



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD ZACATENCO
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTRADO E INVESTIGACIÓN

TESIS

**PLAN INTEGRAL DE SANEAMIENTO DEL RÍO CHICO
LOS REMEDIOS (TRAMO RINCÓN VERDE-LOMAS
VERDES)**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA

ING. MARÍA RITA VALLADARES RODRÍGUEZ

DIRECTORES:

M. en I. FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ
M. en C. ERASMO FLORES VALVERDE



MÉXICO D.F. A 23 DE FEBRERO DE 2012.



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**



SIP-14-BIS

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D. F., siendo las 13:00 horas del día 23 del mes de febrero del 2012 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A.-U.Z. para examinar la tesis titulada:

"PLAN INTEGRAL DE SANEAMIENTO DEL RÍO CHICO LOS REMEDIOS (TRAMO RINCÓN VERDE-LOMAS VERDES)".

Presentada por el alumno:

Valladares
Apellido paterno

Rodríguez
Apellido materno

María Rita
Nombre(s)

Con registro:

B	0	4	1	3	2	7
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

M. en I. Felipe López Sánchez

M. en C. Erasmo Flores Valverde

Dr. Víctor Manuel López López

M. en C. Jaime Roberto Ruiz y Zurvia Flores

M. en C. Ricardo Contreras Contreras

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



M. en C. Pino Durán Escarola
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN

NIRC/ogr.



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 23 del mes febrero del año 2012, el (la) que suscribe María Rita Valladares Rodríguez alumno (a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL con número de registro B041327, adscrito a Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U.Z., manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de M.EN I. FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ Y M. EN C. ERASMO FLORES VALVERDE y cede los derechos del trabajo intitulado PLAN INTEGRAL DE SANEAMIENTO DEL RÍO CHICO LOS REMEDIOS (TRAMO RINCON VERDE-LOMAS VERDES), al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección mariaritaam@gmail.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

MARIA RITA VALLADARES RODRÍGUEZ



• **ÍNDICE**

ABSTRACT	1
RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
Contaminación del agua	
Contaminación ambiental del agua en el Valle de México	
MARCO TEÓRICO	15
Antecedentes	
Planteamiento del Problema	
Justificación	
Objetivo general	
Objetivos específicos	
Hipótesis	
1 MUNICIPIO DE NAUCALPAN DE JUÁREZ	20
1.1. Ubicación	
1.2 Historia	
1.3 Población	
1.4 Economía	
1.5 Hidrología	
1.6 Geología	
1.7 Climatología	
2 METODOLOGÍA	34
2.1 Material y Métodos	
2.2 Selección de los puntos de muestreo	
2.3 Muestreo de las aguas del río	
2.4 Análisis de la calidad del agua del río	
2.4.1 Parámetros de Campo: pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto.	
2.4.2 Parámetros fisicoquímicos: DBO ₅ , DQO, Cianuros, Substancias activas al azul de Metileno, Grasas y aceites, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables	
2.4.3 Metales Pesados: Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Níquel, Plomo, Mercurio y Zinc	
2.5 Normatividad de Referencia para el estudio del Tiradero de RSU “Rincón Verde”	
2.5.1 Análisis de Lixiviados: pruebas de campo, metales pesados, análisis fisicoquímico y análisis	
PLAN INTEGRAL DE SANEAMIENTO DEL RÍO CHICO LOS REMEDIOS	
María Rita Valladares Rodríguez	

microbiológico.

Análisis del acuífero, como indicador del nivel de contaminación de: calidad del agua

Análisis de suelo

3 DIAGNÓSTICO DEL ENTORNO	43
3.1 Determinación de la influencia del tiradero	
“Rincón Verde” en la contaminación del río.	
3.1.1 Estudios de permeabilidad y tipo de suelo	
3.1.2 Análisis de lixiviados	
3.2 Influencia del entorno urbano en la contaminación del río	
3.2.1 Análisis de descargas de aguas residuales municipales	
3.3 Influencia del entorno industrial en la contaminación del río	
3.3.1 Análisis de descargas de aguas residuales industriales	
4 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DEL RÍO	66
4.1 Normatividad de Referencia para el estudio de las aguas de río, aguas residuales	
4.2 Selección de Puntos de Muestreo	
4.3 Muestreo	
4.4 Análisis de Laboratorio	
5 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA HIDROLÓGICO	89
5.1 Detección de los parámetros que afectan la calidad del agua del río	
5.2 Detección de las principales fuentes generadoras de contaminantes del río.	
6 PROPUESTA DEL SISTEMA DE PREVENCIÓN Y REMEDIACIÓN	94
6.1 Estudios del agua	
6.1.2 Pruebas de tratabilidad	
6.1.3 Propuesta del tren de tratamiento	
7 ELABORACIÓN DEL PLAN INTEGRAL DE TRATAMIENTO	110
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
ANEXOS	120
TABLAS DE RESULTADOS	

GLOSARIO

134

BIBLIOGRAFIA

146

ÍNDICE DE TABLAS

T.1. Relación de obras hidráulicas prehispánicas en el sistema Lacustre del Valle de México

T.1.3.1 Estadística de población y educación

T.1.2 Estadística de salud, vivienda y asentamientos humanos

T.1.3 Unidades económicas y personal empleado

T.1.4 Estadística económica

T.2.1 Condiciones de manejo de las muestras para su análisis

T.3.1.1 Volumen teórico de agua que penetra por día de acuerdo al tipo de material de cubierta

T.3.1.2.1 Datos de aforo de las descargas de los lixiviados del relleno sanitario de Santiago Teplatxco, en Rincón Verde

T.3.1.2 Hoja de resultados del análisis de lixiviados del relleno sanitario de Santiago Teplatxco (Rincón Verde)

T.3.1.3 Composición típica de lixiviados

T.3.1.4 Tabla de la norma NOM-052-SEMARNAT-2005

T.3.3.1 Análisis de agua residual descargada en el Río Chico-Los Remedios en el punto de la calle de Ayles

T.4.2.1 Puntos de muestreo de los cuerpos de agua del Río Chico-Los Remedios y tributarios

T.4.2.2 Características de los puntos de muestreo del ecosistema en estudio



T.5.1. Resultados de los análisis de los metales pesados en sedimentos de la presa La Colorada

T.5.2. Resultados de los análisis de los metales pesados en sedimentos de la presa La Colorada

T.5.3 Resultados de los análisis de los metales pesados en sedimentos de la presa El Colorado

T.5.4 Resultados de los análisis de los metales pesados en sedimentos de la presa El Colorado

T.5.5 Resultados de los análisis de los metales pesados en sedimentos de la presa Tenanatongo

T.5.6 Resultados de los análisis de los metales pesados en sedimentos de la presa Tenanatongo

T.6.1.2.1 Resultados del experimento 1 del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.1a Resultados del porcentaje de remoción después del tratamiento anaerobio de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.2 Resultados del tratamiento en humedad de una muestra de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.2a Resultados del porcentaje de remoción de contaminantes después del tratamiento en el humedal

T.6.1.2.3 Resultados del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.3a Resultados del porcentaje de remoción de contaminantes después del tratamiento anaerobio de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.4 Resultados del tratamiento en humedal de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.4a Resultados del porcentaje de remoción de contaminantes después del tratamiento en humedal de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.5 Resultados del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.5a Resultados del porcentaje de remoción de contaminantes después del tratamiento anaerobio de agua del Río Chico-Los Remedios



T.6.1.2.6 Resultados del tratamiento aerobio de una muestra de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.6a Resultados del porcentaje de remoción de contaminantes después del tratamiento aerobio de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.7 Resultados del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.7a Resultados del porcentaje de remoción de contaminantes después del tratamiento anaerobio de agua del Río Chico-Los Remedios

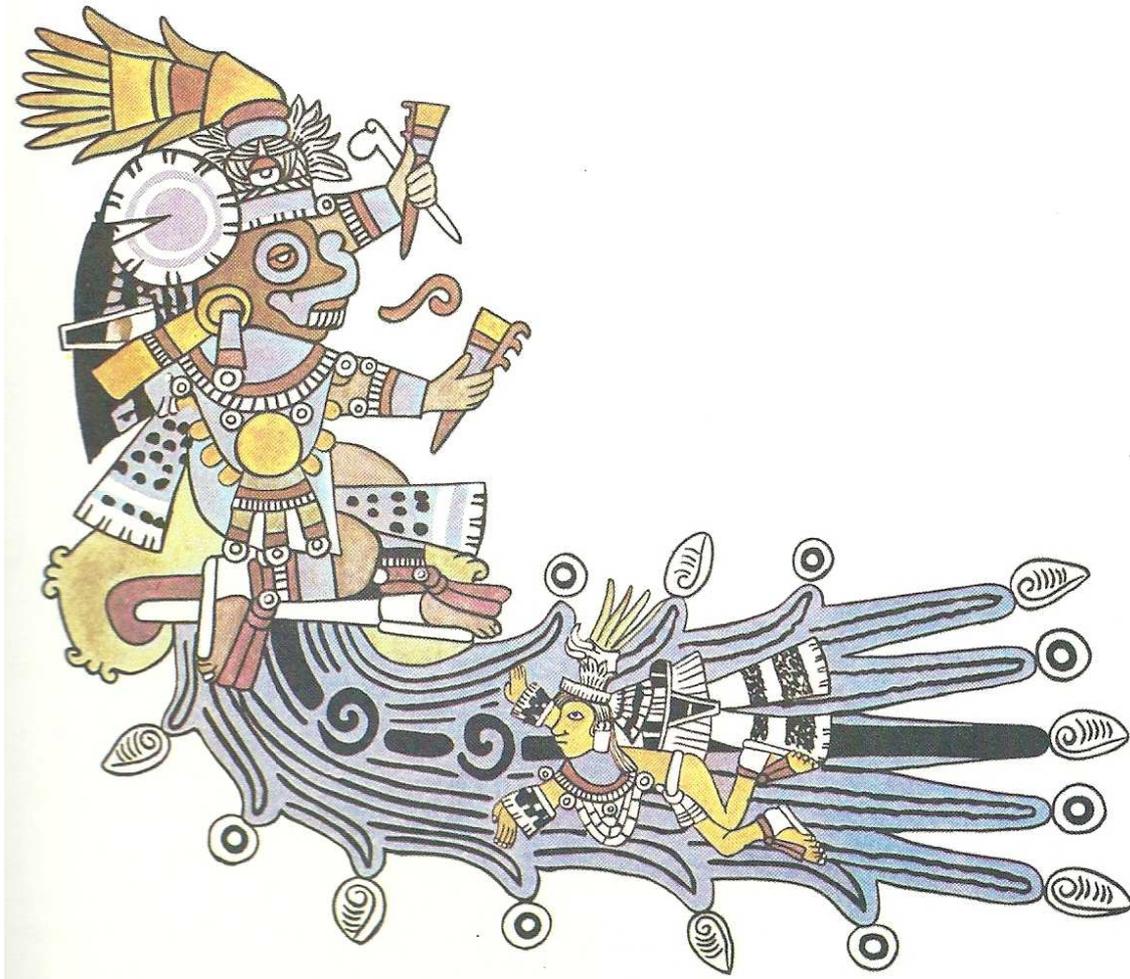
T.6.1.2.8 Resultados del tratamiento aerobio de una muestra de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.2.8a Resultados del porcentaje de remoción de contaminantes después del tratamiento aerobio de agua del Río Chico-Los Remedios

T.6.1.3.1 Consideraciones del tren de tratamiento propuesto para el agua residual del municipio de Naucalpan



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
MAestrÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



TLÁLOC, Dios de la lluvia; Códice Borbónico

Busca en el ritmo de la naturaleza
La armonía de tu espíritu.
Netzahualcóyotl.
Gerardo Cruickshank García



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



Gracias Señor Dios
Porque siempre me has acompañado
Y me has colmado de bendiciones

*Para mi amado Pueblo Mexicano
De manos de bronce, paja y sandía
A quien agradezco la enseñanza
Que pacientemente me dio a través de mis
Generosos, amados y respetados maestros.*

A un gran mexicano que con su gran luz
inspiró mi camino. Mi admiración, respeto y cariño por siempre
para usted **Ing. Gerardo Cruickshank García.**

A mi mamá doña Matilde y mis hermanas Martha y Elena
que acunaron mi niñez para que fuera dulce y serena.

Para mis amigos del alma



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
MAestrÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



EL MONTE Y EL RÍO

PABLO NERUDA

En mi patria hay un monte.
En mi patria hay un río.

Ven conmigo.

La noche al monte sube.
El hambre baja al río.

Ven conmigo.

Quiénes son los que sufren?
No sé, pero son míos.

Ven conmigo.

No sé, pero me llaman
y me dicen: "Sufrimos".

Ven conmigo.

Y me dicen: "Tu pueblo,
tu pueblo desdichado,
entre el monte y el río,

con hambre y con dolores,
no quiere luchar solo,
te está esperando, amigo".

Oh tú, al que yo amo,
pequeño, grano rojo
de trigo,
será dura la lucha,
la vida será dura,
pero vendrás conmigo.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



- **ABSTRACT**

The Integral Plan Sanitation Small River Remedies (Section Rincon-Lomas Verdes), is a study for to explain the current state that presents the ecosystem, where the rivers have been used as holding tanks.

Due to concerns lcontaminatios of aquifers by the presence of final disposal site open “Green“Green Corner” currently fitted out as Tepatlaxco Santiago Landfill, in the vicinity of San Mateo River (tributary of the Small River Remedies), test result are presented monthly during the period from 2005 to 2007, the laboratory study updated in January 2011, and water from a spring located at a distance of approximately 500 meters downstream of the disposal site, and found no evidence of aquifer contamination by leachate. This paper examines the water quality of the River San Mateo before joining the Small River Remedies also considers the quality of water in various parts of river free of intubated. The study includes environmental, social cultural, economic and governance, it is to articulate a proposal to develop a comprehensive plan of reorganization.



- **RESUMEN**

El Plan Integral de Saneamiento del Río Chico los Remedios (Tramo Rincón Verde Lomas Verdes), es un estudio que trata de explicar el estado actual que presenta el ecosistema, debido al manejo que se la ha dado desde la colonización, en donde los ríos han sido empleados como depósitos de aguas residuales.

Ante la preocupación de la presencia del sitio de disposición final a cielo abierto “Rincón Verde”, ahora acondicionado como Relleno Sanitario de Santiago Tepatlaxco, en la cercanía del Río San Mateo (tributario del Río Chico de los Remedios), se presentan resultados de análisis mensuales durante el periodo del 2005 al 2007, actualizados en enero del 2011, y del agua de un manantial, ubicado a una distancia aproximada de 500 m hacia abajo del sitio de disposición final, y no se encontraron indicios de contaminación del acuífero por lixiviados. El trabajo contempla el estudio de la calidad del agua del Río San Mateo en otros puntos antes de unirse al Río Chico de los Remedios; también se estudia la calidad del agua en diversos puntos del Río Chico de los Remedios, en donde aún se encuentra en forma superficial. Con las dimensiones ambientales, sociales, culturales, económicas y de gobernabilidad, se trata de articular una propuesta para elaborar un Plan Integral de saneamiento.



• INTRODUCCIÓN

Cuando la tierra primitiva se enfrió lo suficiente para que el agua presente en forma de vapor en la atmósfera pudiese condensarse, cayó la primera lluvia torrencial sobre el planeta; a su paso sobre la superficie terrestre ésta comenzó a disolver las sales minerales que se encontraban sobre la superficie terrestre. El agua recorría la tierra desde las regiones altas hacia las más bajas; de esta manera se formaron los ríos; el agua que viajaba por estos senderos terminaba su viaje hasta llegar a las oquedades que se encontraban en la tierra y se depositaba en éstas, constituyendo de esta manera los océanos (Lazcano, 1977).

Los antiguos filósofos, Aristóteles y Paracelso, establecieron que tanto los animales como los vegetales, por complejos que sean, se constituyen de elementos fundamentales que se repiten para formar sus organismos, actualmente se le conoce como *célula*, y es la unidad morfológica y fisiológica fundamental para constituir la estructura de todo ser vivo. Al realizarse estudios sobre la composición molecular de la célula se encontró que está constituida fundamentalmente por agua, entre 75-85% (Robertis, 1981). Este hecho explica la razón por la cual se ha observado desde tiempos inmemorables que la vida (en animales y plantas) surge con mayor facilidad a orillas de ríos y lagos, así como en cualquier sitio húmedo (Lazcano, 1977). El conocimiento de que las reacciones bioquímicas se llevan a cabo únicamente en medio acuoso, justifica científicamente la relación del agua y la vida.

El agua, el suelo, el aire y los seres vivos constituyen el *ecosistema* del cual el hombre forma parte, conformando un eslabón de una gran cadena; bajo esta perspectiva es fácil entender que cuando se presenta una alteración en cualquiera de sus elementos, las repercusiones se manifiestan en la totalidad del ecosistema, aunque con diferentes niveles de afectación, como puede observarse en la figura 1, en donde se representa el ciclo hidrológico.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



En el ciclo hidrológico se observa fundamentalmente el ascenso y descenso del agua, de la tierra a la atmósfera y viceversa, esta dinámica del agua se presenta gracias a la energía radiante que le provee el sol. El agua presente en los cuerpos de agua (ríos, lagos, mares, océanos, presas), así como parte del agua contenida en la vegetación, se evapora y evapotranspira respectivamente; cuando el agua asciende se enfría y condensa, disolviendo las partículas y gases que se encuentran a su paso, una vez que se encuentra en estado líquido conforma las nubes, que se precipitan en forma de lluvia cuando continúa la condensación. Parte del agua que cae sobre la superficie de la tierra alimenta la vegetación, el volumen de agua que escurre sobre los campos disuelve las sales minerales y todas las sustancias solubles presentes, depositándolas en el cuerpo de agua en donde descarga (Albert, 1997), una fracción del agua de lluvia se infiltra a través de las capas de la tierra y constituye los mantos freáticos. Otra parte del agua de lluvia alimenta los ríos, lagos, lagunas y demás cuerpos de agua.

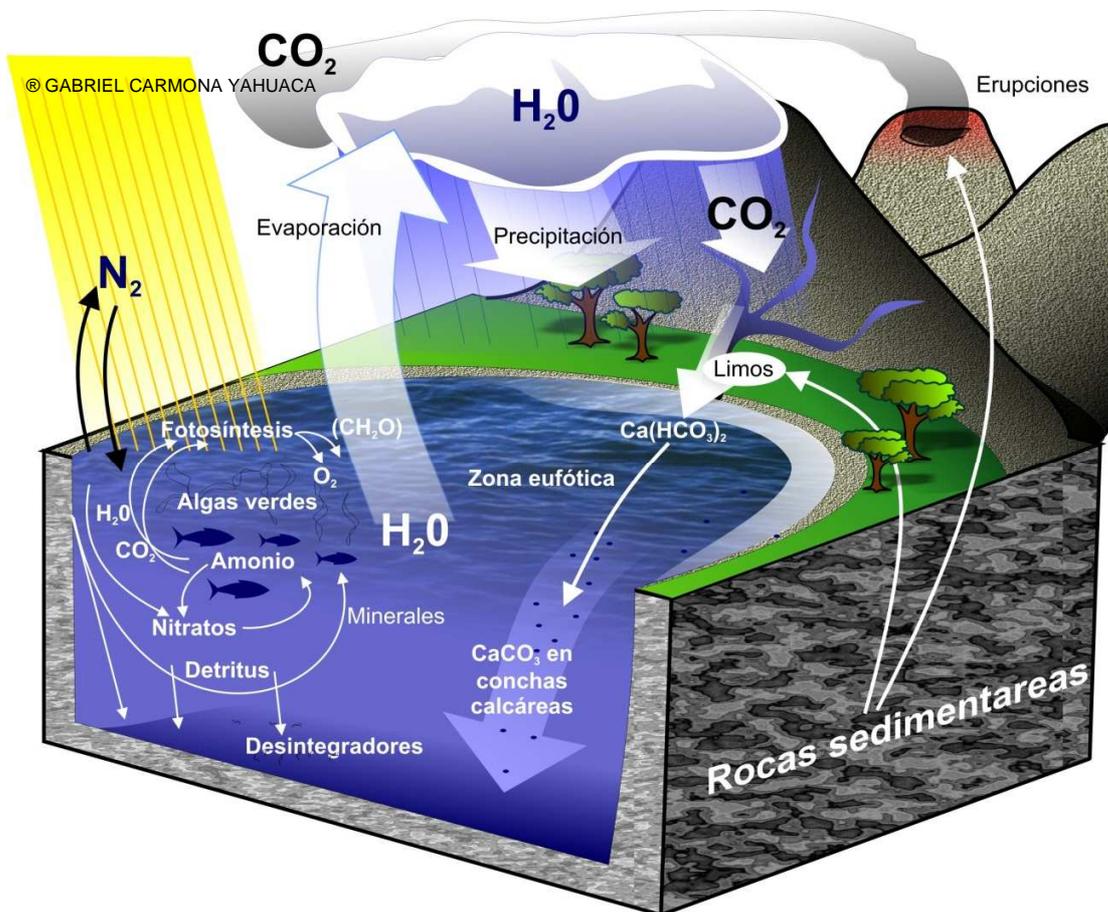


Figura. 1. Explicación de la importancia del ciclo hidrológico
Fuente: Cortesía de Gabriel Carmona Yahuaca.

El ciclo hidrológico muestra como los ecosistemas poseen su propia capacidad de autodepuración; lo que permitió que durante miles de años el hombre no tuviese que preocuparse por la presencia de las aguas residuales, ya que de acuerdo a las condiciones de vida propias de esa época, las aguas de desecho generadas presentaban dos características favorables para su depuración natural.

1. El mundo contaba con escasa población y por consiguiente la generación de desechos también lo era.
2. Los contaminantes presentes en el agua residual eran escasos, de baja concentración y de origen natural, por lo cual resultaban fácilmente biodegradables. De esta manera el



agua en su trayecto por el río mantenía un eficaz proceso de autodepuración. Es claro que se trata de una época en la cual no se contaba con las sustancias procedentes del desarrollo tecnológico como lo son los polímeros, los compuestos organoclorados, detergentes, entre otros. (Turk, 1973). En el siglo XX se alcanza el auge tecnológico, con la aparición de nuevos compuestos llamados xenobióticos, ya que son nuevas sustancias químicas procedentes de la actividad humana, es decir antropogénica (Albert, 1990); que al no ser biodegradables, algunos requieren de grandes periodos de hasta decenas de años para degradarse, como en el caso de los productos de poliestireno expandido (unicel) que tardan más de 100 años en biodegradarse, aunque si bien es cierto que los utensilios domésticos de este material han proporcionado gran comodidad al hombre, es innegable que los productos de poliestireno o sus desechos del proceso de producción industrial han contaminado el aire, el suelo y la tierra, con la consecuente ruptura de la armonía ambiental.

SITUACIÓN A NIVEL MUNDIAL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL AGUA

Actualmente se considera que en el mundo existen mil 700 millones de personas que sufren de escasez de agua (La Jornada, 2006), las causas a las que se atribuye el origen de este problema son:

La Explosión Demográfica, que por sí sola representa un serio agravante al problema de abasto del agua potable y a la generación de aguas residuales, al proporcionar más demandantes del preciado líquido y por lo tanto el incremento del volumen de aguas de desecho generadas. Se prevé que en los países pobres se generará el 90% del aumento demográfico y se pronostica para el año 2025 doblar la población que se estima será superior a 15 000 millones de habitantes (U.S.Census Bureau, 2012). La explosión demográfica trae otra grave consecuencia, necesidades de nuevos productos que en la mayoría de las ocasiones favorece la aparición de un mayor volumen y número de compuestos xenobióticos, que en los países pobres contaminan el agua y en general el medio ambiente, ya que la industria que los genera no adopta el uso de “tecnologías más limpias” sino que emplea la tecnología común, ya sea por desconocimiento, negligencia, falta de incentivos fiscales o por falta de vigilancia de las autoridades (debidas a falta de



capacitación del personal que inspecciona empresas o autoriza nuevas empresas, mala dirección y/o falta de personal), por lo cual la contaminación se incrementa.

La Sobreexplotación de la Tierra y su Cambio de Uso, la sobreexplotación de la tierra empobrece el suelo, lo que significa que éste pierde sus constituyentes fundamentales para la nutrición y crecimiento de los cultivos. Ante este problema, desde hace varias décadas la estrategia que se ha seguido en los países pobres como una vía de solución al problema de las tierras agotadas, ha sido el uso excesivo de fertilizantes químicos que han dañado la tierra, al proveerla de otras sustancias que contribuyen a un daño mayor que el beneficio que se pretende dar a la tierra, además de que estos compuestos al igual que los herbicidas y plaguicidas impiden la fijación natural de nitrógeno atmosférico al suelo, trabajo que en forma natural usualmente realizan los microorganismos nativos de la tierra; ya que al cambiar la composición del suelo por el uso de fertilizantes químicos, plaguicidas y herbicidas, las propiedades fisicoquímicas del suelo se ven alteradas (pH, solubilidad, capacidad de intercambio iónico, composición), estos cambios inciden en los organismos inactivándolos al existir condiciones adversas, o en el peor de los casos destruyéndolos; lo cual impide la acción proveedora de nitrógeno de estos microorganismos.

El uso de compuestos químicos en la agricultura trae otra consecuencia al medio ambiente, la contaminación de ríos, manantiales, presas, y cualquier cuerpo de agua que recibe las aguas de escorrentía o de lluvia contaminadas por contacto con estos compuestos químicos. Las consecuencias negativas pueden ser mayores si el agua una vez que ha sido contaminada se infiltra por las capas de tierra, ya que es posible que contamine los mantos freáticos que abastecen el agua potable a la población.

El cambio de uso de suelo también causa un grave daño al ambiente, ya que si el suelo destinado a bosques o uso agrícola se destina a un uso diferente (pastoreo, construcción de viviendas y otros), se pierde la humedad de este ecosistema, se erosiona el suelo, y es posible que los ríos presentes se puedan secar; alterando así el ciclo hidrológico (Ludevid, 1997; PNUMA, 2000).



La Deuda Internacional, que es considerada como un factor de afectación del medio ambiente, debido a que se ha observado que los países con mayor deuda externa se ven obligados a recortar su presupuesto gubernamental, para poder pagar su deuda externa; lo cual trae como consecuencia que el presupuesto destinado a invertir en el restablecimiento del equilibrio ecológico resulte severamente reducido, este hecho permite explicar el por qué los países más pobres sufren el mayor deterioro ambiental. (PNUMA, 2000).

La Disponibilidad del Agua Dulce en el Mundo ha disminuido extremadamente, actualmente existen grandes extensiones de tierra, en donde no se dispone de agua, y también se presentan situaciones opuestas, con regiones en donde se encuentra en gran abundancia el vital líquido, como puede apreciarse en la figura 2.

