



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:

***ANÁLISIS DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES URBANAS
EN EL MEANDRO DEL RÍO LERMA EN LA PIEDAD DE CABADAS,
MICHOACÁN.***

Que para obtener el título de:

Ingeniero Civil

Presenta:

LEONOR ZAPIÉN SERRANO

Asesor de Tesis
Dr. Julio César Orantes Avalos

Morelia, Michoacán, Febrero de 2010





AGRADECIMIENTOS

Principalmente le doy gracias a Dios, por darme vida y salud para concluir mi tesis, y por prestarme a mis padres, porque sin ellos no hubiera alcanzado esta meta.

Gracias papá por ser quien siempre me protege y me da seguridad, gracias mamá por enseñarme a ver la vida siempre tomada de la mano de Dios. Gracias papis por apoyarme siempre y por darme la oportunidad de superar los obstáculos de la vida y levantarme de mis caídas. Gracias por darme el ejemplo de vida más grande de todos: el amor. Por estar conmigo siempre y por ser mis padres, gracias.

También quiero darle gracias a mis hermanas por cuidarme y acompañarme en cada paso, por su apoyo en los momentos difíciles y por su cariño incondicional.

Agradezco muy especialmente a Benjamín Murguía Martínez, quien me enseñó el verdadero significado del amor. Quien me ha acompañado en los malos momentos y ha sido la causa de los mejores. Por su apoyo, por su comprensión, por sus desvelos, por sus consejos, por sus detalles, por su ejemplo lleno de virtudes, por ser parte de mi vida y por dejarme ser parte de la suya. Gracias mi amor.

Le doy las gracias a mi asesor Dr. Julio César Orantes Avalos por guiarme en el proceso de investigación y redacción del presente trabajo; así como su apoyo para obtener la beca de CONACYT, indispensable para lograr el término de esta tesis.





Contenido

CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN.....	5
CAPITULO II.- ANTECEDENTES	8
II.1. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN.....	8
II.1.1. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO	9
II.1.2. ACTIVIDAD ECONÓMICA	12
II.2. CARACTERÍSTICAS DEL RÍO LERMA.....	14
II.2.1. LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN	14
II.2.2. PANORAMA GENERAL DEL MEANDRO DEL RÍO LERMA EN LA PIEDAD	14
II.2.3. PROBLEMÁTICA POLÍTICO-SOCIAL	19
II.3. FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	20
II.3.1. DEFINICIÓN DE AGUAS RESIDUALES	20
II.3.2. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	22
II.3.3. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	26
II.3.3.1. Pretratamiento.....	26
II.3.3.2. Tratamiento primario.....	27
II.3.3.3. Tratamientos secundarios.....	28
II.3.3.4. Desinfección	30
II.3.3.5. Disposición de las aguas residuales.....	33
CAPITULO III.- OBJETIVOS	35
III.1. Objetivo General.....	35
III.2. Objetivos Particulares	35
CAPITULO IV.- CARACTERIZACIÓN DE LAS DESCARGAS	36
IV.1. METODOLOGÍA.....	36
IV.1.1. Normas Oficiales Mexicanas (NOM).....	36
IV.1.2. Índice de Calidad del Agua (ICA)	39





IV.2. MONITOREO DE LAS DESCARGAS RESIDUALES DEL RÍO LERMA	43
IV.2.1. IDENTIFICACIÓN DE DESCARGAS	43
IV.2.2. PLAN DE MUESTREO	45
IV.2.3. MEDICIÓN DEL CAUDAL.....	45
IV.2.4. PARÁMETROS A ANALIZAR	47
IV.3. RESULTADOS DEL MUESTREO DE LAS DESCARGAS RESIDUALES DEL RÍO LERMA	48
IV.3.1. Resultados NOM	48
IV.3.2. Resultados ICA	57
<i>CAPITULO V.- ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.....</i>	61
V.1. ESTRATEGIA GENERAL PARA LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA E INDUSTRIAL.....	61
V.2. SELECCIÓN DEL TREN DE TRATAMIENTO.....	63
<i>CAPITULO VI.- CONCLUSIONES.....</i>	65
<i>CAPITULO VII.- REFERENCIAS</i>	66





ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla II.1. Principales contaminantes presentes en el agua residual y sus efectos causados a los cuerpos de agua superficiales (adaptada de Alaerts, 1995).</i>	21
<i>Tabla II.2. Procesos de tratamiento de las aguas residuales (Orantes, 2009)</i>	32
<i>Tabla IV. 1. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.</i>	37
<i>Tabla IV. 2. Límites máximos permisibles de contaminantes.</i>	38
<i>Tabla IV. 3. Clasificación establecida por el ICA para el parámetro DBO₅</i>	42
<i>Tabla IV. 4. Clasificación establecida por el ICA para el parámetro DQO</i>	42
<i>Tabla IV. 5. Clasificación establecida por el ICA para el parámetro SST.</i>	42
<i>Tabla IV. 6. Sitios y Descargas de agua de origen pluvial y de origen residual realizadas en el Rio Lerma</i>	43
<i>Tabla IV. 7. Sitios y Descargas de agua de origen pluvial y de origen residual realizadas en el Rio Lerma (Continuación)</i>	44
<i>Tabla IV. 8. Resultados de los aforos de las descargas puntuales de aguas residuales ($Q_{Máx}$, Q_{mv}, $Q_{mín}$, $Q_{Ponderado}$ y CVH)</i>	46
<i>Tabla IV. 9. Parámetros a analizados con las respectivas normas mexicanas.</i>	47
<i>Tabla IV. 10. Resultados de los parámetros en las descargas de acuerdo a lo establecido en las NOM.</i>	48
<i>Tabla IV. 11. Resultados de los parámetros en el cauce de acuerdo a lo establecido en las NOM.</i>	49
<i>Tabla IV. 12. Resultados de los parámetros en las descargas de acuerdo a lo establecido por el ICA.</i>	57
<i>Tabla IV. 13. Resultados de los parámetros en el cauce de acuerdo a lo establecido en el ICA.</i>	58





ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura II.1. Mapa de localización del Municipio de La Piedad, Michoacán.</i>	9
<i>Figura II.2. Imagen de satélite, con la delimitación de la RH-12 Lerma-Santiago (INEGI, 1981).</i>	11
<i>Figura II.3. Cauce del meandro del Río Lerma.</i>	12
<i>Figura II.4. Actividad económica</i>	13
<i>Figura II.5. Contaminación en el meandro.</i>	15
<i>Figura II.6. Descarga de residuos de un rastro clandestino en el meandro del Río Lerma en la ciudad de La Piedad de Cabadas, Michoacán.</i>	18
<i>Figura II.7. Clasificación de los contaminantes en las aguas residuales con base en su estado físico y su composición química.</i>	24
<i>Figura II.8. Pretratamiento de las Aguas Residuales</i>	27
<i>Figura II.9. Sistema de rejillas de la PTAR de La Piedad de Cabadas</i>	28
<i>Figura II.10. Proceso Aerobio (Canal de oxidación)</i>	29
<i>Figura II.11. Laguna Anaerobia en La Piedad de Cabadas, Michoacán.</i>	30
<i>Figura IV. 1. Distribución de la calidad del agua (ICA) en cuerpos de aguas superficiales, en México (CONAGUA, 2008).</i>	41
<i>Figura IV.2. Imagen satelital del meandro de La Piedad, Michoacán, mostrando las descargas de agua residual identificadas.</i>	45
<i>Figura IV. 3. Mapeo de los parámetros asociados a la contaminación por materia orgánica de acuerdo a lo establecido por las NOM.</i>	50
<i>Figura IV. 4. Mapeo de los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) de acuerdo a lo establecido por las NOM.</i>	51
<i>Figura IV. 5. Mapeo de los parámetros fisicoquímicos y de Arsénico de acuerdo a lo establecido por las NOM.</i>	52
<i>Figura IV. 6. Mapeo de las concentraciones de metales pesados de acuerdo a lo establecido por las NOM.</i> ... 53	
<i>Figura IV. 7. Mapeo de los parámetros microbiológicos de acuerdo a lo establecido por las NOM.</i>	54
<i>Figura IV. 8. Mapeo de los parámetros correspondientes a la materia orgánica de acuerdo a lo establecido por las ICA.</i>	59





CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN

El problema de las aguas residuales se fue generando en la medida en la que el ser humano comenzó a usar el agua como medio de arrastre y disposición de los productos de desecho de la vida cotidiana. Antes de esto, los volúmenes de desecho, sin que el agua sirviese de vehículo, eran muy pequeños y su eliminación se limitaba a las excretas familiares o individuales. La primera “solución” a este problema consistía en dejar los desechos corporales y la basura en la superficie de la tierra, en donde eran gradualmente degradados por las bacterias del medio. Esto originaba la producción de olores desagradables y problemas de salud humana. Después, la experiencia demostró que si estos desechos eran enterrados prontamente, se prevenía el desarrollo de tales olores y bacterias. La siguiente etapa consistió en el desarrollo de los retretes o letrinas enterrados, que es un método de eliminación de los excrementos que todavía se emplea en pequeñas comunidades (Quintero Angel, 2007).

Con el desarrollo de los sistemas de abastecimiento de agua potable y de alcantarillado sanitario se hizo necesario encontrar métodos para disponer no solamente de los desechos mismos, sino para el agua residual. Esta contaminación se ha visto incrementada por el crecimiento de los centros urbanos, el incremento de la población y el desarrollo industrial, además de que se ha extendido a la mayoría de las fuentes de agua superficial disponible, debido al manejo inadecuado de las aguas residuales tanto de origen urbano como industrial.

Esta situación hace necesario que cada vez se le dé más importancia al tratamiento de las aguas residuales. Por lo que es necesario desarrollar sistemas de tratamiento sostenibles acordes a las condiciones socioeconómicas y culturales de la sociedad, buscando el mejoramiento de las condiciones de vida y en





particular de la salud de las personas, así como de una verdadera relación sostenible con el medio ambiente. Las plantas de tratamiento de aguas residuales son obras de infraestructura urbana importantes, las cuales contribuyen a disminuir el problema de la contaminación, al mismo tiempo que permiten reutilizar con mayor seguridad las aguas residuales, contribuyendo al desarrollo sostenible de la sociedad.

Sin embargo, para realizar un diseño adecuado de una planta de tratamiento de aguas residuales es muy importante hacer una identificación y una caracterización adecuada de las descargas de agua residual de la población en estudio, así como definir la estrategia general de gestión de las mismas, considerando el sistema de recolección de estas aguas, los emisores y posteriormente el diseño de la o las plantas de tratamiento que sean necesarias. Este proyecto se desarrolló en la población de La Piedad de Cabañas en el Estado de Michoacán de Ocampo. Primeramente se identificaron las descargas de agua residual. Posteriormente se estableció un plan de muestreo que permitiera optimizar los recursos y caracterizar las descargas más importantes y/o representativas de la zona. Una vez que se contó con los resultados de laboratorio se clasificaron las descargas con base en las concentraciones de contaminantes encontrados, usando como referencia: (i) los límites máximos permisibles de descargas establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para descarga en ríos, considerando los criterios de uso público urbano y protección de la vida acuática y (ii) el Índice de Calidad del Agua (ICA) el cual establece parámetros de calidad del agua en cuerpos de agua superficiales. Finalmente se plantea una estrategia general para el adecuado manejo de las aguas residuales en la población de estudio, acompañada de una propuesta de tren de tratamiento para una PTAR incluida en la misma estrategia.





Es importante señalar que este trabajo se enmarca dentro del proyecto de “Saneamiento del cauce natural (meandro) del Río Lerma e integración a la dinámica urbana de la Piedad, Michoacán”, en el cual se ha planteado una estrategia general de saneamiento y restauración ecológica de la zona con objeto de controlar la contaminación, de ayudar a prevenir problemas de salud pública y de contribuir en general a mejorar la calidad de vida de la población.





CAPITULO II.- ANTECEDENTES

II.1. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN

La Piedad es una ciudad del noroeste del Estado de Michoacán en los límites con Jalisco y Guanajuato, en México.

La Piedad fue fundada por los aztecas y denominada Zula. Fue conquistada en 1380 por los Purépechas, bajo el mando de Tariácuri, quien la llamó Aramutaro Tzicuirin: “Lugar de cuevas pequeñas”. Hacia finales del periodo colonial la agricultura, el comercio y la arriería, alcanzaron una gran importancia socioeconómica, pues abarcaban la ruta del bajío hacia las ciudades mineras, así como por el comercio de productos de tierra caliente como granos, algodón y semillas.

La Piedad fue una de las poblaciones más lastimadas durante la guerra de independencia, ya que sus habitantes se adhirieron a la causa insurgente. Al término de esta lucha, se elevó a la categoría de cabecera de partido, administrando las poblaciones de Tanhuato o Tanehuato, Yurécuaro, Ecuandureo y Zináparo. Su economía se recuperó lentamente, producía maíz y otros productos agrícolas, contaba con varios telares de algodón y lana, iniciando la recuperación de la arriería y el comercio. Entre 1832 y 1833, se construyó el célebre puente Cabadas sobre el Río Lerma, el que sirve de límite natural entre Michoacán y Guanajuato. Esta construcción constituye un importante monumento de la población. En 1861, se elevó a la categoría de Villa, siendo su nombre “Villa de Rivas”. Diez años más tarde, en 1871 se le otorgó el título de Ciudad, con el nombre de “La Piedad de Cabadas”, en memoria del cura José Cabadas Corzo (Gob. del Edo., 2009).





II.1.1. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

a).- Localización

La ciudad de La Piedad se localiza en la parte Noroeste del Estado, en las coordenadas 20°20'19" de latitud norte y 102°01'29" de longitud oeste, a una altura de 1,675 metros sobre el nivel medio del mar. Limita al Norte con los Estados de Jalisco y Guanajuato (Fig. II.1.), al Este con Numarán, al sur con Zináparo, Churintzio y Ecuandureo, y al oeste con Yurécuaro. Su distancia a la capital del Estado es de 183 km (CIIDIR C. I., 2004).

