		Ausente	
Película Visible				No	
p.H				6.0	
Conductividad	micro-MHOS/cm			990.00	
Solidos Totales(ST)	mg/L			0.00	
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	60		76.00	
Solidos Sedimentables	ml/L	2		1.50	
Nitrógeno (N-NH3)	mg/L	25		23.76	
Nitrógeno (N-NO3)	mg/L			0	
Fosfatos (PO4 =)	mg/L	10		6.14	
Orto Fosfatos (O-PO4=)	mg/L			3.95	
DBO5	mg/L	60		240.00	
DQO	mg/L			326.00	
Coliformes Totales	*NMP/100 ml	1000	>=11000		
Coliformes Fecales	*NMP/100 ml	1000	>=11000		



8.5.5. Planta de tratamiento de aguas residuales tipo Pantano Artificial Villa Macultepec.

Se construyó durante los años 2002 y 2004, como alternativa para resolver en forma definitiva el problema manifestado por los habitantes de las Villas Macultepec y Ocuilzapotlán respecto a la contaminación del arroyo Garduza ò Macultepec, quienes manifestaban el incremento y la proliferación de enfermedades gastrointestinales y respiratorias en la población , además para atender la queja reiterada de los pequeños propietarios y pescadores de las poblaciones ubicadas aguas abajo (El espino), quienes manifestaban enfermedad en sus animales de traspatio, en el ganado y una disminución de las especies relacionadas a la pesca principal actividad de este núcleo de población. La zona a servir con esta PTARD es el corredor Macultepec, Ocuilzapotlán, Medellín y Madero, las Rosas y Fraccionamiento la Ceiba, y demás fraccionamientos asociados al corredor sub-urbano. La población proyecto es de 50,000 habitantes y la PTARD tiene una capacidad de saneamiento de 10,800 m³/día equivalentes a 125 l/s. (Impulsora, Nacional de Tecnología. S.A. de C.V., 2002). Las bases de diseño consideradas para la construcción de esta planta fueron las señaladas en el Cuadro 51. El tren de tratamiento existente en la PTARD, está conformado por las unidades de proceso siguiente (Cuadro 52).

Cuadro 51. Bases de diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual tipo pantano artificial Villa Macultepec, Centro, Tabasco.	
Parámetro	Valor
Gasto promedio	125 Lps. (10,800 M3/ día)
Gasto Máximo diario	279 Lps. (24,105.60 M3/dia)
Gasto Mínimo	62.5 Lps. (5,400 M3/dia)
DBO Entrada	250 mg/L
DBO Salida	30 mg/L
SST entrada	250 mg/L
SST Salida	30 mg/L
Coliformes Totales entrada	>2.4 x 10 E.06 NMP/100 ml
Coliformes Totales salida	< 1000 NMP /100 ml
Fuente: Proyecto ejecutivo de la PTARD de aguas residuales de Villa Unión. (Impulsora Nacional de Tecnología, S.A. de C.V), 2002.	

Cuadro 52. Unidades que componen el sistema de tratamiento de aguas residuales de Pantanos Artificiales de Villa Macultepec, Centro, Tabasco.	
Unidad	Características
Cárcamo Macultepec	Es la estructura a donde llegan las aguas residuales procedentes de Villa Macultepec, Villa Ocuilzapotlán, Medellín y Madero 3a y Fracc. Las Rosas, y de esta unidad son bombeadas hacia la planta de tratamiento donde existe un medidor de flujo que controla y permite la lectura de los gastos de agua ingresados al proceso.
Pre-tratamiento	Esta rea se utiliza para la separación de sólidos de gran tamaño, basura y artículos plásticos, presentes en las aguas residuales, así como para el desarenado de la misma, la unidad cuenta con dos canales con dos rejillas saca-basura y un desarenador por canal respectivamente lo que facilita la limpieza alternada de los canales sin detener la llegada del agua. El rea de pre-tratamiento está localizada al inicio del proceso. Desde este punto el agua se envía hacia el clarificador para proseguir con la fase física y primaria de la sedimentación de sólidos.
Clarificador	La función principal es concentrar la corriente de agua rica en sólidos que sale por la parte inferior de esta unidad, así como una corriente clara y baja en sólidos, que sale por la parte superior. El dispositivo es de tipo rectangular con dos secciones de



Cuadro 52. Unidades que componen el sistema de tratamiento de aguas residuales de Pantanos Artificiales de Villa Macultepec, Centro, Tabasco.	
Unidad	Características
	decantación, las cuales constan de cuatro tolvas de sedimentación que permiten la precipitación y decantación de sólidos suspendidos de mayor tamaño. En este punto el agua se divide en dos corrientes de tratamiento: La corriente inferior (abundante en sólidos) se pasa a la celda de lodos y la superior clarificada a las celdas de purificación. Esta estructura cuenta con un sistema de “barrido” de lodos, el cual consiste en el desplazamiento y acumulación de sólidos sedimentables en el fondo del clarificador hacia las tolvas de sedimentación para su purga posterior a la celda de lodos.
Celda de lodos	Se utiliza para el tratamiento de sólidos separados presentes en el agua residual. El modo de operación de esta unidad es mediante la acción de plantas del género <i>Arundo donax</i> , <i>Phragmites Australis</i> o similar sembradas en una superficie filtrante que consta de una capa que tiene la siguiente composición: 15 cm. De grava de diámetro de 2” a 3” y 35 cm. de arena gruesa colocada sobre la grava, la alimentación de este elemento es mediante un sistema de tubos vertedores verticales tipo sifón, los cuales desalojan de manera uniforme en la superficie de la celda la corriente escura y rica en sólidos proveniente de la parte inferior del clarificador. Los sólidos se retienen en la superficie donde se convierten en suelo apto para la vegetación.
Celdas purificadoras	Este área del proceso es la base central del proceso de purificación de las aguas residuales y tienen un funcionamiento similar al de un pantano natural integrado de vegetación acuática asociada a pantanos naturales (<i>Typha Latifolia</i> , <i>Scirpus Californicus</i> o <i>Scirpus Validus</i>) sembrada en lechos de suelo compactado que permanecen inundados, una vez que la vegetación se ha establecido completamente en la superficie de la celda. Este proceso se define por la actividad existente entre los microorganismos presentes alrededor del tallo de las plantas pantanales. En esta interface se generan procesos de transformación de la materia orgánica presente en el agua, la cual obedece a una reacción de primer orden y que se optimiza con la temperatura
Unidad de Desinfección Ultravioleta	Consiste en la penúltima parte del tren de tratamiento y en esta se realiza el proceso de desinfección mediante el uso de rayos ultravioletas que son aplicados en la corriente de agua tratada procedente de las celdas purificadoras. Este tiene como objetivo reducir los componentes microbiológicos (coliformes) a un valor permisible por los estándares de calidad de agua que se tienen establecidos en la normatividad vigente. La unidad de rayos ultravioletas es de alta eficiencia en los procesos de desinfección al actuar directamente en la inactivación de los virus, bacterias, esporas y quistes presentes en las aguas residuales y requieren poco espacio comparado con un sistema de desinfección convencional.
Cárcamo de Salida	La última unidad establecida en el tren de tratamiento consiste en un cárcamo de salida cuya descarga final del efluente tratado es enviada hacia el arroyo Garduza o Macultepec donde de manera automática se controlan los niveles que hacen operar electrónicamente los equipos de bombeo para el desalojo de las aguas ya tratadas.

La operación y mantenimiento de este sistema estuvo a cargo del Gobierno Estatal desde el mes de mayo de 2005, quien a través de la Subdirección de control de calidad de SAPAET realizó algunos análisis que reflejan los resultados obtenidos mediante este tipo de sistema. En septiembre de 2006, la planta de tratamiento tipo pantano artificial fue entregada al Gobierno Municipal (Sistema de Agua y Saneamiento) para su operación. Algunos resultados obtenidos durante la operación y mantenimiento por parte del gobierno Estatal se reflejan a continuación en el Cuadro 53.



Cuadro 53. Comportamiento de la eficiencia de remoción de contaminantes básicos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Pantanos Artificiales de Villa Macultepec.