Las causas de esta distribución tan desfavorablemente heterogénea son de dos tipos, naturales e inducidas; las causas inducidas se han incrementado en los últimos años, debido a la contaminación ambiental, que ha transformado regiones verdes en regiones áridas, con la consecuente pérdida de recargas de agua de acuíferos.

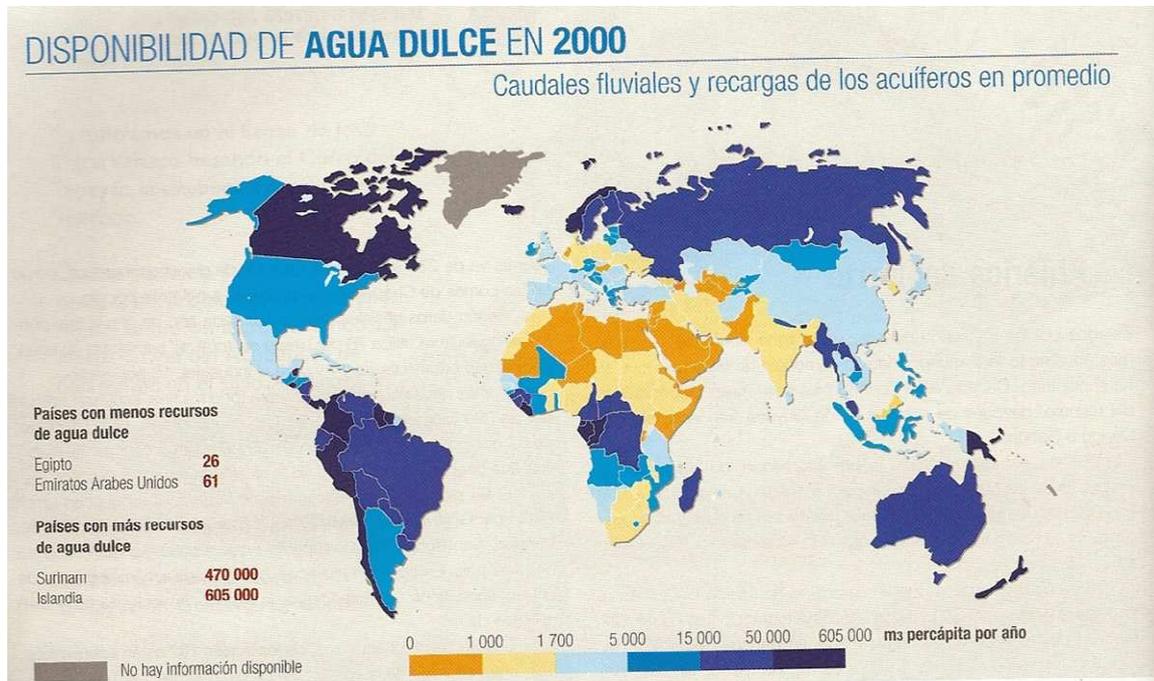


Figura. 2. Disponibilidad de Agua Dulce (Fuente: La Jornada, 2006).

La Extracción y consumo de Agua en el Mundo, se ha observado la tendencia a aumentar la extracción del agua para el abasto de la población (figura 3); preocupantemente se ha observado que en los países pobres ha disminuido la recarga de acuíferos, posiblemente propiciada por la disminución de la capacidad de infiltración del suelo, quizá promovido por la explosión demográfica que se presenta en estos países.

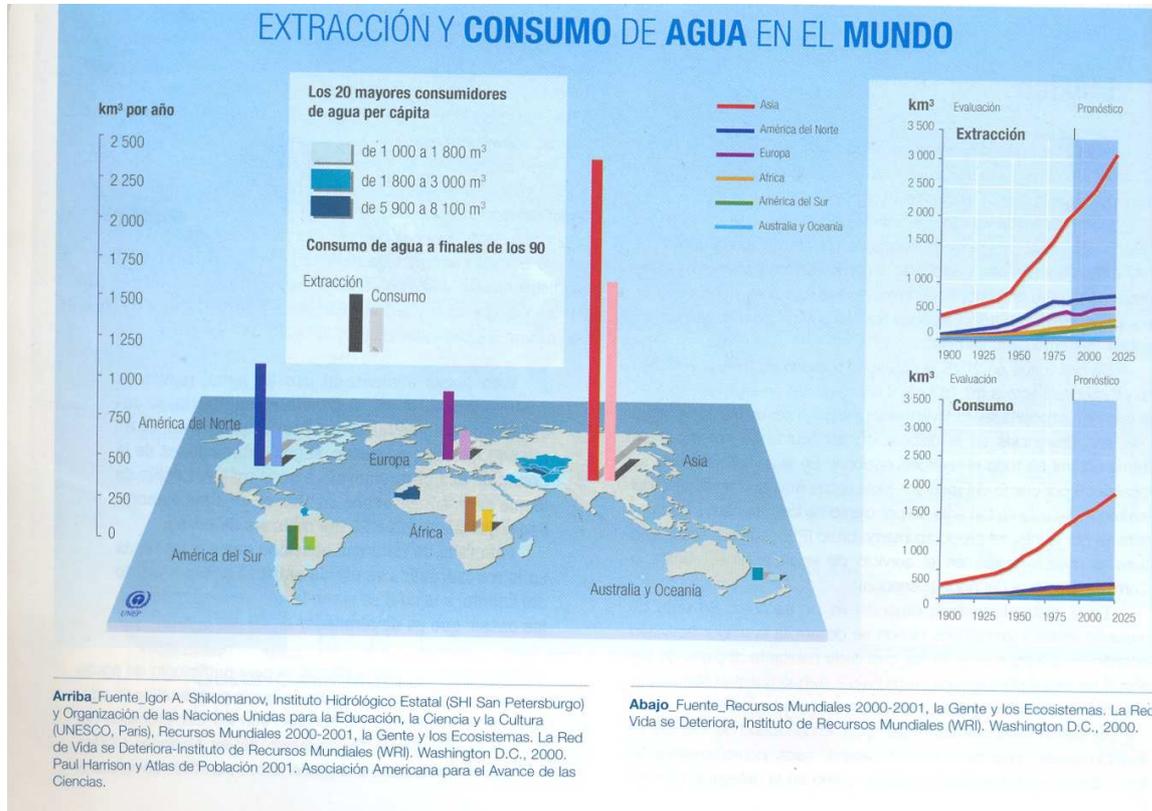


Figura. 3. Extracción y Consumo de Agua (Fuente:"Agua", La Jornada, 2006).

CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL AGUA EN EL VALLE DE MÉXICO

En nuestro México prehispánico el hombre y la naturaleza pudieron convivir armónicamente durante siglos (aunque existe el antecedente de lo ocurrido con la cultura Maya), en el Valle de México en donde la Cuenca lacustre localizada a *2240 metros sobre el nivel del mar* era el medio natural que les proveía su riqueza: agua dulce para su consumo y necesidades, productos acuícolas, cultivo de vegetales por una técnica agrícola proveniente del prodigioso ingenio de la civilización indígena, **la chinampa** (aportado por Xochimilco y otros pueblos ubicados en la ribera de los lagos), cuya técnica consiste en el cultivo de vegetales y hortalizas sobre una plataforma con redes vegetales a base de ramas y hierbas con una cubierta compactada de tierra. Esta forma de vida



revela un profundo conocimiento y respeto por el agua, mística de la civilización indígena (Valladares y Flores, 2006), que se desarrolló en una cuenca cuya superficie acuática media 1100 km^2 y era *alimentada por 48 ríos*, como puede apreciarse en la figura 4.

En el siglo XVI, bajo el dominio español, dio inicio el cambio sustancial del manejo del agua en la Cuenca del Valle de México, y con éste su morfología, ya que se dispuso desaparecer el agua superficial por tener una visión sobre el manejo del agua totalmente diferente, pues la consideraban un “problema”, además de considerar prioritario ganar espacio con el agua que se desaloja; lo cual en nuestros días ha conducido a tener una cuenca casi vacía en un periodo de 500 años (La Jornada, 2006; Legorreta, 2006), véase la figura 5.

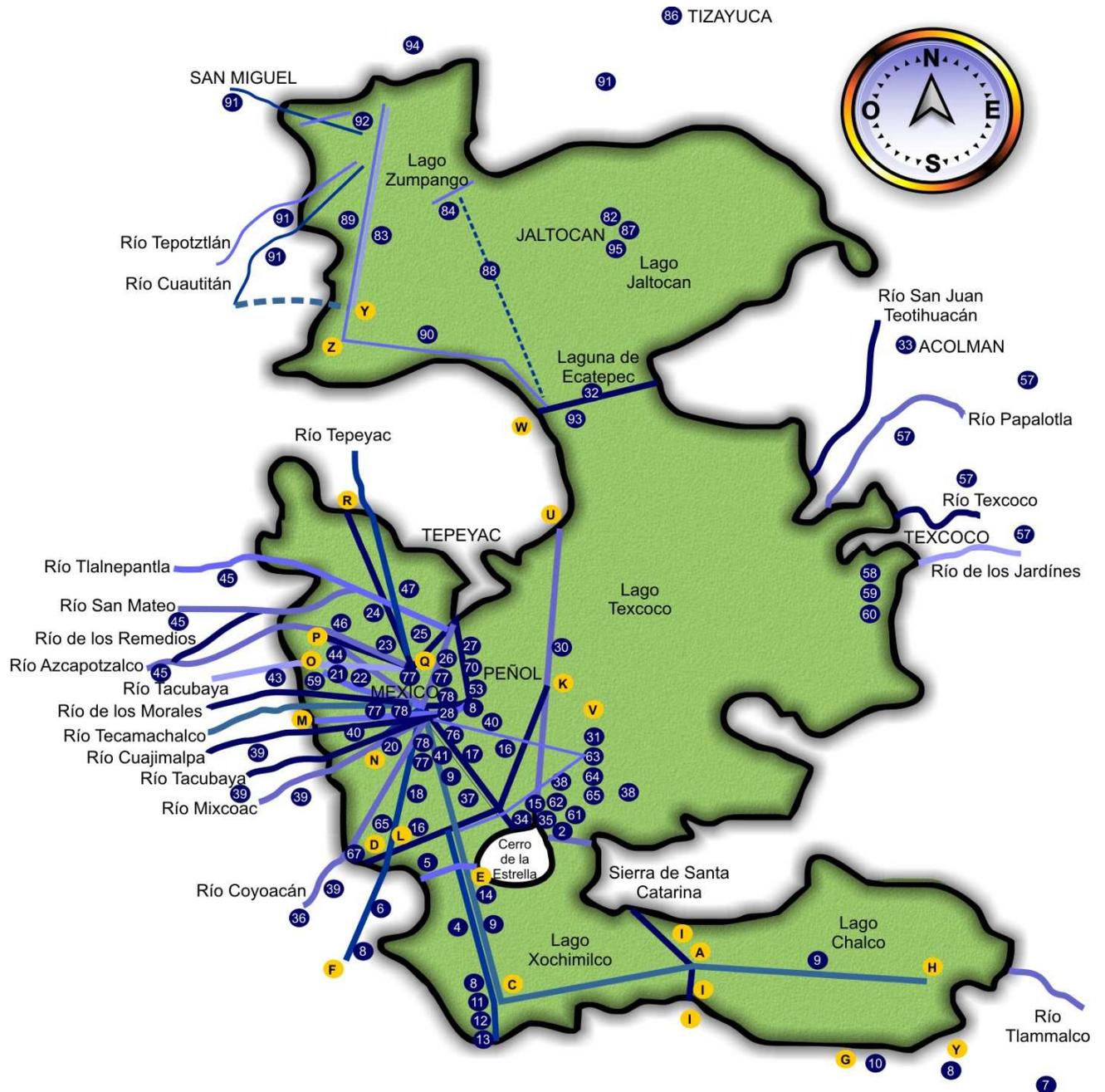


Figura. 4. Ríos que alimentaron la Cuenca del Valle de México y relación de obras hidráulicas prehispánicas. (Fuente: Dibujo cortesía de Gabriel Carmona Yahuaca).



Tabla 1. RELACIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS PREHISPÁNICAS EN EL SISTEMA LACUSTRE DEL VALLE DE MÉXICO.

<p>En los lagos meridionales de agua dulce</p> <p>Chalco-Xochimilco</p> <p>Calzadas, diques, acueducto-dique</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tláhuac, calzada-dique 2. Iztapalapa, calzada-dique 3. Xochimilco, calzada a tierra firme 4. Xochimilco-México, calzada-dique 5. Coyoacán-Culhuacán, calzada-dique 6. San Agustín de las Cuevas-Churubusco, acueducto sobre calzada. <p>Acequias, canales, puertos y ríos canalizados</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Amecameca, Tepolulía, Tlalmanalco, cambio de curso del río. 8. Xochimilco, San Agustín de las Cuevas, Tlalmanalco, Tepolulía, Sierra Nevada, manantiales ríos y avenidas, algunos de ellos canalizados. 9. Chalco-Xochimilco-México, acequias navegables. 10. Ayotzingo, puerto de canoas. 11. Xochimilco, puerto de canoas. 12. Xochimilco, acequias para navegar. <p>Otros rasgos hidráulicos, Chinampas y compuertas</p> <ol style="list-style-type: none"> 13. Xochimilco, chinampas 14. Culhuacán, chinampas 15. Mexicaltzingo, compuertas, probablemente coloniales. <p>En los lagos centrales de agua salobre.</p> <p>México-Texcoco</p> <p>Calzadas-diques, acueductos, albarradones</p> <ol style="list-style-type: none"> 16. Coyoacán-calzada Iztapalapa México-Peñón de los Baños, calzada dique. 17. Iztapalapa-México, calzada dique 18. Churubusco-México, acueducto sobre calzada 19. Chapultepec-México, acueducto sobre calzada 20. México-la Piedad, calzada-dique, probablemente colonial. 21. Tacaba-México, calzada dique 22. Azcapotzalco-México, calzada-dique 23. Azcapotzalco-Tlatelolco, acueducto sobre calzada 24. Tenayuca-Tlatelolco, calzada dique 25. Tepeyac-Tlatelolco, calzada dique 26. Tepeyac-México calzada dique. 27. Tepeyac-San Lázaro-San Antón, Albarradón de Ahuizotl 28. México, calzada al embarcadero al oriente de la ciudad 29. Tlatelolco, albarrada 30. Este de la Cd. De México, albarradón de Netzahualcōyotl. 31. Pantitlán, albarrada. 32. Ecatepec, Chiconautla, calzada dique. 33. Acolman, dique sobre el río San Juan Teotihuacan <p>Acequias, canales y ríos canalizados</p> <ol style="list-style-type: none"> 34. Iztapalapa, acequias de agua dulce y salada 35. Iztapalapa, estanques, albercas de agua dulce 36. San Gerónimo (sic), riego de ríos 37. Mexicaltzingo-México, acequia 38. Mexicaltzingo-Pantitlán, acequia 39. Coyoacán, Mixcoacac, Cuajimalpa, Tacubaya, ríos canalizados, riego de ríos. 40. Chapultepec-San Antón-Pantitlán 41. Oeste de la calzada Iztapalapa-México, canales para navegar. 42. Sanctorum (Tecamachalco) y Morales, arroyos canalizados. 43. Tacaba, río canalizado 44. Tacaba-Tlatelolco, acequia 	<ol style="list-style-type: none"> 52. México, acequia para navegar en el mercado de San Hipólito 53. México, puerto de canoas al oriente de la Ciudad 54. México-Tlatelolco, acequia como lindero entre las dos ciudades 55. Tlatelolco, acequias para navegar 56. Tlatelolco, canal para navegar desde el lago al mercado 57. San Juan Teotihuacan, Otumba, Apan, Calpulaipan, los jardines, Papalotla, Texcoco, ríos y arroyos, algunos canalizados 58. Canal subterráneo 59. Texcoco, canal desde la residencia de Netzahualcōyotl hasta el lago 60. Texcoco, estanques, albercas y fuentes <p>Otros rasgos hidráulicos, Chinampas, etcétera</p> <ol style="list-style-type: none"> 61. Iztapalapa, chinampas 62. Mexicaltzingo, puente para drenaje de la zona sur de la laguna de México 63. Pantitlán, sumidero escalonado 64. Pantitlán, "cerca" de un remolino 65. Pantitlán, compuerta controlada por buzos 66. Churubusco, manantiales controlados por caja "fuerte", "cerca", "buzos" y "maestros" 67. Chapultepec, huertas y Chinampas 68. Coyoacán, huertas y Chinampas 69. Tacaba, huertas y Chinampas 70. Tepeyac-San Antón (albaradón de Ahuizotl, siete compuertas de acequias probablemente coloniales sobre una construcción hispánica) 71. México, desecación de pantanos 72. México, cegando la laguna y haciendo acequias. 73. México, terraplenes o tlateles 74. México, "cerca" a un manantial 75. México, chinampas flotando, balsas con sembradíos. 76. México y al poniente por más de una legua, chinampas 77. Muchos pueblos alrededor de la Ciudad de México, chinampas 78. México, huertas y chinampas a los lados de las calzadas de Tacuba a Chapultepec, a Iztapalapa y a Coyoacán y del albarradón de Ahuizotl 79. Tlatelolco, terraplén (quizá la palabra tlateles provenía del suelo artificialmente elevado). 80. Tlatelolco, chinampas 81. Tlatelolco, presa de agua para regar <p>En los lagos septentrionales de agua dulce</p> <p>Citlatépeti-Zumpango-Jaltocan-Ecatepec</p> <p>Calzadas-diques, acueductos, albarradones</p> <ol style="list-style-type: none"> 82. Jaltocan (sic), calzada desde tierra firme 83. Zumpango, Cuautitlán, calzada-dique (probablemente prehispánica) 84. Zumpango, calzada-dique (probablemente prehispánica) 85. Zumpango, Citlatépetl, calzada-dique (probablemente prehispánica) 86. Tizayuca, dique sobre las Avenidas de Pachuca (probablemente colonial) <p>Acequias, canales, puertos y ríos canalizados</p> <ol style="list-style-type: none"> 87. Jaltocan (sic), acequias grandes 88. Cuautitlán-Jalcotocan, acequias 89. Cuautitlán, cambio de curso del río pro medio de represas y canal artificial a la laguna de Citlatépetl 90. Cuautitlán, gran zanja hacia Ecatepec (¿el curso antiguo del río de Cuautitlán convertido en acequia en la época prehispánica?) 91. Tepotzotlán, San Miguel y Cuautitlán, Pachuca y Real del Monte, ríos y avenidas, algunos de ellos canalizados. 92. Citlatépetl-Huehuetoca
--	--



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



45. Los Remedios, Azcapotzalco, Tlalnepantla, San Mateo y Guadalupe
46. Azcapotzalco, río canalizado
47. Tenayuca, río canalizado
48. México, red de canales navegables que rodean la ciudad
49. México, red de canales para distribución de agua potable
50. México, estanques de agua dulce y salada.
51. México, acequia para navegar en la Plaza Mayor

Otros rasgos hidráulicos. Puentes y chinampas

93. Ecatepec, Puente sobre el río de Acalhuacán o San Cristóbal
94. Tequixquiac, chinampas
95. Jaltocan (sic), chinampas

Fuente: Proyecto Lago de Texcoco, CONAGUA, México 2006

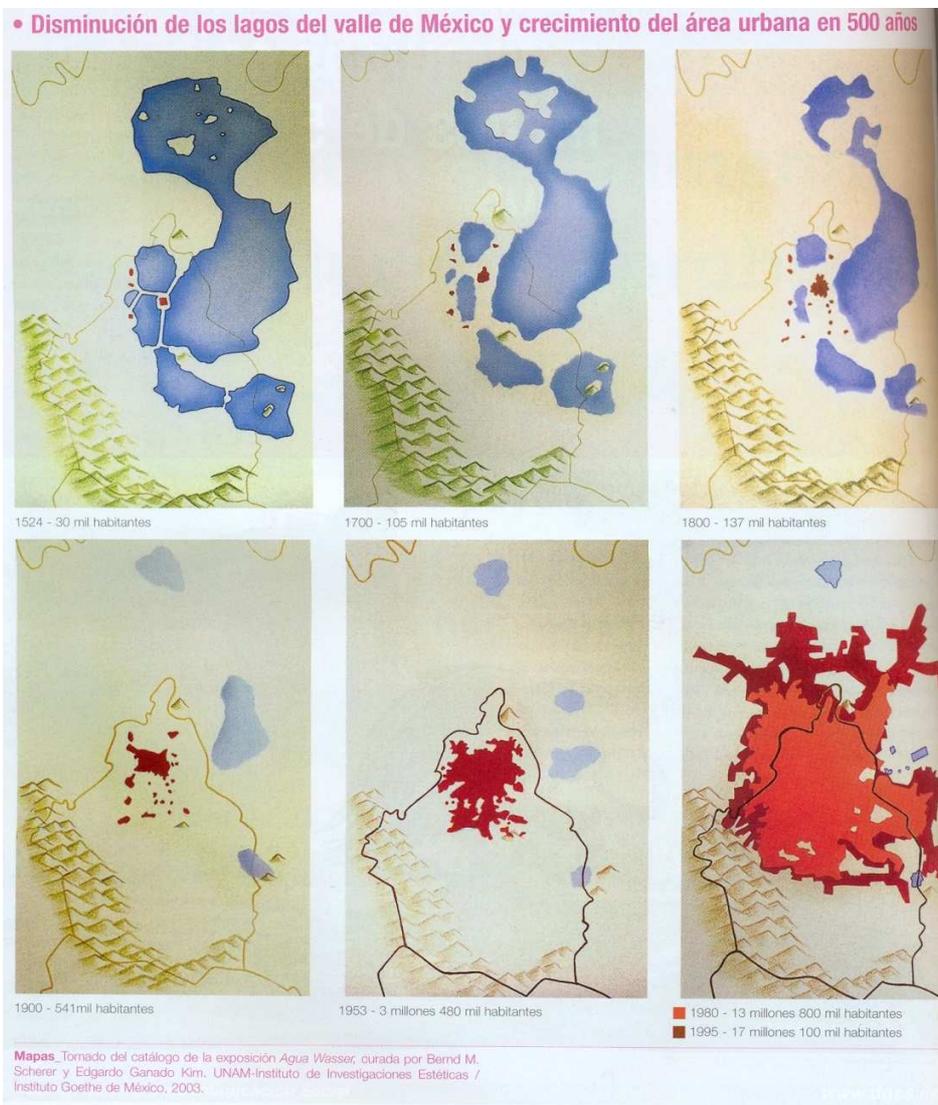


Figura. 5. Disminución de los lagos de la Cuenca del Valle de México (Fuente: La Jornada, 2006).



Del total del agua sobre la tierra, únicamente el 2% corresponde al agua dulce, que es la que mantiene la vida del mayor número de especies sobre la tierra, ya que se considera que el número de especies de agua marina es inferior.

En México el 67% del suelo del territorio es de tierra árida o semiárida y el 33% corresponde a suelo húmedo o subhúmedo. La precipitación pluvial media anual es de 777 mm, siendo el 27% de esta agua la que desciende por escorrentías, de las cuales se pierde el 7.2%, por lo que únicamente se conservan como escorrentías el 19.8% (INEGI, 2005).

La extracción del agua alcanza cerca de 186.4 km³ por año, lo que equivale al 45% de la precipitación pluvial del país. El 83.5% de la población tiene acceso al agua potable, y el 67% cuenta con servicio de alcantarillado (Jiménez, 2001). Esta situación explica un ángulo de la problemática de la contaminación del agua, ya que si la población no cuenta con servicio de descarga de sus aguas residuales, no es posible que se pueda recuperar gran parte del agua usada (agua servida) mediante su tratamiento, pues no solamente hace falta infraestructura para su tratamiento, sino que además el volumen total generado de agua residual no se puede coleccionar, por la carencia de una red de drenaje que cubra en su totalidad las zonas urbanas y rurales.



- **MARCO TEÓRICO**

ANTECEDENTES

En México, el Programa Nacional de Aprovechamiento de Aguas Residuales (PRONAR), a finales del siglo XX, reunió experiencias y acciones desarrolladas en el país con el objeto de lograr el aprovechamiento óptimo de las aguas residuales. Dentro de las estrategias básicas planteadas se consideró el ordenamiento del uso actual del agua, y la promoción de los volúmenes no utilizados para destinarles un uso adecuado en función de su calidad; estas propuestas se plantearon con objeto de satisfacer demandas que no requiriesen agua potable, reservando el agua de primer uso para abastecer las poblaciones de zonas donde ésta escasea.

De esta manera el PRONAR plantea el aprovechamiento de las aguas residuales en función principalmente de su disponibilidad, calidad, normas costos de tratamiento y conducción; además de las características técnicas de los sistemas que se apliquen.

Consideran tres tecnologías no convencionales para el aprovechamiento de las aguas residuales para riego agrícola, cuyo costo debe ser bajo, de construcción sencilla y con eficientes rendimientos:

La primera, desarrollada por CEPIS/OPS consideró como parámetro de diseño la remoción de microorganismos patógenos del efluente tratado (tradicionalmente son otros los parámetros de diseño, como sólidos, DBO, DQO. Turbidez, grasas y aceites, etc.). Esta tecnología consiste en la instalación de más de tres lagunas en serie, con período de retención superior a 20 días. El tren de proceso depende de factores ambientales, de lo cual dependerá el orden de colocación de las lagunas facultativas, aerobias y de pulimento.

La segunda tecnología fue desarrollada en Israel, consiste en el tratamiento inicial del agua residual en sistemas de lagunas de gran profundidad, donde se remueven los contaminantes a través de los siguientes procesos: aerobio, facultativo y anaerobio. El efluente se almacena en presas, con objeto de obtener su pulimento y remover los sólidos por gravedad, el agua tiene un tiempo de residencia mínimo de tres meses. El riego con el agua tratada, se realiza por goteo; disminuyendo así la evaporación y la infiltración a los acuíferos.



La tercer técnica se basa fundamentalmente en la disposición de las aguas residuales en suelos con pendiente suave, por escurrimiento o infiltración. Esta tecnología es apropiada para tratar aguas residuales de tipo municipal, donde el área de tratamiento debe ser impermeable (suelos de tipo arcilloso); su funcionamiento consiste en distribuir el agua residual en la superficie del suelo para su escurrimiento mediante el uso de aspersores o difusores. La remoción de contaminantes se realiza a través de la formación de limo biológico y por la oxidación que se produce al entrar en contacto la película de agua con la atmósfera (Frías, 1998).