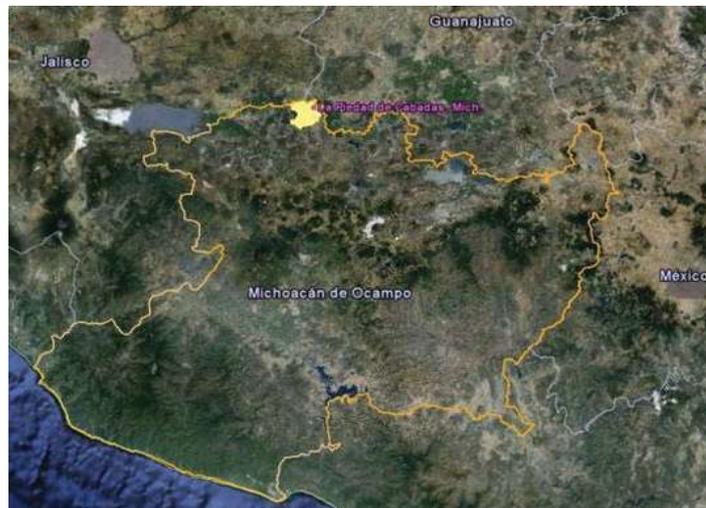


Figura II.1. Mapa de localización del Municipio de La Piedad, Michoacán.

b).- Extensión

Tiene una extensión territorial de 271.59 km² y representa el 0.45 %, del total del Estado. La cabecera de la ciudad de La Piedad se encuentra en la margen izquierda del Río Lerma y está situada a una altitud de 1,675 m.s.n.m. Tiene una temperatura media anual de 17 °C, por lo que su clima es templado, con veranos calurosos y lluvias permanentes de junio a septiembre y cuenta con una estación invernal no bien definida (Gob. del Edo., 2009).





c).- Orografía

El municipio de La Piedad, se localiza dentro de la provincia geológica conocida como Cinturón Volcánico Mexicano (CVM), definida como una estructura de 20 a 150 km de ancho y aproximadamente 1000 km de longitud, con una orientación preferencial Este - Oeste, situada entre los paralelos 19° y 21° de latitud Norte y se extiende desde Veracruz en las costas del Golfo de México hasta cerca de Puerto Vallarta en las costas del Océano Pacífico (Robin & Demant, 1975).

La provincia geológica CVM, cuya edad aceptada por la mayoría de los autores es Mioceno tardío - Pliocuaternario que se continúa hasta el Reciente, se encuentra delimitada por distintas unidades litológicas que afloran en cuatro grandes grupos (Venegas *et al.*, 1985), de acuerdo con sus distintas edades y tipos: grupo intrusivo, grupo mesozoico, grupo de la Sierra Madre Occidental y la última unidad constituida por suelos aluviales y/o residuales.

d).- Hidrografía

Con base en la carta hidrológica de aguas superficiales de la zona que abarca a la ciudad de Guadalajara (Fig. II.2.), escala 1:1,000,000 editada por el INEGI, (1981), la zona de estudio queda ubicada dentro de la Región Hidrológica RH-2, Lerma- Santiago, específicamente en la subcuenca del río Angulo – Briseñas. (CONAMA, 2008)



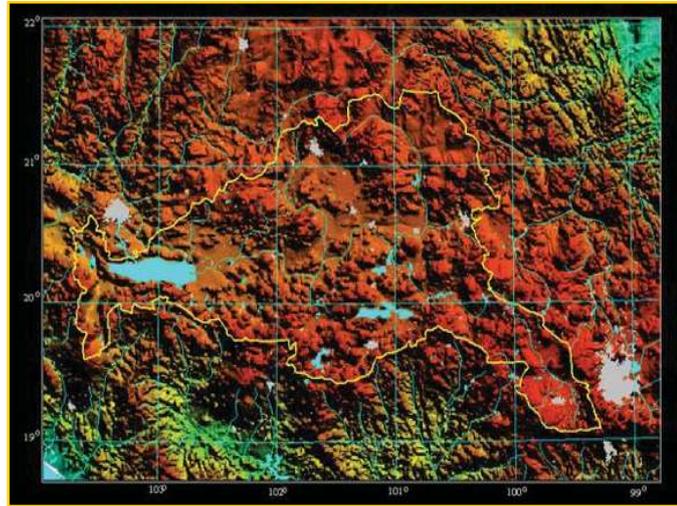


Figura II.2. Imagen de satélite, con la delimitación de la RH-12 Lerma-Santiago (INEGI, 1981).

La hidrografía local, está constituida principalmente por el Río Lerma; las principales corrientes del municipio están formadas por los arroyos: Zináparo, Degollado, Domingo, Prieto, Canáparo, La Providencia, El Jagüey y Los Paredones; todos éstos depositan sus aguas en el Río Lerma. Se identifican también dos manantiales de agua fría que son: “El Algodonal” y “El Capricho”.

Existe una estación hidrométrica con un mecanismo de escala y moliente, ésta se ubica al oriente de la ciudad, en la corriente del río Lerma, que tiene una área de la cuenca de 35,662 km², donde se registra un volumen medio anual de 55.594 m³/s (CIIDIR C. I., 2004).

e).- Clima

El clima predominante en la región es, según la clasificación de Koppen modificada por E. García (1973), templado subhúmedo con lluvias en verano, clasificación C (w1) (w), con predominio de ecosistemas tipo pradera. Tiene una precipitación pluvial anual del 700 mm y temperaturas que oscilan de 3.0 a 38.5 °C, con un porcentaje de precipitación invernal menor de 5%, siendo la precipitación del mes más seco menor de 40 mm.





El rango de escurrimiento superficial de la precipitación media anual, que es de 800 mm, es de 10 a 20%; asimismo la temperatura promedio anual es de 18°C presentándose el mes más cálido antes de junio (CIIDIR C. I., 2004).



Figura II.3. Cauce del meandro del Río Lerma.

II.1.2. ACTIVIDAD ECONÓMICA

a) Agricultura

La mayor parte de la superficie productiva está orientada a la agricultura. Los principales cultivos del municipio son maíz, trigo, sorgo, hortalizas y frutales. Sin embargo el 76% de la superficie sembrada es de temporal y sólo el 24% es de riego (Figura II.4.).

b) Ganadería

La principal vocación económica del municipio está orientada a la ganadería. Los principales tipos de ganado que se crían, en orden de importancia son: porcino, avícola, caprino, bovino y colmenas.

c) Industria

En el municipio predominan 3 ramas de la Industria: la alimenticia, la del vestido y la de ensamble y reparación de maquinaria y equipo. En la zona existen





82 unidades industriales de productos alimenticios, 43 de maquinaria y equipo, 22 de la Industria del vestido, 10 de madera y 3 de la construcción.

d) Turismo

Por sus condiciones naturales, el municipio tiene lugares propios para el desarrollo turístico, constituyendo una actividad de vital importancia para el desarrollo económico del municipio.

e) Comercio

Los establecimientos comerciales existentes son: tiendas de ropa, muebles, calzado, alimentos, ferreterías, madererías, materiales de construcción, papelerías, farmacias, etc.

f) Servicios

La capacidad de éstos en la cabecera municipal es suficiente para atender la demanda, ofreciéndose: hoteles, moteles, bungalos, restaurantes, centros nocturnos, agencias de viajes, asistencia profesional, grupo de rescate, protección civil, bomberos, gasolineras y central de autobuses, entre otros (Michoacán, 2009).



Figura II.4. Actividad económica





II.2. CARACTERÍSTICAS DEL RÍO LERMA

II.2.1. LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN

El río Lerma y sus afluentes se localizan en la región Lerma - Santiago (región hidrológica número 12, subcuenca Lerma - Chápala) y constituye el colector general de la cuenca. Su cauce se origina en la Laguna de Almoloya en el Estado de México, con coordenadas geográficas de 19°09'00" latitud Norte y 99°29'00" longitud Oeste, y termina después de un recorrido de 754 km y de haber drenado una superficie de 41,429 km², al desembocar en el Lago de Chápala, ubicado en las coordenadas geográficas 20°14'14" latitud Norte y 102°37'26" longitud Oeste, En su recorrido atraviesa parte de los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco (Michoacán, 1999).

El Río Lerma cubre 700 km, desde Toluca a Guadalajara. Este afluente alivia parte de las descargas del Distrito Federal, cruza los complejos industriales del Estado de México, los llanos graneros del Bajío, en Querétaro y Guanajuato, cruza parte del Estado de Michoacán y desemboca al Lago de Chápala, donde es la mayor fuente de abastecimiento de agua potable para la capital del Estado de Jalisco. La cuenca del Lerma abarca cinco Estados de la República, que aportan 16% de la economía de México y en su cuenca residen cerca de 20 millones de personas (Jalisco, 2008).

II.2.2. PANORAMA GENERAL DEL MEANDRO DEL RÍO LERMA EN LA PIEDAD

En el Río descargan los drenajes municipales de varias ciudades, entre ellas: Toluca, Querétaro, Celaya, Salamanca, Irapuato, Pénjamo y La Piedad, muchas de ellas sin tratamiento alguno. La cuenca del Lerma es una de las más importantes de nuestro país. Desafortunadamente también es la una de las que presenta mayores problemas de contaminación y deterioro ambiental. Entre los





problemas asociados a la gestión del agua en la cuenca se encuentran (Ponce y Orantes, 2008):

- Sobreexplotación de sus recursos hídricos; sobre todo los mantos acuíferos subterráneos,
- Contaminación progresiva de sus cuerpos de agua; fundamentalmente las aguas superficiales (Figura II.5.),
- Creciente demanda de agua que enfrenta la escasez y falta de acceso al recurso hídrico,
- Se sigue privilegiando la inversión en el sector productivo y el crecimiento económico a costa de las inversiones que demanda la preservación y recuperación ambiental de la cuenca,
- Un sobreconcesionamiento de los recursos hídricos disponibles lo que establece limitaciones al desarrollo de la región derivadas de la falta de disponibilidad de recursos de propiedad nacional,
- Necesidad de aumentar significativamente la disponibilidad de recursos financieros para cubrir la demanda de agua potable y saneamiento,
- Disponibilidad limitada, no estructurada y probablemente redundante u obsoleta de información específica acerca del sector agua en la región y



Figura II.5. Contaminación en el meandro.





a). Problemas de contaminación en el Río Lerma.-

Las descargas de los corredores industriales Lerma–Toluca y de Santiago Tianguistengo, así como las descargas municipales de la ciudad de Toluca han deteriorado en gran medida la parte alta de la cuenca. La parte media de la cuenca también presenta serios problemas debido a las descargas de las ciudades e industrias de Querétaro, Celaya, Salamanca, Irapuato y León, así como las descargas provenientes de las granjas porcícolas y de las industrias procesadoras de carne localizadas en La Piedad y en Santa Ana Pacueco. El río Turbio, drenaje natural de León, se considera como el afluente más contaminado de la cuenca, y se detectan Cromo trivalente y hexavalente, sulfuros y altos valores de salinidad (CIIDIR C. I., 2004). La contaminación del Río Lerma es en gran medida también consecuencia de las descargas de aguas residuales industriales.

b). Problemas de contaminación en el Río Lerma en la subcuenca de La Piedad.- El agua que llega a la subcuenca de La Piedad presenta ya un problema de contaminación suficientemente grave, ya que arrastra compuestos organoclorados, organofosforados, metil-terbutil-éter, detergentes, BTEX, organismos patógenos, nitrógeno, fósforo, materia orgánica (CIIDIR C. I., 2004). Sin embargo, según comentarios de los campesinos del lugar es menos “mala” que la que circula en el meandro de La Piedad, (el agua es desviada por la Comisión Nacional del Agua (CNA) por un dren derivador, de tal forma que en tiempos de secas el agua que hay en el meandro es agua residual estancada, con los consecuentes problemas de salud humana ocasionados por el agua contaminada estancada. La CNA ha permitido, en los últimos años, la entrada de pequeños volúmenes de agua al meandro. Sin embargo es precisamente en tiempo de secas cuando el agua del Río es utilizada para riego. Dado que el mayor consumo de agua del país es el de la agricultura, su aportación a la carga contaminante debe ser mucho más importante que la que tradicionalmente se le adjudica, la carga de pesticidas, fertilizantes y otros agroquímicos que se descarga





en el Lerma no se ha evaluado de forma confiable y son datos que requieren ser estudiados, pero sobre todo se debe cambiar el tipo de prácticas agrícolas usando sistemas de riego eficientes y disminuir el uso de agroquímicos.

En la comunidad de Santa Ana Pacueco se construyó una planta de tratamiento de agua residual, pero desafortunadamente no está en operación, por tanto, las descargas de agua residual de esta comunidad no están siendo tratadas. Así mismo en la Piedad existe una planta de tratamiento de agua residual, que se encuentra en funcionamiento al norte del meandro, a esta planta llegan las descargas de las comunidades localizadas en la zona. El caudal tratado no es suficiente para abastecer las necesidades de la región por lo que es necesaria la creación de nuevas plantas que se encarguen de las zonas no tratadas.

Actualmente se cuenta con un colector de aguas residuales en el brazo izquierdo del meandro, el cual recolecta las descargas provenientes de la zona céntrica de la población. También está en operación la planta de tratamiento de agua residual de la Piedad, Michoacán en la zona norte del meandro y en la que descarga en colector ya existente.

c). Sobreexplotación del recurso agua.- El número de usuarios de aguas nacionales y descargas de aguas residuales a escala nacional se estima en 301,500, de los cuales sólo se encuentran regularizados 69,800 usuarios que representan el 23.2% del total. Con respecto a la cuenca del Río Lerma, el número de usuarios se estima en 40,108, encontrándose regularizados 10,790, que representan el 26.9% del total (Jong, 2008).