Parámetro	Unidad	Junio 2005			Mayo 2006			Agosto 2008			Marzo 2011		
		Entrada	Salida	% Remoción	Entrada	Salida	% Remoción	Entrada	Salida	% Remoción	Entrada	Salida	% Remoción
Sólidos sedimentables	ml/l				2.0	1.0	50.0				1	0.1	90.0
Sólidos suspendidos totales	mg/l				84.0	20.0	76.2				126	13	89.7
DBO5	mg/l	181.9	16.8	90.8	90.6	16.0	82.4	181.87	20.42	88.8	82.5	52.8	36.0
DQO	mg/l	600.9	142.9	76.2	203.1	172.6	15.0	600.9	73.58	87.8	312.48	84.58	72.9
Nitrógeno total	mg/l	74.9	14.5	80.7	51.4	41.4	19.5	74.87	33.6	55.1	41.49	20.41	50.8
Fosforo total	mg/l	9.3	3.8	59.4	5.9	4.0	32.1	9.3	33.51	-260.3	5.64	4.25	24.6
Grasas y Aceites	mg/l				9.8	5.9	40.0				22.92	5	78.2
SAAM	mg/l				0.6	0.0	96.6						
Coliformes fecales	NMP/100	100000.0	70.0	99.9	100000.0	430.0	99.6	100000	4600	95.4	240000000	11000000	95.4
Coliformes totales	NMP/100	100000.0	70.0	99.9	100000.0	430.0	99.6	100000	4600	95.4	240000000	11000000	95.4



De acuerdo a los resultados obtenidos en el Cuadro 53, se concluye que: en el año 2005, una vez estabilizado el sistema, se alcanzaron porcentajes de remoción de DBO5, DQO, Nitrógeno total y coliformes fecales y totales altos, mientras que los datos obtenidos en 2006, disminuyeron considerablemente, esto se explica por dos razones: 1) La celda de lodos se colapsó en el mes de noviembre del 2005, al asociarse una planta de tipo rastrero que desplazó y termino con las plantas de carrizo, por ello se tuvo que limpiar totalmente la celda de lodos para realizar la resiembra de las plantas soporte y buscar su recuperación, asimismo se realizaron transectos con el objeto de controlar y dar mantenimiento constante a la celdas de lodos. (Ver anexo fotográfico). 2) Uno de los bancos de la unidad ultravioleta se dañó y hasta el momento de entrega del sistema al municipio no se había arreglado por falta de recursos financieros, esto condujo a que se disminuyera el porcentaje de remoción de los coliformes.

En Agosto de 2008 y Marzo de 2011, se efectuaron nuevamente muestreos y los resultados en la remoción de contaminantes mejoró sustancialmente en el muestreo de 2011, esto se explica porque la Planta de tratamiento tuvo una rehabilitación general. El parámetro de remoción de fósforo total es mínimo. En el análisis del mes de agosto de 2008 se realizó también un análisis completo de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos pero se incluyó también análisis de los metales pesados y los hidrocarburos totales. Los resultados obtenidos señalan que tanto los valores de metales pesado como hidrocarburos están dentro de los Límites Máximos Permisibles(L.M.P.), en cuanto a los resultados de los parámetros fisicoquímicos el fósforo vuelve a presentar un valor por arriba del L.M.P. señalado por la Norma. Cuadro 54.

Durante el periodo de desarrollo de este trabajo se ha continuado dando un seguimiento al Sistema de tratamiento de Macultepec y aun cuando el Sistema ha sufrido deterioros por la falta de mantenimiento y el desconocimiento operativo del sistema de tratamiento por parte del personal técnico del Organismo operador, Socialmente la Planta de tratamiento ha incidido positivamente en la salud de la población ya que se ha disminuido en los índices de enfermedades asociadas al agua



Cuadro 54. Resultados de análisis efectuado en muestra de AR de la descarga de salida de la planta de tratamiento de agua residual tipo Pantano Artificial Villa Macultepec, Centro, Tabasco.

Parámetro Físicoquímicos	Método de Referencia	Resultados	Unidad	L.M.P	L.C.
pH	NMX-AA-008-SCFI-2000	6,73	.-.	5,00-10,00	0,01
Temperatura de Campo	NMX-AA-007-SCFI-2000	27,9	°C	40,00	0,1
Conductividad	NMX-AA-093-SCFI-2000	1105	Us/cm	N.A.	0,01
Grasas y Aceites	NMX-AA-005-SCFI-2000	3,9	mg/L	25,00	2,0
Solidos Suspendidos Totales	NMX-AA-034-SCFI-2001	<10	mg/L	125,00	10
Solidos Sedimentables	NMX-AA-004-SCFI-2000	0,5	MI/L	2,00	0,1
DBO.5	NMX-AA-028-SCFI-2001	20,42	mg/L	150,00	9,9
DQO	NMX-AA-030-SCFI-2001	73,582	mg/L	N.A.	34,6527
Nitrógeno Total	***	33,60	mg/L	60	N.A
Fosforo Total	NMX-AA-029-SCFI-2001	33,513	mg/L	30	0,2955
SAAM	NMX-AA-039-SCFI-2001	<0,024	mg/L	N.A.	0,024
Metales Pesados	Método de Referencia	Resultados	Unidad	L.M.P	L.C.
Arsénico	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0,00122	mg/L	0,20	0,00122
Cadmio	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0,0229	mg/L	0,20	0,0229
Cobre	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0,2157	mg/L	6,00	0,2157
Cromo	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0,0430	mg/L	1,00	0,0430
Mercurio	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0,0235	mg/L	0,01	0,0235
Níquel	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0,1414	mg/L	4,00	0,1414
Plomo	NMX-AA-051-SCFI-2001	<0,35	mg/L	0,40	0,35
Zinc	NMX-AA-051-SCFI-2001	0,994	mg/L	20,00	0,1396
Bacteriológicos	Método de Referencia	Resultados	Unidad	L.M.P	L.C.
Coliformes Fecales	NMX-AA-O42-1987	4600	NMP/100 ml	1000	2
Coliformes Totales	NMX-AA-O42-1987	4600	NMP/100 ml	1000	2
Hidrocarburos	Método de Referencia	Resultados	Unidad	L.M.P	L.C.
Hidrocarburos Totales del Petroleo (TPH's)	EPA 418.1	<0,28	mg/L	0,28	

LMP. (Promedio diario, uso público urbano) = Límite Máximo Permissible establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.
NA= No es aplicable **LC=** Limite de cuantificación. < = menor que *** Nitrógeno total = Sum



8.6. Balance de carga contaminante del área de estudio.

8.6.1. Estimación de las cargas contaminantes básicas en la zona de estudio en base a la población proyectada.

Con el objeto de cuantificar los niveles de carga orgánica generada en la zona de estudio se calcularon las cantidades de los aportes de nutrientes y sólidos en las aguas residuales generadas por habitantes. Para efecto de los cálculos se tomaron como valores de aporte los siguientes: 54 gr/habitante para la DBO₅, 106 gr/habitante para la DQO, 16.5 gr/habitante para Nitrógeno total, 2.2 gr/habitante para fósforo total y 95.60 gr/habitante para los sólidos suspendidos totales. Se realizaron por separado los cálculos considerando los datos actuales de población referenciados por los AGEB y los estimados en base a la proyección al año 2035, para referenciar con este último los aportes esperados en el futuro. Los resultados obtenidos en base a los AGEB. En el Cuadro 55, se señala que la microcuenca derecha donde se ubica la población de Macultepec y Villa Ocuilzapotlán es la que mayor carga orgánica envía hacia la corriente del arroyo Macultepec.

Cuadro 55. Estimación de carga orgánica por asentamiento en base a los AGEB.								
Microcuenca ¹	Clave AGEB ²	Asentamiento	No. Hab.	DBO ₅ (gr/día)	DQO (gr/día)	NT (gr/día)	PT (gr/día)	SST (gr/día)
Izquierda	AGEB 202-4	Fracc. Los Angeles, Lomas del Encanto, Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán ISSET y Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán (KM.17)	3,905	210.87	413,930.0	64,432.50	8,591.00	373,318.00
Izquierda	AGEB 209-6	Fracc. Lomas de Ocuilzapotlan dos (Km 15)	3,012	162,648.0	319,272.0	49,698.00	6,626.40	287,947.20
Izquierda	AGEB 213-2	Fracc. Ocuilzapotlan II	544	29,376.00	57,664.00	8,976.00	1,196.80	52,006.40
Izquierda	AGEB 243-3	Fracc. Ocuilzapotlan II	1,012	54,648.00	107,272.0	16,698.00	2,226.40	96,747.20
Izquierda	AGEB 244-8	Fracc. Ocuilzapotlan II	107	5,778.00	11,342.00	1,765.50	235.40	10,229.20
Subtotal Microcuenca Izquierda			8,580	252,660.9	909,480.0	141,570.0	18,876.0	820,248.0
Derecha	AGEB 201-A AGEB 253-7	Villa Ocuilzapotlán	2,937	158,598.0	311,322.0	48,460.50	6,461.40	280,777.20
Derecha	AGEB 200-5	Col. Refugio de la Villa Ocuilzapotlán y parte de Macultepec	4,258	229,932.0	451,348.0	70,257.00	9,367.60	407,064.80
Derecha	AGEB 203-9	Población establecida entre el tramo Fracc. Las Rosas- Villa	1,609	86,886.00	170,554.0	26,548.50	3,539.80	153,820.40



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
“Estudio en la Duda, Acción en la Fé”
División Académica de Ciencias Biológicas



Cuadro 55. Estimación de carga orgánica por asentamiento en base a los AGEB.