La Administración Integral de los Recursos Hidráulicos en Windhoek, Namibia, es una experiencia a evaluar para el presente proyecto, incluye aspectos como el manejo de la demanda del líquido, el empleo de sistemas duales de distribución, el reuso de agua residual doméstica para consumo humano y la recarga artificial del acuífero para controlar la evaporación, el artículo presenta mediante los resultados y avance como logró Windhoek reducir en un tercio la demanda de agua de primer uso. El enfoque presentado muestra cómo el manejo responsable e integrado del agua es una opción para las regiones áridas. El inconveniente para la implantación de este tipo de programas es que requiere planeación de largo plazo, la administración integral y holística basada en políticas claras, la adecuación del marco legal, la participación ciudadana y fundamentalmente el trabajo continuo. Las estrategias adoptadas se pueden dividir en dos tipos (Der Merwe, 2000).

Técnicas: Se establece un programa para disminuir el agua no contabilizada, con el cual se logran disminuir las pérdidas en un 10%, valor que en aquel momento era muy superior al de los países en vías de desarrollo, en donde llegaba a alcanzar niveles hasta de un 50%.

Se establece el cuidado y mantenimiento de las redes de distribución.

Se plantea el Riego Eficiente de jardines.

Se plantea en 1996 la Recarga Artificial del Acuífero, que contempla un intenso programa de investigación para incrementar la recarga natural.

Se plantea el programa de La Cosecha de Lluvia (tal vez inspirado en el proyecto mexicano la Cosecha del Agua del Ing. Gerardo Cruikcsank García), en donde algunas personas acondicionan los techos de sus casas para la cosecha del agua de lluvia.



Administración: se desarrollaron políticas para establecer un precio del agua más acorde con la realidad, para lo cual el Consejo de Windhoek desarrolló los principios siguientes:

1. Control del consumo excesivo en propiedades privadas, mediante el apoyo de una reglamentación adecuada, con lo cual el desperdicio del agua fue rápidamente controlado.
2. Equipo obligatorio para el uso eficiente del agua. Desde 1996 se obligó a usar llaves con medidores en hoteles, tomas de cierre automático o bloqueadores fuera de los edificios no residenciales, regaderas de bajo consumo, se estableció como obligatorio el substituir aparatos ineficientes en los siguientes tres años a partir de 1996.
3. Control del Agua subterránea. Se controló la explotación privada de pozos y acuíferos.
4. Control del Riego en Jardines. No se permite regar durante las horas de mayor evaporación.
5. Control de Albercas. Deben permanecer cubiertas cuando no se emplean.
6. Prevenir la contaminación del Agua. Se realizan inspecciones periódicas y obligatorias de los tanques de gasolina. Los tanques deben estar registrados.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de la contaminación del Río los Remedios surge en el año de 1940, cuando un gran número de industrias se instalan en la periferia de la Ciudad de México, siendo el Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México, una región sumamente atractiva para la instalación de plantas industriales; debido a que ofrecía ventajas como:

- 1) Su cercanía al Distrito Federal,
- 2) Su abundante disponibilidad de recursos naturales (agua, espacio, materiales propios de la región, etc.),
- 3) Disponibilidad de recursos humanos con cierto grado de calificación,



4) Contar con un Gobierno Estatal dispuesto a otorgar facilidad de gestión administrativa para propiciar la creación de empresas.

5) Ausencia de leyes de protección al ambiente.

Debido a ello la polución industrial tuvo un nicho propicio para su desarrollo económico, que a su vez trajo consecuencias negativas que no se previeron: la contaminación de los cuerpos de agua, el suelo y el aire. Actualmente el Río los Remedios es un receptor de descargas de aguas residuales de tipo industrial y municipal, presentando zonas con elevados niveles de contaminación fisicoquímica y bacteriológica (mencionada en la justificación), aunque no se han encontrado valores considerables de metales pesados; de acuerdo a estudios de la calidad del agua del Río de los Remedios, realizados por investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.

Uno de los grandes problemas que presenta una corriente tributaria de este río, es la amenaza de contaminación del manantial ubicado en Rincón Verde, ya que éste se localiza junto al tiradero a cielo abierto "Rincón Verde"; hasta el momento los análisis practicados al agua del manantial han mostrado que la migración de lixiviados provenientes del tiradero no han contaminado el agua del manantial del río San Mateo, cuyo cauce se une, aguas abajo, al cauce del Río Chico de los Remedios (Flores,2005), por lo cual es necesario determinar la ruta de migración que posibilite evitar la contaminación de mantos freáticos.

En la región que comprende la zona industrial se encuentran instaladas industrias textiles, industrias alimenticias, e industrias metal-mecánicas (OAPAS, 2006).

Y este es el marco ambiental en el que se circunscribe la problemática del Río los Remedios; por lo cual en este proyecto el problema a resolver es encontrar las propuestas técnicas más adecuadas de saneamiento para el Río Chico los Remedios y las propuestas para la prevención de la contaminación del río; con lo cual se pretende mantener la calidad del agua del río bajo niveles aceptables de acuerdo a la normativa, de tal manera que se permita restablecer en lo posible, el ecosistema del que forma parte este río.

JUSTIFICACIÓN

Esta investigación encuentra su justificación en la propuesta de saneamiento del río, mediante la aplicación de un Plan integral de Saneamiento, en el cual se considera el río y



su entorno como el sistema objeto de estudio (El tiradero a cielo abierto Rincón Verde, fabricas, escuelas, casas habitación y empresas de servicios); enfoque que difiere de las propuestas que plantean sanear el río como una acción correctiva, sin considerar la aplicación de estrategias preventivas para el control de las fuentes generadoras de la contaminación del río como el objeto de estudio; visión que ha llevado a tomar acciones únicamente correctivas (como la construcción de la plantas de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Naucalpan), que al ser una acción aislada, no ha resuelto el problema. Esta situación se ha reproducido de igual manera a lo largo del país; por ello en este proyecto se propone la aplicación de un conjunto de acciones de saneamiento (tanto preventivas como correctivas), que constituyen el Plan Integral de Saneamiento. Actualmente el volumen de agua del río que puede tratar la planta de tratamiento es de cercano al 5%, con lo cual se dejan de tratar un promedio de 17 280 m³/día generados de aguas residuales municipales e industriales; la calidad del agua del río presenta parámetros fuera de los límites permisibles que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996, como lo son: grasas y aceites, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales, Huevos de Helminto, Nitrógeno Total y Fósforo Total (LATAUAM, 2005).

En este proyecto se propone la aplicación de un conjunto de acciones de saneamiento (preventivas y correctivas), que constituyan el Plan Integral de Saneamiento del Río los Remedios.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un Plan Integral para el Saneamiento del Río las Remedios, mediante el estudio de los contaminantes que afectan la calidad del agua del río.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización y diagnóstico de las aguas del sistema en estudio, en un intervalo de tiempo representativo.
- Estudio a nivel laboratorio y campo de las propuestas que permitan formular el *Plan Integral de Saneamiento*, con el objeto de alcanzar y mantener los estándares de calidad conforme a lo establecido en la normatividad vigente.



- Selección de los tratamientos estudiados.
- Recomendaciones para la conservación y administración del sistema de estudio.

HIPÓTESIS

Es posible sanear el Río Los Remedios si se elabora un Plan Integral de Saneamiento, que contemple estrategias que permitan la *prevención* de la contaminación del río y su *saneamiento*.

- **CAPÍTULO 1**

MUNICIPIO DE NAUCALPAN DE JUÁREZ

1.1 Ubicación del Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México

El Municipio de Naucalpan de Juárez se encuentra en la zona noreste del Estado de México. Colinda al norte con Atizapán de Zaragoza y Tlalnepantla, al oeste colinda con Jilotzingo, al este con el Distrito Federal, al suroeste con Lerma y Atizapán de Zaragoza, ver figuras 1.1 y 1.2.

Cuenta con una superficie de 149 86 km².



Figura. 1.1.1. Ubicación del Municipio de Naucalpan de Juárez



Figura. 1.1.2. Colindancias del Municipio de Naucalpan de Juárez

1.2. Historia de Naucalpan de Juárez, Estado de México

La palabra Naucalpan proviene del náhuatl: *Nau*, que se deriva de *Nahui*, cuyo significado es cuatro; el vocablo *Cal*, se deriva de *Calli*, que significa Casa; y el vocablo *Pan*, que significa en o lugar; por lo cual el vocablo Naucalpan significa “Lugar de las Cuatro Casas” (INEGI, 2000).

No se han podido obtener pruebas suficientes para precisar sobre quiénes fueron los primeros pobladores de Naucalpan, solo se dispone de información que indica que las primeras comunidades que se asentaron en esta región lo hicieron en el año 1400 a.C. (INEGI, 2000).



Una de las pocas muestras en el municipio de Naucalpan de Juárez es la Pirámide del Conde, en los años de 1907 y 1908 Manuel Gamio, un arqueólogo mexicano realizó el reconocimiento en las entonces llanuras de Naucalpan de Juárez (nombre conocido como Villa desde 1874) y descubrió en ellas grandes yacimientos de cerámica arqueológica a diferentes profundidades, así como una serie de montículos cuyo origen prehispánico quedó identificado; los resultados de esta investigación fueron publicados posteriormente en los anales del Museo Nacional de Antropología. El más importante de los montículos fue el Cerro del Conde, denominado así desde el siglo XIX, por vivir, el Sr. Manuel Conde, en una habitación que estaba construida en la meseta superior del mismo, ver figuras 1.2.1 y 1.2.2.

Los habitantes más antiguos de Naucalpan fueron hablantes de otomí, y en el Estado de México está perfectamente delimitada la región otomí, con límites en los estados de Hidalgo y Querétaro, y hasta la región surponiente del municipio de Toluca.

Naucalpan, en especial el Cerro de Otocampulco, son lugares otomíes de cierta importancia desde la época prehispánica, como lo testimonia el adoratorio o "Cu" que se encontraba en la cima de este cerro, donde más tarde se construyó el Santuario de los Remedios. Como en todos los pueblos de la Cuenca de México y las aldeas del Valle de Toluca, es muy posible que los otomíes que no dejaron grandes centros ceremoniales, hallan estado dedicados a la agricultura, habitando en chozas de varas, de ramas recubiertas por lodo y techadas con pencas de maguey, dedicados a la alfarería, a la cestería y a los textiles de uso utilitario; siendo tributarios de los señoríos de teotihuacanos, toltecas, nahuas, chichimecas y mexicas (www.naucalpan.gob.mx, 2007).

La creación del ayuntamiento de Naucalpan ocurrió en el año de 1826. En 1874 el pueblo de San Bartolo Naucalpan fue elevado al rango de villa, a partir de ese momento su nombre fue Naucalpan de Juárez. Casi un siglo después, el 30 de marzo de 1957 se le concede el título de ciudad, siendo su nombre el de Naucalpan de Juárez. Finalmente en el año de 1976 todo el municipio de Naucalpan recibe el nombre de Naucalpan de Juárez (INEGI, 2000).



Fig. 1.3. Pirámide del Conde (*Fuente: www.naucalpan.gob.mx, 2007*).

1.3 Población

Hasta el año 2000 el municipio contaba con 858 711 habitantes, de los cuales 442 670 son Mujeres y 416 041 son Hombres. Con densidad de población de 730 habitantes por km².

La información correspondiente a educación y salud puede observarse en la tabla 1.3.1.



Tabla 1.3.1. Estadística de Población y Educación

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	AÑO
DATOS BÁSICOS	.		
POBLACIÓN	Persona	858 711	2000
Hombres	.	416 041	.
Mujeres	.	442 670	.
SUPERFICIE	Kilómetro cuadrado	149.86	.
EDUCACIÓN	.	.	1999-2000 (Fin de cursos)
Alumnos	Alumno	245 387	.
Maestros	Maestro	12 192	.
Escuelas	Escuela	709	.
Educación básica	.	.	.
Alumnos	Alumno	170 964	.
Maestros	Maestro	6 377	.
Escuelas	Escuela	546	.

(Fuente: INEGI, 2000)



CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	AÑO
SALUD	.	.	2000
Unidades médicas	Unidad	59	.
Médicos ^{1/}	Médico	1 294	.
Enfermeras	Enfermera	1 132	.
Camas censables	Cama	647	.
VIVIENDAS	Vivienda	199 026	2000
OCUPANTES	Persona	832 168	.
SERVICIOS PÚBLICOS EN LA VIVIENDA	Vivienda	.	.
Con agua	.	195 317	.
Con drenaje	.	194 837	.
Con energía eléctrica	.	197 980	.
ASENTAMIENTOS HUMANOS	Por ciento	.	2000
Población urbana	.	97.2	.
Población no urbana	.	2.8	.
VIVIENDAS	Por ciento	.	2000
Con agua	.	98.1	.
Con drenaje	.	97.9	.
Con energía eléctrica	.	99.5	.
Ocupantes por vivienda	Ocupante por vivienda	4.2	.

(Fuente: INEGI, 2000)

Tabla 1.2. Estadística de Salud, vivienda y Asentamientos Humanos



1.4 Economía

El Estado de México es uno de los principales estados de la República Mexicana en cuanto a su aporte económico, en materia de dotación de empleos ocupa el segundo lugar a nivel nacional, cuenta con 380988 unidades económicas. (INEGI, 2004).

Tabla 1.3. Unidades Económicas y Personal Empleado
NUMERO DE UNIDADES ECONOMICAS QUE OPERARON EN EL PAIS EN EL
AÑO 2004
Y SU PERSONAL OCUPADO* POR ENTIDAD FEDERATIVA

ENTIDAD FEDERATIVA	UNIDADES ECONOMICAS	PERSONAL OCUPADO TOTAL
TOTAL NACIONAL	4290108	23197214
AGUASCALIENTES (01)	43522	290996
BAJA CALIFORNIA (02)	76293	675542
BAJA CALIFORNIA SUR (03)	23058	134427
CAMPECHE (04)	36293	204050
COAHUILA DE ZARAGOZA (05)	84998	692600
COLIMA (06)	26065	137920
CHIAPAS (07)	170909	615970
CHIHUAHUA (08)	104069	867934
DISTRITO FEDERAL (09)	380988	3779560
DURANGO (10)	64515	353087
GUANAJUATO (11)	208975	1003639
GUERRERO (12)	199907	650777
HIDALGO (13)	110254	437586
JALISCO (14)	272108	1623039
MEXICO (15)	468338	2094389
MICHOACAN DE OCAMPO (16)	207219	738340
MORELOS (17)	82660	343638
NAYARIT (18)	48134	206014
NUEVO LEON (19)	137019	1213641
OAXACA (20)	183730	586234
PUEBLA (21)	250077	959872
QUERETARO DE ARTEAGA (22)	61627	374470
QUINTANA ROO (23)	41490	298839
SAN LUIS POTOSI (24)	119093	511379
SINALOA (25)	92401	556961
SONORA (26)	89213	595941
TABASCO (27)	78395	397937
TAMAULIPAS (28)	113918	757989
TLAXCALA (29)	52988	196272
VERACRUZ DE IGNACIO DE LA LLAVE (30)	306215	1199867
YUCATAN (31)	88707	453117
ZACATECAS (32)	66930	245187

* Para dar una idea aproximada del total de personas que estaban trabajando en 2004, se sumó el personal que había en 2003 con el de las unidades económicas que iniciaron sus actividades en 2004, aun cuando esta suma no es del todo válida.

(Fuente: INEGI, 2004)



Tabla 1.4. Estadística Económica

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	AÑO
ECONÓMICOS	.	.	2000
MINERÍA	.	.	.
Valor de la producción	Pesos	6 705 000	.
FINANZAS PÚBLICAS	.	.	.
Inversión pública ejercida ^{2/}	Pesos	263 909 744.73	.
INDICADORES GENERALES	.	.	.
INFRAESTRUCTURA	.	.	2000
Kilómetros de caminos por cada mil habitantes	Kilómetro por mil habitantes	0.10	.
DEMOGRÁFICOS	.	.	2000
Población alfabetizada de 15 años y más	Por ciento	95.7	.
Población económicamente activa de 12 años y más	Por ciento	53.3	.
Población urbana	.	97.2	.
Población no urbana	.	2.8	.
ECONÓMICOS	.	.	2000
Inversión pública ejercida per cápita	Pesos por habitante	307	.

(Fuente: INEGI, 2000)

1.5 Hidrología

El Municipio de Naucalpan de Juárez pertenece a la Región Hidrológica 26, Pánuco (H26), la cual se encuentra ubicada al centro noreste de la República Mexicana. Es considerada como una de las zonas hidrológicas más importantes de la República Mexicana, ya que el cuantioso volumen de sus corrientes superficiales la posiciona entre las cinco regiones hidrológicas más importantes del país.

La Región Hidrológica 26 es drenada por corrientes perennes y corrientes intermitentes. Con respecto al Estado de México, esta región hidrológica abarca el 35.45% de su territorio. Los municipios que comprenden esta región hidrológica además de Naucalpan de Juárez son: Amecameca de Juárez, Ciudad López Mateos, Ciudad Nezahualcóyotl, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Chalco de Díaz Covarrubias, Chimalhuacán, Ecatepec de



Morelos, Jilotepec de Molina Enríquez, Teoloyucan, Teotihuacan de Arista, Tepetzotlán, Texcoco de Mora, Tlalnepantla, Tultitlán de Mariano Escobedo, Villa Nicolás Romero.

La Cuenca (D) llamada Río Moctezuma, forma parte de esta región hidrológica y casi en su totalidad pertenece al Estado de México.

CUENCA (D) RÍO MOCTEZUMA

Esta cuenca se localiza al noreste de la entidad, comprende el 35.45% de la superficie del Estado de México. Al norte se extiende sobre los estados de Querétaro de Arteaga e Hidalgo, al este colinda con la cuenca (A) de la Región Hidrológica RH-18 y continúa hacia los estados de Puebla, Hidalgo y Tlaxcala; al sur limita con la cuenca (F) de la RH-1 y entra al Distrito Federal; al oeste colinda con la cuenca (A) de la región hidrológica RH-12. El Río Moctezuma recibe el nombre de río Pánuco, al final de un largo recorrido de aproximadamente 174 km., después de confluir con el río Tampaón, y desembocar en el Golfo de México.

La cuenca (D) Río Moctezuma cuenta también con otras corrientes importantes como los son los ríos Cuautitlán, Salado, El Órgano, San Juan, San Bernardino y Zarco.

El 26% del agua almacenada en las obras hidráulicas que se ubican dentro de la cuenca del río Moctezuma se destina principalmente a riego.

La importancia de esta cuenca radica en que la mayor parte de la industria del centro de la República Mexicana depende de su suministro de agua, además de que esta cuenca ocupa el primer lugar en abastecimiento de agua para el área conurbada de la Ciudad de México (INEGI, 2000).



Figura 1.5 Región Hidrológica de Naucalpan de Juárez, Estado de México, (Fuente: INEGI:2000)



1.6 Geología

El Municipio de Naucalpan de Juárez pertenece a la Región Geológica No.2, a la cual pertenecen también Jilotzingo, Huixquilucan y Atizapán de Zaragoza. Esta región cuenta con materiales extraíbles para la industria de la construcción, como lo son la arena y grava; por su colindancia con el Distrito Federal lo abastece de estos materiales en la zona noroccidente, ya que su producción asciende a 1 770 500 m³, 50 800 m³ de tepetate y 34 900 m³ de cantera, siendo ésta última la de menor producción (INEGI, 2005).

El sitio estudiado se localiza en la zona de Lomas, de acuerdo a la clasificación de suelos del valle de México, y en la faja volcánica transmexicana, como marco geológico regional. La provincia fisiográfica de la faja volcánica transmexicana se ha asociado a fenómenos tectónicos generados por la subducción de la placa de cocos y la placa americana. Estos eventos en su conjunto han creado las zonas de mayor altura en la República Mexicana, dando lugar a volcanes de gran tamaño que se orientan del este al oeste a lo largo de la parte media del país.

La cuenca de México se ha formado a partir de las sierras mayores y menores, originando un vaso azolvado que ocasionaron aparatos volcánicos que generaron espesores importantes de piroclastos al poniente de la ciudad. Lahares, ignimbritas, pumítico, cenizas, etc.; forman parte de abanicos volcánicos colocados en tiempo y espacio diferentes, debido a interrupciones e intervalos de las emisiones volcánicas.

De estos materiales, el pumítico se caracteriza por su utilización en la construcción, principalmente. Lo cual provocó una exagerada explotación masiva a través de túneles generados por tiros de mina, creando redes intrincadas subterráneas.

En el área de estudio es posible observar materiales de tipo pumítico, así como aglomerados, es decir, elementos de fragmento de roca y gravas empacados en cementantes de tipo volcánico y tobas arcillosas, los cuales convergen en los paquetes estratigráficos del lugar. La deposición se distribuye cerca de los bordes de la cima del volcán y bajan rodando por las pendientes de los cerros formando estos depósitos de



aglomeraciones que se usan como agregados, se utilizan explosivos para su extracción debido a su fuerte cementación.

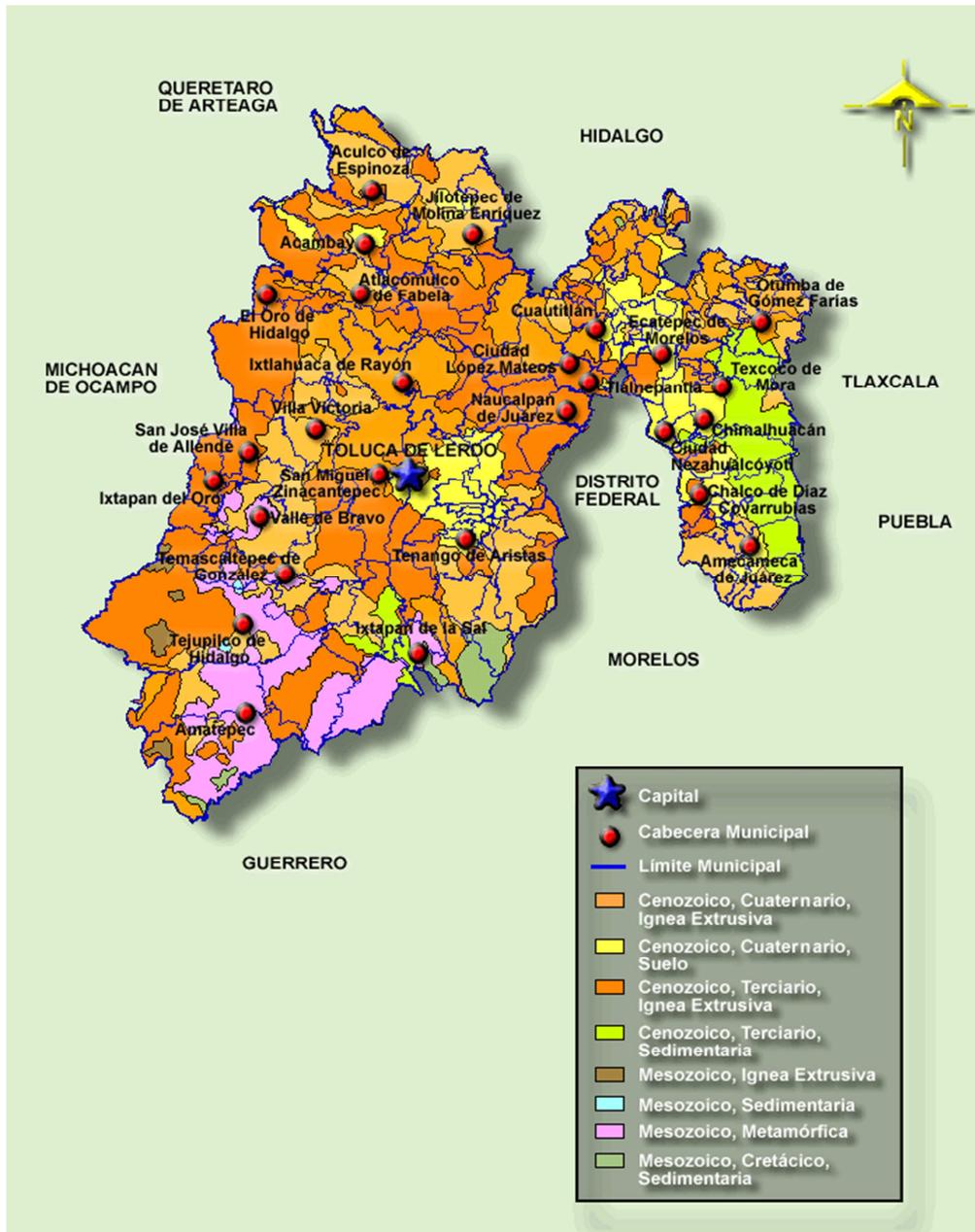


Fig.1.6. Mapa de la geología de municipios del Estado de México y colindantes. (Fuente: INEGI:2000)



1.7 Climatología

El clima del Municipio de Naucalpan de Juárez se clasifica como Templado, se le considera mesotérmico, debido a que la temperatura media de los meses más cálidos y más fríos no es muy alta ni muy baja; el intervalo de variación de temperatura se considera que oscila entre 6.5° C como mínima, a 22° C como máximo para los meses cálidos; para los meses más fríos el intervalo de fluctuación de la temperatura corresponde a -3° C a 18° C.

La precipitación pluvial promedio máxima es de 1 244 milímetros, la media es de 807 mm y la mínima es de 570 mm.

El régimen térmico medio anual tiene un intervalo de 12° C a 18° C. Este clima cubre cerca del 61.5% de la superficie del estado (INEGI, 2004).

El clima que cobija este suelo propicia la presencia de bosques de oyamel, pino, encino y mixtos; también favorece la aparición de pastizales, ver figura 1.7.