En marzo del 2004 se realizó un estudio (CIIDIR C. I., 2004) en el cual se corroboran los datos proporcionados por las autoridades municipales las cuales manejan que el 60 % de las aguas residuales de origen municipal son controladas por el colector marginal (el colector conduce las aguas a una planta de tratamiento de aguas) este grupo de investigación determinó que realmente se vierten





directamente al río y sin tratamiento, las descargas localizadas mediante un levantamiento físico se incluyen en la cartografía. Se han localizado rastros clandestinos cuyas aguas se vierten al Arroyo Hondo (Figura II.6.), una descarga industrial de la empresa textil ESMIR, la cual se descarga al arroyo delgado sin ningún tratamiento y más de 20 grandes granjas porcícolas, que descargan sus residuos al sistema hidrológico de La Piedad, (sin incluir El Rastro Municipal) lo que aumenta el riesgo de cisticercosis, pues éstas aguas se emplean sin ningún tratamiento en el riego de hortalizas que se consumen frescas.



Figura II.6. Descarga de residuos de un rastro clandestino en el meandro del Río Lerma en la ciudad de La Piedad de Cabadas, Michoacán.

d). Repercusiones en la Salud Humana.- El Estado de Michoacán presenta serios problemas de teniosis ó cisticercosis (CIIDIR C. I., 2009). Las condiciones sociales, económicas y culturales están intrínsecamente vinculadas con esta zoonosis, ya que en cada uno de los momentos del ciclo de vida del parásito existen actividades humanas involucradas en su reproducción. Esta enfermedad se presenta debido a la dispersión de los huevos de los parásitos, misma que puede ser causada por la defecación al aire libre o bien por la inadecuada eliminación de las excretas, (CIIDIR C. I., 2004). Por otro lado, el uso del agua del río para riego de hortalizas representa graves riesgo a la salud pública, ya que hay





una gran cantidad de descargas de agua residual que descargan sin tratamiento al cauce del río.

e).- Índice de integridad biótica.- El índice de integridad biótica para todas las estaciones resultó en la escala más baja asignada para el uso de la vida acuática: “limitado” (CIIDIR C. I., 2009). Esto se encuentra determinado por la poca riqueza de especies y el dominio sólo de una o dos de ellas sobre las demás. Toda comunidad dominada por pocas taxa es indicativa de stress ambiental, además de un desequilibrio en su estructura. Los taxa que son sensitivos a la degradación ambiental están prácticamente ausentes. Dentro de los grupos funcionales predomina el de los detritívoros, mientras que los depredadores tienen porcentajes bajos. Los detritívoros utilizan partículas finas de materia orgánica como principal alimento. La presencia de descargas directas incrementa la disponibilidad de este recurso beneficiando a pocas especies y estimula la actividad microbiana (CIIDIR C. I., 2009). Estas observaciones han sido corroboradas y complementadas por los estudios que actualmente está realizando el equipo interdisciplinario de trabajo de la UMSNH por el saneamiento del Río Lerma en el meandro de La Piedad, Michoacán.

II.2.3. PROBLEMÁTICA POLÍTICO-SOCIAL

Las ciudades demandan cada vez más agua potable y los ciudadanos exigen acciones eficaces de sus gobiernos frente a la problemática del agua. La cuenca del Lerma muestra un paisaje variado y complejo, no sólo natural sino también humano y político. El agua se distribuye a través de una red de asignaciones y divisiones federales, estatales y municipales, y su administración parece un rompecabezas con tintes políticos, cuando el tema ambiental era una arista romántica y no un asunto de seguridad nacional.





En la cuenca del río Lerma se genera una tercera parte de la producción industrial nacional, el 20% del comercio, una de cada ocho de las hectáreas de riego y de temporal en el país se encuentran en esta zona, y se atiende parcialmente las necesidades de agua potable de la ciudad de México y de Guadalajara. El incremento del número de descargas a los cuerpos receptores ha ocasionado una fuerte contaminación y ha disminuido la calidad del recurso agua. Las actividades socioeconómicas de los grandes centros urbanos y la falta de tratamiento de las aguas residuales de origen industrial y municipal agravan el problema de disponibilidad del líquido para el consumo humano.

El número de usuarios de aguas nacionales y descargas de aguas residuales a escala nacional se ha incrementado y es necesario que se regularicen todas estas tomas clandestinas, así como las descargas de aguas residuales con su respectivo tratamiento con el fin de solucionar problemas sociales, de salud pública y de contaminación.

II.3. FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

II.3.1. DEFINICIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población después de haber sido usadas para diversos fines y contaminadas, en mayor o menor grado, por los mismos (Tabla II.1). Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de residuos líquidos o sólidos arrastrados por el agua, procedentes de las casas habitación, granjas, edificios comerciales, instituciones e industrias, que usualmente se descargan ya sea en los cuerpos de agua superficial o en algún pozo de absorción para infiltrarlo a los mantos acuíferos.





Tabla II.1. Principales contaminantes presentes en el agua residual y sus efectos causados a los cuerpos de agua superficiales (adaptada de Alaerts, 1995).

CONTAMINANTE	FUENTE	EFFECTOS CAUSADOS POR LA DESCARGA DEL AGUA RESIDUAL EN LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES
Materia orgánica* biodegradable (proteínas, carbohidratos, grasas, aceites)	ARD* y ARI.**	Agotamiento del oxígeno disuelto
Sólidos suspendidos	ARD* y ARI**	Depósito de lodo, desarrollo de condiciones anaeróbicas y disminución del paso de la luz
Nutrientes: • Nitrógeno • Fósforo	ARD*, ARI** y ARA***	Crecimiento indeseable de algas y plantas acuáticas. Incremento en el índice de eutroficación o saporiedad
Microorganismos	ARD*	Contaminación biológica de las aguas
Compuestos tóxicos • Metales pesados • Compuestos orgánicos tóxicos	ARI*, ARI** y ARA***	Deterioro de la biodiversidad del ecosistema
Materia orgánica refractaria	ARD* ARI** y ARA***	Resisten el tratamiento convencional, pero pueden afectar el ecosistema
Sólidos inorgánicos disueltos • Cloruros • Sulfuros	ARD* ARI** y ARA***	Incremento de la salinidad.
Olores: H ₂ S	Descomposición de las ARD	Molestia pública

*ARD: Aguas Residuales Domésticas; **ARI: Aguas Residuales Industriales; ***ARA: Aguas Residuales Agrícolas.

La cantidad o volumen de aguas residuales que se produzcan en una población varía de acuerdo con el tamaño y las características de la población y depende de diversos factores. Un municipio exclusivamente residencial que tenga un sistema de alcantarillado sanitario bien construido, separado del drenaje





pluvial, puede captar alrededor de 160 L/hab-d, mientras que una población industrial o que tenga un gasto de agua para usos domésticos muy alto, podría descargar hasta 800.L/hab-d. Naturalmente, el gasto es mucho mayor cuando las aguas pluviales entran a las alcantarillas que acarrean desechos domésticos e industriales (Moscoso Cavallini, de la Torre, & Egocheaga, 2009), también los gastos de agua residual se incrementan cuando las poblaciones son mayores, tanto por las descargas de servicios como por los hábitos de la población.

II.3.2. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los sólidos contaminantes pueden clasificarse de acuerdo al estado físico en el que se encuentran en las aguas residuales. Estos pueden clasificarse como sólidos y gases. Los sólidos pueden encontrarse en estado sólido o disuelto en el agua, mientras que los gases los vamos a encontrar disueltos en el agua (Figura II.8).

A). Sólidos Totales.- Dentro de este grupo se incluyen todos los constituyentes sólidos de las aguas residuales. Son la totalidad de sólidos orgánicos e inorgánicos, ya sea que se encuentren en suspensión o disueltos. En las aguas residuales domesticas de composición media, cerca de la mitad son orgánicos y la otra mitad inorgánicos y aproximadamente unas dos terceras partes están en solución y una tercera parte en suspensión. Es esa mitad orgánica de los sólidos sujeta a degradación la que constituye el problema principal del tratamiento de las aguas residuales. Esta composición esta basada en un agua residual domestica de composición media equivalente a unos 400 L/hab-d. La adición de las corrientes de aguas pluviales o infiltraciones de aguas subterráneas puede alterar notablemente las relaciones entre los sólidos. De manera similar, la introducción de desechos industriales puede modificar de manera importante la composición de las aguas residuales. La cantidad de sólidos es generalmente muy pequeña, frecuentemente menos de 0.1 por ciento en peso, sin embargo es la





fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuados.

- **Sólidos Suspendidos.**- Son aquellos que se encuentran en fase sólida, en suspensión y son susceptibles a simple vista en el agua. Estos sólidos normalmente pueden separarse del agua residual por medios físicos, como son la sedimentación y la filtración. Se definen más exactamente como los sólidos que quedan retenidos por una capa filtrante, generalmente incluyen las partículas flotantes mayores que consisten en arena, polvo, arcilla, sólidos fecales, papel, astillas de madera, partículas de alimentos y otros materiales similares. Están constituidos aproximadamente por un 70 por ciento de sólidos orgánicos y por un 30 por ciento de sólidos inorgánicos, siendo la mayor parte de estos últimos, arena y polvos.

Dentro de este grupo se encuentran los “Sólidos Sedimentables”, que son la porción de los sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es suficiente para que se sedimenten en un periodo determinado, que generalmente es de una hora. Debe entenderse que son los sólidos que se sedimentan en una hora en un cono de Imhoff. Generalmente el resultado se expresa en mililitros de sólidos por litro de aguas residuales, pero también se da en partes por millón, en peso. Están constituidos aproximadamente de un 75 por ciento de sólidos orgánicos y un 25 por ciento de inorgánicos.

- **Sólidos Disueltos.**- Este término es utilizado ordinariamente en los estudios de aguas residuales, no es técnicamente correcto. No todos estos sólidos están verdaderamente disueltos, puesto que se incluyen algunos sólidos en estado coloidal. De acuerdo con la costumbre, el término incluye todos los sólidos que pasan a través de la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch. De los sólidos disueltos totales, aproximadamente un 90 por ciento está verdaderamente disuelto y un 10 por ciento en estado coloidal. El total de





sólidos disueltos está compuesto aproximadamente por 40 por ciento de orgánicos y 60 por ciento de inorgánicos. La porción coloidal contiene mayor porcentaje de materia orgánica que la verdaderamente disuelta, debido a que esta incluye a todas las sales minerales del agua de abastecimiento.

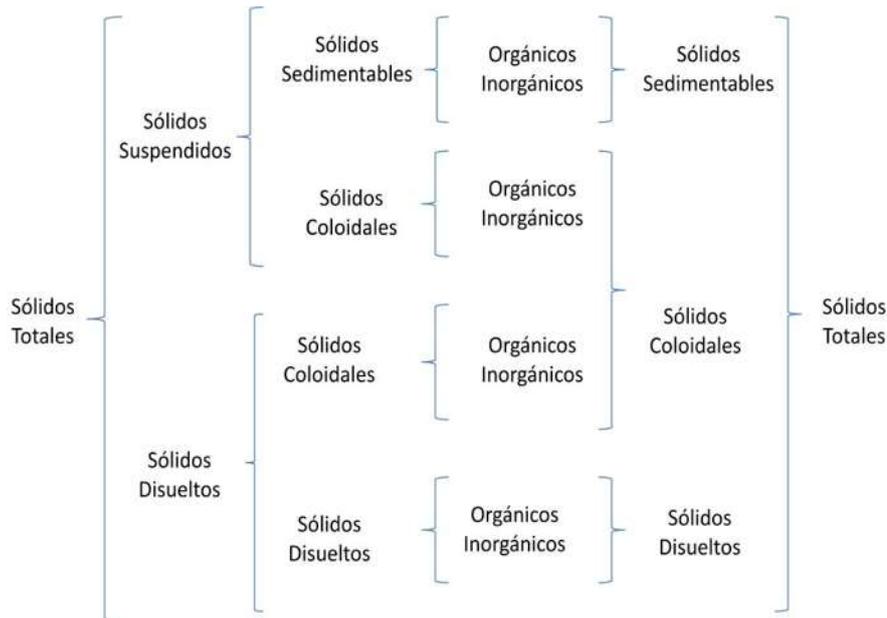


Figura II.7. Clasificación de los contaminantes en las aguas residuales con base en su estado físico y su composición química.

Considerando su composición química, los contaminantes también pueden clasificarse en (a) orgánicos y (b) inorgánicos:

a).- *Sólidos Orgánicos*. En general incluyen los productos de residuos de la vida animal y vegetal, incluyendo microorganismos vivos, tejidos animales, vegetales o material inerte, sin embargo también pueden incluir compuestos orgánicos sintéticos. En cuanto a su composición son sustancias cuya estructura contiene carbono, hidrógeno y oxígeno, pudiendo estar combinados principalmente con nitrógeno, azufre, fósforo pero pueden contener otros elementos. Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, junto con sus productos de descomposición. Son compuestos susceptibles





de degradación o descomposición por la actividad de las bacterias y otros organismos vivos. Estos compuestos pueden encontrarse en suspensión o en forma soluble, sin embargo, para que puedan ser utilizados como substrato por los microorganismos estos deberán ser hidrolizados y encontrarse en forma soluble.

b).- *Sólidos Inorgánicos*. Son sustancias inertes que, en general, no están sujetas a la degradación biológica. Ciertos compuestos minerales hacen excepción a estas características, como los sulfatos, los cuales bajo ciertas condiciones pueden descomponerse en sustancias más simples, como sucede en la reducción de los sulfatos a sulfuros. A los sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales: arena, grava, cieno y sales minerales del abastecimiento de agua que producen su dureza y contenido mineral (METCALF & EDDY, 1998).

B).- Gases disueltos.- Las aguas residuales contienen pequeñas y variables concentraciones de gases disueltos. Entre los gases más importantes esta el oxígeno disuelto, presente en el agua original del abastecimiento y disuelto también al ponerse en contacto con el aire. También se pueden encontrar otros gases, como el bióxido de carbono, que resulta de la descomposición de la materia orgánica, el nitrógeno disuelto, el ácido sulfhídrico que se forma por la descomposición de los compuestos orgánicos y ciertos compuestos inorgánicos del azufre. Aunque estos gases están presentes en pequeñas cantidades, su función es importante en la descomposición y tratamiento de los sólidos de las aguas residuales e indican muy significativamente el progreso de tales procedimientos de tratamiento (BROWN, 1973).