Microcuenca ¹	Clave AGEB ²	Asentamiento	No. Hab.	DBO5 (gr/día)	DQO (gr/día)	NT (gr/día)	PT (gr/día)	SST (gr/día)
		Ocuilzapotlán (Por donde está el restaurante La Selva)						
Derecha	AGEB 204-3	Colonia Vicente Guerrero (El arbolito)	1,257	67,878.00	133,242.0	20,740.50	2,765.40	120,169.20
Derecha	AGEB 205-8	Fracc. Las Rosas Etapa I	1,421	76,734.00	150,626.0	23,446.50	3,126.20	135,847.60
Derecha	AGEB 206-2	Fracc. Las Rosas Etapa I	1,010	54,540.00	107,060.0	16,665.00	2,222.00	96,556.00
Derecha	AGEB 207-7	Fracc. Las Rosas Etapa I	947	51,138.00	100,382.0	15,625.50	2,083.40	90,533.20
Derecha	AGEB 208-1	Fracc. Las Rosas Etapa II	968	52,272.00	102,608.0	15,972.00	2,129.60	92,540.80
Derecha	AGEB 198-6	Villa Macultepec	2,659	143,586.00	281,854.0	43,873.50	5,849.80	254,200.40
Derecha	AGEB 199-0	Villa Macultepec	3,826	206,604.00	405,556.0	63,129.00	8,417.20	365,765.60
Derecha	NR	Fracc. La Ceiba (Infonavit) ³	660	35,640.00	69,960.00	10,890.00	1,452.00	63,096.00
Subtotal Microcuenca Derecha			21,552	1,163,808	2,284,512	355,608	47,414	2,060,371
Total			30,132.0	1,416,468.9	3,193,992.0	497,178.0	66,290.4	2,880,619.2

¹ La orientación esta referenciada en el sentido de la Carretera 180 Villahermosa a Frontera

² Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. (Principales resultados por AGEB y manzana urbana.

³ Este fraccionamiento no aparece referenciado (NR), en el AGEB correspondiente, dato de población obtenido de manera directa.



Cuadro 56. Resumen de Carga Orgánica Total Proyectada

Año	DBO5 (Kg/día)	DQO (Kg/día)	N Total (Kg/día)	P Total (Kg/día)	SST (Kg/día)
1980	384.43	754.61	117.46	15.66	680.58
1990	777.71	1,526.61	237.63	31.68	1,376.83
1995	1,069.31	2,099.01	326.73	43.56	1,893.07
2005	1,333.96	2,618.52	407.60	54.35	2,361.61
2010	1,608.28	3,157.00	491.42	65.52	2,847.25
2015	2,007.23	3,940.13	613.32	81.78	3,553.55
2020	2,460.67	4,830.21	751.87	100.25	4,356.30
2025	3,020.38	5,928.90	922.89	123.05	5,347.19
2030	3,715.85	7,294.07	1,135.40	151.39	6,578.43
2035	4,584.11	8,998.45	1,400.70	186.76	8,115.58

8.6.2. Modelación de aportes y carga contaminante.

Para la modelación teórica de la carga contaminante de la zona en estudio se utilizó la Subrutina Load Runnof del Programa SMADA Versión 6.26 que permitió calcular la carga neta teórica de aportes de contaminantes de DBO₅, sólidos suspendidos, nitrógeno total, fósforo total, plomo, cobre y zinc. Las variables utilizadas fueron la superficie de los diferentes usos de suelo de cada uno de los asentamientos, precipitación pluvial mensual, el escurrimiento superficial cuyo coeficiente de escurrimiento utilizado fue: para uso urbano 0.4, áreas verdes 0.2 y Andadores banquetas y calles 0.6 (CONAGUA, 2007). Para calcular las superficies por uso de suelo por localidad, se utilizaron planos de las localidades de Villa Macultepec, Villa Ocuilzapotlán, Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán dos y Fracc. Las Rosas, editados del software SCIENCE, 2005 del Instituto Nacional de estadística Geografía e Informática, utilizando la escala 1:500. Asimismo se utilizó el software de AUTOCAD 2010 para realizar la medición de áreas (Cuadro 57). El estimado de carga de contaminantes se presenta en el Cuadro 58.



Cuadro 57. Superficie por uso de suelo

Localidad	AGEB	Área Urbana M ²	Andadores, banquetas, estacionamientos y calles M ²	Área Verde M ²	Superficie Total M ²
Macultepec	198-6	1,274,466.07	678,715.15	119,597.71	2,072,778.93
	199-0				
Villa Ocuilzapotlan	201-A	2,023,766.72	322,997.87	566,563.87	2,913,328.46
	200-5				
	204-3				
	203-9				
	205-8				
Fracc. Las Rosas	206-2	185,404.61	170,672.34	41,171.49	397,248.44
	208-1				
	207-7				
	209-6				
Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán II(INVITAB)	209-6	153,582.00	58,473.06	4,476.34	216,531.40
Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán Km.17	202-4	144,550.00	133,987.00	79,800.00	358,337.00
Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán (ISSET)					
Fracc. Lomas del encanto, y los ángeles					
Total		3,781,769.40	1,364,845.42	811,609.41	5,958,224.23

Cuadro 58. Modelación de carga contaminante neta de la Zona en estudio (Kg/año).

Localidad	DBO	SS	N Total	P Total	Pb	Cu	Zn
Villa Ocuilzapotlán	16,583.31	213,380.16	3,335.89	44.31	162.02	37.66	156.01
Villa Macultepec	16,447.88	195,251.90	2,896.85	9.35	137.37	28.36	128.92
Lomas de Ocuilzapotlán II Km. 15 (INVITAB)	1,645.45	19,387.02	289.15	0.35	14.48	3.11	13.78
Lomas de ocuilzapotlán II (Km.17)	1,973.38	23,103.08	334.55	0.89	14.49	2.66	13.16
Lomas de Ocuilzapotlán (ISSET)	797.61	11,426.30	181.32	5.36	6.81	1.48	6.25
Fracc. Las Rosas	3,417.96	40,816.45	599.71	3.22	26.26	5.06	24.09
Total (Kg/ año)	40,865.58	503,364.91	7,637.45	63.48	361.42	78.34	342.21



9. CONCLUSIONES

Para todo proceso de gestión integral del agua es necesario que el principal actor, es decir la sociedad, participe activa, directa y conscientemente de las acciones que se emprendan por parte de los sectores, público, privado o social, ya que ante el desapego y apatía de la población en dichas acciones se conduce a la generación de obras que lejos de resolver los problemas sociales e internos de la comunidad para un manejo integral y adecuado del agua, se generan conflictos y desacuerdos por la posesión del recurso y por su politización, siendo que el agua es un recurso de todos y no de un grupo en particular. En base a resultados obtenidos en el presente documento de tesis se puede concluir lo siguiente:

1.-La cantidad de agua disponible en las fuentes subterráneas establecidas en las comunidades objeto de este trabajo era suficiente para abastecer a la población establecida actualmente en la zona de estudio, sin embargo es necesario que se despolitice el manejo del recurso y que los habitantes de los fraccionamientos permitan la operación de los pozos durante 24 horas y no restrinjan los horarios de bombeo a sólo su fraccionamiento, de acuerdo al gasto de operación de pozos(175 l/s), bombeando durante todo el día, se obtendrían 15'120,000 l/día que servirían para dotar de agua a una población de 60,480 habitantes. El rango de dotación /habitante de agua procedente de pozos, oscilo para el periodo 2000-2005 entre 150 y 256 l/hab/día, con los horarios establecidos Para los años 2009-2010 este valor oscilo entre 175 y 203 l/hab/día, con esos mismos horarios. No era necesario llevar la línea de conducción de 28 Km. Procedente de la Planta Carrizal, ya que en cantidad el agua de los pozos era suficiente, sin embargo sí era necesario mejorar la calidad del agua dándole un tratamiento secundario ya que la desinfección a partir del cloro no es suficiente al encontrarse valores de turbiedad, color, Fierro y Coliformes totales, por arriba de la NOM-127-SSA1-1994. El hecho de llevar agua desde la planta potabilizadora Carrizal, si bien es cierto mejoró la calidad del servicio, no resuelve en forma definitiva el abastecimiento de agua de la zona, ya que ante las fallas operativas de la potabilizadora, la población de la zona en estudio se queda indefensa y sin el vital líquido por el tiempo que se tarden en arreglar la falla.