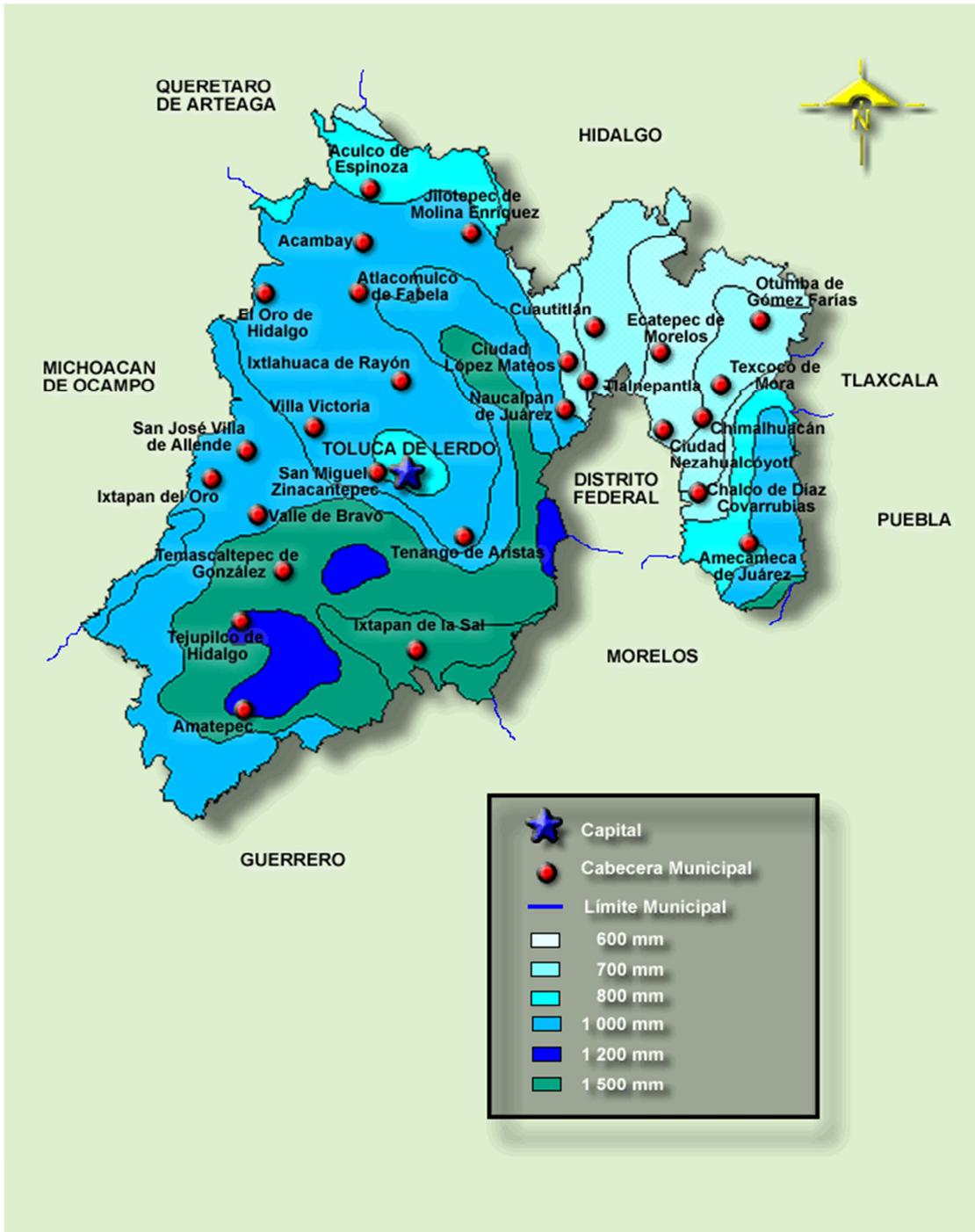


Fig.1.7. Mapa climatológico municipios del Estado de México y colindantes. (Fuente: INEGI, 2004).

- **CAPÍTULO 2**

METODOLOGÍA

Hace más de 65 años se originó el problema de la contaminación del Río Chico Los Remedios, a causa de la industrialización del Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México. En la actualidad el Río los Remedios es un receptor de descargas de aguas residuales de tipo industrial y municipal, presentando elevados niveles de contaminación ambiental en algunos tramos (Flores, 2005), el presente estudio plantea el saneamiento del Río Chico los Remedios y la propuesta de una serie de medidas preventivas para su conservación. Para el desarrollo de este estudio se realizan.

- Visitas de reconocimiento en campo, con el objeto de dividir la zona de estudio (Río Chico Los Remedios y Río Sn. Mateo) de acuerdo a sus características, para facilitar su estudio.
- Los estudios del río a realizar en sus diferentes tramos deben aportar información referente a la calidad del agua, caudales (cuando sea posible), identificación de las principales descargas residuales de origen industrial, asentamientos humanos, identificación de los diversos giros industriales.

Debido a la necesidad de obtener la información necesaria para este estudio la investigación se ha planteado de tipo experimental y de análisis documental.

- El análisis experimental a realizar consiste en el muestreo de las aguas del río, para establecer la calidad de ésta y así determinar los parámetros que intervienen directamente en la contaminación del Río, los cuales son cuantificables mediante procedimientos estandarizados de toma de muestras y análisis de laboratorio.
- Los resultados obtenidos del análisis de laboratorio se estudian elaborando tablas de datos que se comparan con los límites máximos permisibles de la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, siendo posible así identificar con claridad los parámetros críticos que rebasan la norma para su tratamiento. Con este criterio es posible acotar el número de variables (parámetros) que intervienen en la contaminación

del agua del río Chico Los Remedios y permite establecer el tren de tratamiento a estudiar, para su posterior evaluación.

- Con respecto a la contaminación que pudiese aportar el sitio de disposición de residuos Rincón Verde, se plantea estudiar la composición de los lixiviados, así como la clase de suelo y permeabilidad de éste.
- El estudio correspondiente del análisis documental se desarrolla con la finalidad de encontrar las variables de carácter social, económico, administrativo y de legislación (entre otras), que permitan establecer las estrategias para formular el Plan Integral de Saneamiento.

2.1. MATERIAL Y MÉTODOS

Material y Reactivos

Material de vidrio común

Material para mediciones volumétricas (el material volumétrico cuenta con certificado de calibración).

Reactivos (los reactivos empleados cuentan con certificado de PUREZA).

Estándares (se emplearon estándares certificados por el Centro Nacional de Metrología)

Equipo e Instrumentos

Refrigerador Nieto (con medición automatizada de temperatura).

Refrigerador Tor Rey (con medición automatizada de temperatura).

Incubadora VWR (con medición automatizada de temperatura).

Mufla FELISA

Estufa FELISA (con medición automatizada de temperatura).

Balanza electrónica digital Ohaus Explorer Pro (calibrada por una empresa autorizada por el Centro Nacional de Metrología).

Marco de Pesas (certificado por una empresa autorizada por el Centro Nacional de Metrología).



Espectrofotómetro Spectronic C ((calibrada por una empresa autorizada por el Centro Nacional de Metrología).

Espectrofotómetro de Absorción Atómica GBC 932AA con Generador de Hidruros (calibrado por la empresa proveedora).

Potenciómetro VWR (calibrado por una empresa autorizada por el Centro Nacional de Metrología).

Equipo para realizar pruebas de Jarras

Molinete (equipo de campo)

Medidor de pH, temperatura y conductividad (para campo)

MÉTODOS

Los métodos de muestreo y análisis de laboratorio son métodos normalizados y se basan en las normas mexicanas que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996.

El método de determinación de gasto para descargas es el de volumen en la unidad de tiempo.

Los métodos empleados para la medición de caudal en el río, son el del molinete y el del colorante, de acuerdo a las condiciones que presenta el punto de muestreo.

2.2 SELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

La selección de los puntos de muestreo es una etapa básica para la realización del presente estudio, ya que estos puntos deben ser representativos de las características particulares que se presentan en diversos segmentos del área de estudio, por lo cual se hace una división natural de la zona de estudio.

Para la selección de los puntos de muestreo se realiza *una inspección de campo*, para establecer el criterio de seleccionan de puntos de muestreo.

2.3 MUESTREO DE LAS AGUAS DE RÍO

El muestreo de las aguas del río se realiza conforme a la normatividad mexicana (NMX-AA-003-1980), con la finalidad de obtener resultados de laboratorio confiables, que

permitan determinar las propiedades físicas, fisicoquímicas, químicas y bacteriológicas de los cuerpos de agua en estudio.

El muestreo a realizar en cada punto se lleva a cabo conforme lo establecido en un *Plan de Muestreo*, el cual contempla periodicidad de muestreo, número de muestras, aforo y mediciones de campo.

El Aforo se realiza mediante las técnicas de área transversal-velocidad, y de *velocidad y tiempo*.

Las mediciones de parámetros de campo que se realizan son: *temperatura, pH y conductividad*; para realizar estas mediciones es necesario contar con un equipo para pruebas de campo, que esté debidamente calibrado.

El volumen total de muestra compuesta que se prepara para el análisis en el laboratorio es de 2.0 Litros, adicionalmente se toma la muestra para el análisis de grasas y aceites en un frasco de vidrio, cada vez que se obtenga una muestra simple, se debe tomar un volumen de 1.0 litro de muestra para análisis de grasas y aceites. La tabla 2.1 señala el volumen de muestra que se debe tomar para su análisis en el laboratorio, las condiciones de preservación, el tipo de recipientes en que se deben depositar las muestras de agua, y el tiempo máximo establecido para el análisis de las muestras, se realiza de acuerdo a las condiciones de cada parámetro de análisis.

Las muestras simples se preservan químicamente, de acuerdo a lo establecido en la normatividad mexicana, y se conservan en hieleras hasta su transporte al laboratorio.

La totalidad de la información del proceso de muestreo debe estar contenida en una bitácora.

Control de Calidad: se realiza con el uso de blancos, duplicados, estándares certificados, así como con el empleo de métodos estadísticos.

Tabla 2.1. CONDICIONES DE MANEJO DE LAS MUESTRAS PARA SU ANÁLISIS

Parámetros	Tipo de envase	Volumen mínimo requerido (ml)	Preservativo
Fluoruros	P	300	No requiere preservación
Fosfatos	V ^A	100	Para fosfatos disueltos filtrar inmediatamente: refrigerar, congelar (-10°C)
Grasas y aceites	V ^S	1000	Añadir H ₂ SO ₄ a pH 2, refrigerar



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



Metales	V ^A , P ^A , V ^B	1000	Para metales disueltos filtre inmediatamente y agregue HNO ₃ hasta pH 2
Mercurio	P ^A	500	Refrigerar
N-NH ₃	V, P	500	Analizar tan pronto como sea posible ó añadir H ₂ SO ₄ hasta pH2 y refrigerar.
N-NO ₃	V, P	100	Añadir H ₂ SO ₄ hasta pH 2, refrigerar
N-NO ₂	V, P	100	Analizar tan pronto como sea posible ó refrigerar ó congelar (a -20°C)
N-orgánico	V, P	500	Analizar tan pronto como sea posible ó refrigerar , añadir H ₂ SO ₄ hasta pH 2
Material sedimentable	V, P	100	Refrigerar
Olor	V	----	Analizar tan pronto como sea posible, refrigerar.
Acidez	V ^B , P	100	Refrigeración
Alcalinidad	V, P	200	Refrigerar
Dureza	V, P	200	Refrigerar
Análisis bacteriológico	V, P ^R	100	Refrigerar
Cianuro	V, P	500	Añadir NaOH hasta pH 12, refrigerar en la oscuridad.
Cloro residual	V, P	500	Analizar inmediatamente
Color	V, P	500	Refrigerar
Conductividad	V, P	500	Refrigerar
D.B.O ₅	V, P	100	Refrigerar
D.Q.O.	V, P	100	Refrigerar
Fenoles	V	500	Refrigerar, añadir H ₂ SO ₄ hasta pH 2
pH	V, P	100	Análisis inmediato
Temperatura	V, P	----	Análisis inmediato
Turbiedad	V, P	100	Análisis mismo día o almacene en la oscuridad
Sólidos	V, P	1000	Refrigeración
S.A.A.M	V, P	250	-----
Oxígeno disuelto	Frascos winkler	350	Analizar tan pronto como sea posible.
V: Recipiente de vidrio V ^A : Vidrio ámbar		V ^B : Vidrio borosilicato V ^C : Vidrio	
		P ^R Recipiente plástico alta densidad. P: Recipiente de plástico	

Fuente: Flores, Erasmo, V y Valladares, M. Rita, R. Manual de Procedimientos Analíticos, Laboratorio de Análisis y Tratamiento de Aguas de la UAM-Azcapotzalco, México, 2002.

2.4 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO

El análisis de laboratorio de las aguas de río tiene como objetivo la obtención de las características físicas, fisicoquímicas, químicas y biológicas que posee el agua; con la finalidad de aportar los elementos necesarios para emitir un dictamen sobre el nivel de contaminación de ésta, y así poder proponer soluciones técnicas, bajo el marco de políticas públicas que incorporen estrategias del manejo integral del agua, que

PLAN INTEGRAL DE SANEAMIENTO DEL RÍO CHICO LOS REMEDIOS

María Rita Valladares Rodríguez

contemplan su tratamiento, disposición, reuso e infiltración de este recurso hídrico; con la participación de los organismos municipales, estatales y federales competentes; y con la incorporación de la sociedad desde sus diversos roles sociales, como lo son las asociaciones de colonos, organizaciones civiles no gubernamentales y la participación ciudadana a nivel individual; además de la incorporación de la fuerza motriz financiera de la localidad, representada por las asociaciones y/o participación individual de los industriales. Sin olvidar la participación de las instituciones educativas, quienes juegan el papel de articuladores de la dinámica de los actores involucrados en la problemática para el manejo integral del agua en la microcuenca.

2.4.1 PARÁMETROS DE CAMPO: pH, TEMPERATURA, CONDUCTIVIDAD Y MATERIA FLOTANTE

Los procedimientos para determinar los parámetros de campo se realizan de acuerdo a métodos estandarizados establecidos por la normatividad mexicana:

- NMX-AA-008-SCFI-2000, - Análisis de agua determinación del pH método de prueba.
- NMX-AA-007-SCFI-2000 Análisis de agua - determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas método de prueba.
- NMX-AA-093-SCFI-2000 Análisis de agua - determinación de la conductividad electrolítica método de prueba.
- NMX-AA-006-SCFI-2000 Análisis de agua - determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas - método de prueba.

Los parámetros de campo en las muestras simples se determinan de acuerdo a lo establecido en el Plan de Muestreo mencionado en la sección 2.3.

Control de Calidad: se realiza con el uso de blancos, duplicados, estándares certificados, así como con el empleo de métodos estadísticos. Para el caso de la medición de la temperatura, el equipo deberá contar con la carta de trazabilidad con respecto a un termómetro certificado.

2.4.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS: DBO₅, DQO, CIANUROS, SUBSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO, GRASAS Y ACEITES, SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES Y SÓLIDOS SEDIMENTABLES.

Estos parámetros tienen gran relevancia en la calidad del agua, ya que aportan información fundamental para el diseño de su tratamiento, como es el caso de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), que se consideran parámetros de diseño, así como los sólidos suspendidos volátiles.

Los parámetros fisicoquímicos se determinan en todas las muestras compuestas, a excepción de las grasas y aceites, en cuyo caso los análisis se practican para cada muestra simple. Los métodos analíticos que se emplean son los que establece la normatividad vigente:

- NMX-AA-028-SCFI-2001 Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales.
- NMX-AA-030-SCFI-2001 Análisis de agua - determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-058-SCFI-2001 Análisis de aguas - determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-039-SCFI-2001 análisis de aguas - determinación de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-034-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

Control de Calidad: se realiza con el uso de blancos, duplicados, estándares certificados, así como con el empleo de métodos estadísticos.

2.4.3 METALES PESADOS: ARSÉNICO, CADMIO, COBRE, CROMO, NÍQUEL, PLOMO, MERCURIO, ZINC Y CROMO HEXAVALENTE

Los metales pesados se analizan para cada muestra compuesta, de acuerdo a lo que establece la normatividad vigente:



NMX-AA-051-SCFI-2001 Análisis de agua - determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

Control de Calidad: se realiza con el uso de blancos, duplicados, estándares certificados, así como con el empleo de métodos estadísticos.

2.5 NORMATIVIDAD DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS “RINCÓN VERDE”.

La norma que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos urbanos para la protección ambiental, es la Norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Esta norma contempla tres parámetros importantes que se deben monitorear para mantener el control ambiental del sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos, que son el biogás, los lixiviados y los acuíferos.

Para el estudio del sitio clausurado de disposición de residuos sólidos urbanos “Rincón Verde”, se requiere el monitoreo del acuífero y de lixiviados, ya que el interés de estudiar este sitio se debe a la necesidad de conocer si éste es fuente de contaminación del río San Mateo, que al ser tributario del Río Chico Los Remedios podría ser una de sus fuentes de contaminación.

2.5.1. Análisis de Lixiviados

La norma establece el análisis de los siguientes parámetros: potencial de hidrógeno (pH), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de Oxígeno (DQO) y metales pesados. Para fines de este estudio los parámetros del análisis de lixiviados se ha dividido en:

1. Pruebas de campo: temperatura, pH, conductividad y gasto.
2. Metales pesados: arsénico, cadmio, cobre, cromo total, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, zinc. De acuerdo a la norma NMX-AA-051-SCFI-2001
3. Otros metales: sodio. Análisis de acuerdo a la norma NMX-AA-051-SCFI-2001



4. Análisis fisicoquímicos: Cianuros, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, fósforo total, nitrógeno de nitritos, nitrógeno kjeldahl, nitrógeno total, sólidos totales y sólidos volátiles totales.
5. Análisis microbiológicos: Coliformes fecales y huevos de helminto.

Análisis del Acuífero

La norma establece como indicativo de la presencia de lixiviados en acuíferos el estudio comparativo de la calidad del agua de un pozo ubicado aguas arriba y otro aguas abajo, contra una muestra de agua de referencia, la calidad del agua de referencia estará definida por las características del agua nativa. Este estudio se realiza conforme a la norma NOM-127-SSA1-1994.

Análisis de suelo

La naturaleza del suelo juega un papel determinante en la infiltración de los lixiviados hacia sus capas interiores, en donde es posible que pueda descender hasta depositarse en los mantos acuíferos y los contamine. Por lo cual se considera de gran utilidad realizar estudios de permeabilidad (para evaluar el riesgo ambiental por la presencia de lixiviados).

2.5.2. Pruebas de geotecnia

Las pruebas de geotecnia aportan información de gran utilidad para el conocimiento del desplazamiento de los lixiviados en el subsuelo, para ello se obtiene información sobre algunos parámetros, como la permeabilidad.



- **CAPÍTULO 3**

DIAGNÓSTICO DEL ENTORNO

3.1 Determinación de la influencia del sitio de disposición final “Rincón Verde” en la contaminación del río

La alteración del ecosistema que provoca la presencia de un sitio de disposición de residuos sólidos urbanos, que en un inicio se estableció sin control, como en el caso del Tiradero a cielo abierto “Rincón Verde”, se mencionan a continuación:

1. Contaminación del suelo por confinamiento de RSU:

Debido a que los residuos sólidos urbanos (RSU) son los residuos provenientes de la actividad generada en las viviendas, oficinas, comercio, generalmente es posible encontrar entre éstos materiales: vidrio, plástico, metales, aceite, líquidos corrosivos (residuos de tintes, vinagre, limpiadores para estufas), que son clasificados como inorgánicos, y los orgánicos que comprenden residuos de alimentos, residuos de jardinería, papel, cartón y otros productos biodegradables.

Cuando los residuos orgánicos e inorgánicos se mezclan al ser depositados y compactados, éstos desprenden líquidos (lixiviados) que a su vez disuelven las sustancias solubles que se encuentran a su paso.

El suelo fue contaminado por materiales ligeros como plásticos y papel, por no contado con una cerca móvil para contener los residuos sino hasta el año 2007, en donde la mayor contaminación se ubicó dentro de la poligonal que envuelve la zona de barrancas que se ubican frente al actual relleno sanitario.

Cuando los lixiviados contaminan el suelo que se encuentra a cielo abierto y el subsuelo que se encuentra por debajo de los residuos sólidos a nivel de desplante, dejando metales pesados que son muy difíciles de remover como el Pb, Cd, Hg, así como materia orgánica, entre otros, metales como el plomo tienen una vida de residencia de cientos de años (Alloway, 1990), cuya ubicación se localiza en la capa de suelo comprendida entre los primeros 50 cm de profundidad del sitio de disposición final.

2. Contaminación de ríos y arroyos por basura



Cuando se encuentra un sitio de disposición a cielo abierto cercano a cuerpos de agua en movimiento, generalmente un cuantioso número de miembros de la demarcación, así como de las más próximos poblados descargan sus residuos sólidos en arroyos, ríos y barrancas, provocando severos problemas tanto de contaminación de los cuerpos de agua, como de generación de desastres (inundaciones) al impedirse la circulación del agua por obstrucción de basura de toda clase, desde botellas de plástico, hasta sillones y refrigeradores, esta situación se presenta fundamentalmente en épocas de lluvia.

El agua superficial que proviene de los escurrimientos de las formaciones rocosas que rodean la región noroeste de la Cuenca de México, constituyen el río San Mateo.

Durante la época prehispánica la cuenca recibía agua de numerosos ríos, localizándose en esta región uno de los principales sistemas hidrológicos de la cuenca, el llamado San Mateo Nopala – Madín, formado por el río San Mateo, que se une al río Chico de los Remedios y posteriormente al río Tlalnepantla, que en conjunto con la presa Madín mantenía la captación nominal de 1.5 m³/s a principio de los años 80 (CNA, 2004), de aquí su gran importancia hoy en día, ya que es necesario recomponer el manejo hídrico de la cuenca, para poder sostener la ZMVM como un espacio habitable.

El Río San Mateo, también conocido como río San Mateo Nopala, se ha visto amenazado por la presencia desde hace más de 30 años, del sitio de disposición final a cielo abierto “Rincón Verde”, cuando se inició este trabajo de investigación en el año 2005, se planteó estudiar la influencia del sitio de disposición final como posible fuente de contaminación de acuíferos que alimentan al río, al descargar en la superficie en forma de ojos de agua, para lo cual se consideró la posibilidad de realizar estudios de calidad del agua a muestras provenientes de un manantial que se localiza aproximadamente a 500 m en dirección descendente de la ubicación del sitio de disposición final a cielo abierto (coordenadas 19°29'48.12" N, 99°17'26.24" O), en donde el río recorre las barrancas, como se observa en el mapa de localización del puntos de muestro del manantial en las figuras 3.1.1 a 3.1.3 Este estudio se basa en las disposiciones que establece la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.



Para poder evaluar la afectación de la salud del río debida al sitio de disposición final, se consideró necesario realizar los estudios que se enlistan a continuación, aunque en diciembre de 2007, las 20 hectáreas ocupadas por el sitio de disposición final, fueron saneadas y acondicionadas como Relleno Sanitario de Santiago Tepatlaxco, incrementando el radio de su superficie con los ejidos que le alquilaron los campesinos de los alrededores de la región.

1. Se programó el estudio mensual de la calidad del agua del ojo de agua.
2. Realizar estudios de permeabilidad y de tipo de suelo.
3. Análisis de lixiviados

Por considerar de importancia observar la transformación cronológica del sitio de disposición final a cielo abierto, "Rincón Verde", se presenta una serie de imágenes de cortesía de Google Earth adaptadas (3.1.1 a 3.1.4).

En las imágenes 3.1.1 y 3.1.2 se observa una extensa superficie con residuos sólidos urbanos dispersos, sin cobertura de tierra, la imagen permite apreciar dos superficies verdes bien definidas en la parte superior izquierda, en donde podría suponerse la presencia de cuerpos naturales de agua, estas imágenes fueron captadas por satélite en octubre de 2003 y en diciembre de 2004.

En febrero del 2007, el sitio de disposición final a cielo abierto "Rincón Verde" había desaparecido, para llegar a constituirse en el *Relleno Sanitario de Santiago Tepatlaxco*, como se observa en las imágenes 3.1.3 a 3.1.6. La imagen 3.1.3 muestra la laguna de lixiviados, hacia donde dirigieron estos líquidos que se encontraban en distintos sitios de Rincón Verde, y que no habían migrado hacia el subsuelo, la imagen 3.1.4 muestra el crecimiento del Relleno Sanitario, en donde se observan dos lagunas de lixiviados.



Figura.3.1.1. Vista del sitio de disposición final a cielo abierto Rincón Verde, el 28 de octubre de 2003, en donde se muestran dos aparentes cuerpos de agua. Fuente: Google Earth.



Figura.3.1.2. Vista del sitio de disposición final a cielo abierto Rincón Verde, el 3 de octubre del 2004, en donde aún se observan los posibles cuerpos de agua, observándose más definidos los caminos perimetrales. Fuente: Google Earth.



Figura.3.1.3. Vista del sitio de disposición final Rincón Verde, el 8 de febrero del 2007. Los residuos sólidos urbanos se cubrieron con material de cobertura, ya no se aprecian los cuerpos de agua y se acondicionó una laguna de lixiviados. Fuente: Google Earth.

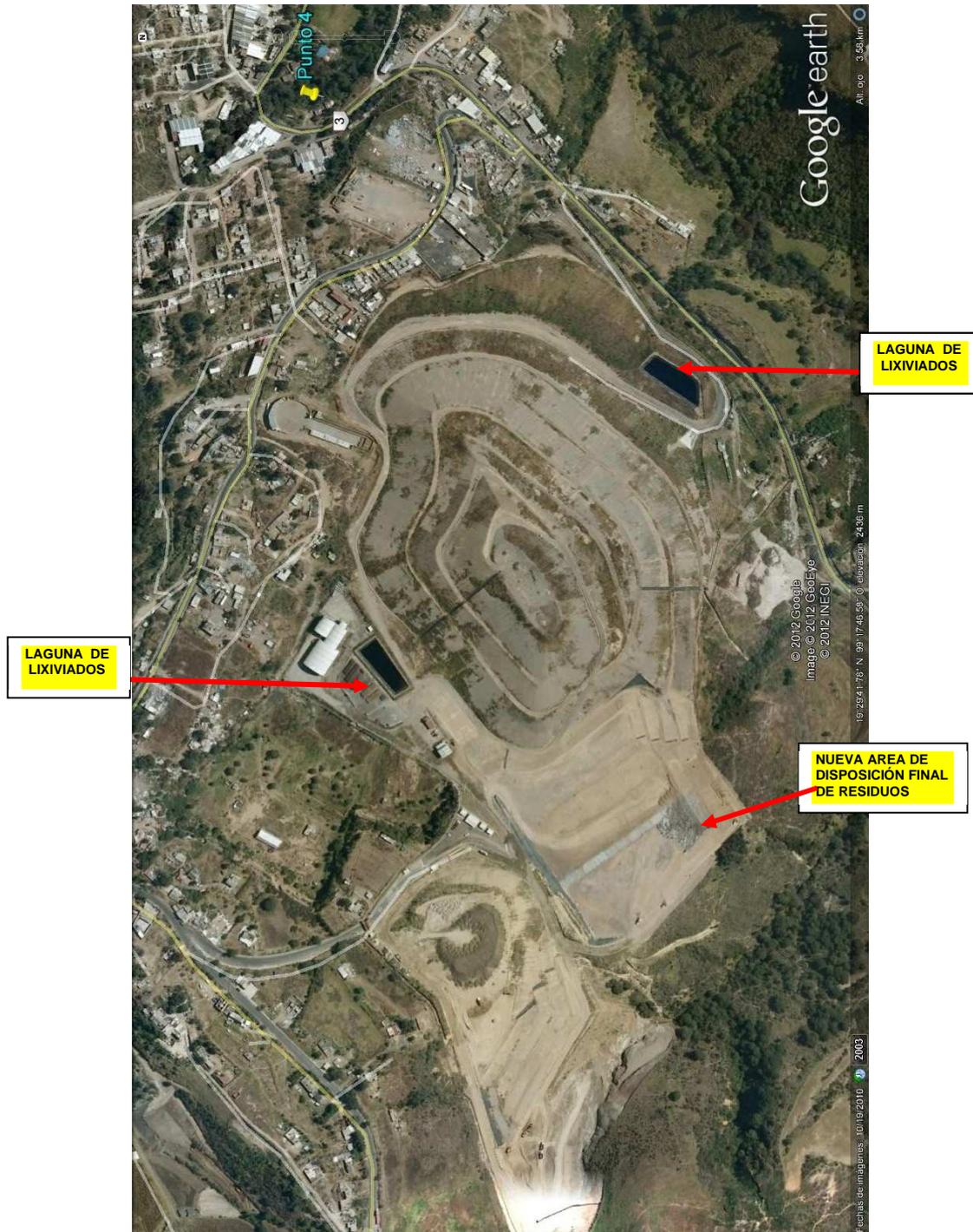


Figura.3.1.4. Vista del Relleno Sanitario de Santiago Tepatlaxco (antes Rincón Verde) el 19 de octubre de 2010. Se observan dos lagunas de lixiviados, la conformación de taludes y la expansión de las celdas en otra área del relleno . Fuente: Google Earth.