II.3.3. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso en el cual se remueven los contaminantes del agua residual. En el tratamiento de aguas residuales se pretende remover la mayor cantidad de contaminantes posibles a un costo razonable procurando dejar residuos mineralizados u orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del proceso de tratamiento empleado y del destino final del agua a tratar. Una vez completado todo proceso de tratamiento, es aun necesario disponer de los líquidos y los sólidos que se haya separado (Commons, Creative, 2009). El tratamiento del agua residual consiste de varias etapas compuestas por procesos unitarios físicos, fisico-químicos y biológicos. Las diferentes etapas se pueden dividir en: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, desinfección y tratamientos avanzados, además del tratamiento de los lodos generados en la PTAR.

II.3.3.1. Pretratamiento

Tiene como objetivo eliminar de las aguas residuales todos aquellos elementos de diferente tamaño, que por su acción mecánica, pueden afectar al funcionamiento del sistema depurador, como las arenas y elementos minerales que pueden sedimentar y/o ser abrasivos a lo largo de las conducciones o elementos mecánicos de la instalación.

El primer proceso de la etapa de pretratamiento consiste generalmente en un conjunto de rejas, gruesas y finas, con diferentes diámetros de separación, que constituyen el medio para conseguir el desbaste de los materiales arrastrados por el agua residual. El segundo proceso normalmente son los desarenadores, que básicamente son canales en los que se reduce la velocidad del agua, permitiendo la sedimentación de las partículas más pesadas. Muchas veces se acopla el desarenador con la remoción de grasas y aceites libres, los cuales, al ser menos





denso que el agua, forman una película superficial que puede ser eliminada por mecanismos de captación superficial (CONAMA, 2008).

En general la etapa de pretratamiento permite acondicionar el agua residual para los tratamientos posteriores y es muy importante su eficiencia para que los procesos subsecuentes funcionen adecuadamente, en particular los procesos biológicos (METCALF & EDDY, 1998).



Figura II.8. Pretratamiento de las Aguas Residuales

II.3.3.2. Tratamiento primario

La segunda etapa es la del Tratamiento primario, esta etapa tiene como objetivo la eliminación, por medios físicos, de los sólidos sedimentables no eliminados en el pre-tratamiento. El proceso se realiza en unos tanques, llamados decantadores o sedimentadores primarios, que pueden tener ser rectangulares o circulares, que disponen de mecanismos de arrastre y extracción de los lodos depositados en el fondo y brazos superficiales para recuperar el material flotante y las espumas. En algunos casos se incluye, dentro del tratamiento primario, un proceso físicoquímico, usualmente la coagulación–floculación en la cual, mediante la adición de compuestos químicos (usualmente cloruro de hierro o sulfato de aluminio), se consigue la floculación de los coloides. Durante este proceso o en





forma independiente se hace una neutralización, proceso en el que se consigue el pH adecuado para el proceso biológico de tratamiento (CONAMA, 2008).



Figura II.9. Sistema de rejillas de la PTAR de La Piedad de Cadas

II.3.3.3. Tratamientos secundarios

El tratamiento secundario es designado para substancialmente degradar la materia orgánica de las aguas residuales. La mayoría de las PTAR municipales e industriales usan procesos biológicos aeróbicos. Los microorganismos utilizan la materia orgánica como sustrato, pero adicionalmente requieren oxígeno, nutrientes y condiciones físico-químicas adecuadas para el correcto funcionamiento de sus procesos metabólicos. En estos procesos biológicos, las bacterias y los protozoarios consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables (i.e. carbohidratos, proteínas y lípidos) degradándolas hasta dióxido de carbono y agua. Estos sustratos son utilizados para transformarlos en energía utilizable para el mantenimiento de los microorganismos (Orantes Avalos, 2009). Estos procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales pueden clasificarse en:

a).- *Aerobios*.- Son aquellos procesos biológicos de degradación de contaminantes realizados en presencia de Oxígeno, por determinado grupo de microorganismos





(principalmente bacterias organoheterótrofas, metazoarios y protozoarios). Los microorganismos presentes en el agua consumen la materia orgánica soluble y coloidal disponible, transformándola en biomasa (microorganismos) y dióxido de carbono, reduciéndose de ésta manera la DBO y la DQO de las aguas residuales. La biomasa generada es separada posteriormente por medio de sedimentación. Los principales procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales son: procesos de lodos activados (Figura II.10.), lagunas aireadas, digestión aerobia, filtros percoladores, filtros de desbaste y biodiscos (RBC).



Figura II.10. Proceso Aerobio (Canal de oxidación)

b).- *Anaerobios*.- Al contrario de lo que ocurre en los procesos aerobios, la degradación anaerobia de sustancias orgánicas tiene lugar en ausencia de oxígeno. Los microorganismos anaerobios emplean las sustancias orgánicas como sustrato, logrando su degradación. Como producto residual se forma biogás, compuesto principalmente de metano (60%) y dióxido de carbono (35%). El biogás se puede aprovechar como fuente de energía cuando se tiene las proporciones





aquí señaladas y un volumen de generación mínimo. Los procesos anaerobios generalmente son adecuados para el tratamiento de aguas residuales con concentraciones muy elevadas de contaminantes, como las que se producen, por ejemplo, en la industria alimentaria o en la papelera. Frecuentemente se implementan como etapa previa a un proceso aerobio (e.g. proceso de lodos activados). Entre los procesos biológicos de tratamiento anaeróbico se encuentran los digestores anaerobios, los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB), las lagunas anaerobias (Figura II.11.) y los filtros anaerobios.



Figura II.11. Laguna Anaerobia en La Piedad de Cabañas, Michoacán.

II.3.3.4. Desinfección

La desinfección tiene como objetivo la destrucción selectiva de bacterias y virus patógenos presentes en el agua residual posteriormente al tratamiento secundario.

La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada,





de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales (temperatura, conductividad). El agua turbia tendrá menores eficiencias de desinfección puesto que la turbidez disminuye la eficiencia, especialmente la desinfección con luz ultravioleta. Los métodos más comunes de desinfección incluyen el ozono, el cloro y la radiación UV.





Tabla II.2. Procesos de tratamiento de las aguas residuales (Orantes, 2009)

	Tratamiento primario	Tratamiento secundario						Tratamiento avanzado	Desinfección
		Sistemas biológicos aerobios		Sistemas biológicos anaerobios		Sistemas naturales			
Pretratamiento	Sistemas de biomasa en suspensión	Sistemas de biomasa fija	Sistemas de biomasa en suspensión	Sistemas de biomasa fija	Lagunas	Humedales artificiales			
Tamizado grueso	Sedimentación primaria	Lodos activados	Filtros biológicos	Reactores anaerobios de biomasa suspendida	Filtros anaerobios	Lagunas aerobias	Humedales de flujo superficial	Filtración en medio granular	Cloración
Trituración	Flotación	Aireación extendida	Biodiscos			Lagunas facultativas	Humedales de flujo subsuperficial	Filtración con carbón activado	Radiación UV
Homogenización de caudales	Tamizado Fino	Canales de oxidación				Lagunas aireadas			
Remoción de arenas	Control de olores	SBR's				Lagunas Anaerobias			
Remoción de grasas y aceites	Control de la corrosión	Biorreactores con membranas						Tratamiento avanzado con desinfección	
	Tanques "Imhof"	Sistemas híbridos		Sistemas híbridos				Filtración por medio de membranas	
	Tanques sépticos	Reactores de lecho fluidizado		UASB				Ozonación	





II.3.3.5. Disposición de las aguas residuales

Es importante mencionar que el destino final de las aguas residuales tratadas va a ser un elemento importante a tomar en cuenta para la selección de procesos y el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales. No obstante hay aún muchas poblaciones e industrias en nuestro país que descargas sus aguas residuales sin que éstas hayan recibido tratamiento (FWS, 2009).

En la actualidad básicamente hay tres tipos de disposición final de las aguas residuales tratadas, sin embargo con la escases actual de agua, cada vez es y será más importante considerar el reuso del agua tratada en otras alternativas, particularmente buscando el reuso productivo del agua tratada. Los tres métodos más empleados todavía actualmente en nuestro país según Hilleboe (1986) son: (a) disposición en cuerpos de aguas superficiales, (b) reuso directamente para irrigación y (c) disposición subsuperficial.

a). *Disposición en aguas superficiales.*- Este método consiste simplemente en descargar las aguas residuales en ríos, lagos, lagunas o incluso directamente al mar. Esto puede provocar una contaminación del cuerpo receptor. El grado de contaminación depende de la dilución, o sea del volumen de las aguas residuales y de las concentraciones de contaminantes descargados, respecto al volumen de agua con que se mezclan. Adicionalmente se debe considerar el estado en el que se encuentra el ecosistema receptor ya que de éste dependerá su capacidad de autodepuración.

Sin embargo, cuando los cuerpos de agua superficiales presentan altos índices de contaminación estos representan graves riesgos para la salud.

En el caso de La Piedad las descargas de agua residual se realizan justamente sobre un cuerpo de agua superficial en el cual es evidente un alto grado de contaminación, un bajo índice de calidad biótica y todo esto representa graves riesgos a la salud.





b). *Reuso directamente para irrigación.*- Esta consiste en descargar las aguas residuales sobre los terrenos cultivados, lo cual se hace generalmente mediante zanjas de regadío. Excluyendo una pequeña parte que se evapora, el resto se infiltra en la tierra y suministra humedad, así como pequeñas cantidades de nutrientes que sirven como fertilizantes para los cultivos. Este método solo es aplicable a pequeños volúmenes de aguas residuales provenientes de poblaciones relativamente pequeñas en las que se dispone de la superficie necesaria. Su mejor aplicación es para las zonas áridas o semiáridas en las que tiene especial valor la humedad agregada al suelo. Si se cultivan las zonas de disposición, deben excluirse de los drenajes los desechos industriales que pudiesen ser tóxicos. El riego de cultivos y con mucho mayor razón en el caso del cultivo de hortalizas deberá ser con aguas residuales tratadas, ya que de lo contrario se expone a la población que consume estos productos agrícolas a problemas de salud pública que pudieran ser causados por microorganismos patógenos o compuestos tóxicos.

c).- *Disposición subsuperficial.*- Este método consiste en hacer pozos de infiltración para descargar las aguas residuales al subsuelo. Usualmente así solo se eliminan las aguas residuales sedimentadas provenientes de instituciones o residencias en las que su volumen es muy pequeño y se encuentran aisladas del resto de la población y no cuentan con sistemas de alcantarillado sanitario. Como este método tiene muy poca aplicación para las plantas de tratamiento de agua residual.





CAPITULO III.- OBJETIVOS

La problemática asociada a la contaminación del cauce natural (meandro) del Río Lerma viene ocasionando varios problemas de salud pública a la población y afectando el medio ambiente, deteriorando la calidad de vida de los habitantes. Considerando esta problemática se planteó el siguiente:

III.1. Objetivo General

El objetivo de este trabajo es analizar las principales descargas de agua residual en el meandro del Río Lerma, en la Piedad, Michoacán, para así poder plantear una estrategia de saneamiento de las descargas puntuales de aguas residuales en la zona de estudio.

III.2. Objetivos Particulares

- Plantear una estrategia de saneamiento de las descargas puntuales de aguas residuales en la zona de estudio.
- Proponer un tren de tratamiento adecuado para las PTAR que se consideren necesarias en la estrategia de saneamiento, con base en las características del agua residual.





CAPITULO IV.- CARACTERIZACIÓN DE LAS DESCARGAS

IV.1. METODOLOGÍA

Con objeto de estandarizar el análisis de las descargas se decidió considerar dos criterios relacionados con la calidad del agua. El primero son las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que establecen los límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales y el segundo es el Índice de Calidad del Agua (ICA), referente establecido por la CONAGUA para establecer la calidad del agua en aguas superficiales.

IV.1.1. Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), son un conjunto de disposiciones que permiten regular técnicamente procesos, productos, sistemas, actividades, instalaciones, métodos de producción u operación y servicios, así como, la terminología, a través del establecimiento de directrices y criterios que han de ser utilizados para la verificación del cumplimiento de las características o atributos y de su aplicación, son la regularización técnica de observación obligatoria expedida por la dependencias normalizadoras competentes a través de sus respectivos comités consultivos nacionales de normalización, de conformidad con las finalidades establecidas en el artículo 40 de la ley federal sobre metrología y normalización (LFMN). (Gob. del Edo., 2009)

Dentro de los objetivos que establecen las normas en el área de conservación del agua se encuentra el: Establecer los requisitos que deben cumplir los usuarios que descarguen aguas residuales a cuerpos receptores de propiedad nacional, al construir las estructuras de descarga para garantizar que al tomar muestras de agua se asegure que son representativas y se eviten riesgos al personal que realiza la toma de las mismas (SEMARNAT, 2009).

El presente trabajo se basó específicamente en las siguientes normas:





CAPÍTULO IV.- CARACTERIZACIÓN DE LAS DESCARGAS

NOM-001-SEMARNAT-1996

Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

A continuación se observan las tablas correspondientes a los límites establecidos por esta norma:

Tabla IV. 1. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO					
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40	
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	Ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendedos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	125	30	60	75	125	30	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

(1) Instantáneo, (2) Muestra Simple Promedio Ponderado, (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006, P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual, N.A.= No es Aplicable, (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.





CAPÍTULO IV.- CARACTERIZACIÓN DE LAS DESCARGAS

En este proyecto, dado que las descargas van al meandro del Río Lerma y que de acuerdo al planteamiento de saneamiento integral en el cual se enmarcan estos trabajos se tiene contemplado establecer criterios de protección de vida acuática, y de uso público urbano que son los más estrictos dentro de los considerados para las descargas en ríos, estos corresponden a los límites máximos permisibles establecidos para descargas en ríos criterios B y C, tomando la referencia de Promedios Diarios (Tabla IV.1), sin embargo es importante señalar que una vez que se tomen las decisiones respecto a la estrategia general de saneamiento en el meandro por el equipo de trabajo que está realizando todos estos estudios y por las autoridades correspondientes es posible que haya que contemplar los límites de la NOM-003. Por el momento únicamente se consideraron los parámetros microbiológicos de la NOM-003 para este análisis.