2.- De acuerdo a la caracterización de las aguas residuales generadas en la zona de estudio se concluye que estas son aguas residuales domésticas de tipo ligera o débil, presentándose una tendencia hacia una composición de agua típicamente media por el incremento sustancial de población.

3.- El Cárcamo Macultepec presenta Q máximo de 84.82 l/s, el Q medio de 55.14 l/s y el Q mínimo fue de 7.47 l/s. Es conveniente mencionar que en temporada de lluvias los operarios abren la válvula de descarga para emitir las aguas residuales directamente al arroyo Macultepec, porque su capacidad de bombeo resulta insuficiente al recibirse agua combinada (Residual-Pluvial).

4.- El mayor escurrimiento de aguas residuales se presenta en la margen derecha de la zona de estudio por donde escurre el 62.51% de dichas aguas, siendo la micro cuenca izquierda la que menor impacto tiene al recibir el 37. 50 % de las aguas residuales. Al



respecto es el Arroyo Macultepec o Garduza el que recibe un mayor impacto ambiental debido a las cargas orgánicas contaminantes.

5.- La construcción de la planta de tratamiento de agua residual en la Villa Macultepec, constituye un avance sustancial para el saneamiento de las aguas residuales, sin embargo no es conveniente continuar con el desmantelamiento de las PTARD, existentes en los fraccionamientos, ya que la operación de estas contribuye a la remoción de contaminantes primarios que coadyuvaran en los niveles de saneamiento de las aguas.

Por el contrario se debe buscar mejorar los procesos en las PTARD existentes e integrar personal capacitado (técnicos ambientalistas) para el rescate y operación de éstos Sistemas. Respecto a la PTARD de Villa Macultepec, es necesario que el Órgano operador municipal, vigile la correcta operación del sistema y que no permita que el sistema caiga en el abandono operativo ya que a un año de operación el sistema disminuyó sus porcentajes de remoción de contaminantes.

6.- Los cuerpos de agua superficial el calabozo y paso segundo presentan aún condiciones aceptables para el desarrollo de actividades productivas de pesquerías, sin embargo de continuar descargándose el agua residual en forma directa hacia estas lagunas, se agilizará el proceso de eutrofización de las aguas superficiales, por lo que es urgente que se rehabilite y ponga en operación las PTARD de Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán dos Km. 15, Fraccionamiento ISSET y Fraccionamiento Lomas de Ocuilzapotlán Km. 17, o en su defecto se canalicen las aguas residuales hacia la Planta Macultepec.

7.- Los resultados de modelación de cargas contaminantes indican que en base al desarrollo demográfico esperado en la zona para los próximos años, se incrementarán sustantivamente las cargas contaminantes netas en la microcuenca derecha en los parámetros de DBO₅, Sólidos suspendidos, N, F, Pb, Zn y Cu.

8.- Se debe continuar con trabajos de investigación y seguimiento en la zona conurbada Villa Unión, Ocuilzapotlán- Macultepec y fraccionamientos aledaños, para vigilar la correcta operación de Sistemas de tratamiento de agua residual y para lograr avances en lo concerniente al uso eficiente y manejo adecuado del agua mediante esquemas de gestión participativa de la comunidad- gobierno y sector privado y para detener el impacto ambiental en los mantos de agua superficiales y subterráneos que de continuar terminaran por afectar a las zonas aguas abajo hasta su desembocadura en los pantanos de Centla.



10.-RECOMENDACIONES

Se sugiere que no se deshabiliten los pozos profundos y que estos se mantengan como reservas para atender la falta de agua cuando se presenten fallas en la Planta potabilizadora.

También se sugiere construir cisternas de almacenamiento y colocar válvulas de control y medición. Como parte de la gestión para el uso eficiente del agua, se debe establecer servicio medido de acuerdo al tipo de toma instalada (domestica, comercial e industrial), concertando con la población que el recurso por concepto de pago de agua, se utilice para la mejora de redes y sistemas.

Se recomienda hacer un nuevo aforo en este cárcamo ya que durante los últimos tres años se han interconectado nuevos asentamientos a la línea que conduce las aguas residuales hacia esta instalación y en base a esto revisar si la infraestructura es suficiente o necesita ampliarse.

Es necesario que con la participación activa de la población se vayan identificando los hundimientos en las redes de agua residual, así como las descargas directas a los cuerpos de agua (arroyos y lagunas), para que el Gobierno Municipal vaya arreglando las líneas y a su vez vaya interconectando a la red aquellas tomas o descargas directas para efecto de no contaminar más las fuentes superficiales y subterráneas.

Es necesario promover esquemas de participación de grupos privados que se interesen por el manejo del sistema bajo esquemas de servicio concesionado y que también las Universidades, grupos de investigadores y estudiantes puedan acceder a la PTARD para obtener un mayor conocimiento de las bondades del Sistema, así como para la identificación las especies que conviven y se desarrollan dentro del entorno del humedal.

Se recomienda continuar realizando estudios en los cuerpos superficiales de la zona, específicamente en las Lagunas Calabozo, Paso Segundo y Arroyo Macultepec.

Es importante que se desazolve el arroyo Macultepec y se haga la rectificación de taludes de dicho canal.

También es recomendable realizar campañas para concientizar a la población sobre el manejo y uso adecuado de la basura ya que particularmente el arroyo Macultepec se ve afectado por esta.



10. BIBLIOGRAFÍA

1. APARICIO MIJARES, F. J. 1996. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Limusa, México. 303 pp.
2. ARANGO LAWS, J.E. 2003- "Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de Salmonera, en aguas servidas domésticas". Tesis de Maestría. Santiago de Chile. 79 pp.
3. A'i Ta., ASOCIACION PARA LA INVESTIGACION DE TECNOLOGIAS APROPIADAS S.C. 2004. Proyecto Ejecutivo "Planta de tratamiento de aguas residuales para el fraccionamiento "Hacienda del Sol". Municipio de Centro, Tabasco. 49 pp.
4. COMISION ESTATAL DE AGUA Y SANEAMIENTO DE TABASCO (CEAS) 2012. Agua de Tabasco: de la abundancia a su aprovechamiento, Memoria de trabajo 2007-2009, 211 pp.
5. COMISION NACIONAL DEL AGUA. 2003. Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento edición 2010. 282 pp.
6. COMISION NACIONAL DEL AGUA, 2013. Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento edición 2013. 337 pp.
7. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Sinopsis Geo hidrológica del Estado de Tabasco, 1992. México D.F.
8. CONSEJO DE CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO, (CCVM). Gestión por cuenca. En: <http://www.cvvm.org.mx/gestion.htm> (Consultado: 28 de Febrero 2002)
9. CRITES Y TCHOBANOGLOUS, 2000. Sistemas de manejo de aguas residuales. Mc. Graw Hill. Colombia. 1,081 pp.
10. DAVILA POBLETE S. Lo posible e imposible del Desarrollo Sostenible (El caso de la hidroagricultura).
11. <http://serpiente.dgsca.unam.mx/ref/davila.html>. (Consultado el 28 de Febrero 2002)
12. FAIR, GEYER, OKUN. 1999. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. (Ingeniería sanitaria y de aguas residuales). Vol. 2., Limusa, México. 763 pp.
13. GUZMÁN P. J. 2001. Medio Ambiente y Desarrollo Urbano en México. En: Semarnap. http://www.semarnat.gob.mx/cecaadesu/digital/sustentabilidad_T21.shtml
14. HÅKANSON, L. 1981. A Manual on lake morphometry. Springer-Verlag, N. Y. 78 pp.
15. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMATICA. 2000. Centro, Estado de Tabasco. Cuaderno Estadístico Municipal, Centro Tabasco. 193 pp.
16. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA 2000. Estado de Tabasco. XI Censo General de Población y Vivienda (Versión en Dispositivo Magnético Cd).
17. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, GEOGRADIA E INFORMATICA 2005. Estado de Tabasco. XII Censo General de Población y Vivienda (Versión en Dispositivo Magnético Cd).



18. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA. 2010. Censo de población y vivienda. Principales resultados por AGEB y manzanas urbanas (http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/ageb_urb2010.aspx?c=28111&s=est.) consultado 23 octubre 2011.
19. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFIA E INFORMATICA. 2010. SCINCE Sistema para la consulta de información censal (<http://www.inegi.org.mx/est/scince/scince2010.aspx>) consultado 20 enero 2012.
20. IMPULSORA NACIONAL DE TECNOLOGIA, S. A. DE C. V., 2002, Proyecto Ejecutivo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la zona conurbada de Villa Unión. 623 pp.
21. KIELY GERARD, 1999. Ingeniería Ambiental, fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Mc. Graw –Hill/ Interamericana de España, S.A. 1331 pp.
22. KEMMER, F. N. y J. Mc. CALLION. 1989. Manual del Agua Nalco. Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Tomo I. McGraw-Hill, México. 385 pp.
23. LOPEZ CUALLA R. A. 1999. Diseño de Acueductos y Alcantarillados. Alfaomega , Santafé de Bogota D.C., Colombia. 388 pp.
24. MARTINEZ R.J. 2005. Evaluación del diseño, operación y mantenimiento de tanques Imhoff en el estado de Tabasco. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
25. METCALF & EDDY. 1994. Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial labor, s.a. Colombia. 969 pp.
26. METCALF & EDDY. 1998. Ingeniería de aguas residuales (Tratamiento, vertido y reutilización), Tomo I, Mc. Graw Hill, México. 752 pp.
27. MONTES, L. 1998. Alternativas presentes y futuras de residuos sólidos en nuestro país desde el punto de vista del Desarrollo Sustentable. Revista Federalismo y Desarrollo. Vol II (62): 76-88.
28. MOELLER, CH. V. ,1998. Curso Taller Evaluación de Lagunas de estabilización, IMTA/SEMARNAP, México, 22 pp.
29. NOYOLA ROBLES A., E. VEGA HERNANDEZ, J. G. RAMOS HERNANDEZ., C. CALDERÓN MOLGORA. 2000. Alternativas de tratamiento de aguas residuales. Manuales IMTA. México. 144 pp.
30. ORTIZ R. G. 1997. La política del agua en México en el marco del desarrollo sustentable. Revista Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XII (3):59-70
31. PRICE, M. 2003. Agua Subterránea. Editorial LIMUSA, S.A. de C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES. Primera Edición, México., D. F., 330 pp.
32. RODRIGUEZ, R. E. 2002. Las Lagunas continentales de Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Colección José N. Rovirosa. Primera Edición, México, D. F., 264 pp.
33. ROMERO R. J. 1999. Calidad del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Alfaomega. 2da. Edición. México. D . F., 273 pp.
34. SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL ESTADO DE TABASCO (SAPAET), 2001. Documento Ejecutivo Saneamiento y Calidad del Agua (Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales). 8 pp.



35. SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DEL ESTADO DE TABASCO (SAPAET), 2002. Documento Ejecutivo Situación que guarda actualmente el Servicio de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en el Estado de Tabasco. 22 pp.
36. SANTIAGO J. I. 1998. Evaluación tecnológica de un tanque Imhoff en Aquiles Serdán, Macuspana, Tabasco. Tesis de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 61 pp.
37. Cd. de Villahermosa, Tab. Gobierno del Estado de Tabasco. 785 pp.
38. SEMARNAP-PROFEPA 1997. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 243 pp.
39. SEOÁNES C.M. 1999 Aguas Residuales: Tratamiento por Humedales Artificiales Fundamentos Científicos, Tecnologías, Diseño. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 325 pp.
40. SISTEMA DE AGUA Y SANEAMIENTO (SAS), 2012. H. Ayuntamiento Municipal de Centro Tabasco. Cuadernillo de información básica (Infraestructura de agua, alcantarillado y tratamiento) 10 pp.
41. TEBBUT T.H. Y. 1999. Fundamentos de control de la calidad del agua. Limusa, México. 239 pp.
42. TORRES-OROZCO, R., & GARCIA-CALDERON, J. (1995). Introducción al manejo de datos limnológicas. (U. A. Metropolitana, Ed.) México, D.F.; México. Recuperado el Junio de 2015
43. VELAZQUEZ V. G. 1994. Los Recursos Hidráulicos del Estado de Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 241 pp.
44. UNDA O. 1999. Ingeniería Sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública. Limusa noriega editores. México. 967 pp.
45. WANIELISTA M. P. y YOUSEF Y. A. 1992. Stormwater Management. Wiley J. & Sons, Inc. United States of America. 579 pp.



11. ANEXOS

Anexo 1. Memoria fotográfica.

Figura 8.- Preparación del material de muestreo, que incluye recipientes, reactivos, neveras, cadenas de custodia, bitácoras, etc.



Figura 9.- Preparación y lavado de recipientes donde se tomarán las muestras.



Figura 10.- Medición de parámetros de conductividad y pH en campo. Cárcamo de Villa Macultepec..

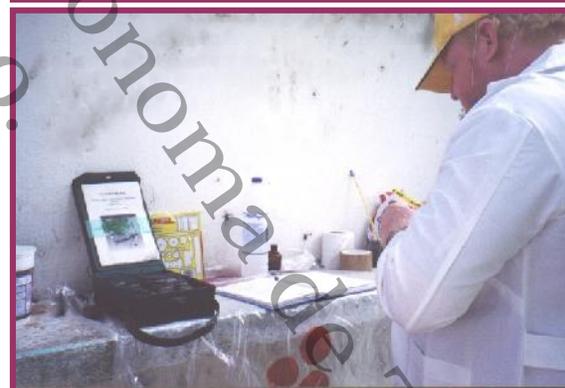




Figura 11.- Determinación de la temperatura de campo.



Figura 12.- Determinación de Turbiedad, Color y cloro libre-residual.



Figura 13.- Toma de muestra para coliformes totales y fecales.



Figura 14.- Medición en campo de pH





Figura 15.- Etiquetado de las muestras para su traslado a laboratorio.



Figura 16.- Muestras conservadas en hielo para su traslado al laboratorio.



Figura 17.- Recepción de muestras en el laboratorio de control de calidad.



Figura 18.- Manejo de bitácoras para control de bombeos en cárcamo.





Figura 19.- Cárcamo de bombeo Macultepec donde se realizó el aforo.



Figura 20.- Vista interior del cárcamo Macultepec y descargas de llegada.



Figura 21.- Vista general de cárcamo donde se realizó el aforo.



Figura 22.- Fracc. Las Rosas ubicado en el km. 16 Carret. Vhsa-Frontera. (Cortesía de Dr. Ernesto Rodríguez, Rdz. 2002)





Figura 23.- Cárcamo de llegada de aguas residuales en PTARD Fracc. Las Rosas



Figura 24.- Vista general de aireadores existentes en tanque de aireación en PTARD. Las Rosas.



Figura 25.- Vista general del sedimentador PTARD. Las Rosas

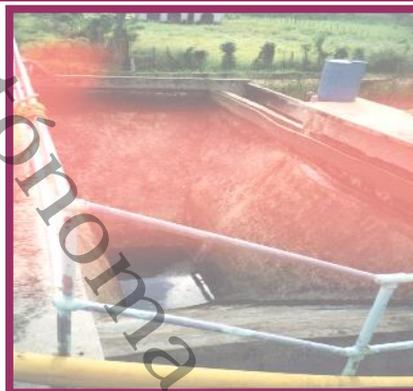


Figura 26.- Área de desinfección (contacto de cloro). PTARD. Las Rosas.





Figura 27.- Lechos de secado de la PTARD.
Las Rosas.



Figura 28.- Cárcamo de salida de la PTARD
Las Rosas.



Figura 29.- Descarga de las aguas
residuales procedentes de la PTARD del
Fracc. Las Rosas. (se observan las
condiciones sépticas de la zona de
descarga)



Figura 30.- Planta de tratamiento de agua
residual de lomas de Ocuilzapotlán dos km.
15 (INVITAB).

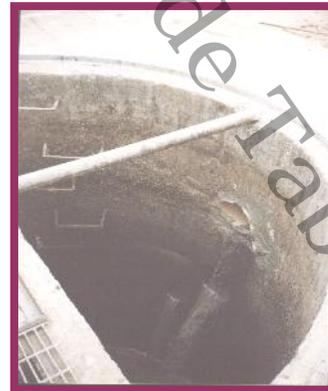




Figura 31.- Canal de llegada de aguas residual (Parshall) PTARD KM. 15.



Figura 32.- Tanque Imhoff de la PTARD. KM. 15



Figura 33.- Vista general de los lechos de secado y biofiltro.