Figura.3.1.5. Vista del acondicionamiento del Relleno Sanitario sobre el tiradero a cielo abierto Rincón Verde, año 2006.

Fuente: http://www.naucaipan.gob.mx/?m=sala_de_prensa&idb=473



Figura 3.1.6. Vista de la entrada al Relleno Sanitario, Enero de 2012. Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Estudios de Permeabilidad y tipo de suelo

El suelo no es un sólido ideal, sino que es un medio poroso, cuyas partículas pueden encontrarse en tres tipos de fases: sólido-gas, sólido-líquido o sólido-gas-líquido, esta propiedad permite que el suelo pueda almacenar y transportar fluidos propios del sistema natural como lo son el agua y el aire; cada tipo de suelo posee su propia capacidad para transportar los fluidos, dependiendo de su porosidad.

La permeabilidad de los suelos es la capacidad que éstos poseen para permitir el flujo del agua a través de sus poros o vacíos continuos. Se considera que todos los suelos, en diferente grado, poseen la propiedad de la porosidad, aún las arcillas más compactas, el concreto y todos los materiales de construcción, con excepción del material metálico (Angelone, 2006).

El flujo del agua a través de los poros del suelo se rige por la Ley de Darcy, que permite calcular el gasto, cuando las velocidades de flujo son pequeñas, como es el flujo del agua en los suelos (Juárez, 2005), la expresión matemática que rige esta ley es:

$$Q = \partial V / \partial t = k.i.A$$

Donde:

Q= Caudal o gasto (cm^3/s)

∂V = variación del volumen en el diferencial del tiempo

∂t = diferencial de tiempo (s)

K = coeficiente de permeabilidad (cm/s)

i = gradiente hidráulico (adimensional)

A = sección transversal del filtro (cm^2)

De esta fórmula se construye la metodología para el análisis de permeabilidad en suelos, habiendo Darcy contribuido con su fórmula al estudio del transporte de fluidos en el subsuelo, haciendo posible el construir tablas con datos de permeabilidad de distintos tipos de suelos, como puede observarse en la tabla 3.1.1.

Tabla 3.1.1. Volumen teórico de agua que penetra por día, de Acuerdo al tipo de material de cubierta.

MATERIAL DE CUBIERTA	VOLUMEN DE AGUA (L/día \times m ²)	PERMEABILIDAD (cm/s)
Arena gruesa uniforme	3.505716	$10 - 10^{-1}$
Arena media uniforme	0.87555	$10^{-1} - 10^{-2}$
Arena y grava limpia y graduada	0.87555	$>10^{-2}$
Arena fina uniforme	3.516265	$10^{-2} - 10^{-3}$
Arena limosa y grava graduada	3.410777	$10^{-3} - 10^{-5}$
Arena limosa	0.773578	0.01-0.001
Limo uniforme	0.421952	$10^{-7} - 10^{-11}$
Arcilla arenosa	0.042195	$10^{-7} - 10^{-11}$
Arcilla limosa	0.007736	$10^{-3} - 10^{-5}$
Arcilla (30 a 50 % tamaños de arcilla)	<0.007	$10^{-7} - 10^{-11}$

Fuente: Braja, 2001; González, 2001.

Propiedades litológicas del área de estudio, formación, distribución, correlación y comparación de los materiales que la conforman

La litología del área está constituida por depósitos volcánicos que forman parte de la formación Tarango, caracterizado por la presencia del material tobáceo, brechas volcánicas (basaltos y andesitas) y material volcanoclástico, el cual puede estar sólido o alterado y dar origen a suelos de aluvión (suelos arenosos o limo-arcillosos).

- a) Tobas y Arenas Tobáceas: Constituyen lomeríos y valles, por el fracturamiento que presentan estos lugares, son de baja permeabilidad e intemperismo profundo.
- b) Brecha Volcánica: Son fragmentos derivados de basaltos y andesitas, siendo éstas últimas las predominantes.
- c) Aluviones: Son sedimentos formados por depósitos fluviales areno-limosos, derivados de la erosión de las andesitas y basaltos; estos se localizan en los arroyos, valles y algunas áreas planas de la zona, aunque son angostos, tienen bastante longitud.

Resultados del análisis

Los estudios reportan la magnitud de la **permeabilidad del suelo de 2.6×10^{-5} cm/s**

El suelo es limo arenoso compactado (toba), con gran parte de estratos de arcilla limosa con lentes de arena limosa.

De acuerdo al valor obtenidos de permeabilidad del suelo, el apartado 7 Características constructivas y operativas del sitio de disposición final, fragmento 7.1, de la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, se contempla la necesidad de usar geomembrana o alguna otra barrera geológica, que garantice que no habrá infiltración de lixiviados hacia los mantos acuíferos, pues establece como límite de permeabilidad el valor de 1×10^{-7} cm/s.

3.1.2. Análisis de lixiviados

Definición

De acuerdo a la definición de lixiviado de Tchobanoglous et al (1994), éste es un líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión, éste líquido proviene tanto de fuentes externas como internas. Las *fuentes externas* las constituyen el drenaje superficial, la lluvia, aguas subterráneas, aguas de manantiales, las *fuentes internas* corresponden al líquido producido por la descomposición de los residuos sólidos urbanos, desde que éstos son depositados en los contenedores domésticos, y que continúan formándose con mayor rapidez una vez que éstos son depositados en el sitio de disposición final, al producirse diversas reacciones químicas y bioquímicas, en donde muchas de ellas se deben a la actividad microbiana.

Medición del caudal de lixiviados

El relleno sanitario de Santiago Tepatlaxco, se encuentra sobre la superficie del clausurado sitio de disposición final a cielo abierto “Rincón Verde”, el cual se mantuvo en funcionamiento durante aproximadamente 30 años, en donde se calcula que fueron sepultadas seis millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (La Jornada, 2007). Las obras de acondicionamiento para cumplir con los requisitos que establece la norma NOM-083-SEMARNAT-2004 en materia de rellenos sanitarios, estuvieron a cargo de la empresa Preactiva Medioambiente S.A. de C.V., la cual tiene la concesión de este relleno sanitario.

El 26 de mayo del 2006 se midió el caudal de los lixiviados, como se muestra en las figuras 3.1.2.1 y 3.1.2.2, que se empezaron a manejar en forma controlada, en el naciente relleno sanitario, y se tomó una muestra de éstos, figura 3.1.2.3, con la finalidad de realizar estudios de laboratorio, cuyos resultados permitieran conocer la caracterización de los lixiviados. La tabla 3.1.2.1 muestra los datos del aforo de las tres descargas de lixiviados que se vertieron en un cárcamo de 10 000 L y se canalizaron hacia la laguna de lixiviados, como se observa en la figura 3.1.2.4. La tabla 3.1.2.2 muestra los resultados del análisis de laboratorio y la tabla 3.1.2.3 muestra los valores típicos de la caracterización de lixiviados dependiendo a la madurez del relleno sanitario, como reporta la literatura.

Para determinar el caudal de los lixiviados del Relleno Sanitario de Santiago Tepatlaxco, se empleó el método de volumen en la unidad de tiempo.

Tabla 3.1.2.1. Datos del Aforo de las descargas de los lixiviados del Relleno Sanitario de Santiago Tepatlaxco, en Rincón Verde, medidos El 26 de mayo del 2006.

DESCARGA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (S)	CAUDAL (L/s)	PROMEDIO
1	9	55	} 0.1447	
	10	61		
	19	93		
2	19	27	} 0.7127	
	19	26		
	19	27		
3	0.55	25:	} 0.0223	
	0.55	26		
	0.55	23		
TOTAL			0.8797	

Fuente: Elaboración propia

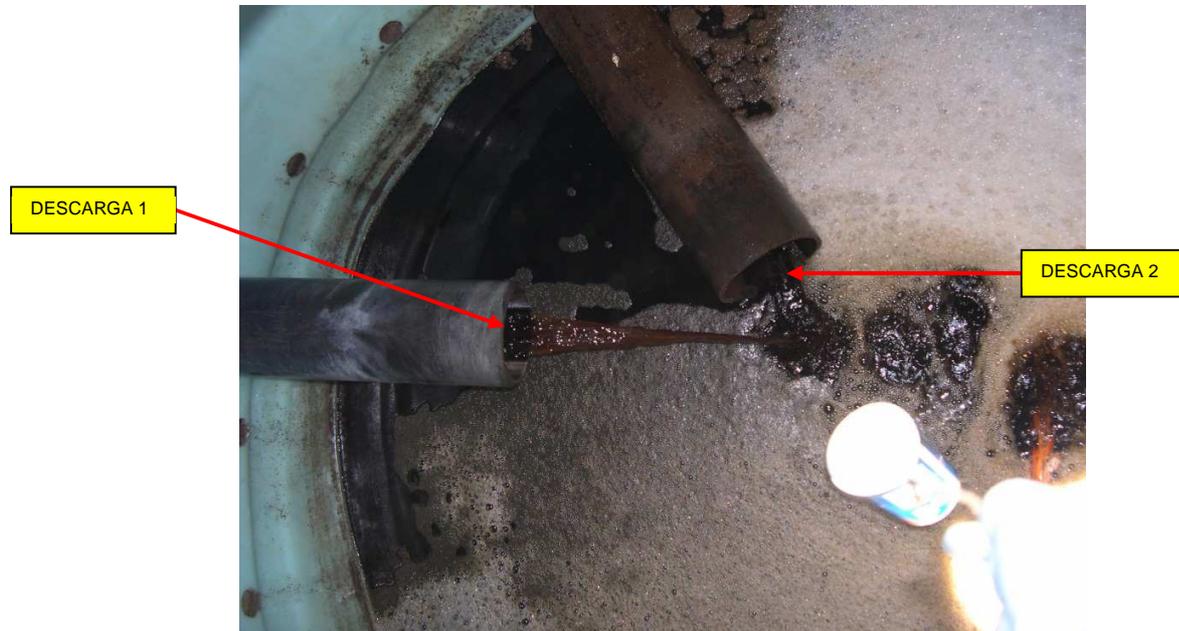


Figura 3.1.2.1 Descargas de lixiviados del Relleno Sanitario acondicionado sobre el Antiguo tiradero a cielo abierto Rincón Verde, vertidos en el tanque de almacenamiento. La fotografía muestra las descargas 1 y 3.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.1.2.2. Conducción de lixiviados del almacenamiento temporal hacia la laguna de Captación.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.1.2.3 Toma de muestra de lixiviados y medición de los parámetros de campo, en el Relleno Sanitario en Rincón Verde, realizados el 26 de mayo del 2006.
Fuente: Elaboración propia



Figura 3.1.2.4 Laguna de captación de lixiviados del relleno sanitario de Santiago Tepatlaxco.
Fuente: Elaboración propia



ANÁLISIS DE LIXIVIADOS

A la muestra de lixiviados se le determinaron los parámetros de campo (temperatura, pH, conductividad y gasto), correspondiendo el valor de pH registrado de 7.82 al de un Relleno Sanitario maduro, de más de 10 años, en relación a lo reportado por Tchobanoglous, 1994.

Los valores obtenidos del análisis de laboratorio (ver tabla 3.1.2), realizados en mayo del 2006, para los parámetros de DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales, nitrógeno orgánico, sodio y fósforo total, corresponden a valores característicos de un relleno sanitario nuevo (menor a dos años), como muestra la tabla 3.1.3.

El contenido de fósforo total en la muestra de lixiviados de Rincón Verde, por su valor de 6.86 mg/L corresponde a un relleno sanitario maduro.

Los resultados obtenidos de la comparación de los valores obtenidos en el análisis de laboratorio y los reportados por la literatura para el tipo de relleno sanitario, muestran que las características promedio de los lixiviados del Relleno Sanitario de Santiago Tepatlaxco, corresponden a un relleno sanitario joven, lo que permite inferir que debido a que los lixiviados no migraron y se conservaron sobre la superficie del sitio de disposición final Rincón Verde, éstos han conservado las características de un relleno joven, por lo que el realizar la caracterización de los lixiviados actuales aportaría información necesaria para confirmar esta hipótesis.

Se analizaron metales pesados (ver tabla 3.1.2) presentes en la muestra de lixiviados, y se compararon con los límites máximos permisibles que establece la norma para residuos peligrosos NOM-052-SEMARNAT-2005 (ver tabla 3.1.4), obteniéndose los siguientes resultados.

El arsénico y el mercurio registraron concentraciones <0.007 y <0.0004 respectivamente; el cadmio registró la concentración de 2.2 mg/L, excediendo el límite máximo permisible de 1.00 mg/L; el cromo total es inferior al límite máximo permisible, la concentración de plomo obtenida en el análisis es inferior al límite máximo permisible que establece la normatividad para residuos peligrosos.

Los resultados del análisis de estos metales pesados muestran que únicamente el cadmio rebasa los límites máximos permisibles, lo que le confiere a los lixiviados la categoría de



residuos peligrosos. Por este motivo ha sido importante el que la empresa a cargo del relleno sanitario haya extraído y concentrado los lixiviados con la finalidad de hacer un manejo adecuado de éstos.

El zinc y el cobre son metales pesados que no se encuentran normados como residuos peligrosos, aunque sí se encuentran normados para el agua potable en la norma NOM-127-SSA1-1994, y que se estudiaron por considerarse de interés para determinar la posible contaminación del acuífero,

Otro metal pesado que se analizó, aunque no está normado como residuos peligroso, ni como contaminante del agua potable, es el níquel, cuyo valor registrado corresponde a 4.7 mg/L, cuyo estudio se realizó como indicador de contaminación del acuífero por los lixiviados de Rincón Verde.

Se estudió la posible contaminación biológica, por lo cual se analizaron los coliformes fecales y los huevos de helminto, cuyos valores respectivos son 15 000 y No Detectado, estos resultados se encuentra relacionado con los sólidos volátiles, aunque se supone que es posible encontrar muchas especies de microorganismos.

Otros parámetros que se analizaron en el laboratorio son los cianuros (no detectándose) y el nitrógeno de nitritos, con valor de 27.7 mg/L.

Tabla 3.1.2. Hoja de Resultados del análisis de lixiviados del relleno sanitario de Santiago Tepatlaxco (Rincón Verde), mayo de 2006.

RAZÓN SOCIAL PROYECTO. PLAN INTEGRAL DE SANEAMIENTO DEL RÍO LOS REMEDIOS		FECHA ANÁLISIS 14 de junio de 2006
GIRO INVESTIGACIÓN	DESCARGA No. 1 de 1	FECHA MUESTREO 26 de mayo de 2006
UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO LAGUNA DE LIXIVIADOS DE RINCÓN VERDE		CÓDIGO DE LA MUESTRA INVESTIGACIÓN MRVR

PARÁMETRO	INSTANTANEO
TEMPERATURA (°C)	29.2
pH (unidades de pH)	7.82
CONDUCTIVIDAD (µS/cm)	29 400
GASTO (L/s)	0.92

PARÁMETROS

PARÁMETROS	RESULTADO	UNIDADES
ARSÉNICO *	< a 0.007	mg/L
CADMIO *	2.2	mg/L
CIANUROS	< a 0.05	mg/L
COBRE	2.9	mg/L
CROMO TOTAL	1.02	mg/L
MERCURIO *	< 0.0004	mg/L
NÍQUEL *	4.7	mg/L
PLOMO *	2.2	mg/L
SODIO	1503.7	mg/L
ZINC	5.8	mg/L
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	7 250	mg/L
SÓLIDOS TOTALES	15010	mg/L
SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES	4170	mL/L

PARÁMETROS ADICIONALES

PARÁMETROS	RESULTADO	UNIDADES
FÓSFORO TOTAL	6.86	mg/L
NITRÓGENO DE NITRITOS	27.77	mg/L
NITRÓGENO KJELDAHL	2 407.8	mg/L
NITRÓGENO TOTAL	2 435.57	mg/L
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	8 353	mg/L
COLIFORMES FECALES	15 000	NMP / 100 mL
HUEVOS DE HELMINTO	N.D.	unidades/ L

NOMENCLATURA:

< M. L. D. - Menor que el Limite de Detección

N. D. - No Detectado

p. p. - Promedio Ponderado.

* - Parámetros Normados (NOM – O52 – SEMARNAT – 1993)

N. A. - No Aplica

N. S. I. - No Se Indica.

L. M. P. - Limite Máximo Permissible.

INST. : Instantáneo

P. - Presente

A. - Ausente.

S. F - Sin Flujo

Fuente: Elaboración propia



Tabla 3.1.3. Composición típica de lixiviados

Constituyente	Relleno Nuevo (Menos de 2 Años)		Relleno Maduro (Mayor de 10 Años) (mg/L)
	Rango (mg/L)	Típico (mg/L)	
DBO ₅	2000-30000	10000	100-200
COT	1500-20000	6000	80-160
DQO	3000-60000	18000	100-500
Sólidos Suspendidos Totales	200-2000	500	100-120
Nitrógeno Orgánico	10-800	200	80-120
Nitrógeno Amoniacal	10-800	200	20-40
Nitratos	5-40	25	5-10
Fósforo Total	5-100	30	5-10
Ortofosfato	4-80	20	4-8
Alcalinidad como CaCO ₃	1000-10000	3000	200-1000
pH	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Dureza Total Como CaCO ₃	300-10000	3500	200-500
Calcio	200-3000	1000	100-400
Magnesio	50-1500	250	50-200
Potasio	200-1000	300	50-400
Sodio	200-2500	500	100-200
Cloro	200-3000	500	100-400
Sulfatos	50-100	300	20-50
Hierro Total	50-1200	60	20-200

Fuente: Tchobanoglous, 1994.

Tabla 3.1.4. Tabla 2 de la Norma NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece los límites Máximos permisibles para los constituyentes tóxicos en el extracto PECT.

No. CAS ¹	Contaminante	LMP ² (mg/L)
CONSTITUYENTES INORGANICOS (METALES)		
7440-38-2	Arsénico	5.0
7440-39-3	Bario	100.0
7440-43-9	Cadmio	1.0
7440-47-3	Cromo	5.0
7439-97-6	Mercurio	0.2
7440-22-4	Plata	5.0
7439-92-1	Plomo	5.0
7782-49-2	Selenio	1.0

1 CAS: Número del Chemical Abstracts Service (Servicio de Resúmenes Químicos)

2. Límite Máximo Permissible

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 2006.

3.2 Influencia del entorno urbano en la contaminación del río

El entorno urbano del municipio de Naucalpan de Juárez se constituye fundamentalmente por desarrollos inmobiliarios y el parque industrial. Las descargas de aguas residuales provenientes de las viviendas deben ser tratadas en plantas de tratamiento de aguas residuales, teniendo el municipio esa responsabilidad. En el caso de las aguas residuales industriales, cada empresa es responsable de tratar sus aguas residuales y el municipio debe vigilar que la calidad del agua descargada cumpla con la norma NOM-001-SEMARNAT-1994, de lo contrario sancionará a la empresa que no cumpla con la normatividad.

3.2.1 Análisis de descargas de aguas residuales municipales

Presa Tenantongo

Es una presa ubicada dentro del Parque Nacional Los Remedios, cuyo cause proviene de las sierras y cadenas montañosas del Poniente de la Cuenca del Valle de México (Santoyo, 2005).

De acuerdo a lo que se aprecia en las imágenes 4.2.4 a y b, se puede observar que el caudal que aporta al Río Chico de los Remedios en épocas de estiaje es en promedio de



0.10 m³/s, no así en épocas de lluvia, en donde eleva su caudal en por lo menos 40 a 60 veces su valor promedio. La mayor concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) obtenida corresponde a 294 mg/L y la concentración mayor de la demanda química de oxígeno obtenida corresponde a 420 mg/L, el contenido de sólidos suspendidos totales registrado es de 85 mg/L, y la concentración de sólidos sedimentables es de 3.4 ml/L

Río Chico Remedios

Es un pequeño tramo del Río Chico los Remedios que aún se encuentra a cielo abierto, ubicado en la calle: cerrada de Ayles, en San Juan Totoltepec. De acuerdo a los aforos realizados, el cauce del río Chico los Remedios en este tramo tiene en promedio 1.2 m³/s de agua en épocas de estiaje, y en épocas de lluvia alcanza un promedio de 6 m³/s.

En este tramo del río se han encontrado concentraciones de detergentes (Substancias activas al azul de metileno) de hasta 3 mg/L, y se ha observado la presencia de colorantes azul mezclilla, como puede observarse en las figuras 3.2.4a y 3.2.4b, los valores de temperatura que se han detectado en este tramo del río, en ocasiones han alcanzado 36°C; por todo lo señalado se presume que a pocos metros de este sitio se localiza una fuente de descarga de aguas residuales textiles, además de las descargas de los desarrollos urbanos de la zona aledaña a los Remedios. La concentración mayor de Demanda química de oxígeno (DQO) obtenida ha sido de 895 mg/L, y la concentración de demanda bioquímica de oxígeno mayor obtenida, ha sido de 396 mg/L.

San Mateo anterior

El Río San Mateo se encuentra a nivel superficial en un tramo ubicado a unas calles del inicio de la avenida San Mateo, el caudal del río se compone del agua limpia de los escurrimientos de las elevaciones del poniente, además de los aportes de los escurrimientos de Rincón Verde y de un gran volumen de descargas de aguas residuales de los desarrollos habitacionales de Rincón Verde y los aledaños a esta zona urbana, El caudal del río en este punto, en época de estiaje es en promedio de 4.8 m³/s y en épocas de lluvia se llegó a registrar un promedio de casi 10 m³/s.

Los valores más altos del contenido de sustancias activas al azul de metileno, han sido de 0.41 mg/L, la demanda bioquímica de oxígeno ha presentado valores de 352 mg/L.



3.3. Influencia del entorno industrial en la contaminación del río

La zona metropolitana del Valle de México ocupa el 0.25% del territorio nacional, y de acuerdo al censo económico del 2004 del INEGI, se reporta que en esta región se concentra el 16% de las industrias manufactureras y junto con los establecimientos de comercio y servicios, aporta el 31% del PIB del país (SIEM, 2007).

En el Estado de México, uno de los principales municipios que concentra la actividad manufacturera es el municipio de Naucalpan de Juárez, acompañado de Tlalnepantla y seguido del municipio de Ecatepec (Aspectos Generales de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2007). Los principales giros industriales instalados en los parques industriales de estos municipios son:

Productos alimenticios

Bebidas

Tabacaleras

Metalmecánica

Fundición

Maquinaria y equipo

Textil

Generadoras de energía eléctrica

Para la Zona Metropolitana del Valle de México resulta de gran beneficio el generar gran parte del producto interno bruto nacional, aunque contradictoriamente, esta fortaleza económica que le brinda la ubicación de un amplio sector industrial en su superficie, se ha reflejado en el grave deterioro del ecosistema, y en particular en los recursos naturales hídricos, pues se ha observado que gran parte de las manufactureras no tratan sus aguas residuales, o la calidad de los efluentes de éstas, no cumplen con la normatividad establecida.

En el municipio de Naucalpan se establecen centros urbanos irregulares de gran densidad demográfica, sin planeación territorial, ni servicios, en los alrededores de la zona industrial, que promueven la contaminación de ríos y de sus alrededores, con residuos sólidos urbanos, un ejemplo de ello es la zona conocida como "El Torito".



3.3.1. Análisis de descargas de aguas residuales industriales

El estudio de la calidad del agua de las descargas industriales se realizó con gran dificultad, ya que no es posible tomar directamente las muestras de las descargas de las industrias, para ello se tendría que contar con la autorización de las empresas, por lo que se optó por tomar las muestras en los sitios más próximos. Un estudio de caso es el de una empresa textil que descargó sus aguas residuales del proceso de tinción, sin darles tratamiento, como se observa en las figuras 3.3.1.1 y 3.3.1.2.



Figura 3.3.1.1. Río Chico las Remedios, con agua residual textil. Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3.1.2. Río Chico los Remedios sin descarga de agua residual industrial. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.3.1. Análisis de agua residual descargada en el Río Chico los Remedios en el punto de la calle de Ayles, conforme a la NOM-001-SEMARNAT-1994. Abril de 2009.

RAZÓN SOCIAL		FECHA ANÁLISIS
PROYECTO. PLAN INTEGRAL DE SANEAMIENTO DEL RÍO LOS REMEDIOS		19 de abril de 2009
GIRO	DESCARGA No.	FECHA MUESTREO
INVESTIGACIÓN	1 de 1	09 de abril de 2009
UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO		CÓDIGO DE LA MUESTRA
Calle Ayles, Naucalpan de Juárez		INVESTIGACIÓN MRVR
PARÁMETRO	INSTANTANEO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
TEMPERATURA (°C)	28.6	40
Ph (unidades de Ph)	8.4	5-10
Material florante	ausente	ausente

TABLA DE RESULTADOS 2 (parámetros obligatorios)

PARÁMETROS	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
ARSÉNICO mg/L	* < a 0.007	0.2
CADMIO mg/L	* 0.22	0.2
CIANUROS mg/L	* < a 0.05	2
COBRE mg/L	* <0.022	6
CROMO TOTAL mg/L	* <0.027	1
MERCURIO mg/L	* < 0.0004	0.01
NÍQUEL mg/L	* <0.035	4
PLOMO mg/L	* <0.024	0.4
ZINC mg/L	* 0.032	10
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO mg/L	* 375.4	60
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES mg/L	* 72	60
SÓLIDOS SEDIMENTABLES ml/L	3.2	2
GRASAS Y ACEITES (P:P) mg/L	20.6	25

TABLA DE RESULTADOS 3 (Parámetros adicionales)

PARÁMETROS	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
FÓSFORO TOTAL mg/L	13.2	10
NITRÓGENO TOTAL mg/L	17.7	25
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO mg/L	685.2	NSI
SAAM (SUBSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO)	3.8	NSI
COLIFORMES FECALES NMP / 100 mL	408	2000
HUEVOS DE HELMINTO unidades/ L	N.D.	N.D.