NOM-003-SEMARNAT-1997

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso (Tabla IV.2).

Tabla IV. 2. Límites máximos permisibles de contaminantes.

TIPO DE REUSO	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1000	≤ 5	15	30	30





IV.1.2. Índice de Calidad del Agua (ICA)

En nuestro país, los modelos de monitoreo ambiental en ecosistemas lóticos, están fundamentados sobre bases fisicoquímicas que permiten valorar la calidad del agua, a partir de 1996, estos métodos fueron normalizados conforme al índice propuesto por la CONAGUA y la SEMARNAT, el ICA y los usos ecológicos de ella, propuesto por la SSA; estos procedimientos son los únicos normalizados en México. Sin embargo, están orientados hacia valorar la degradación ambiental en términos de contaminación y aunque son muy precisos, no son costo eficientes y no proveen de información integral que haga comprensibles los fenómenos ecológicos asociados al funcionamiento ecosistémico de los cuerpos de agua. Por lo mismo se hace necesario el desarrollo de métodos alternativos, que provean de información útil para interpretar la degradación de los ambientes de manera rápida, con la que se puedan orientar las acciones de rehabilitación y/o restauración. Entre otros modelos, se han desarrollado los índices de integridad biótica, que buscan facilitar la evaluación de la degradación, bajo perspectivas integrales, de análisis de la calidad ambiental y no restringirla a la calidad del agua, a fin de hacer más comprensible los procesos ecológicos que permitan definir estrategias para recuperar los ecosistemas lóticos.

El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100%. El ICA fue desarrollado de acuerdo con las siguientes etapas: La primera etapa consistió en crear una escala de calificación de acuerdo con los diferentes usos del agua. La segunda involucró el desarrollo de una escala de calificación para cada parámetro de tal forma que se estableciera una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación. Después de que fueron preparadas estas escalas, se formularon los modelos matemáticos





para cada parámetro, los cuales convierten los datos físicos en correspondientes índices de calidad por parámetro (I_i). Debido a que ciertos parámetros son más significativos que otros en su influencia en la calidad del agua, este hecho se modeló introduciendo pesos o factores de ponderación (W_i) según su orden de importancia respectivo. Finalmente, los índices por parámetro son promediados a fin de obtener el ICA de la muestra de agua (SNET, 2009), (BROWN, 1973).

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

La calidad del agua está afectada por diversos factores como los usos del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le da antes de ser vertida nuevamente a los cuerpos de agua, y la cantidad misma de agua de los ríos y lagos, ya que de ésta depende su capacidad de purificación.

A nivel mundial en los países en desarrollo se da tratamiento a menos del 10% del agua, situación no muy diferente a la de México, donde los porcentajes están cerca del 20%, ya sea agua utilizada en servicios urbanos o industriales. Esto significa que la inmensa mayoría del líquido se vierte a ríos, lagos o mares sin ningún tratamiento previo, ocasionando la contaminación de éstos y, en consecuencia, la reducción de agua disponible.

Con el fin de evaluar la calidad o grado de contaminación del agua se han desarrollado diversos índices de calidad tanto generales como de uso específico. En México se emplea el llamado Índice de Calidad del Agua (ICA), que agrupa de manera ponderada algunos parámetros del deterioro de la calidad del líquido (CONAGUA, 2008).



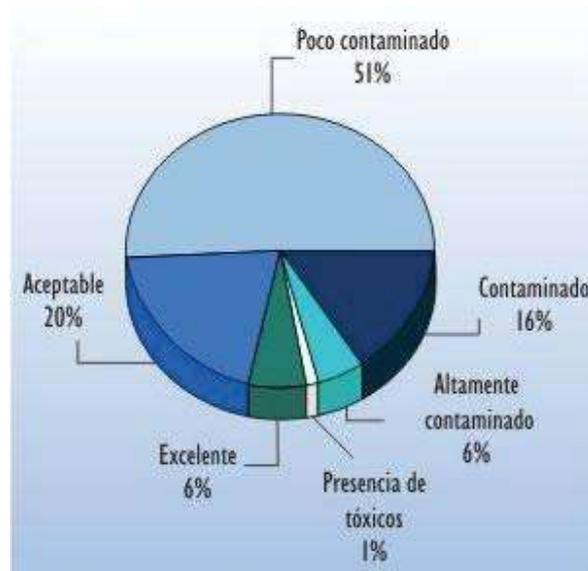


Figura IV. 1. Distribución de la calidad del agua (ICA) en cuerpos de aguas superficiales, en México (CONAGUA, 2008).

En los ríos monitoreados no se observa ninguna tendencia clara en ninguno de los contaminantes que muestre una mejor condición de esos cuerpos de agua de 1990 a la fecha. A nivel nacional resaltan algunos casos como el de los ríos Tula, Balsas y Papaloapan que siguen con valores muy altos de coliformes; la DBO ha sufrido una reducción marcada en los ríos Tula y Balsas y un incremento en el **Lerma** y el Colorado. Los niveles de oxígeno disuelto son aceptables excepto en el **Lerma**. A nivel nacional, las cuencas más contaminadas son las del **Lerma**, Alto Balsas, Blanco y la de San Juan en Nuevo León; las menos contaminadas, las de los ríos Grijalva y Usumacinta (SEMARNAT, 2009).

Para la clasificación de este proyecto se consideró la establecida por CONAGUA, mostrada en las siguientes tablas:



Tabla IV. 3. Clasificación establecida por el ICA para el parámetro DBO₅

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)		
Criterio (mg/L)	Clasificación	Representación
DBO ₅ < 3	Excelente: no contaminada	sin icono
3 < DBO ₅ ≤ 6	Buena Calidad: aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.	
6 < DBO ₅ ≤ 30	Aceptable: con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	
30 < DBO ₅ ≤ 120	Contaminada: aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	
DBO ₅ > 120	Fuertemente contaminada: aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	

Tabla IV. 4. Clasificación establecida por el ICA para el parámetro DQO.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
Criterio (mg/L)	Clasificación	Representación
DQO ≤ 10	Excelente: no contaminada	sin icono
10 < DQO ≤ 20	Buena Calidad: aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.	
20 < DQO ≤ 40	Aceptable: con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	
40 < DQO ≤ 200	Contaminada: aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	
DQO > 200	Fuertemente contaminada: aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	

Tabla IV. 5. Clasificación establecida por el ICA para el parámetro SST.

Sólidos Suspendedos Totales (SST)		
Criterio (mg/L)	Clasificación	Representación
SST ≤ 25	Excelente: no contaminada	sin icono
25 < SST ≤ 75	Buena Calidad: aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.	
75 < SST ≤ 150	Aceptable: con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	
150 < SST ≤ 400	Contaminada: aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	
SST > 400	Fuertemente contaminada: aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	





IV.2. MONITOREO DE LAS DESCARGAS RESIDUALES DEL RÍO LERMA

Para el análisis de las descargas, primeramente hubo que identificar las descargas al meandro, para lo cual se realizaron varios recorridos, primero asistidos por personal del Organismo operador de agua de La Piedad el SAPAS, posteriormente se recorrió todo el margen del cauce en la zona de estudio para corroborar la información previamente recopilada.

IV.2.1. IDENTIFICACIÓN DE DESCARGAS

Tabla IV. 6. Sitios y Descargas de agua de origen pluvial y de origen residual realizadas en el Rio Lerma

No. Consecutivo	Punto GPS	Coord. UTM (NAD 27)		Descripción del sitio	Tipo de aportación
		Long. O	Lat. N		
1	27	812694	2253262	Compuerta de entrada al meandro (estructura 1)	
2	28	812830	2253368	Inicio del Dren de Alivio (Estructura 3)	
3	29	811429	2255207	Fin del Dren de Alivio (Estructura 2)	
4	30	810777	2253749	Malecón (INFONAVIT Miguel Silva)	
5	31	811022	2255141	Arroyo (panteón)	Pluvial
6	32	810551	2254703	Arroyo hondo	Pluvial
7	33	810538	2253338	Arroyo calle Tamaulipas	Pluvial
8	34	810540	2252759	Arroyo San Cristóbal	Pluvial
9	35	810671	2252212	Dren pluvial (centro de la ciudad)	Pluvial
10	36	810778	2252217	Caja pluvial	
11	37	809222	2255910	Cárcamo El Fuerte	
12	38	807775	2255950	Bado de la Mula	
13	39	810930	2252095	Desc. pluvial Calle 25 de julio	Pluvial
14	40	811395	2249557	Arroyo Los Moreno	Pluvial
15	41	811553	2249198	Arroyo El tigre	Pluvial
16	42	813036	2248213	Desc. pluvial Zináparo	Pluvial
17	43	813045	2248202	Desc. pluvial Zináparo	Pluvial
18	44	811682	2249988	Desc. pluvial Zináparo	Pluvial
19	45	809890	2256012	Cárcamo A. Resid. (col. Los laureles)	
20	46	811110	2255094	Desc. A. Resid. (EL panteón)	Residual
21	47	812558	2250251	Desc. A. Resid. (Cuitzillo)	Residual
22	48	812643	2253208	Desc. A. Resid. 1(Rio Grande)	Residual
23	49	812495	2253209	Desc. A. Resid. 2(Rio Grande)	Residual
24	50	812093	2252149	Desc. A. Resid. 3, el puente (Rio Grande)	Residual
25	51	812185	2251998	Desc. A. Resid. 4, calle Nicolás Bravo(Rio Grande)	Residual
26	52	812305	2251597	Desc. A. Resid. 5, calle Pípila(Rio Grande)	Residual
27	53	812221	2251925	Desc. A. Resid. 6, Calle Tafolla(Rio Grande)	Residual





Tabla IV. 7. Sitios y Descargas de agua de origen pluvial y de origen residual realizadas en el Río Lerma (Continuación)

No. Consecutivo	Punto GPS	Coord. UTM (NAD 27)		Descripción del sitio	Tipo de aportación
		Long. O	Lat. N		
28	54	812819	2251056	Desc. A. Resid. 1, (Guanajuatillo)	Residual
29	55	812844	2250823	Desc. A. Resid. (Melchor Ocampo)	Residual
30	56	812644	2251294	Desc. A. Resid. 2,(Guanajuatillo)	Residual
31	57	190708	2252191	Desc. A. Resid. 1(Zaragoza)	Residual
32	58	190598	2252458	Desc. A. Resid. 2(Zaragoza)	Residual
33	59	190615	2252402	Desc. A. Resid. 3(Zaragoza)	Residual
34	60	189157	2253691	Desc. A. Resid. (Acuitzio)	Residual
35	61	187494	2251008	Desc. A. Resid. (El calabozo)	Residual
36	62	187495	2251007	Desc. A. Resid. (El calabozo)	Residual
37	63	812065	2252120	Desc. A. Resid. Puente Casto Saldaña	Residual
38	64	812129	2251982	Desc. A. Resid. (a una cuadra del puente)	Residual
39	65	811829	2250688	Desc. A. Resid.1 (Cuatro milpas)	Residual
40	65a	811836	2250847	Desc. A. Resid.2 (Cuatro milpas)	Residual
41	66	810831	2253095	Planta de rebombeo	
42	67	810851	2253458	Desc. A. Resid. (Granja)	Residual
43	68	812531	2253814	Desc. A. Resid. 1(frente al Dren)	Residual
44	68a	812531	2253814	Desc. A. Resid. 2 dom y porc(frente al Dren)	Residual
45	69	812274	2254289	Desc. A. Resid. (Granja)	Residual
46	70	812099	2254420	Desc. A. Resid. (Granja)	Residual
47	71	811670	2255081	Desc. A. Resid. (Granja)	Residual
48	72	811243	2254810	Desc. A. Resid. (Granja)afuera de PTAR	Residual
49	73	811243	2254810	Desc. A. Resid. (Granja)afuera de PTAR	Residual
50	74	811364	2255072	Desc. A. Resid. de PTAR	Residual
51	75	810820	2252240	Desc. A. Resid. de Rastro	Residual
52	76	811169	2252087	Desc. A. Resid. Puente Morelos	Residual
53	77	811166	2252088	Desc. A. Resid. Puente Morelos	Residual
54	78	803907	2249209	Desc. A. Resid. (Tanque de Peña)	Residual
55	79	804220	2253022	Desc. A. Resid. (Ojo de agua)	Residual
56	80	804214	2253632	Desc. A. Resid. de granja (Ojo de agua)	Residual
57	81	808814	2251832	Arroyo Domingo (presa)	
58	82	811618	2250183	Desc. A. Resid.1 (Colector de Zináparo)	Residual
59	83	810762	2253296	Desc. Puente de cuota	Residual
60	84	812632	2248767	Los Ayala	Residual
61	85	811693	2255950	PTAR Entrada	
62	86	811619	2256158	PTAR Salida	

Una vez habiendo identificado las descargas se estableció un plan de muestreo con objeto de optimizar recursos.





IV.2.2. PLAN DE MUESTREO

De la totalidad de las descargas se identificaron aquellas que por su zona de aportación, su caudal o su ubicación geográfica fueran consideradas de mayor relevancia. A continuación se muestran los sitios de muestreo de interés (Figura IV.1); así como cada muestra con sus respectivos gastos, horario de muestreo y observaciones generales del sitio. Dichas muestras fueron tomadas a partir de las descargas más significativas del lugar (Tabla IV.8).