Figura 33.- Canal de salida de agua tratada en PTARD. KM. 15





Figura 34.- Descarga de agua residual de agua tratada en la PTAR del Fracc. Lomas de Ocuiltzapotlán dos KM. 15 (INVITAB). Tubería de 12" Ø



Figura 35.- Vista del cárcamo de llegada, parshall y tanque Imhoff. PTARD Lomas de Ocuiltzapotlán del KM. 15 (INVITAB).



Figura 36.- Condiciones en que se encuentran los lechos de secado y el área de biofiltro. PTARD Lomas de Ocuiltzapotlán del KM. 15 (INVITAB).



Figura 37.- Caseta de entrada planta de tratamiento de agua residual Lomas de Ocuiltzapotlán KM. 17 (ISSET).





Figura 38.- Vista general del sistema donde se observa Caseta, Cárcamo y Tanque Imhoff (al fondo). Lomas de Ocuiltzapotlán KM. 17 (ISSET).



Figura 39.- Vista del tanque Imhoff y lechos de secado. Lomas de Ocuiltzapotlán KM. 17 (ISSET).



Figura 40.- Pozo de visita por donde se descargan las aguas residuales de la PTARD ISSET.

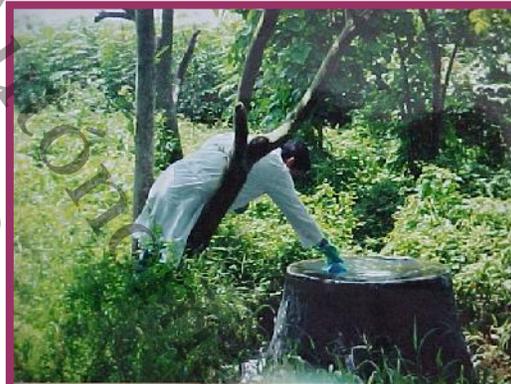


Figura 41.- Caseta de control de la PTARD Pantano Artificial de Villa Macultepec.





Figura 42.- Área de llegada del agua residual. PTAR Pantano Artificial de Villa Macultepec.



Figura 43.- Área de pretratamiento y desarenado PTARD Pantano Artificial de Villa Macultepec.



Figura 44.- Sedimentadores PTARD Pantano Artificial de Villa Macultepec.



Figura 45.- Canal de salida del clarificador y compuerta para envío a celdas purificadoras.





Figura 46.- Humedales artificiales con *Thypha latifolia*, PTARD Pantano Artificial de Villa Macultepec.



Figura 47.- Celdas purificadoras. PTARD Pantano Artificial de Villa Macultepec.



Figura 48.- Unidad de rayos ultravioleta y cárcamo de salida de aguas tratadas. PTARD Pantano Artificial de Villa Macultepec.



Figura 49.- Estación de bombeo de la Colonia Reforma. Cárcamo de bombeo de aguas residuales. Las aguas residuales solo se receptionan y son enviadas a un dren a cielo abierto.

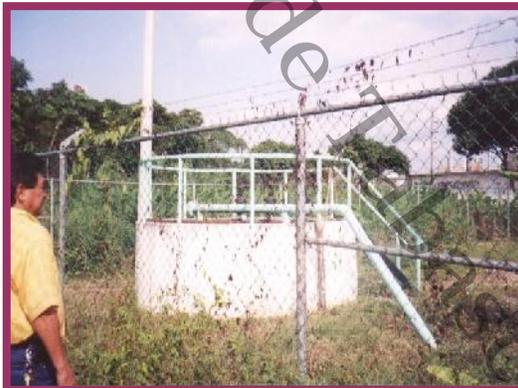




Figura 50.- Fraccionamiento el Encanto. Los colonos del fraccionamiento mencionan que dentro de la caseta esta la planta de tratamiento de aguas residuales.



Figura 51.- Medición en campo y toma de muestras en Laguna el Calabozo.



Figura 52.- Estudio batimétrico en la Laguna el Calabozo.

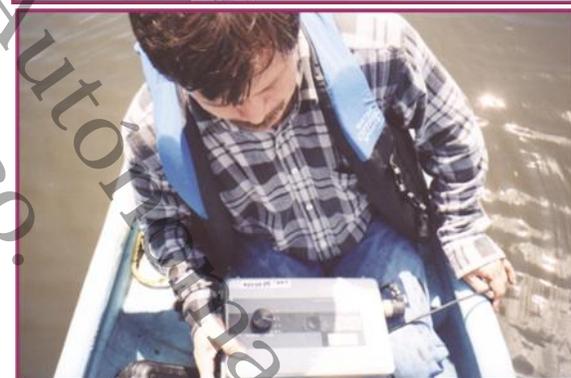


Figura 53.- Vista general de la laguna paso segundo.

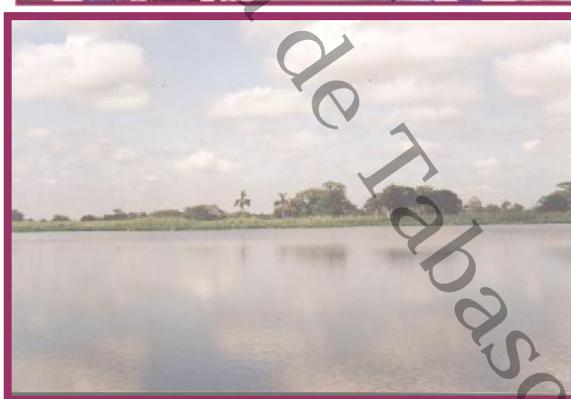




Figura 54.- Imagen general del paisaje donde se ubica la Laguna El Mosquito



Figura 55.- Paisaje general del Arroyo Macultepec, antes de su desembocadura a La Laguna El Mosquito.



Figura 56.- Muestreo de agua superficial en el Arroyo Macultepec.



Figura 57.- Toma de muestra en descarga de agua cruda de pozo profundo.

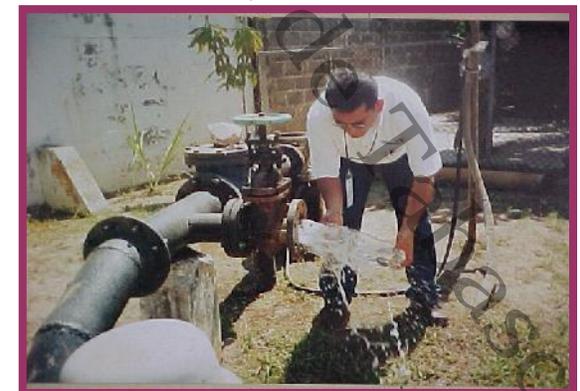




Figura 58.- Muestreo de descarga de agua residual emitida hacia la Laguna Paso Segundo del Fracc. Lomas de Ocuilzapotlán KM.17.

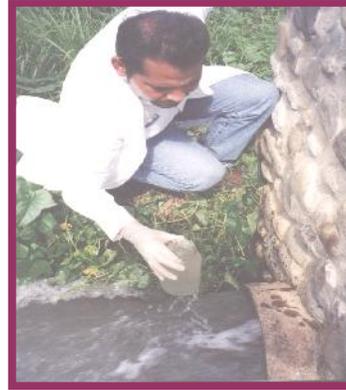


Figura 59.- Muestreo de agua residual descargada en el Arroyo Macultepec y procedente de la PTARD las Rosas.



Figura 60.- Descarga directa de agua residual del cárcamo de bombeo hacia Arroyo Macultepec.





Anexo 2. Calculo de la Proyección de Población.