< **M. L. D.** - Menor que el Limite de Detección

N. D. - No Detectado

. * - Parámetros Normados (NOM – OO1– ECOL – 1996)

Fuente: *Elaboración propia*

p. p. - Promedio Ponderado

N. S. I. - No Se Indica.

L. M. P. - Limite Máximo Permisible.

P. - Presente

A. - Ausente.

S. F. - Sin Flujo

El análisis muestra que el agua residual industrial descargada al río, excede los límites máximos permisibles normados, en los parámetros de DBO₅, fósforo total, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales y contiene 21.8 mg/L detergente (no está normado).

- **CAPÍTULO 4**

CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DEL RÍO

4.1 Normatividad de Referencia para el estudio de las aguas de río y aguas residuales

ARTÍCULO 27 CONSTITUCIONAL

“ARTICULO 27. LA PROPIEDAD DE LAS TIERRAS Y AGUAS COMPRENDIDAS DENTRO DE LOS LÍMITES DEL TERRITORIO NACIONAL, CORRESPONDE ORIGINARIAMENTE A LA NACIÓN, LA CUAL HA TENIDO Y TIENE EL DERECHO DE TRANSMITIR EL DOMINIO DE ELLAS A LOS PARTICULARES, CONSTITUYENDO LA PROPIEDAD PRIVADA...”

LA NACIÓN TENDRÁ EN TODO TIEMPO EL DERECHO DE IMPONER A LA PROPIEDAD PRIVADA LAS MODALIDADES QUE DICTE EL INTERÉS PÚBLICO, ASÍ COMO EL DE REGULAR, EN BENEFICIO SOCIAL, EL APROVECHAMIENTO DE LOS ELEMENTOS NATURALES SUSCEPTIBLES DE APROPIACIÓN, CON OBJETO DE HACER UNA DISTRIBUCIÓN EQUITATIVA DE LA RIQUEZA PÚBLICA, CUIDAR DE SU CONSERVACIÓN, LOGRAR EL DESARROLLO EQUILIBRADO DEL PAÍS ... Y ESTABLECER ADECUADAS PROVISIONES, USOS, RESERVAS Y DESTINOS DE TIERRAS, AGUAS Y BOSQUES, A EFECTO DE EJECUTAR OBRAS PÚBLICAS Y DE PLANEAR Y REGULAR LA FUNDACIÓN, CONSERVACIÓN, MEJORAMIENTO Y CRECIMIENTO DE LOS CENTROS DE POBLACIÓN; PARA PRESERVAR Y RESTAURAR EL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PARA EVITAR LA DESTRUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS NATURALES Y LOS DAÑOS QUE LA PROPIEDAD PUEDA SUFRIR EN PERJUICIO DE LA SOCIEDAD...

...LAS AGUAS DEL SUBSUELO PUEDEN SER LIBREMENTE ALUMBRADAS... POR EL DUEÑO DEL TERRENO EL EJECUTIVO FEDERAL PODRÁ REGLAMENTAR SU EXTRACCIÓN Y UTILIZACIÓN Y AUN ESTABLECER ZONAS VEDADAS, ...

LA RESTITUCIÓN DE TIERRAS, BOSQUES Y AGUAS A LOS NÚCLEOS DE POBLACIÓN SE HARÁ EN LOS TÉRMINOS DE LA LEY REGLAMENTARIA



Como es posible apreciar en estos fragmentos del artículo 27 Constitucional, la nación es la propietaria originaria de las aguas nacionales y aunque puede ceder el apropiamiento de éstas a particulares, bajo los lineamientos legales que establece la Ley Federal de Derechos y la Ley de Aguas Nacionales; la nación no pierde el dominio de su explotación, uso, aprovechamiento y **preservación**. Siendo la preservación de los recursos naturales el elemento fundamental de conservación del equilibrio ecológico, se establece la ley que rige su protección, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y la que contempla la Ley de Aguas Nacionales (LAN) en su artículo 1º

Las **aguas residuales** son incorporadas a las aguas pertenecientes a la nación, al señalarse en el artículo 16 del Título Cuarto(LAN), capítulo I “Aguas Nacionales”, que a la letra dice: “El régimen de propiedad nacional de las aguas subsistirá Las aguas residuales provenientes del uso de las aguas nacionales, también tendrán el mismo carácter, cuando se descarguen en cuerpos receptores de propiedad nacional, aún cuando sean objeto de tratamiento. La Ley de Aguas Nacionales en su artículo 47 establece los lineamientos para el manejo de las aguas residuales y la LGEEPA en el artículo 117 del Título Cuarto establece los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua en el artículo 118, que contempla cómo deberán ser plasmados esos criterios de prevención y control de la contaminación, dado que esta responsabilidad compete al Estado. Y de ahí se desprende la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas para el uso, disposición y tratamiento de aguas residuales; en donde se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes que éstas aguas pueden contener, además de indicar las Normas Mexicanas correspondientes a los métodos analíticos estandarizados mediante los cuales se deberá analizar el agua residual para determinar cada uno de los contaminantes que contempla la Norma Oficial Mexicana respectiva. Constituyendo estas normas una parte de gran importancia en la metodología para el estudio de las aguas residuales del presente estudio.



Para el manejo de las *aguas residuales* se cuenta con las siguientes normas:

1. NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales
2. NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
3. NORMA Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

Hasta el momento no se cuenta con una Norma Oficial Mexicana que regule específicamente la calidad de las aguas que constituyen los ríos, pero sí existe una norma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes que debe contener el agua residual que se descarga en aguas y bienes nacionales, como lo son los ríos.

La norma NOM-001-SEMARNAT-1996 regula las descargas de aguas residuales a los cuerpos de agua, por ello para el presente trabajo se toma como referencia en cuanto a los parámetros que se deben analizar para determinar la calidad del agua en diversos puntos de muestreo de los ríos San Mateo y Río Chico de los Remedios.

4.2 Selección de Puntos de Muestreo

Los puntos de muestreo se seleccionaron en base a la división hidrológica de la zona de estudio y a las características observables del agua (color, presencia de espuma y otros).

Para la selección de los puntos de muestreo se realiza *una inspección de campo*, la cual consiste en la visita del sitio, con el objeto de obtener información a través de:

- 1.- Observación de características peculiares de la calidad del agua
- 2.- Observación de características especiales del cuerpo receptor del agua
- 3.- Observación del entorno
- 3.- Observación de la población circundante
- 4.- Observación de la vegetación
- 5.- Observación de fauna circundante

Con esta información se establece el criterio de selección de los puntos de muestreo, para lo cual se asignan las claves correspondientes a cada sitio y se señalan en un croquis.

Los sitios seleccionados para el muestreo se observan en la Tabla 4.2.1, la ubicación en el plano se puede observar en las figuras 1 y 2.

Tabla 4.2.1. Puntos de Muestreo de los cuerpos de agua del Río Chico de los Remedios y tributarios.

SITIO DE MUESTREO	CLAVE DEL PUNTO DE MUESTREO
Tenantongo D1	1
Remedios Chico D2	2
San Mateo anterior D3	3
Rincón Verde Manantial D4	4
El Colorado D5	5
La Colorada D6	6
Lomas Verdes D7	7

Fuente: *Elaboración propia.*

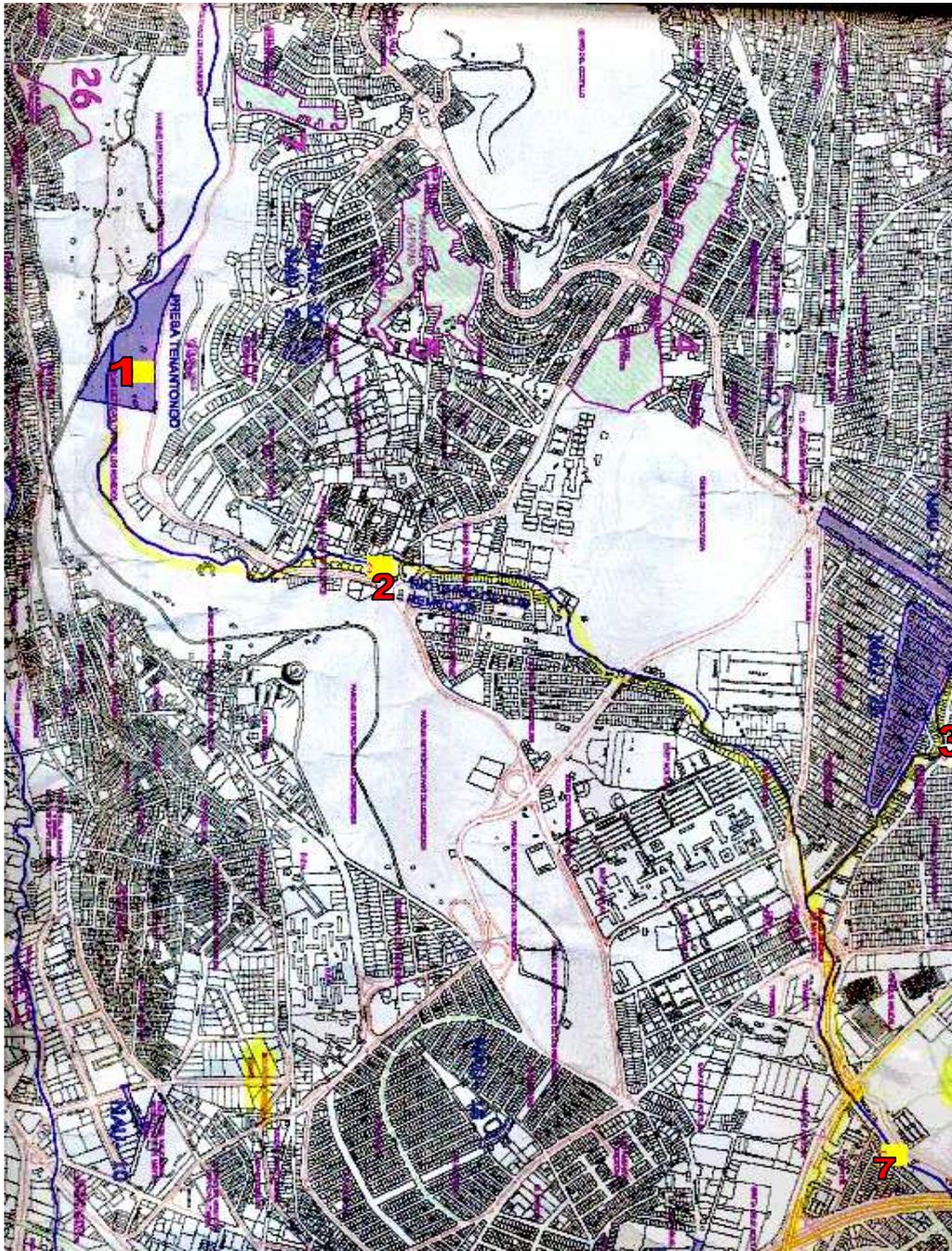


Figura. 4.1. Plano de localización de los Puntos de Muestreo 1, 2 y 7 del río Chico de los Remedios y el punto 3 del Río San Mateo. Fuente: *Elaboración propia sobre plano del Municipio de Naucalpan.*

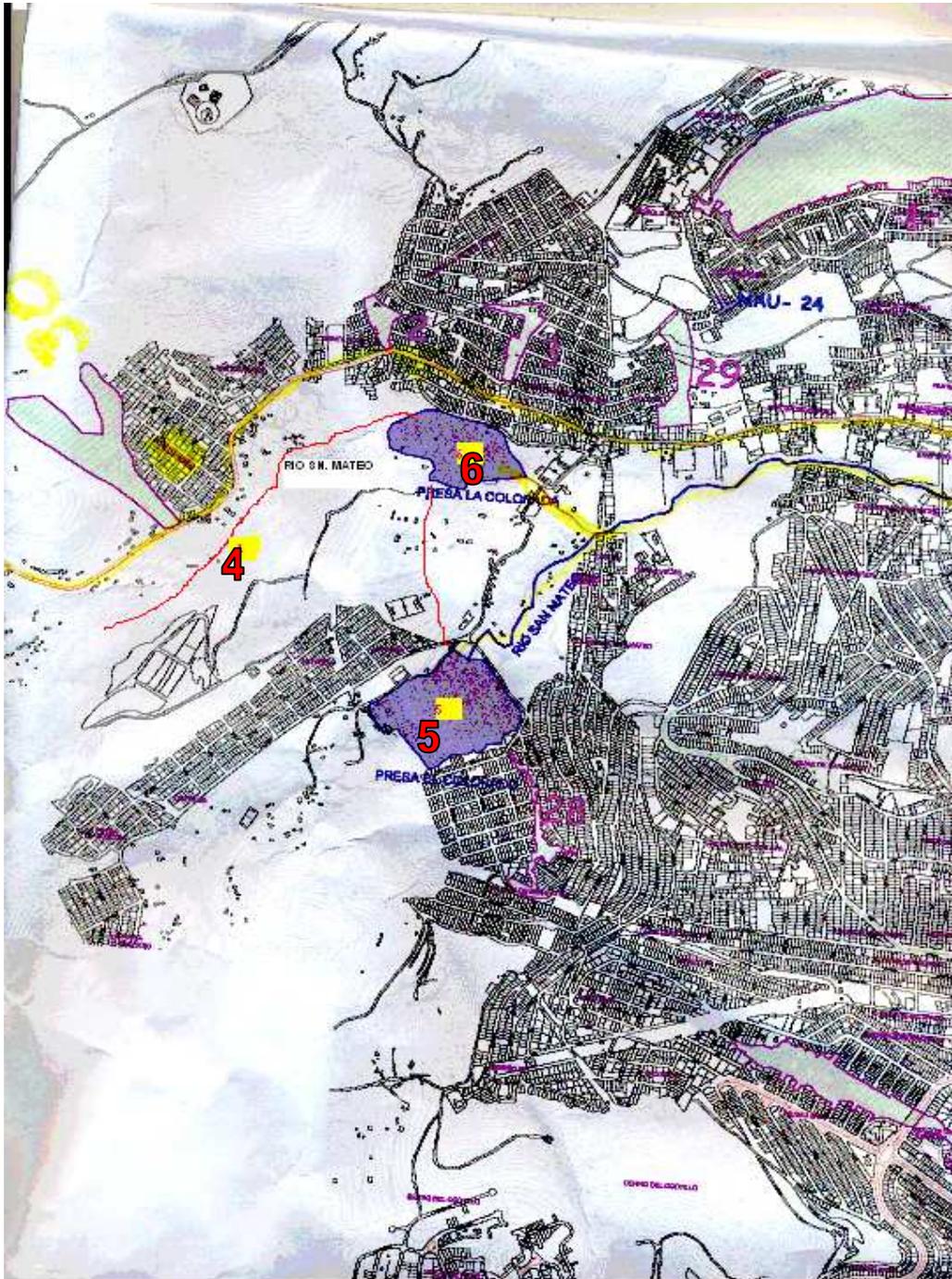


Figura. 4.2. Plano de localización de los Puntos de Muestreo 4, 5 y 6 del Río San Mateo, tributario del Río Chico de los Remedios. (Fuente: *Elaboración propia sobre plano del Municipio de Naucalpan*).



Figura. 4.2.3. Ubicación de los sitios de muestreo, el 10 de enero del 2005.
Fuente: Elaboración propia sobre imagen cortesía de Google Earth.

Tabla 4.2.2. Características de los puntos de muestreo del ecosistema en estudio.

Sitio	Descripción de los sitios de muestreo	Cuerpo de agua
Tenantongo D1	Es una presa ubicada dentro del Parque Nacional Los Remedios, cuyo cause proviene de las sierras y cadenas montañosas del Poniente de la Cuenca del Valle de México (Santoyo, 2005). De acuerdo a lo que se aprecia en las imágenes 4.2.4 a y b, se puede observar que el caudal que aporta al Río Chico de los Remedios en épocas de estiaje es en promedio de 0.10 m ³ /s, no así en épocas de lluvia, en donde eleva su caudal en por lo menos de 40 a 60 veces su valor promedio.	Presa de contención
Remedios Chico D2	Es un pequeño tramo del Río Chico los Remedios que aún se encuentra a cielo abierto, ubicado en la calle cerrada de Ayles, en San Juan Totoltepec. De acuerdo a los aforos realizados, el cauce del río Chico los Remedios en este tramo tiene en promedio 1.2 m ³ /s de agua en épocas de estiaje, y en épocas de lluvia alcanza un promedio de 6 m ³ /s. En este tramo del río se han encontrado concentraciones de detergentes (Substancias activas al azul de metileno) de hasta 3 mg/L, y se ha observado la presencia de colorantes azul mezclilla, como puede observarse en las figuras 4.2.4 ^a y b, los valores de temperatura que se han detectado en este tramo del río, en ocasiones han alcanzado 36°C; por todo lo señalado se presume que a pocos metros de este sitio se localiza una fuente de descarga de aguas residuales textiles. En el río descargan los desarrollos habitacionales de	Río Chico los Remedios
San Mateo anterior D3	El Río San Mateo se encuentra a nivel superficial en un tramo ubicado a unas calles del inicio de la avenida San Mateo, el caudal del río se compone del agua limpia de los escurrimientos de las elevaciones del poniente, además de los aportes de los escurrimientos de Rincón Verde y de un gran volumen de descargas de aguas residuales de los desarrollos habitacionales de Rincón Verde y los aledaños a esta zona urbana,	Río San Mateo
Rincón Verde Manantial D4	El Manantial del Río San Mateo, se ubica a 500 m en línea descendente del Relleno Sanitario, en el fondo de una barranca, aproximadamente en las coordenadas 19°29'48.12" N, 99°17'26.24" O, los alrededores del sitio contienen residuos sólidos urbanos dispersos, en sus proximidades se encuentra un lavadero de piedra y el agua que fluye es cristalina, no se aprecia la presencia de agua residual	Manantial Río San Mateo.

Fuente: Elaboración propia.

	INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL	
---	---	---

Tabla 4.2.2. Características de los puntos de muestreo del ecosistema de estudio (continuación).

Sitio	Descripción de los sitios de muestreo	Cuerpo de agua
El Colorado D5	Es una presa de contención ubicada a la entrada de Rincón Verde, generalmente en épocas de estiaje corre un pequeño cauce de agua residual., cerca de la salida se observa una gran cantidad de botellas de PET, ver figuras 4.2.8a y b. Se realizaron análisis de sus sedimentos, encontrándose presencia de metales pesados.	Presa de contención
La Colorada D6	Esta presa es de contención, se localiza junto a la presa El Colorado, es un cuerpo de agua que aloja grandes cantidades de envases desechables de agua y refresco. El análisis de sus sedimentos registró presencia de metales pesados, figuras 4.2.9a y b.	Presa de contención
Lomas Verdes D7	Este tramo del Río Chico Los Remedios se encuentra localizada entre la planta de tratamiento de aguas residuales de OAPAS, Naucalpan y el Hospital de Traumatología de Lomas Verdes. Es el punto del río en el que el caudal se compone de los aportes que ha recibido el río en su trayectoria por el municipio, ver figura 4.2.10a y b.	Río Chico Los Remedios



IMÁGENES DE LOS SITIOS DE LOS PUNTOS DE MONITOREO



Figura. 4.2.4a. Presa Tenantongo, punto de muestreo D1 inicio de la sección de estudio del Río Chico de los Remedios, ubicada dentro del parque nacional Los Remedios.
Fuente: Elaboración propia



Figura. 4.2.4b. Punto D1 de Muestreo, estación de monitoreo de la CNA, ubicada en la Presa Tenantongo.
Fuente: Elaboración propia



Fig. 4.2.5a. Río Chico de los Remedios (D2), después de recibir una descarga de aguas residuales, presumiblemente textiles.
Fuente: Elaboración propia.

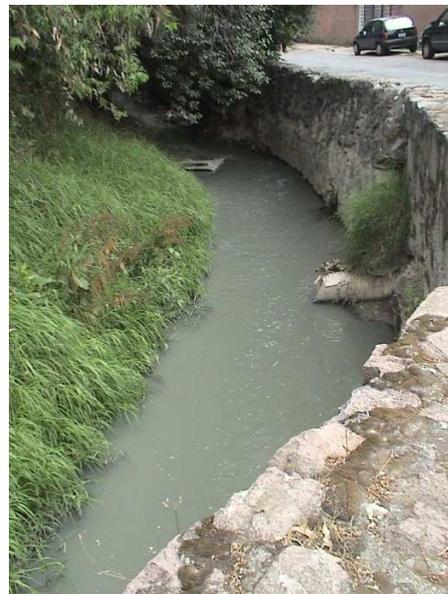


Fig. 4.2.5b. Punto de Muestra D2, Río Chico los Remedios.
Fuente: Elaboración propia.



Figura. 4.2.6a. Río San Mateo, punto de muestreo D3, a unas calles del inicio de Av. Sn. Mateo.
Fuente: Elaboración propia.



Figura. 4.2.6b. Punto de Muestreo D3, Río San Mateo (antes de la Unión con el Río Chico de los Remedios).
Fuente: Elaboración propia.

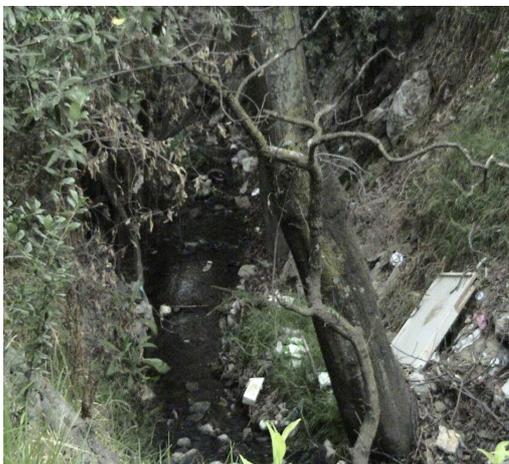


Figura. 4.2.7 a. Río San Mateo, a 10 m de distancia del manantial de Rincón Verde (D4), y a 500 m de distancia en línea ascendente, al tiradero a cielo abierto Rincón Verde.
Fuente: Elaboración propia



Figura.4.2.7b. Medición de parámetros de campo en la muestra D4, proveniente del manantial de Rincón Verde, en donde a pesar de la dispersión de residuos sólidos urbanos, el agua es clara.
Fuente: Elaboración propia



Figura. 4.2.8 a. Presa El Colorado, punto de muestreo D5

Fuente: Elaboración propia



Figura.4.2.8b. Punto D5 de muestreo, presa El Colorado

Fuente: Elaboración propia



Figura.4.2.9a. Presa La Colorada

Fuente: Elaboración propia



Figura.4.2.9b. Punto de muestreo D6, Presa la Colorada

Fuente: Elaboración propia



Fig. 4.2.10a. Unión de Dos Ríos, San Mateo a la derecha y Río Chico de los Remedios a la izquierda. Este sitio se localiza a la altura de la ENEP ACATLAN.
Fuente: Elaboración propia



Fig.4.2.10b. Punto de muestreo D7, Río Chico los Remedios, a la altura en Lomas Verdes, el Cauce del Río Chico los Remedios ya ha recibido el aporte de su tributario, el Río San Mateo.
Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Muestreo

El muestreo se inicia en enero del año 2005 y finaliza en enero del 2008, con una periodicidad mensual para el punto 7, que es el punto final del tramo en estudio del Río Chico los Remedios, cuyo caudal a esta altura, ha sido enriquecido con los aportes del Río San Mateo y otros arroyos tributarios como el San Miguel.

Los puntos 1 a 6 han sido monitoreados trimestralmente, a excepción del punto 4 que ha sido muestreado con mayor periodicidad, por ser un importante indicador del presumible nivel de afectación de la calidad del agua debida a la contaminación que pudiese causar la presencia del tiradero controlado Rincón Verde.

Plan de Muestreo:

Se preparan muestras compuestas en cada punto, para lo cual se consideran 24 horas de trabajo, por lo cual se toman en total 6 muestras simples por punto de muestreo; con intervalos de tiempo entre cada toma de muestra simple de 3 a 4 horas.

El Aforo se realiza con la técnica de *área transversal o velocidad contra tiempo*, según sean las condiciones del sitio de muestreo.

Las mediciones de parámetros de campo que se realizan a cada muestra simple son: *temperatura, pH y conductividad*. El equipo empleado para las mediciones de campo (pH, temperatura y conductividad) es un equipo calibrado con soluciones de referencia



certificadas por el Centro Nacional de Metrología (CENAM), modelo Conductronic PC 18 que puede apreciarse en la figura 4.3.

Las muestras simples son preservadas químicamente de acuerdo a lo establecido en la normatividad mexicana, y guardadas en hieleras hasta su transporte al laboratorio.



Figura. 4.3. Equipo empleado en las mediciones de Campo

Los resultados obtenidos de las mediciones de campo para la muestra proveniente del punto 7 se pueden observar en las tablas 4.1.2.1

Tabla 4.1.2.1. Medición de campo del punto 7 (Lomas Verdes D7),
De fecha 26 de enero de 2005.

NÚMERO DE MUESTRA	PARÁMETRO	VALOR OBTENIDO	HORA	*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE Valor instantáneo
1	pH	6.50	6:30	5 a 10
	Temperatura	11.6		40 (K)
	conductividad	936		No se Indica
2	pH	8.1	10:30	5 a 10
	Temperatura	16.4		40 (K)
	conductividad	1115		No se Indica
3	pH	7.22	14:30	5 a 10
	Temperatura	18.5		40 (K)
	conductividad	1783		No se Indica
4	pH	8.40	18:30	5 a 10
	Temperatura	17.7		40 (K)
	conductividad	1720		No se Indica
5	pH	5.1	22:30	5 a 10
	Temperatura	14.60		40 (K)
	conductividad	995		No se Indica
6	pH	4.4	02:30	5 a 10
	Temperatura	14.10		40 (K)
	conductividad	1302		No se Indica

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Análisis de Laboratorio

Los análisis de laboratorio para establecer la calidad del agua del río en sus diferentes puntos de muestreo se realizan en el laboratorio de investigación: *LABORATORIO DE ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE AGUAS UAM-AZCAPOTZALCO*, de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, perteneciente al Área de Química del Departamento de Ciencias Básicas (figuras 4.17 a 4.20), cuyo responsable es el investigador candidato a Dr. Erasmo Flores Valverde.

Material y Reactivos

Material de vidrio común

Material para mediciones volumétricas (el material volumétrico cuenta con certificado de calibración).

Reactivos (los reactivos empleados cuentan con certificado de calibración).