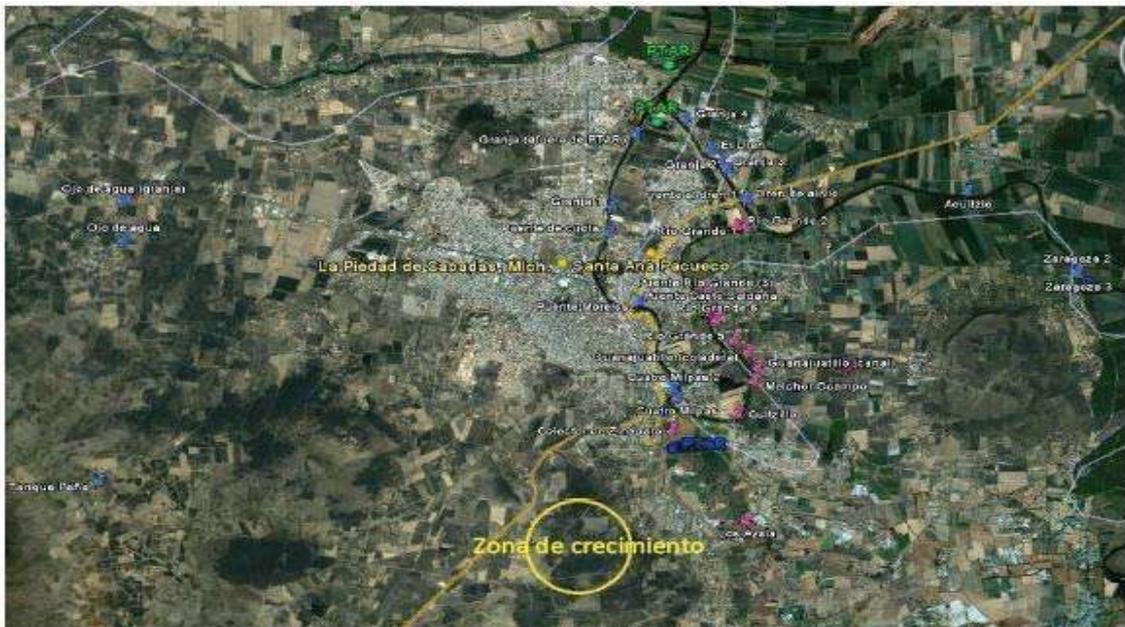


Figura IV.2. Imagen satelital del meandro de La Piedad, Michoacán, mostrando las descargas de agua residual identificadas

IV.2.3. MEDICIÓN DEL CAUDAL

Se realizaron los aforos correspondientes a las descargas. En la siguiente tabla (IV.8) se señalan los gastos máximo, medio y mínimo de cada una de las descargas, así como los horarios y fecha de toma de las muestras, los gastos ponderados, el coeficiente de variación horaria y su tipo de aportación.





Tabla IV. 8. Resultados de los aforos de las descargas puntuales de aguas residuales ($Q_{Máx}$, Q_{m} , Q_{min} , $Q_{Ponderado}$ y CVH)

Coord. UTM (MAD 27)	Long. O	Lat. N	Descripción del sitio	Tipo de aportación	Gasto Máx (L/s)	Fecha	Hora	Gasto mín (L/s)	Fecha	Hora	Gasto medio (L/s)	CVH	Promedio Ponderado	Gasto aprox (l/s)
812643	2253208		Desc. A. Resid. 1(Río Grande)	Residual	0.52	25/05/09	16:00	0.160	25/05/09	04:00	0.340	3.25	0.3	0.20
812495	2253209		Desc. A. Resid. 2(Río Grande)	Residual	0.460	25/05/09	16:30	0.200	25/05/09	07:30	0.330	2.3	0.29375	1.58
812093	2252149		Desc. A. Resid. 3, el puente (Río Grande)	Residual	0.5	19/05/09	11:00	0.095	19/05/09	23:00	0.298	5.263	0.16375	2.5
812065	2252120		Desc. A. Resid. Puente Casto Saldaña	Residual	0.649			0.308			0.479	2.107		0.1
812185	2251998		Desc. A. Resid. 4, calle Nicolás Bravo (Río Grande)	Residual	1.114	19/05/09	10:00	0.775	19/05/09	16:00	0.945	1.437	0.95925	0.22
812129	2251982		Desc. A. Resid. (a una cuadra del puente)	Residual	0.649			0.308			0.479	2.107		0.15
812221	2251925		Desc. A. Resid. 6, Calle Tafolla (Río Grande)	Residual	0.649			0.308			0.479	2.107		0.25
812305	2251597		Desc. A. Resid. 5, calle Pipila(Río Grande)	Residual	0.649			0.308			0.479	2.107		0.2
812644	2251294		Desc. A. Resid. 2,(Guanajuatillo coladera)	Residual	1.480	20/05/09	12:30	0.651	20/05/09	15:30	1.066	2.273	0.387125	0.37
812819	2251056		Desc. A. Resid. 1, (Guanajuatillo canal)	Residual	1.660	20/05/09	10:00	0.465	20/05/09	19:00	1.063	3.57	0.518125	0.37
187494	2251008		Desc. A. Resid. (El calabozo)	Residual	2.250	22/05/09	05:10	0.106	22/05/09	17:10	1.178	21.23	0.674125	0.9
812844	2250823		Desc. A. Resid. (Melchor Ocampo)	Residual	0.428	23/05/09	10:30	0.091	23/05/09	16:30	0.260	4.703	0.124375	0.37
812558	2250251		Desc. A. Resid. (Cuitzillo)	Residual	0.999	29/05/09	16:30	0.140	29/05/09	17:30	0.570	7.136	0.304875	1.67
811636	2250001		Desc. A. Resid.1 (Colector de Zinaparo)	Residual	0.263	29/05/09	13:00	0.136	29/05/09	16:00	0.200	1.934	0.049875	----
812650	2248585		Los Ayala	Residual	0.306	22/05/09	10:30	0.125	22/05/09	16:30	0.216	2.448	0.143125	----
190708	2252191		Desc. A. Resid. 1(Zaragoza)	Residual	0.83	23/05/09	19:00	0.211	23/05/09	13:00	0.521	3.934	0.535625	0.83
810780	2253114		Desc. Puente de cuota	Residual	0.220	26/05/09	10:00	0.104	26/05/09	16:00	0.162	2.115	0.1425	----
812531	2253814		Desc. A. Resid. 2 dom y porc(frente al Dren de alivio)	Residual	0.220	26/05/09	10:30	0.104	26/05/09	16:30	0.162	2.115	0.1425	1





IV.2.4. PARÁMETROS A ANALIZAR

Considerando por un lado los parámetros incluidos tanto en las NOM como en el ICA y por otro los parámetros necesarios para hacer el diseño de la planta de tratamiento de agua residual en la zona se decidió analizar los siguientes parámetros en laboratorio. Estos análisis se llevaron a cabo en un laboratorio que tiene certificación para realizar estos análisis.

Tabla IV. 9. Parámetros a analizados con las respectivas normas mexicanas.

PARÁMETRO	TIPO DE MUESTRA		UNIDAD DE MEDICIÓN	NORMATIVA
Temperatura	Puntual	en campo	°C	NMX-AA-007-SCFI-2000
Ph	Puntual	en campo	unidades de pH	NMX-AA-008-SCFI-2000
Conductividad	Puntual	en campo	µs/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
DQO	Compuesta	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-030-SCFI-2001
DBO	Compuesta	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001
DBO Soluble	Compuesta	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001*
Sólidos Sedimentables	Puntual	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-004-SCFI-2000
Sólidos Suspendidos Volátiles	Puntual	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Suspendidos Totales	Puntual	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
Grasas y Aceites	Compuesta	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-005-SCFI-2000
Nitrógeno Amoniacal	Compuesta	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001
Nitrógeno Total Kendall	Compuesta	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001
Cloruros	Compuesta	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-073-SCFI-2001
Fósforo	Compuesta	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001
Fósforo Soluble	Compuesta	en laboratorio	mg/L	NMX-AA-029-SCFI-2001
Coliformes Totales	Compuesta	en laboratorio	NMP/100mL	NOM-003-SEMARNAT
Coliformes Fecales	Compuesta	en laboratorio	NMP/100mL	NOM-003-SEMARNAT
Huevos de Helminto	Compuesta	en laboratorio	unidades/L	NOM-003-SEMARNAT

*El patrón empleado es sodium dodecyl bencene sulfonate pm 348,59 g/mol





Figura IV. 4. Mapeo de los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) de acuerdo a lo establecido por las NOM.

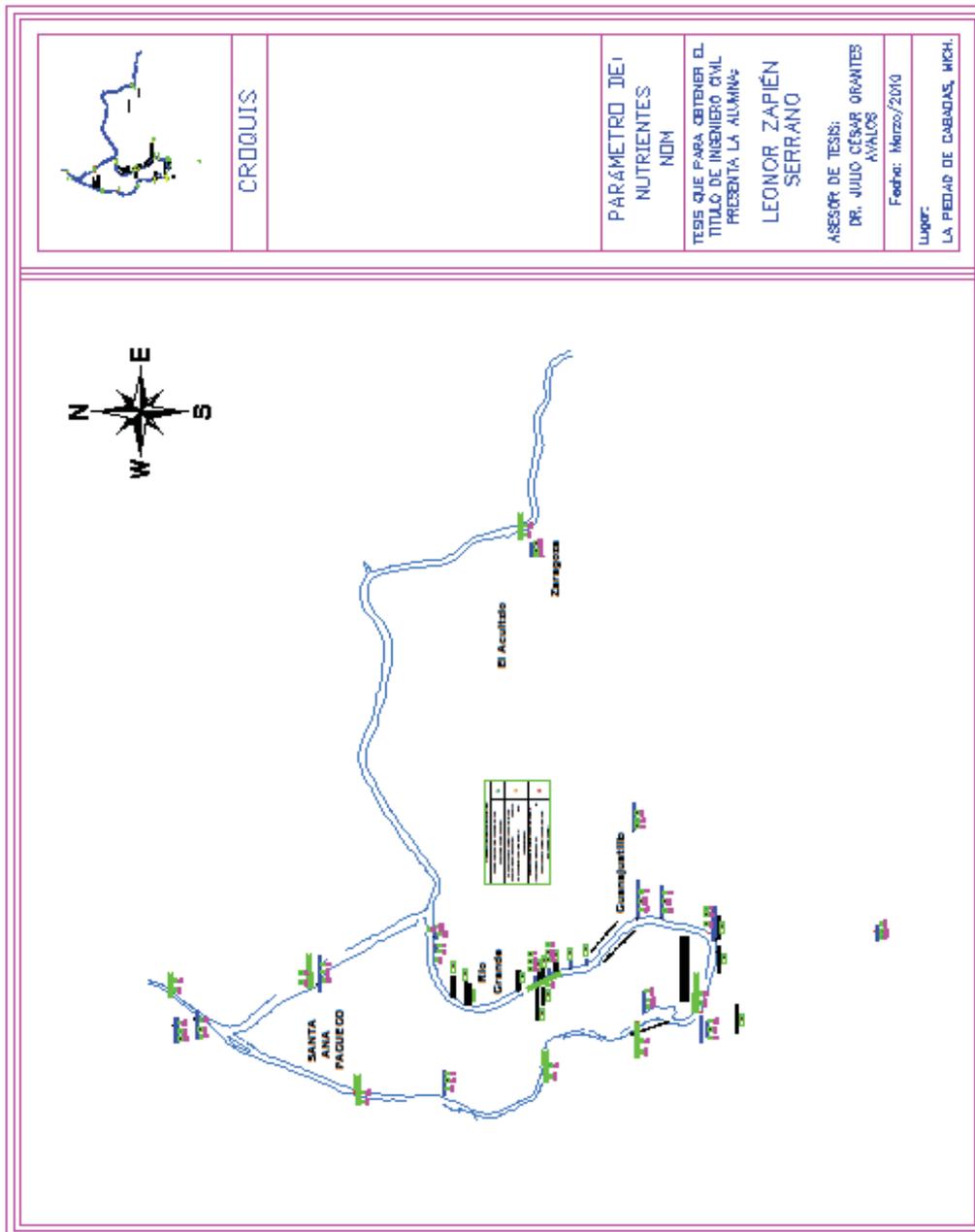
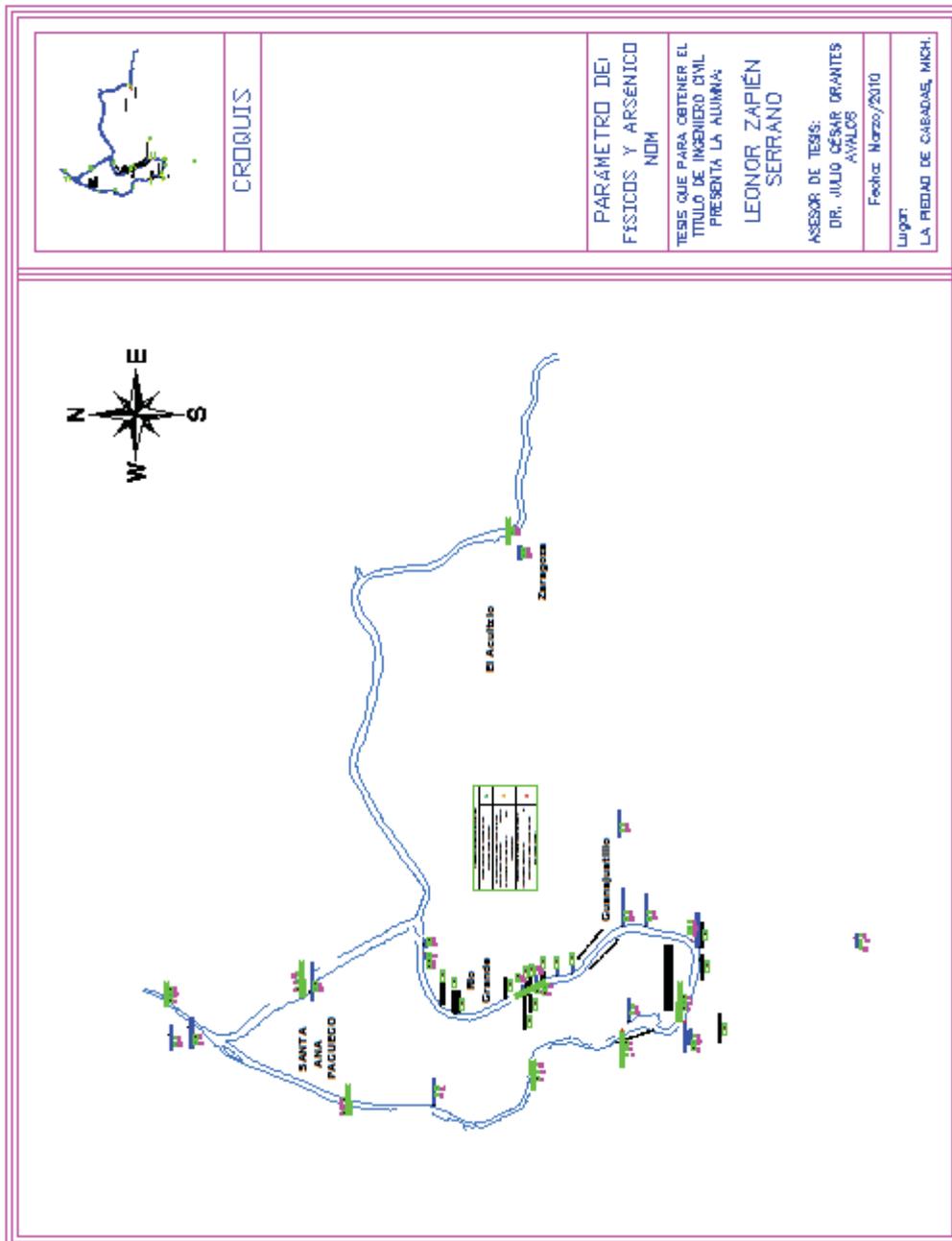