Para realizar los cálculos correspondientes se utilizaron los datos de población de los últimos 20 años disponibles en Censos de Población INEGI señalados a continuación:

Año	Población (hab.) INEGI
1980	7,119
1990	14,402
1995	19,802
2000	24,703
2010	29,783

A)- Método lineal:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} (T_f - T_{uc}) \quad \text{si} \quad K_a = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$$

Entonces: $P_f = P_{uc} + K_a(T_f - T_{uc})$

Donde:

- P_{uc} = Población último censo
- P_{ci} = Población del censo inicial
- T_f = Año final
- T_{uc} = Año último censo
- P_f = Población final (futura)
- T_{ci} = Año del censo inicial
- K_a = Pendiente de la recta

Calculando la pendiente de la recta K_a tenemos:

$$K_a = \frac{29,783 - 7,119}{2010 - 1980} = 755.46 \text{ hab. /año}$$

$$K_a = \frac{14,506 - 7,119}{1990 - 1980} = 738.70 \text{ hab. /año}$$

K promedio = 747.08 = K_a



Calculo de P_f (Población final, en Proyección de décadas futuras):

$$P_{f2015} = 29,783 + 747.08(2015 - 2010) = \underline{\underline{33,518}}$$

$$P_{f2020} = 29,783 + 747.08(2020 - 2010) = \underline{\underline{37,253}}$$

$$P_{f2025} = 29,783 + 747.08(2025 - 2010) = \underline{\underline{40,989}}$$

$$P_{f2030} = 29,783 + 747.08(2030 - 2010) = \underline{\underline{44,724}}$$

$$P_{f2035} = 29,783 + 747.08(2035 - 2010) = \underline{\underline{48,460}}$$

B).- Método geométrico

$$P_f = P_{uc}(1+r)^{t_f - t_{uc}}$$

Donde:

- P_{uc} = Población último censo
- r = Tasa de crecimiento anual
- t_f = Año final
- t_{uc} = Año último censo
- P_f = Población final (futura)

Calculando r (Tasa de Crecimiento Anual)

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{t_{uc} - t_{ci}}} - 1$$

Donde:

- t_{ci} = Año del censo inicial
- P_{ci} = Población censo inicial

Tenemos:

$$r = \left(\frac{29,783}{7,119} \right)^{\frac{1}{2010-1980}} - 1 = 0.04886191217$$

Calculo de P_f (Población final, en proyección de décadas futuras):

$$P_{f2015} = 29,783(1+0.04886191217)^{2015-2010} = \underline{\underline{37,805}}$$

$$P_{f2020} = 29,783(1+0.04886191217)^{2020-2010} = \underline{\underline{47,990}}$$

$$P_{f2025} = 29,783(1+0.04886191217)^{2025-2010} = \underline{\underline{60,917}}$$



$$P_{f2030} = 29,783(1+0.04886191217)^{2030-2010} = 77,327$$

$$P_{f2035} = 29,783(1+0.04886191217)^{2035-2010} = 98,158$$

C).- Método Logarítmico:

$$\ln P_f = \ln P_{ci} + \overline{kg}(t_f - t_{ci})$$

Donde:

$$\overline{kg} = \frac{\ln P_c - \ln P_a}{T_p - T_a}$$

Donde:

- P_c = Población censo inmediato
- P_{ci} = Población del censo inicial
- t_f = Año final
- T_p = Tiempo inmediato
- P_f = Población final
- t_{ci} = Año del censo inicial
- P_a = Población censo anterior
- \overline{kg} = Constante promedio
- T_a = Año anterior

Calculando \overline{kg} (Constante promedio):

$$\overline{kg}_{1980-90} = \frac{\ln(14506) - \ln(7119)}{1990 - 1980} = 0.07117950908$$

$$\overline{kg}_{1990-95} = \frac{\ln(22113) - \ln(14506)}{1995 - 1990} = 0.08432066$$

$$\overline{kg}_{1995-2000} = \frac{\ln(24703) - \ln(22113)}{2000 - 1995} = 0.02215180457$$

$$\overline{kg}_{2000-2010} = \frac{\ln(29,783) - \ln(24,703)}{2010 - 2000} = 0.02015701959$$

Promediando los valores de las constantes se tiene como resultado:

$$\overline{kg} = 0.04945224820$$

Calculo de P_f (Población final, proyectado en décadas futuras):

$$\ln P_{f2015} = \ln(7119) + 0.0494522482(2015 - 1980) = 10.60135124$$

$$P_{f2015} = e^{10.60135124} = 40,189$$



$$\ln P_{f2020} = \ln(7119) + 0.0494522482 (2020 - 1980) = 10.84861248$$

$$P_f = e^{10.60135124} = \underline{\mathbf{51,462}}$$

$$\ln P_{f2025} = \ln(7119) + 0.0494522482 (2025 - 1980) = 11.09587372$$

$$P_f = e^{11.09587372} = \underline{\mathbf{65,898}}$$

$$\ln P_{f2030} = \ln(7119) + 0.0494522482 (2030 - 1980) = 11.34313496$$

$$P_f = e^{11.34313496} = \underline{\mathbf{84,384}}$$

$$\ln P_{f2035} = \ln(7119) + 0.0494522482 (2035 - 1980) = 11.5903962$$

$$P_f = e^{11.5903962} = \underline{\mathbf{108,055}}$$

Tasa de crecimiento anual de la zona conurbada:

Considerando los datos de los tres métodos aplicados.

Formula:

*TCAP= Tasa de crecimiento anual de la población.
Pfp = Población final del periodo. (29,783)
Pip= Población inicio del periodo. (7,119)
Na. = Número de años. (20)*

$$TCAP = [[[Pfp/Pip]^{1/Na}] - 1] \times 100$$

$$TCAP_{(1980-2010)} = [[[29,783/7,119]^{1/30}] - 1] \times 100 = \mathbf{4.88}$$

Proyección de población a 20 años				
Año	Lineal o aritmético	Geométrico	Logaritmico	Promedio
1980	7,119	7,119	7,119	7,119
1990	14,506	14,506	14,506	14,506
2005	24,706	20,706	24,706	24,706
2010	29,783	29,783	29,783	29,783
2015	33,518	37,805	40,189	37,171
2020	37,253	47,990	51,462	45,568
2025	40,984	60,917	65,898	55,933
2030	44,724	77,327	84,384	68,812
2035	48,460	98,158	108,055	84,891



Figura 6. Localización de la Laguna el Calabozo (Fe de errata)

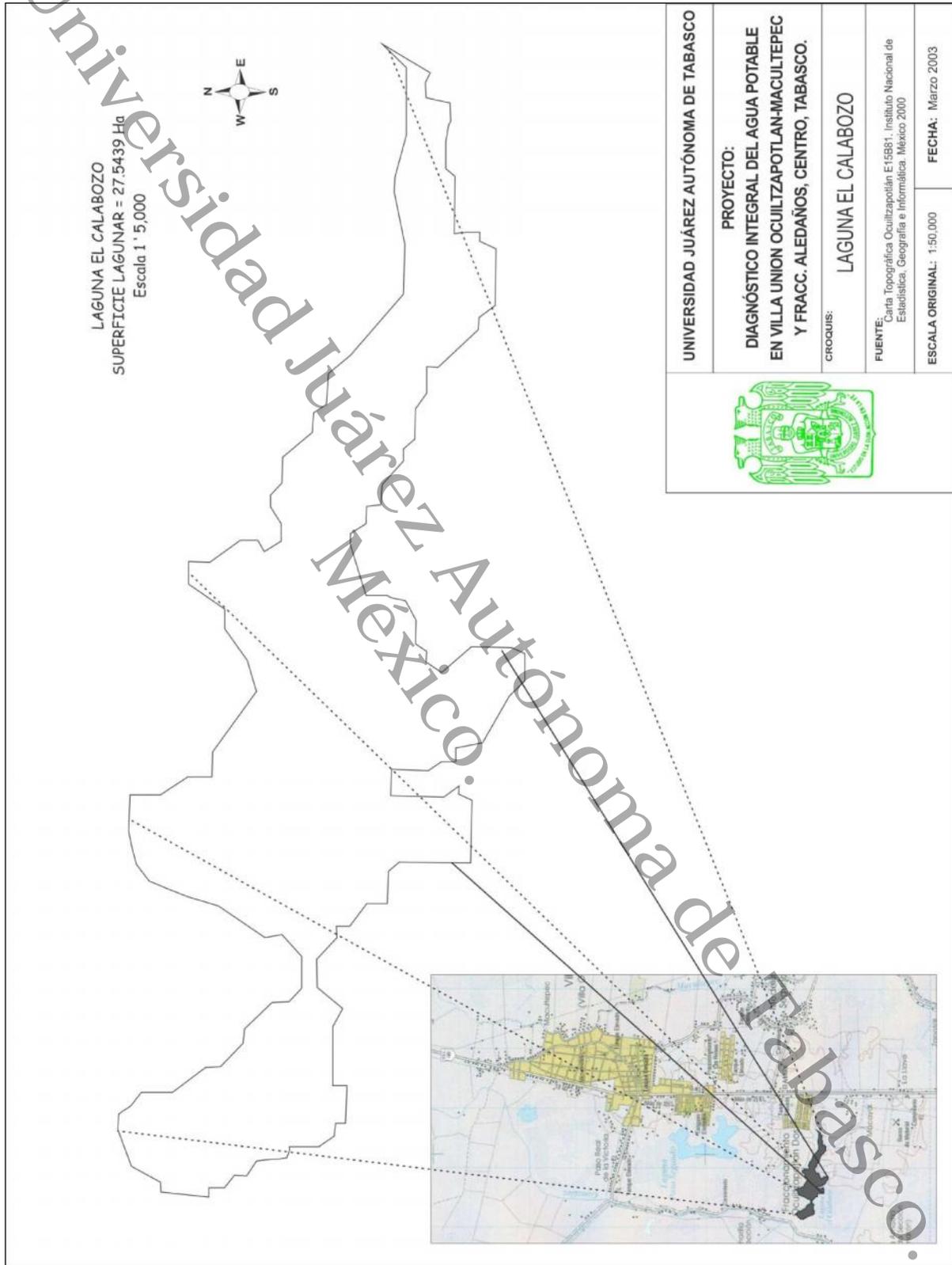




Figura 7. Puntos de muestreo de agua en la Laguna el Calabozo (Fe de errata)