Estándares Certificados por el Centro Nacional de Metrología

Equipo e Instrumentos

Refrigerador Nieto (con medición automatizada de temperatura).

Refrigerador Tor Rey (con medición automatizada de temperatura).

Incubadora VWR (con medición automatizada de temperatura).

Mufla FELISA

Estufa FELISA (con medición automatizada de temperatura).

Balanza electrónica digital Ohaus Explorer Pro (calibrada por una empresa autorizada por el Centro Nacional de Metrología).

Marco de Pesas (certificado por una empresa autorizada por el Centro Nacional de Metrología).

Espectrofotómetro Spectronic C (calibrada por una empresa autorizada por el Centro Nacional de Metrología).

Espectrofotómetro de Absorción Atómica GBC 932AA con Generador de Hidruros calibrado por la empresa distribuidora, que se observa en la figura 4.17.

Potenciómetro VWR (calibrado por una empresa autorizada por el Centro Nacional de Metrología).



Fig. 4.17. Espectrofotómetro de Absorción Atómica GBC932AA con Generador de Hidruros.
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.18. Laboratorio de Análisis Físicoquímicos y De metales de la UAM-Azcapotzalco.
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.19. Espectrofotómetro Spectronic
Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.20. Refrigeración de las muestras con registro de temperatura automatizada durante las 24 horas. Cortesía del Laboratorio de Análisis y Tratamiento de Aguas UAM-Azcapotzalco
Fuente: Elaboración propia.

Los análisis de laboratorio de las muestras, se efectuaron tomando como referencia la NOM-001-SEMARNAT-1996, cuyos resultados se presentan en las tablas del anexo.

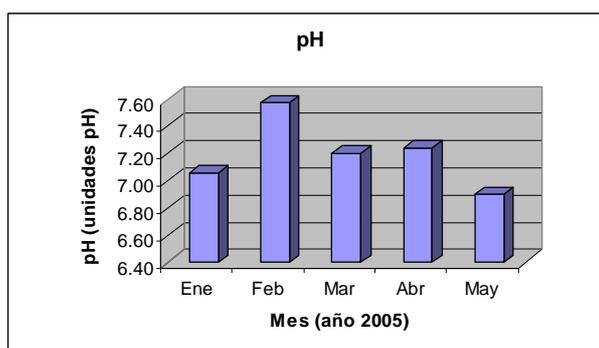
4.4. Análisis de laboratorio

Los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de agua se encuentran en las tablas del anexo. En esta sección se muestran las gráficas de algunos de los resultados de laboratorio.



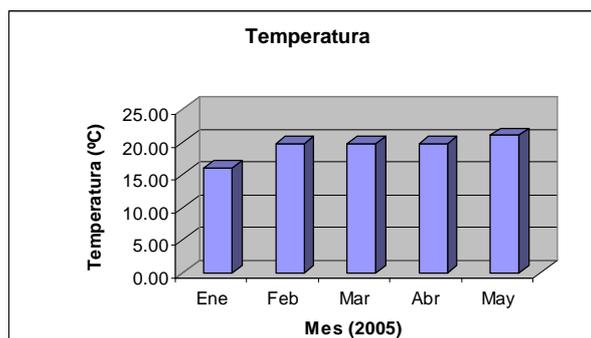
GRÁFICAS DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO
AÑO 2005

Mes	pH (unidades pH) [límite máx. permisible 5.5 - 10]
Ene	7.06
Feb	7.57
Mar	7.20
Abr	7.24
May	6.90



Gráfica 4.4.1. Variaciones de los valores de pH en el punto de muestreo 7

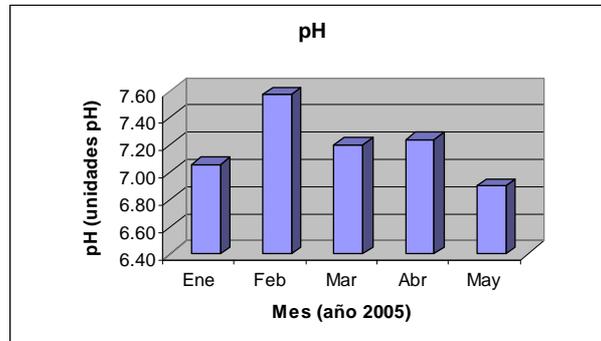
Mes	T (°C) [límite máx. permisible 40]
Ene	16.00
Feb	19.77
Mar	19.70
Abr	19.70
May	21.00



Gráfica 4.4.2. Variaciones de los valores de pH en el punto de muestreo 7

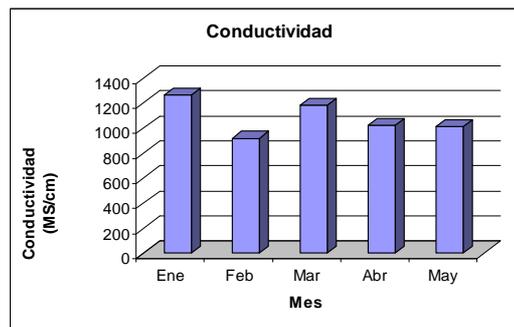


Mes	pH (unidades pH) [límite máx. permisible 5.5 - 10]
Ene	7.06
Feb	7.57
Mar	7.20
Abr	7.24
May	6.90



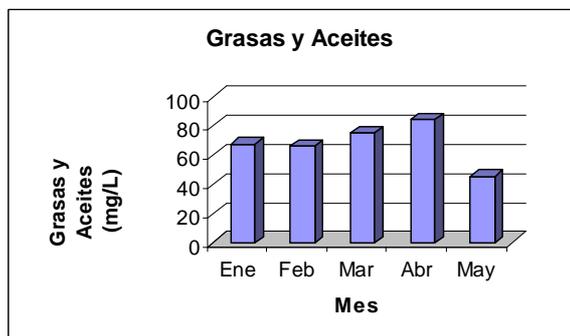
Gráfica 4.4.3. Variaciones de los valores de pH en el punto de muestreo 7

Mes	Conductividad (μ S/cm) [límite máx. permisible N.S.I.]
Ene	1262.5
Feb	919.0
Mar	1184.0
Abr	1024.7
May	1010.0



Gráfica 4.4.4. Variaciones de los valores de conductividad en el punto de muestreo 7

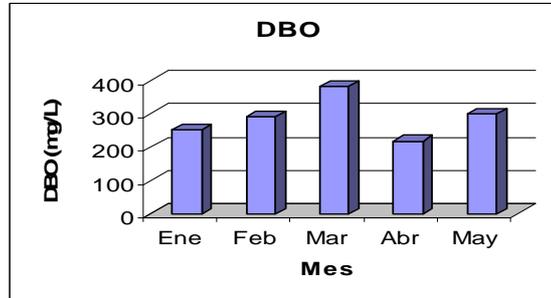
Mes	Grasas y aceites (mg/L) [límite máx15].
Ene	67.57
Feb	66.03
Mar	75.25
Abr	84.47
May	45.4



Gráfica 4.4.5. Variaciones de los valores de grasas y aceites en el punto de muestreo 7

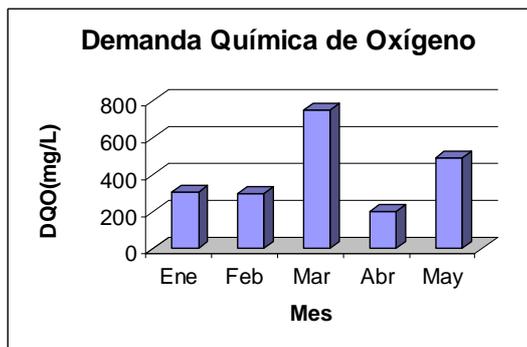


	DBO (mg/L) [límite máx. permisible 150]
Ene	250.50
Feb	290.83
Mar	380.60
Abr	218.00
May	298.00



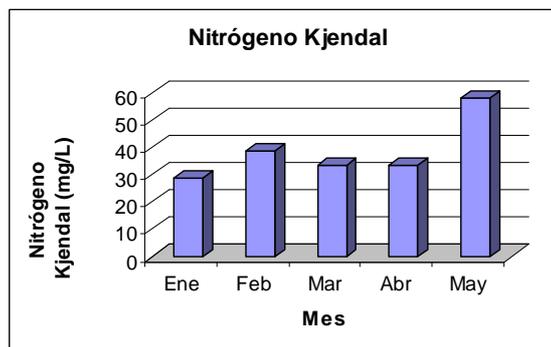
Gráfica 4.4.6. Variaciones de los valores de DBO₅ en el punto de muestreo 7

Mes	Demanda Química de Oxígeno (mg/L) [límite máx. permisible 800]
Ene	307.2
Feb	301.2
Mar	753.0
Abr	200.8
May	496.0



Gráfica 4.4.7. Variaciones de los valores de DQO en el punto de muestreo 7

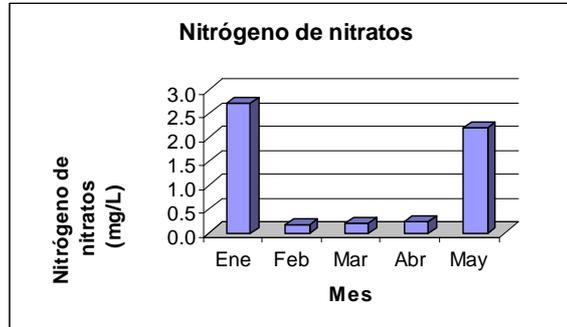
Mes	Nitrógeno Kjendalh aceites (mg/L) [límite máx15].
Ene	28.60
Feb	38.57
Mar	33.52
Abr	33.25
May	57.99



Gráfica 4.4.8 Variaciones de los valores de Nitrógeno Kjendalh en el punto de muestreo 7

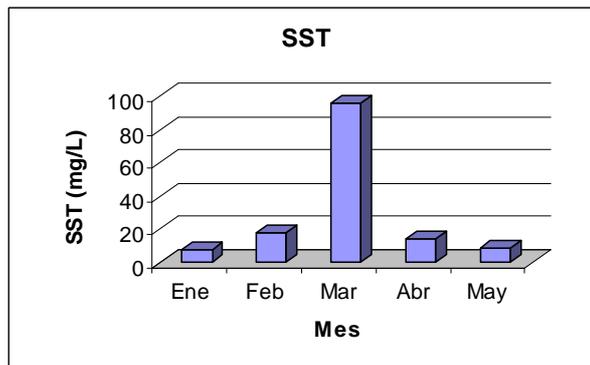


Mes	Nitrógeno de nitratos (mg/L) [límite máx. permisible N.S.I.]
Ene	2.700
Feb	0.170
Mar	0.215
Abr	0.232
May	2.200



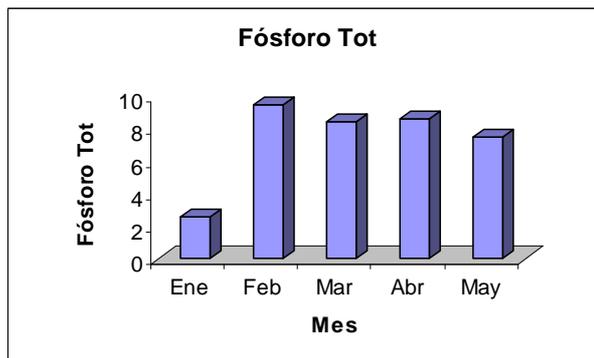
Gráfica 4.4.9. Variaciones de los valores de nitrógeno de nitratos en el punto de muestreo 7

Mes	SST (mg/L) [límite máx. permisible 125]
Ene	8
Feb	18
Mar	96
Abr	14
May	9



Gráfica 4.4.10. Variaciones de los valores de sólidos suspendidos totales en el punto de muestreo 7

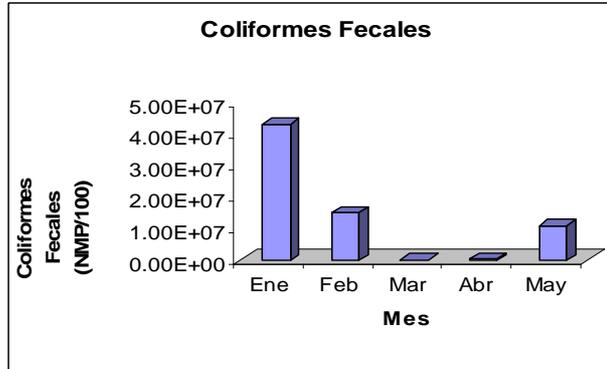
Mes	Fósforo Tot (mg/L) [límite máx. permisible 30]
Ene	2.58
Feb	9.46
Mar	8.48
Abr	8.65
May	7.48



Gráfica 4.4.11. Variaciones de los valores de fósforo total en el punto de muestreo 7



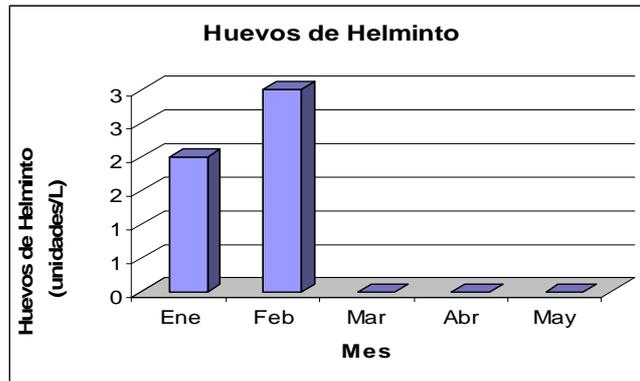
Mes	Coliformes Fecales NMP/100 [límite máx. permisible 2000]
Ene	4.30E+07
Feb	1.50E+07
Mar	1.05E+05
Abr	2.70E+05
May	1.10E+07



Gráfica 4.4.12. Variaciones de los valores de coliformes fecales en el punto de muestreo

7

Mes	Huevos de Helminto unidades/L [límite máx. permisible <= 1]
Ene	2
Feb	3
Mar	0
Abr	0
May	0



Gráfica 4.4.13. Variaciones de los valores de huevos de helminto en el punto de muestreo 7



SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL A CIELO ABIERTO RINCÓN VERDE



Figura 4.5.1. Vista del Tiradero Controlado Rincón Verde
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.5.3. Sitio de toma de Muestras del Tiradero Controlado Rincón Verde
Fuente: OAPAS Naucalpan.

- **CAPÍTULO 5**

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA HIDROLÓGICO

5.1 Detección de los parámetros que afectan la calidad del agua del río

De acuerdo a los resultados de las tablas 4.2 (a y b) a 4.5 (a y b) se construyeron gráficas para observar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y de metales pesados presentes en las muestras de agua residual, para determinar los parámetros críticos del presente estudio. Los resultados que se reportan en el estudio (tablas del anexo) corresponden al punto 7 de muestreo, ubicado a un costado del Parque Naucalli, ya que en este sitio se considera que la muestra contiene la suma de los aportes de agua de los sitios de muestreo; siendo esta corriente de agua la que descarga en la presa reguladora del Vaso del Cristo.

Y también se reportan los resultados del análisis del agua del manantial de Rincón Verde, correspondientes al punto de muestreo 4.

De acuerdo a los resultados del análisis de laboratorio, se observa que los parámetros que se encuentran fuera de norma (NOM-001-SEMARNAT-1996) en promedio son: las grasas y aceites, los sólidos suspendidos totales, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes fecales y huevos de helminto, mostrados en las gráficas 4.4.1 a 4.4.13 del capítulo 4.

Es importante señalar que aunque los análisis realizados a las muestras de agua indican que aparentemente no se observa contaminación por metales pesados en el río, se consideró necesario realizar estudios en sedimentos, para lo cual se tomaron muestras de suelo en las presas de regulación Tenantongo (D1), El Colorado (D5) y la Colorada (D6), encontrándose evidencias de la presencia de metales pesados en las tres presas, registrándose los mayores niveles de contaminación en la presa El Colorado, como muestran las tablas 5.1 a 5.6.



ANÁLISIS DE MUESTRA DE SUELO DE LA PRESA LA COLORADA

Tabla 5.1. Resultados de los análisis de metales pesados en sedimentos de la presa la Colorada (10 de marzo de 2007).

PARÁMETRO	VALOR ENCONTRADO (mg/Kg)
Arsénico	< 0.0007
Cadmio	1.22
Cobre	22.75
Cromo Total	0.67
Mercurio	< 0.0004
Plomo	7.5
Níquel	2.57
Zinc	60



Fig. 5.1. Presa la Colorada en época de estiaje, marzo del 2007
Fuente: elaboración propia.

Tabla 5.2. Resultados de los análisis de metales pesados en sedimentos de la presa la Colorada (24 de enero de 2008).

PARÁMETRO	VALOR ENCONTRADO (mg/Kg)
Arsénico	< 0.0006
Cadmio	1.25
Cobre	23.25
Cromo Total	0.7
Mercurio	< 0.0004
Plomo	0.72
Níquel	24.25
Zinc	63

Fuente: Elaboración propia.



ANÁLISIS DE MUESTRA DE SUELO DE LA PRESA EL COLORADO

Tabla 5.3. Resultados de los análisis de metales pesados en sedimentos de la presa el Colorado (10 de marzo de 2007).

PARÁMETRO	VALOR ENCONTRADO (mg/Kg)
PARÁMETRO	VALOR ENCONTRADO (mg/L)
Arsénico	< 0.0007
Cadmio	1.27
Cobre	24.5
Cromo Total	0.70
Mercurio	<0.0004
Plomo	7.0
Níquel	2.75
Zinc	61.5

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 5.4. Resultados de los análisis de metales pesados en sedimentos de la presa el Colorado (24 de enero de 2008).

PARÁMETRO	VALOR ENCONTRADO (mg/Kg)
Arsénico	< 0.0006
Cadmio	1.3
Cobre	24.5
Cromo Total	7.2
Mercurio	< 0.0004
Plomo	7.75
Níquel	2.9
Zinc	64.25

Fuente: *Elaboración propia.*



ANÁLISIS DE MUESTRA DE SUELO DE LA PRESA TENANTONGO

Tabla 5.5. Resultados de los análisis de metales pesados en sedimentos de la presa Tenantongo (10 de marzo de 2007).

PARÁMETRO	VALOR ENCONTRADO (mg/Kg)
Arsénico	< 0.0007
Cadmio	< 0.020
Cobre	3.0
Cromo Total	< 0.018
Mercurio	< 0.0004
Plomo	1.075
Níquel	0.725
Zinc	21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.6. Resultados de los análisis de metales pesados en sedimentos de la presa Tenantongo (24 de enero de 2008).

PARÁMETRO	VALOR ENCONTRADO (mg/Kg)
Arsénico	< 0.0006
Cadmio	< 0.019
Cobre	3.5
Cromo Total	< 0.018
Mercurio	< 0.0004
Plomo	1.025
Níquel	0.77
Zinc	19.75

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Detección de las principales fuentes generadoras de contaminantes del río

De acuerdo a los análisis realizados en el laboratorio y de las observaciones hechas en campo, se considera que en el tramo de Rincón Verde, en el río San Mateo, se encuentran las principales fuentes de contaminación, localizadas en:

1. En Rincón Verde, el área circundante al río San Mateo se encuentra rodeada de un gran número de predios con depósitos de basura a cielo abierto.
2. Sobre la superficie del río se pueden encontrar diversos objetos procedentes de los residuos sólidos urbanos: como pilas, latas, botellas, residuos de material de construcción, entre otros, que contaminan el agua del río y lo azolvan.



3. Los desarrollos inmobiliarios han crecido considerablemente, y sobre el cauce del río se vierte un gran volumen de descargas de aguas residuales.



Fig. 5.2.1. Río San Mateo en época de estiaje, al fondo se observa a una persona lavando a orillas del río, marzo del 2007.
Fuente: elaboración propia.



Fig. 5.2.2. Río Chico los Remedios, alimentado por descargas de aguas residuales domésticas.
Fuente: elaboración propia.



Fig. 5.2.3. Vista de la Presa El Colorado, inundada de botellas de PET (Tereftalato de polietileno). *Fuente: elaboración propia.*



- **CAPÍTULO 6**

PROPUESTA DEL SISTEMA DE PREVENCIÓN Y REMEDIACIÓN

Para prevenir la contaminación del río, en esta propuesta se considera necesario emplear tanto elementos técnicos como de participación ciudadana, los cuales se encuentran contenidos en el *Plan integral de saneamiento* propuesto en el capítulo 7 de este trabajo.

La remediación propuesta consiste en depurar el río, tomando en consideración las siguientes medidas.

- Eliminación de los depósitos de residuos sólidos que se encuentren en su interior y sus alrededores.
- Dragar las zonas del cauce del río que se encuentren azolvadas y las presas de contención que vierten su agua al río, como lo son las presas de contención La Colorada y El Colorado.
- Realizar estudios de caracterización a los lodos dragados, con la finalidad de hacer un manejo adecuado de éstos, para lo cual es necesario conocer su nivel de peligrosidad, al determinar la presencia o ausencia de contaminantes, conforme a los criterios establecidos en la norma oficial mexicana que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, contenidos en las normas NOM-052-SEMARNAT-1993 y NOM-053-SEMARNAT-1993.
- Instalación de malla en los tramos del río identificado como más vulnerable a que la población deposite residuos sólidos urbanos y/o residuos peligrosos.

6.1 Estudios del Agua

Conforme a los resultados obtenidos en la caracterización de las muestras de agua del río, contaminadas por descargas de aguas residuales, estudiadas durante tres años (2005 a 2007) y actualizados en enero del 2011, se observa que los parámetros críticos para el diseño del tren de tratamiento son: grasas y aceites, Demanda Bioquímica de Oxígeno, en determinadas ocasiones los sólidos suspendidos totales han rebasado los límites permisibles de la norma NOM-001-SEMARNAT-1996, coliformes fecales y huevos de

helminto, adicionalmente se incluye la Demanda Química de Oxígeno (sin regulación normativa para el agua residual tratada) por ser un parámetro que aporta información de interés en la determinación del nivel de contaminación del agua.

6.1.2. Pruebas de Tratabilidad

Se realizaron pruebas de tratabilidad para el tratamiento combinado y dividido en dos partes, cada una conformada por dos tratamientos combinados: tratamiento anaerobio-humedales y tratamiento aerobio-anaerobio (Villegas, 2006; Ramos, 2009; Delgadillo, 2010; Kadlec, 2009), en ambos casos la etapa final del tratamiento es la desinfección mediante la cloración.

Tratamiento anaerobio-humedal

Etapa 1. En un reactor anaerobio en batch, como se muestra en la figura 6.1.2.1, con capacidad de 60 litros, se trataron 48 litros de agua del Río Chico Los Remedios, provenientes del punto 7 de muestreo, el reactor se mantuvo a $35 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$, se consideraron intervalos con tiempo de retención de 12, 36, 48 y 60 horas. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 6.1.2.1 y 6.1.2., el porcentaje de remoción de contaminantes se muestra en las tablas 6.1.2.1.a y 6.1.2.2.a.



Figura 6.1.2.1, Reactor anaerobio usado para la depuración de las aguas residuales del Río Chico los Remedios.
Fuente: Elaboración propia.

Etapa 2. En un humedal artificial en batch se depura el agua residual previamente tratada durante 12 horas en el reactor anaerobio. El humedal es de flujo superficial, sus dimensiones son de 1.0 m x 0.50 m, dividido en 2 secciones, en la primera sección se colocó grava con porosidad de 1 a 2.5 mm, como muestra la figura 6.1.2.2a, en la segunda sección se colocó grava de mayor volumen, con porosidad de 4 a 5.5 mm, como se observa en la figura 6.1.2.2b. La vegetación seleccionada para el humedal es lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), debido a que esta planta posee alta capacidad de absorción de contaminantes del agua y es de fácil adaptación, y no requiere cuidados especiales, además de que es posible darle un uso posterior, como materia prima para la producción de artesanías como las que se observan en la figuras 6.1.2.3. y 6.1.2.4, el porcentaje de remoción de contaminantes se muestra en las tablas 6.1.2.3a. y 6.1.2.4a.



Figura 6.1.2.2a. Grava del humedal de menor tamaño. Fuente: Elaboración propia.



Figura 6.1.2.2a. Grava del humedal de mayor tamaño. Fuente: Elaboración propia.

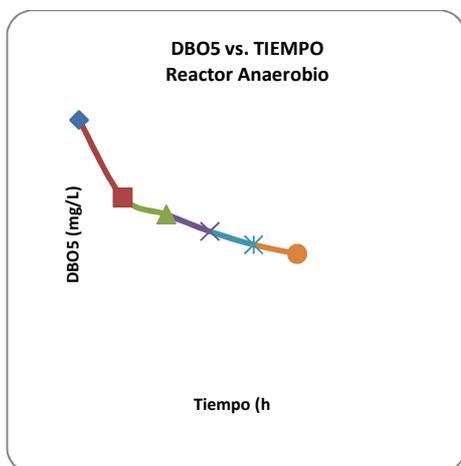
Resultados del Experimento 1

Tratamiento anaerobio combinado con tratamiento por humedales.

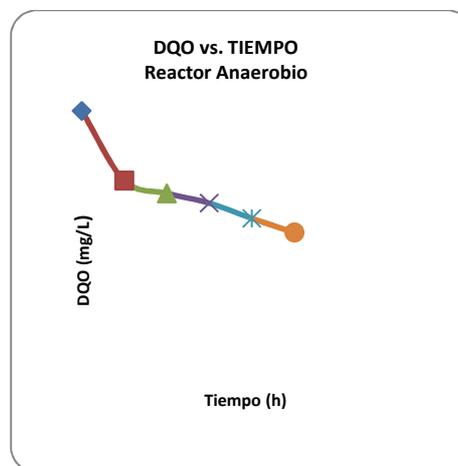
Tabla 6.1.2.1 Resultados del experimento 1 del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del Río Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo.

Tiempo (horas)	DBO₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)
Inicial	284.47	336.82	93	50.55
12	215.91	248.90	76	31.76
24	200.69	232.81	75	
36	185.67	223.51	69	
48	173.88	209.16	66	
60	165.74	193.40	59	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.1a Disminución de la DBO₅ en el tratamiento anaerobio.
 Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.1b Disminución de la DQO en el tratamiento anaerobio.
 Fuente: Elaboración propia.

REMOCIÓN DE CONTAMINANTES

La fórmula general que se aplica para el cálculo del porcentaje de remoción de contaminantes es:

$$\text{Remoción (\%)} = \frac{(C_i - C_f) \times 100}{C_i}$$

Tabla 6.1.2.1a. Resultados del % de remoción de contaminantes después del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del Río Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo.