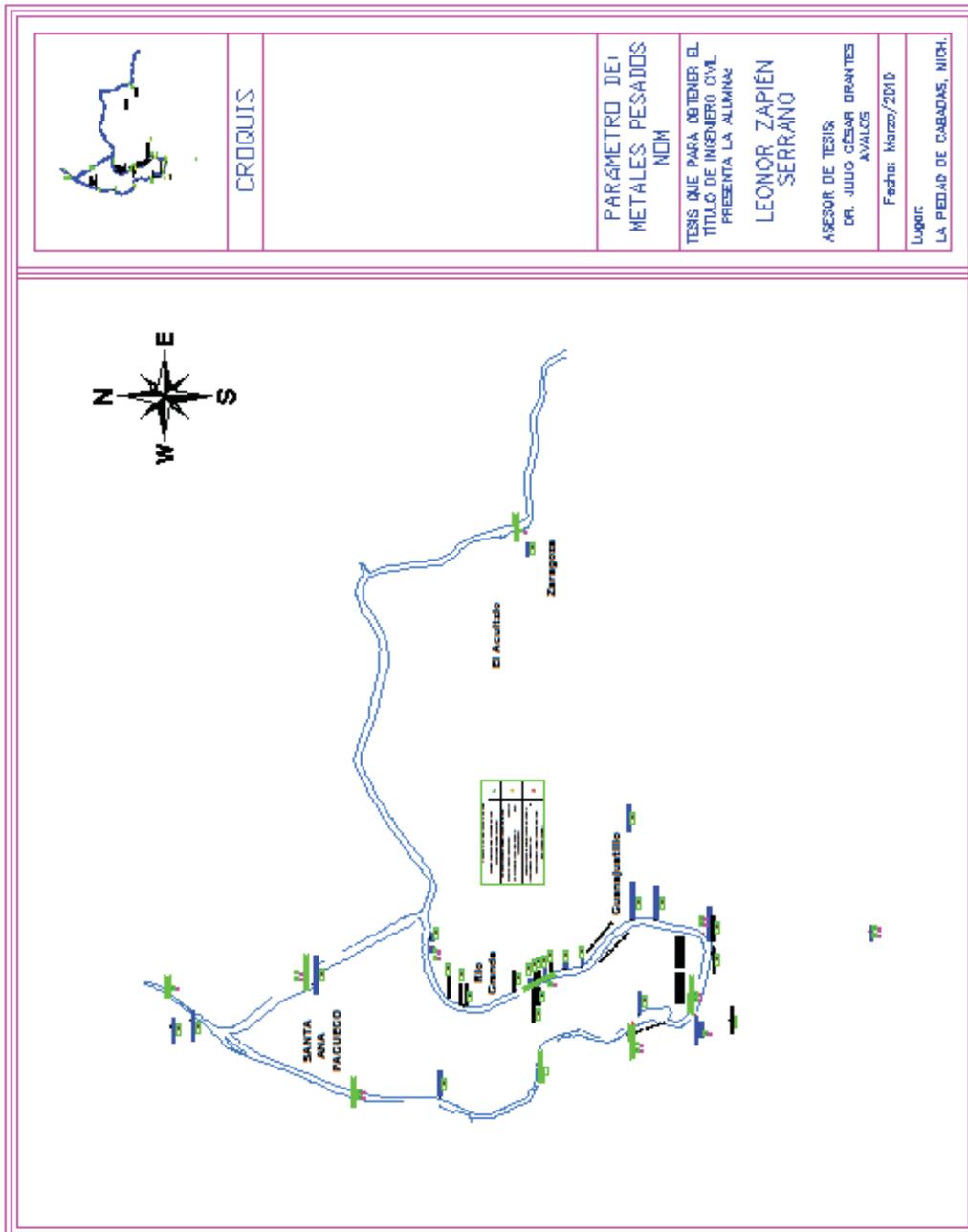
Figura IV. 5. Mapeo de los parámetros fisicoquímicos y de Arsénico de acuerdo a lo establecido por las NOM.





CAPÍTULO IV.- CARACTERIZACIÓN DE LAS DESCARGAS

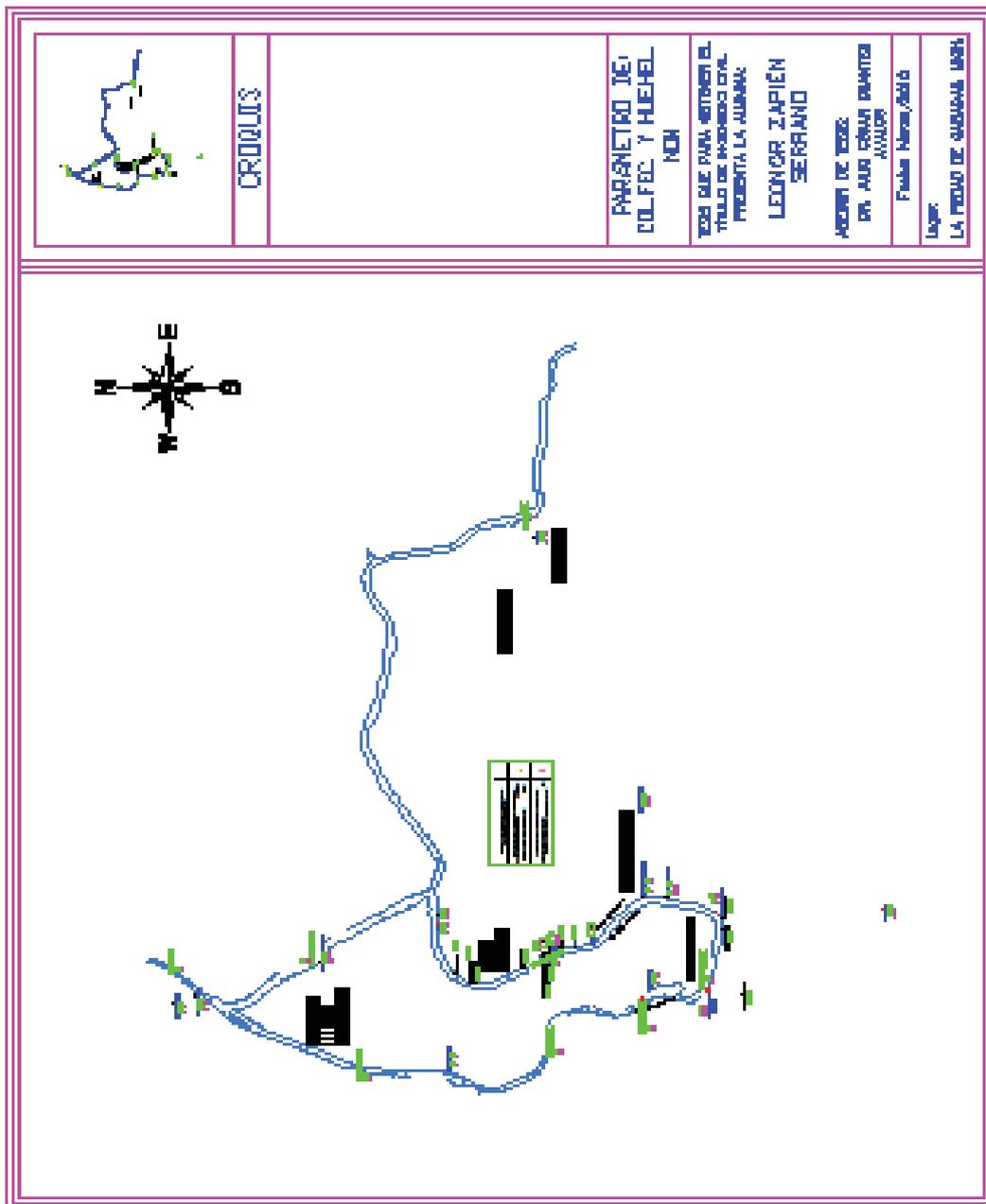
Figura IV. 6. Mapeo de las concentraciones de metales pesados de acuerdo a lo establecido por las NOM.





CAPÍTULO IV.- CARACTERIZACIÓN DE LAS DESCARGAS

Figura IV. 7. Mapeo de los parámetros microbiológicos de acuerdo a lo establecido por las NOM.





En los puntos de interés que se localizan alrededor del meandro, se obtuvieron los siguientes resultados en los distintos parámetros señalados en las normas oficiales mexicanas NOM-001 inciso B: uso público urbano, NOM-001 inciso C: protección de vida acuática, NOM-003 y los límites marcados por CONAGUA. Para facilitar el análisis de estos resultados se dividió el meandro se puede dividir cinco zonas, de acuerdo a las comunidades en las que se encuentran: Zona Santa Ana Pacueco, Zona Cuatro Milpas, Zona de Guanajuatillo, Zona Río Grande y Zona Zaragoza (estas zonas están indicadas en los mapeos).

- ❖ Para el parámetro de sólidos suspendidos totales (SST) en la NOM-001 inciso B y la NOM-001 inciso C, se observa que el problema persiste en las descargas y en este caso también a lo largo del cauce, ya que en este sólo se cumple con la NOM-001 inciso B, por lo que es conveniente tratar de igual manera las descargas y el cauce en la planta de tratamiento.
- ❖ Para el parámetro de sólidos sedimentables (SS) la mayoría de las descargas cumplen con lo establecido en la NOM-001 inciso C exceptuando las siguientes: Puente Cuota, Frente al Dren de Alivio, Melchor Ocampo y Zaragoza.
- ❖ Para el parámetro de Nitrógeno Total, se observa que las descargas con mayor grado de concentración se encuentran sobre el dren de alivio del meandro. El proceso que se llevara a cabo para la eliminación de Nitrógeno se analizará con más detalle en el tren de tratamiento.
- ❖ En el parámetro del Fósforo en la NOM-001 inciso B y la NOM-001 inciso C, las descargas que cumplen con las dos normas son: Río Grande 4,





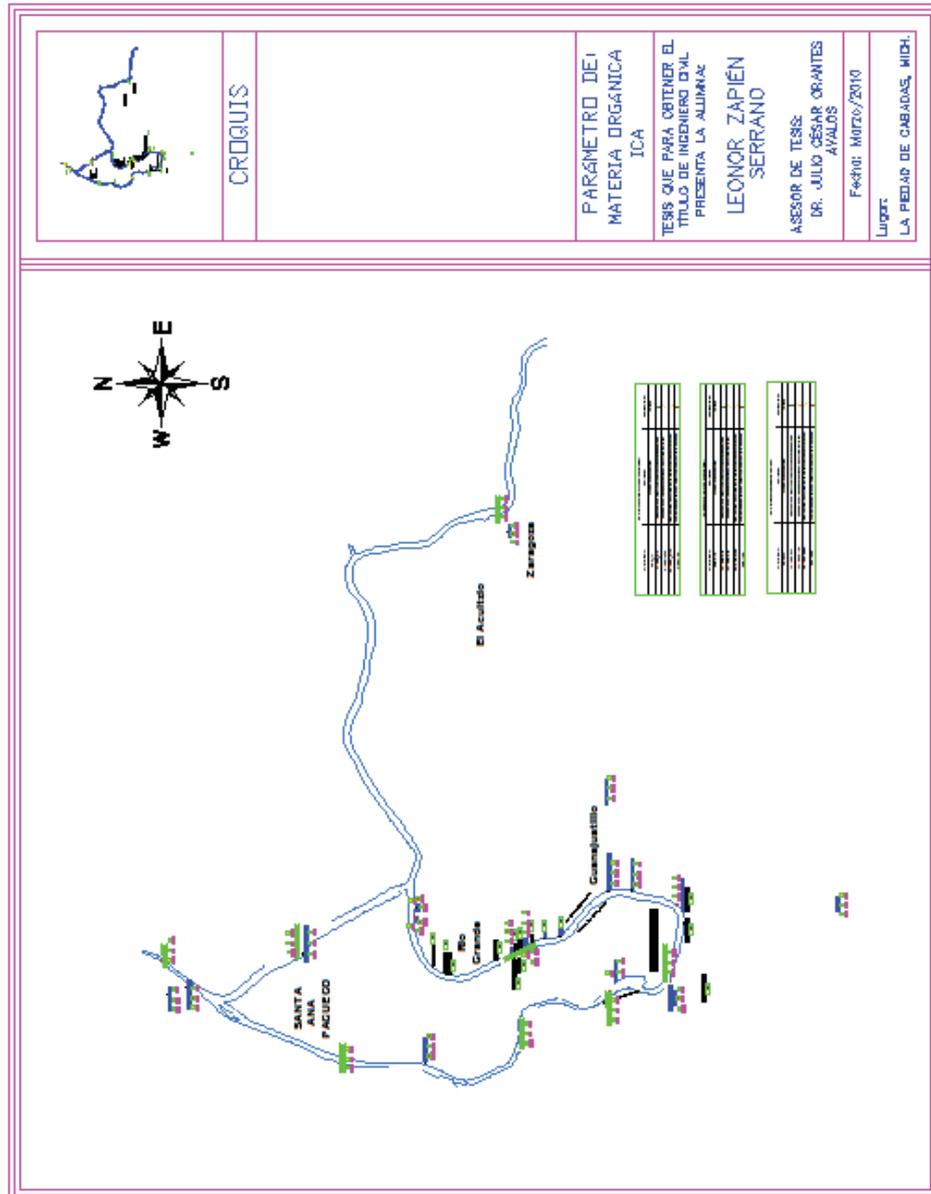
Guanajuatillo coladera, Guanajuatillo canal, Cuitzillo y Los Ayala. Las demás descargas solo cumplen con la NOM-001 inciso B.