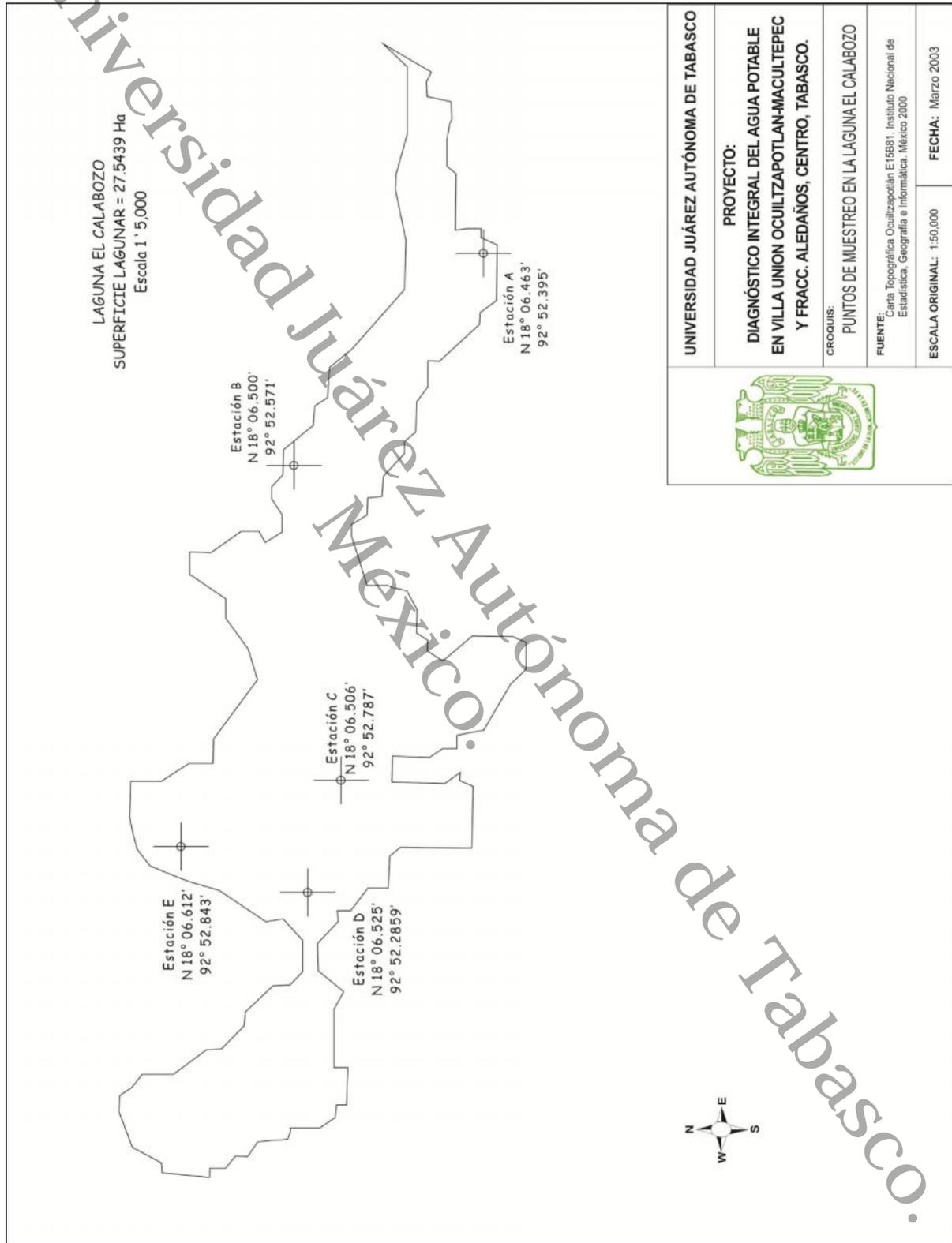




Figura 8. Localización de la Laguna Paso Segundo (Fe de errata)

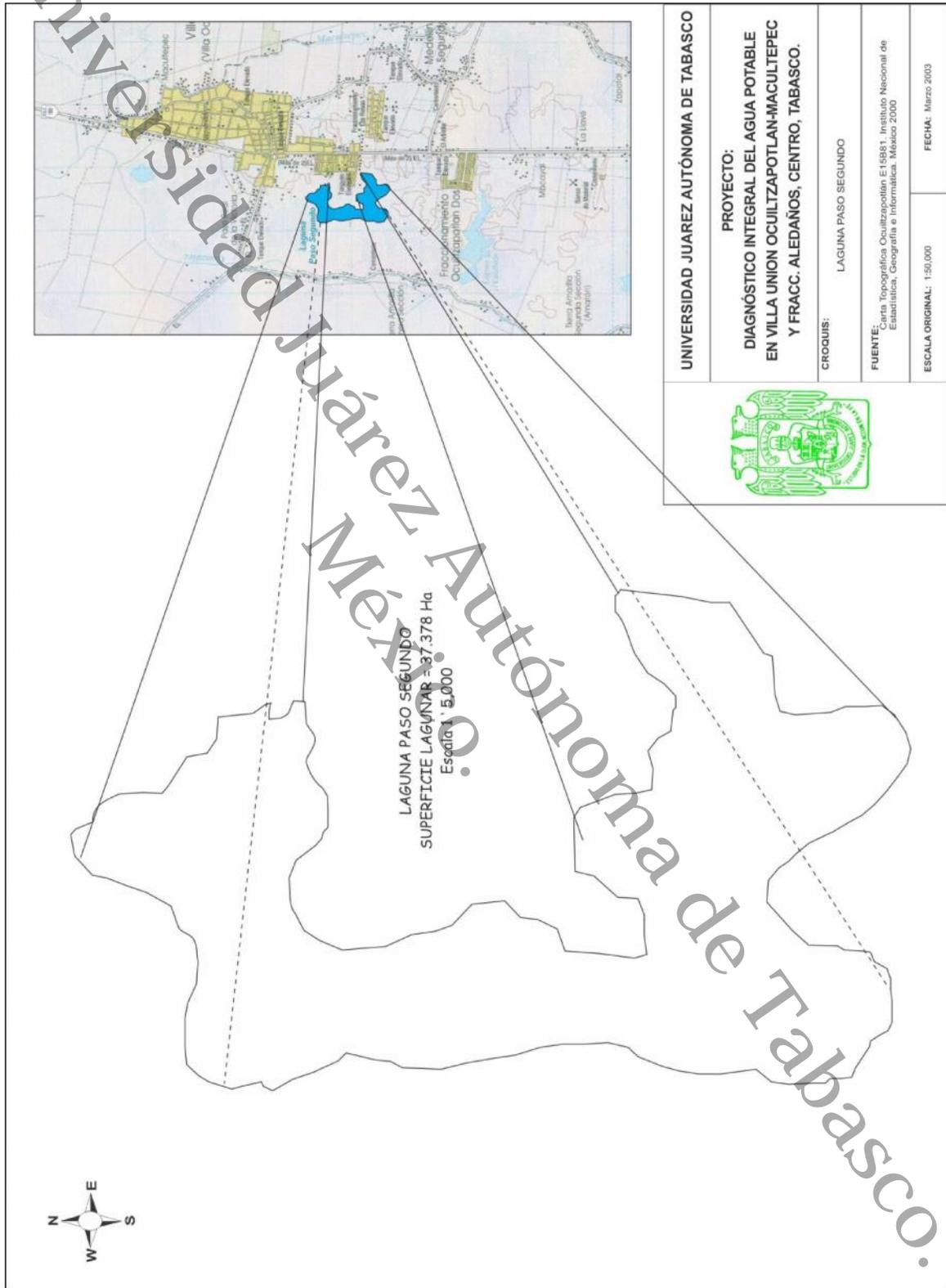




Figura 9. Puntos de muestreo de agua en la Laguna Paso Segundo (Fe de errata)