- ❖ Los análisis de coliformes fecales en el sitio PTAR muestran que el agua está muy contaminada el agua, sin embargo descarga PTAR salida está dentro de la NOM-001. Esto nos permite darnos cuenta de que es necesario la implementación de nuevas plantas de tratamiento de agua en la zona y que tengan una adecuada operación para lograr restablecer la calidad del agua del cauce.
- ❖ La zona de Casto Saldaña en la Zona Río Grande resultó el que presenta mayores concentraciones de contaminantes.
- ❖ Se detectaron concentraciones de arsénico en las descargas, por lo que es de vital importancia la eliminación de este elemento mediante el proceso de floculación-coagulación, que se incluirá en el tren de tratamiento.
- ❖ Se encontraron relaciones DQO/DBO de valores cercanos a 2, que implican que hay una presencia importante de materia orgánica difícilmente biodegradable.
- ❖ Respecto a los metales pesados se tiene que el único punto en donde se detectó la presencia de cadmio es en la zona de Santa Ana Pacueco en el sitio El Malecón, sin embargo la descarga cumple con la NOM-001 inciso B y con la NOM-001 inciso C con una concentración de 0.053 mg/L. Las concentraciones de Cromo y Zinc se encontraron en algunas descargas, pero las concentraciones cumplen con las normas. Por otro lado, no se detectó en ningún punto la presencia de mercurio y níquel.





Figura IV. 8. Mapeo de los parámetros correspondientes a la materia orgánica de acuerdo a lo establecido por las ICA.





- ❖ En el parámetro de demanda química de oxígeno (DQO), para el que no se establecen límites máximos permisibles en las normas, pero entra en la clasificación establecida por el ICA; los resultados muestran que los valores de DQO son mucho los valores de DBO para las descargas y para el cauce. El promedio de la relación DQO/DBO es igual a 2.02, por lo cual existe la presencia de materia orgánica de difícil biodegradación, por lo cual se debe identificar y aislar los contaminantes difícilmente biodegradables para garantizar su adecuada eliminación durante el proceso biológico. Las concentraciones de materia orgánica indican que es conveniente tratar estas descargas directamente en la planta de tratamiento de agua residual para controlar el excedente de materia orgánica con procesos más eficientes, ya que aunque en el cauce se observa que los contaminantes de dichas descargas se diluyen, esto no resuelve el problema constante de contaminación que se tiene en el meandro.
- ❖ Observando los resultados de sólidos suspendidos totales y de acuerdo con los límites establecidos por CONAGUA, los puntos muestreados sobre el cauce se clasifican como “crudas”, a pesar de que las concentraciones no son tal elevadas por el efecto de dilución. Esto obviamente es congruente con la gran cantidad de descargas de aguas residuales sin tratamiento que llegan al cauce del meandro.





CAPITULO V.- ESTRATEGIA DE GESTIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

V.1. ESTRATEGIA GENERAL PARA LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA E INDUSTRIAL

Si el hombre quiere una sociedad sustentable necesita lograr nuevamente el equilibrio entre sociedad, medio ambiente y economía, iniciando por la conceptualización y el diseño del medio ambiente, incluyendo los espacios en que habitamos para lograr una mayor convivencia con el medio natural y social y al mismo tiempo fomentar la sustentabilidad energética y alimentaria, así como mejorar la calidad de vida de la población por medio de la estética en la vivienda, la gestión integrada del agua, al igual que el manejo sustentable de los recursos naturales y una gestión adecuada de los residuos que generamos como sociedad. Con base en estas consideraciones y en los resultados de caracterización se plantean las siguientes líneas de acción con objeto de mejorar la gestión (Zapién *et al.*, 2009) de las aguas residuales en la población de estudio:

- Se deberán hacer las gestiones necesarias para que las descargas de aguas residuales de tipo agroindustrial descarguen conforme a la NOM aplicable dependiendo de si las descargas son directamente al meandro o al alcantarillado sanitario.
- Deberán iniciarse programas de concientización para implementar programas de orientación y apoyo al rector agroindustrial para reemplazar el uso de fertilizantes químicos por fertilizantes orgánicos. Gestionar el reuso de los lodos producto del tratamiento de aguas residuales para este objeto, previo tratamiento de dichos lodos.





- Captar las descargas de aguas residuales del brazo Oeste del meandro que aún no son están siendo y conectarlas al colector marginal de La Piedad que va por la margen izquierda del mismo tramo para conducir las a la PTAR de La Piedad, Michoacán.
- Rehabilitar y poner en operación la PTAR de la población de Santa Ana Pacueco para tratar adecuadamente las aguas residuales de dicha población, captando además las descargas de la margen derecha del brazo Este del meandro.
- Construir un colector marginal en el tramo del Dren de alivio, y mandar estas descargas a la PTAR de La Piedad.
- Construir un colector marginal al meandro sobre la margen izquierda del brazo Este, para captar las descargas de aguas residuales desde Río Grande hasta Cuitzillo.
- Construir una PTAR cerca de las márgenes del arroyo Zináparo para tratar tanto las aguas captadas en el colector del brazo Este del cauce, como las descargas de aguas residuales de la zona de crecimiento poblacional también ubicada al Sur del Meandro y que ya cuenta con un colector que descarga al meandro junto al arroyo Zináparo. Se propone el siguiente tren de tratamiento: tamizado grueso, desarenador, trampa de grasas y aceites, tres reactores (anaerobio, anóxico y aerobio), sedimentador secundario, cloración y para el tratamiento de los lodos residuales: digestor, acondicionamiento químico, filtro prensa y lechos de secado.





V.2. SELECCIÓN DEL TREN DE TRATAMIENTO

Como parte de la estrategia de saneamiento y con base en los alcances del proyecto de saneamiento en el que se enmarca este proyecto se tiene contemplado el diseño de la PTAR de Cuitzillo el cual incluiría los siguientes procesos:

En el pretratamiento se debe colocar un tamizado grueso para retener los desechos de mayor tamaño que puedan afectar el proceso, un desarenador para evitar que los materiales finos alteren las eficiencias de las tanques, también se deba colocar una trampa de grasas y aceites, ya que en los resultados se observó la presencia de grasas en la mayoría de las descargas y estas afectan el proceso biológico de las bacterias.

Posteriormente, en el tratamiento primario se debe eliminar la presencia de arsénico que está presente en gran parte de las descargas, por medio de un tanque de coagulación-floculación; en conjunto con un sedimentador primario. Se deberá tratar individualmente los lodos de este sedimentador debido a la presencia de arsénico, para su disposición final. La remoción de Arsénico también va a permitir tener mayores eficiencias en el proceso de tratamiento secundario.

En el tratamiento secundario se contemplan reactores biológicos anaerobios, anóxico y aerobio. Se hizo esta selección en la secuencia de tanques con objeto de eliminar tanto materia orgánica como nutrientes presentes en las descargas analizadas. Estos procesos deben ir acompañados del sedimentador secundario.

Finalmente, después del proceso de tratamiento secundario se incluye el proceso de desinfección.

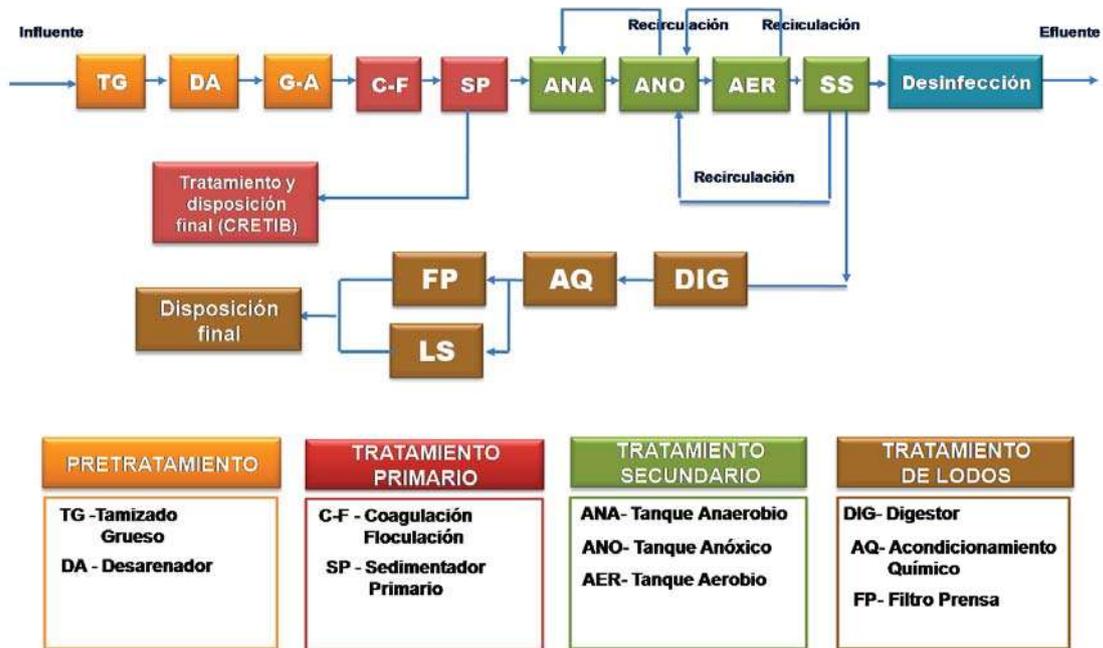
Por otro lado se implementará el tratamiento de lodos, que consta de un digestor, un tanque de acondicionamiento químico, un filtro prensa y lechos de





secado, este ultimo para evitar que el proceso se vea afectado cuando los filtros no estén en funcionamiento por mantenimiento.

Figura V. 1. Propuesta de tren de tratamiento para la PTAR de Cuitzillo.





CAPITULO VI.- CONCLUSIONES

- Los problemas de contaminación en el meandro de la Piedad en el Río Lerma, además de la afectación al medio ambiente están ocasionando graves problemas de salud pública. Resulta muy importante seguir las acciones de saneamiento propuestas en este trabajo, así como la construcción de la PTAR.
- También es importante mencionar que las acciones aquí mencionadas deben ser complementadas evitando el uso de agroquímicos contaminantes que de igual forma contaminan el medio ambiente y el recurso agua e impactan negativamente la salud de la población.
- Es necesario mantener un programa permanente de monitoreo donde se incluyan parámetros fisicoquímicos, biológicos y de toxicidad que sirvan como base para conocer los cambios en la calidad del agua en el cauce.





CAPITULO VII.- REFERENCIAS

BROWN, R. (1973). Water Quality Index. Application in the Kansas River Basin. Ohio: McCLELAND.

CIIDIR, C. I. (2004). Caracterización y diagnóstico del ecosistema del Río Lerma en el área de La Piedad Michoacán; enfocado a la formulación del Plan Maestro de Manejo y Saneamiento. La Piedad.

CIIDIR, C. I. (2009). Evaluación física, química y biológica del río Lerma (meandro), a la altura de la Cd. de La Piedad.

Commons, Creative. (2009). Ingeniería de Aguas Residuales. Florida.

CONAGUA, C. N. (2008). Estadísticas del agua en México (Primera ed.). México, DF: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAMA, C. N. (2008). Tratamiento avanzado de aguas residuales para riego. México, DF: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

FWS, F. W. (2009). Wastewater treatment and use in agriculture. Roma, Italia: FAO.

Gob. del Edo. (2009). Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo. Morelia.

Jalisco, I. d. (19 de Marzo de 2008). Continúa en La Piedad plan para sanear Río Lerma . Sur de Jalisco .

METCALF & EDDY, I. (1998). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización. (Segunda ed.). Madrid: Mc Graw Hill.

Michoacán, G. d. (1999). Enciclopedia de los municipios de Michoacán. Recuperado el 30 de Junio de 2009, de Enciclopedia de los municipios de Michoacán.





Moscoso Cavallini, J., de la Torre, E., & Egocheaga, L. (9 de Febrero de 2009). Manual del usuario para la Formulación y Evaluación del Proyecto Integrado Informativa . Lima, Perú: CEPIS-PAHO.

Orantes Avalos, J. C. (2009). Tipos de plantas de tratamiento de agua y sus aplicaciones. Apuntes del curso de "Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Reiduales", Facultad de Ingeniería Civil, UMSNH, Morelia, Michoacán.

Quintero Angel, A. (2007). Evaluación preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de la Tebaida Quindío (Primera ed.). Colombia: Mc Graw Hill.

Robin, & Demant. (1975). Tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales. Bogotá.

Ponce Saavedra, J. y Orantes Avalos, J.C. Recuperación ecológica y desarrollo sustentable. Identidad, Suplemento Universitario de Ciencia, Arte y Cultura; La Voz de Michoacán 2 (51), publicado el 4 de junio de 2008.

SEMARNAT, S. d. (2009). Normas Oficiales Mexicanas.

SNET. (2009). Servicio Nacional de Estudios Territoriales.

Zapién Serrano, L., Guzmán Chávez, A.R., Cortés Martínez, R. y Orantes Avalos, J.C. (2009). "Análisis de las descargas de agua residual en el meandro del Río Lerma en La Piedad, Michoacán". 5° Congreso Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Michoacán (COECYT), Morelia, Michoacán, 12 y 13 de Noviembre de 2009.