Tiempo (horas)	% Remoción DBO ₅	% Remoción DQO	% Remoción SST	% Remoción Grasas y aceites
12	24.10	26.10	18.28	37.17

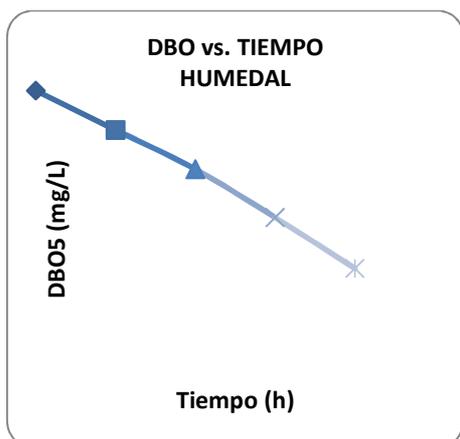
Fuente: Elaboración propia.



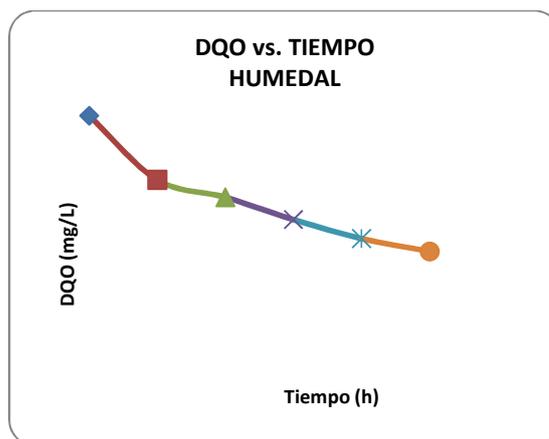
Tabla 6.1.2.2 Resultados del tratamiento en humedal de una muestra de agua del Río Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo, previamente tratada durante 12 horas en un reactor anaerobio.

Tiempo (horas)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)
Inicial	215.91	248.91	76	31.76
6	190.00	192.51	69	
12	164.19	177.20	63	
18	132.41	157.51	56	
24	98.89	140.80	52	18.11
30	71.57	128.44	45	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.2a Disminución de la DBO₅ en el humedal superficial.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.2b Disminución de la DBO₅ en el humedal superficial.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.1.2.2a. Resultados del % de remoción de contaminantes después del tratamiento en humedal, de una muestra de agua del Río Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo, pretratada en humedal de flujo superficial

Tiempo (horas)	% Remoción DBO ₅	% Remoción DQO	% Remoción SST	% Remoción Grasas y aceites
24	54.20	43.43	31.58	42.98

Fuente: Elaboración propia.

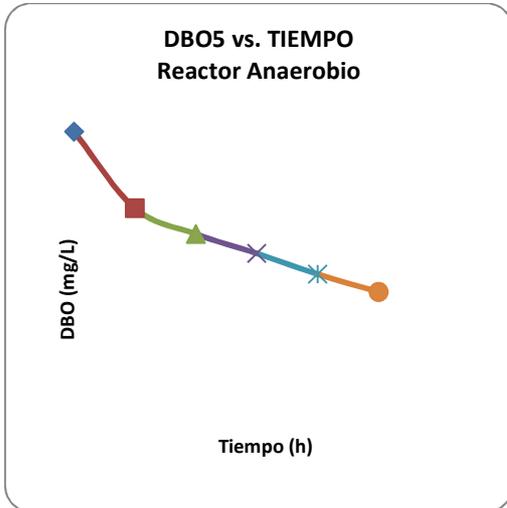
Resultados del Experimento 2

Tratamiento anaerobio combinado con tratamiento por humedales.

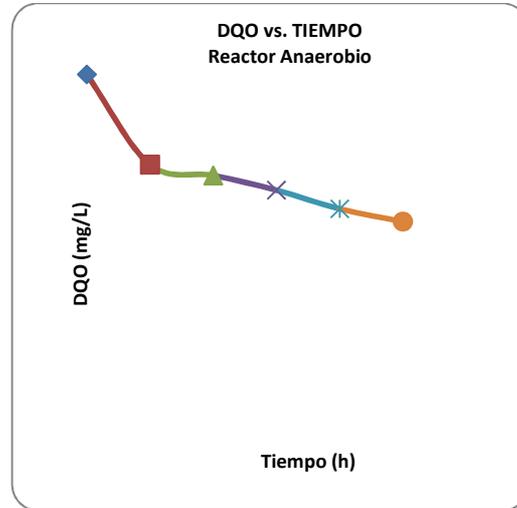
Tabla 6.1.2.3 Resultados del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del Río Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo.

Tiempo (horas)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)
Inicial	295.17	369	81	32.66
12	226.78	281.55	68	21.30
24	203.8	260.03	65	
36	186.41	254.79	60	
48	167.91	238.67	56	
60	151.97	220.23	55	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.3a Disminución de la DBO₅ en el tratamiento anaerobio.
 Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.3b Disminución de la DBO₅ en el tratamiento anaerobio.
 Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.1.2.3a. Resultados del % de remoción de contaminantes después del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del Río Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo.

Tiempo (horas)	% Remoción DBO ₅	% Remoción DQO	% Remoción SST	% Remoción Grasas y aceites
12	23.17	23.70	16.05	34.78

Fuente: Elaboración propia.

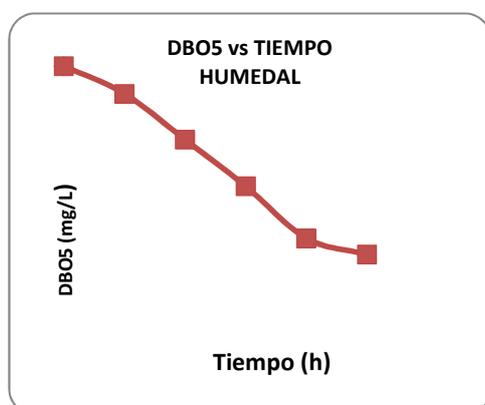


Fase 2. Tratamiento en humedal

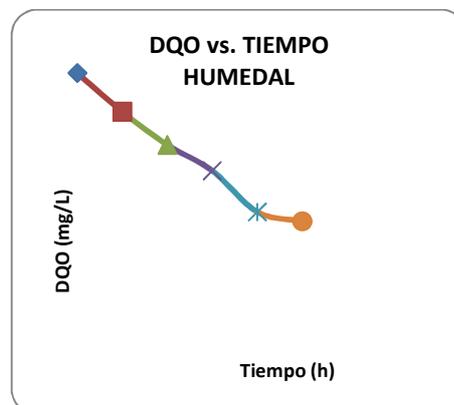
Tabla 6.1.2.4 Resultados del tratamiento en humedal una muestra de agua del Río Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo previamente tratada durante 12 horas en un reactor anaerobio

Tiempo (horas)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)
Inicial	226.78	281.54	68	21.30
6	206.37	244.94	61	
12	172.47	213.69	57	
18	138.03	189.20	51	
24	99.6	150.34	47	12.75
30	87.62	135.43	30	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.4a Disminución de la DBO₅ en el humedal superficial.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.4b Disminución de la DBO₅ en el humedal superficial.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.1.2.4a. Resultados del % de remoción de contaminantes después del tratamiento en humedal, de una muestra de agua del Río Chico Los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo, pretratada en humedal de flujo superficial

Tiempo (horas)	% Remoción DBO₅	% Remoción DQO	% Remoción SST	% Remoción Grasas y aceites
12	56.08	46.60	30.88	40.14

Fuente: Elaboración propia.

Tratamiento anaerobio-aerobio

Etapa 1. En un reactor anaerobio en batch (Ramalho, 1993; Metcalf, 2003), con capacidad de 60L, se trataron 45 L de agua del Río Chico Los Remedios, provenientes del punto 7 de muestreo, el reactor se mantuvo a $35 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$, se consideraron intervalos con tiempo de retención de 12, 36, 48 y 60 horas. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 6.1.2.1 a 6.1.2.3

Etapa 2. En un reactor aerobio en batch, se trató agua residual procedente de la etapa 1, del reactor anaerobio, el volumen tratado fue de 35 L, a temperatura ambiente, con tiempos de retención de 8 horas.

Resultados del Experimento 3

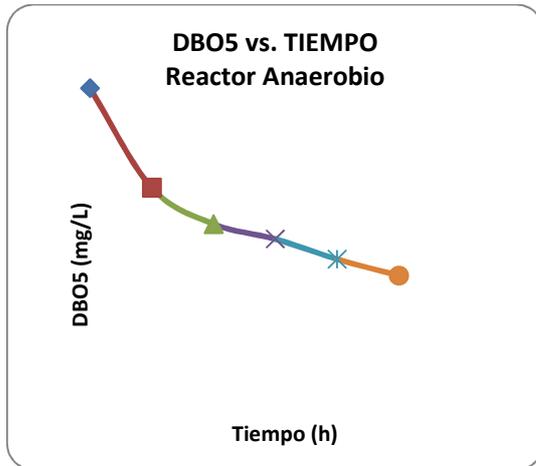
Tratamiento anaerobio combinado con tratamiento aerobio.

Etapa 1. Tratamiento anaerobio.

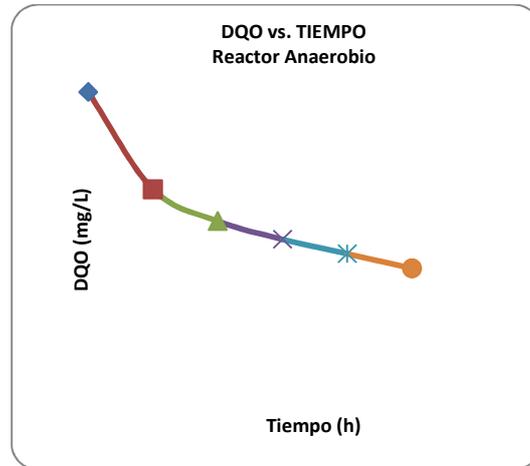
Tabla 6.1.2.5 Resultados del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del río.

Tiempo (horas)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)
Inicial	255.21	302.45	76	48.13
12	179.21	210.38	52	26.50
24	151.57	182.89	56	
36	140.10	166.04	62	
48	124.67	152.74	59	
60	112.19	139.13	56	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.5a Disminución de la DBO₅ en el tratamiento anaerobio.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.5b Disminución de la DBO₅ en el tratamiento anaerobio.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.1.2.5a. Resultados del % de remoción de contaminantes después del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del Río.Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo.

Tiempo (horas)	% Remoción DBO ₅	% Remoción DQO	% Remoción SST	% Remoción Grasas y aceites
12	29.78	30.44	31.58	44.94

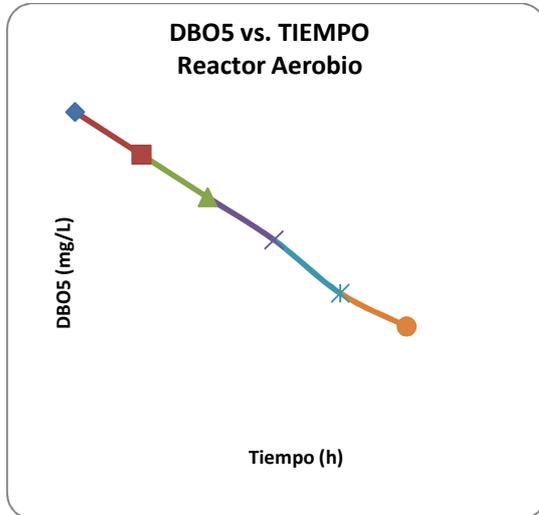
Fuente: Elaboración propia.

Fase 2. Tratamiento aerobio

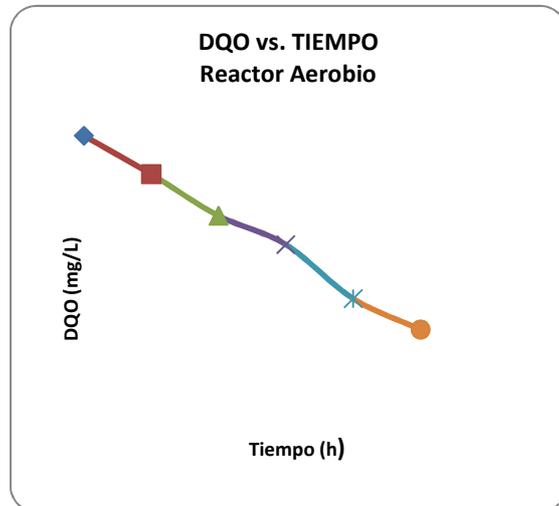
Tabla 6.1.2.6 Resultados del tratamiento aerobio de una muestra de agua del río.

Tiempo (horas)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)
Inicial	179.21	210.38	68	26.50
3	157.70	184.77	61	
6	136.19	157.16	55	
9	114.69	138.04	52	
12	87.81	102.06	49	14.65
15	71.06	81.57	44	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.6a Disminución de la DBO₅ en el tratamiento aerobio.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.6b Disminución de la DBO₅ en el tratamiento aerobio.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.1.2.6a. Resultados del % de remoción de contaminantes después del tratamiento aerobio de una muestra de agua del Río.Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo.

Tiempo (horas)	% Remoción DBO ₅	% Remoción DQO	% Remoción SST	% Remoción Grasas y aceites
12	51.00	51.48	27.94	44.72

Fuente: Elaboración propia.



Resultados del Experimento 4

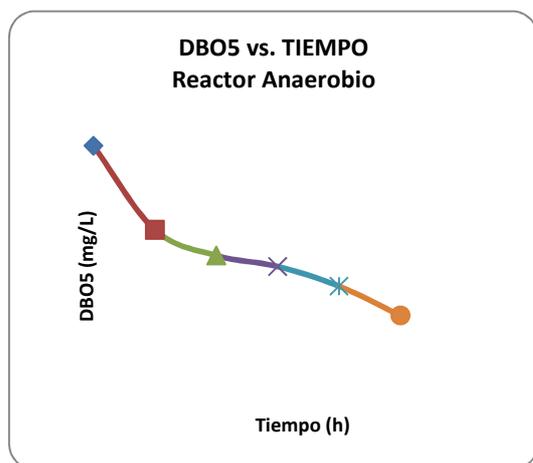
Tratamiento anaerobio combinado con tratamiento aerobio.

Fase 1. Tratamiento anaerobio

Tabla 6.1.7 Resultados del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del río.

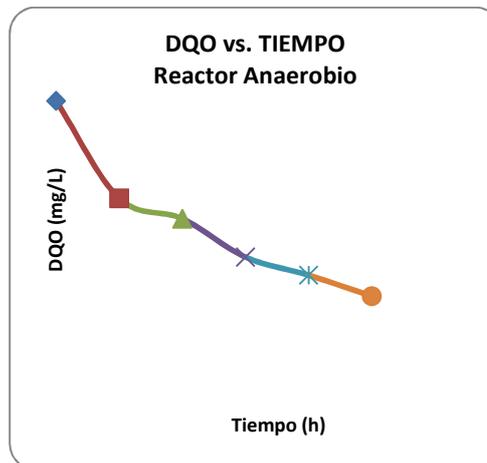
Tiempo (horas)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)
Inicial	306	381.50	104	51.24
12	204.52	267.27	81	30.60
24	186.57	243.32	79	
36	174.53	198.38	72	
48	153.16	177.20	67	
60	121.18	152.66	65	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.7a Disminución de la DBO₅ en el tratamiento anaerobio.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.7b Disminución de la DBO₅ en el tratamiento anaerobio.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.1.2.7a. Resultados del % de remoción de contaminantes después del tratamiento anaerobio de una muestra de agua del Río.Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo.

Tiempo (horas)	% Remoción DBO ₅	% Remoción DQO	% Remoción SST	% Remoción Grasas y aceites
12	29.89	29.94	22.11	40.28

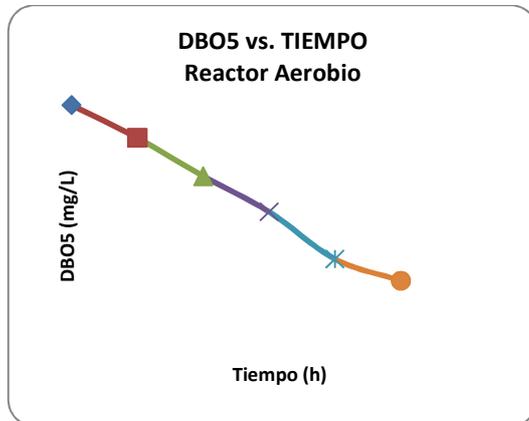
Fuente: Elaboración propia.

Fase 2. Tratamiento aerobio

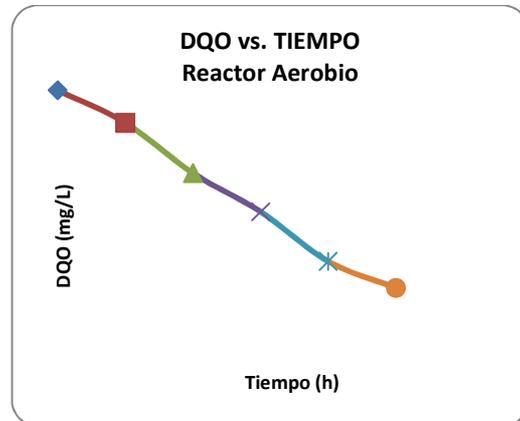
Tabla 6.1.2.8 Resultados del tratamiento aerobio de una muestra de agua del río.

Tiempo (horas)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Grasas y aceites (mg/L)
Inicial	214.52	267.27	85	30.60
3	188.77	237.87	74	
6	158.74	192.43	69	
9	130.85	157.68	65	
12	93.82	112.94	60	15.39
15	76.80	88.88	56	

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.8a Disminución de la DBO₅ en el tratamiento aerobio.
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6.1.2.8b Disminución de la DBO₅ en el tratamiento aerobio.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.1.2.8a. Resultados del % de remoción de contaminantes después del tratamiento aerobio de una muestra de agua del Río Chico los Remedios, tomada en el punto 7 de muestreo.

Tiempo (horas)	% Remoción DBO ₅	% Remoción DQO	% Remoción SST	% Remoción Grasas y aceites
12	56.26	57.74	29.41	49.70

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 Propuesta del Tren de tratamiento

El agua residual del Municipio de Naucalpan, que es descargada en el Río Chico los Remedios, fue estudiada con el propósito de mostrar una alternativa que permita sumarse al esfuerzo que realiza el Organismo Operador de Agua Potable y Saneamiento (OAPAS) del municipio, para tratar el mayor volumen posible del agua residual que alimenta al río.

Para depurar el agua residual se ha considerado el usar dos procesos independientes de tratamiento, que son el proceso anaerobio-humedal y el proceso anaerobio-aerobio.



Tratamiento Anaerobio-humedal

Los resultados registrados en las pruebas de tratabilidad muestran que el rendimiento del proceso anaerobio tiende a incrementarse, registrando 33% en 12 horas, debido a que el proceso tiende a estabilizarse a través del tiempo.

En la etapa dos, del tratamiento el humedal constituido por junco y lirio acuático registra un significativo rendimiento en la depuración del agua, obteniéndose hasta el 56% en 24 horas de proceso, tomando como referente la DBO_5 .

Tratamiento Anaerobio-aerobio

Como se mencionó, el tratamiento anaerobio mejoró a través de los cuatro experimentos realizados, debido a que el proceso biológico de este reactor se fue optimizando a través del tiempo, registrando el mayor rendimiento de 33% en el cuarto experimento, a las 12 horas.

En la etapa dos, el proceso aerobio registró 58% de rendimiento en la depuración de las aguas residuales, en 12 horas de proceso.

Tratamiento terciario

Para la depuración de coliformes, se empleó el método de cloración, que recomienda la normatividad, registrándose la ausencia de coliformes.

PROPUESTA DE TREN DE TRATAMIENTO

El tren de tratamiento propuesto consta de dos procesos Anaerobio-Aerobio y Anaerobio-Humedal, los detalles se muestran en la tabla 7.1.3.1

Tabla 6.1.3.1 Consideraciones del Tren de tratamiento propuesto para el agua residual del municipio de Naucalpan.

TRATAMIENTO	TIEMPO (h)	% VOLUMEN DEL CAUDAL DE AGUA RESIDUAL A TRATAR	USO RECOMENDADO
Anaerobio-Aerobio	Total 24	60	Industrial, lavado de autos, recarga del río, otros.
Etapa 1. Anaerobio	12		
Etapa 2. Aerobio	12		
Anaerobio-Humedal	Total 36	40	Riego, recarga del río, otros.
Etapa 1. Anaerobio	12		
Etapa 2. Humedal flujo superficial	24		

Fuente: Elaboración propia.

- **CAPÍTULO 7**

ELABORACIÓN DEL PLAN INTEGRAL DE SANEAMIENTO

El Plan integral de Saneamiento, en el cual se considera el río y su entorno como el sistema objeto de estudio (El tiradero a cielo abierto Rincón Verde, fábricas, escuelas, casas habitación y empresas de servicios); enfoque que difiere de las propuestas que plantean sanear el río como una acción correctiva, sin considerar la aplicación de estrategias preventivas para el control de las fuentes generadoras de la contaminación del río como el objeto de estudio; visión que ha llevado a tomar acciones únicamente correctivas (como la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales del



Municipio de Naucalpan), que al ser una acción aislada, no ha resuelto el problema. Este modelo se ha reproducido de igual manera a lo largo del país; por ello en este proyecto se propone la aplicación de un conjunto de acciones de saneamiento (tanto preventivas como correctivas), que constituyen el Plan Integral de Saneamiento.

Actualmente el Río los Remedios es un receptor de descargas de aguas residuales de tipo industrial y municipal, presentando zonas con elevados niveles de contaminación fisicoquímica y bacteriológica, aunque no se han encontrado valores considerables de metales pesados; de acuerdo a estudios de la calidad del agua del Río de los Remedios, realizados por investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana. El volumen de agua del río que puede tratar la planta de tratamiento es de cercano al 3%, con lo cual se deja de tratar un promedio de 17 280 m³/día generados por aguas residuales municipales e industriales; la calidad del agua del río presenta parámetros fuera de los límites permisibles que establece la NOM001-SEMARNAT-1996, como lo son: grasas y aceites, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes Fecales, Huevos de Helminto, Nitrógeno Total y Fósforo Total.

Para constituir el *Plan Integral de Saneamiento* se plantea partir de un esquema de cinco elementos a manera de plataforma, que orientarán las directrices de acciones concretas, estos elementos son.

- Conciencia de la necesidad de mejorar la “administración” del agua a nivel federal, municipal, estatal, además del nivel ciudadano; es decir se tienen cuatro niveles de manejo del agua.
- Igualar la valorización del agua tanto desde la óptica social como ambiental (Camdessus, 2006) lo que significa darle la misma ponderación en las estrategias de conservación.
- Tener claro que hacer eficiente el uso del agua no significa renunciar al confort que brinda el desarrollo tecnológico, sino aprender a armonizarlos paulatinamente.
- Tener conciencia de que para sanear el río, es necesario planear el manejo integral del agua del municipio dentro del Plan de Desarrollo municipal, considerando la disponibilidad de agua. En el manejo integral del agua se deben considerar el agua superficial, agua subterránea, agua de lluvia, agua potable de la red de distribución y el agua residual.



- Considerar que para el desarrollo de estrategias se debe contemplar la participación enlazada de los actores principales bajo un esquema ciudadanía-gobierno-universidad-ciudadanía.
- Tratar de que las estrategias permitan recuperar el Río Chico Los Remedios para todos, es decir, que los pobladores de Naucalpan se vuelvan a apropiarse de él.

Algunas medidas preventivas que pueden adoptarse para mejorar el uso y consumo del agua en el municipio de Naucalpan y que son elementos para la construcción del Plan Integral de Saneamiento son.

7. *Control del consumo excesivo de agua en propiedades privadas*, mediante modificaciones a la reglamentación, que pueden realizarse por medio de bandos municipales, con lo cual el desperdicio del agua pueda ser controlado en lo inmediato.
8. *Equipo obligatorio para el uso eficiente del agua*: usar tomas de cierre automático o bloqueadores fuera de los edificios no residenciales, regaderas de bajo consumo, substituir aparatos ineficientes en los siguientes tres años.
9. *Control del Agua subterránea*. Controlar la explotación privada de pozos y acuíferos.
10. *Control del Riego en Jardines y áreas verdes*. No se debe permitir regar las áreas verdes durante las horas de mayor evaporación y para el caso de los jardines y áreas verdes públicos, el agua para riego debe ser únicamente agua residual tratada.
11. *Prevenir la contaminación del Agua*. Para lo cual deben realizarse inspecciones periódicas y obligatorias en las descargas de las industrias y cuando éstas son contaminantes condicionarles su operación al desarrollo de un sistema de tratamiento de las aguas residuales, en convenio con una institución de educación superior (UAM, IPN, UNAM, entre otras).
12. *El uso del agua residual tratada (ART)*, es un aspecto de gran impacto en la administración de los recursos hídricos y las políticas de manejo ambiental que permiten garantizar la disponibilidad de los recursos hídricos, además de tener un



alto impacto positivo en la reducción y control de la contaminación ambiental, permitiendo el desarrollo de manera más sustentable. Lazarova, 2006, considera que el papel del agua residual tratada se focaliza en su uso, como una estrategia para el manejo integral del agua, ya que ésta ofrece la ventaja adicional de permitir la valorización social y ambiental del agua, al volver a utilizar un recurso de la región y minimizar la salida del agua residual.

La aplicación de esta estrategia, además de mejorar el entorno al sanear el Río Chico Los Remedios (en los tramos que aún no han sido entubados), traería como consecuencia la recuperación del ecosistema y con ello la belleza del paisaje, optimizando la disponibilidad de agua del municipio y sus alrededores.

Actualmente alrededor del mundo la implementación de prácticas de uso del agua residual tratada como parte de la solución a la demanda de agua, han creado un nuevo producto en el mercado, con alta plusvalía en términos de economía y finanzas públicas: **el agua reciclada** (Lazarova, 2006). La venta de ésta posibilitará minimizar el subsidio del gobierno municipal para su tratamiento, lo cual permitirá el incremento de inversión en plantas de tratamiento de aguas residuales. Otro beneficio importante que trae el tratar el agua residual, es tener la posibilidad de recargar los mantos freáticos con ésta, lo cual es de gran significancia, debido a que se favorece la reconstrucción del ciclo hidrológico, ya que esta etapa del ciclo es una de las más vulnerables, debido a la falta de superficie de recarga natural en las zonas urbanas. Con este propósito se sugiere destinar como mínimo el 16% del agua residual tratada para recarga de acuíferos, lo que representaría “pagar” al subsuelo con una cuota de agua residual tratada, por haber extraído el agua.

Para poder aprovechar el agua residual tratada, es necesario tener un estricto control de calidad del agua del proceso de tratamiento, ya que de lo contrario se podrían contaminar los mantos freáticos y se crearía un grave problema de salud pública.

13. *Actualización de tecnologías de sistemas de riego.* Para optimizar el manejo del agua es necesario cambiar los tradicionales sistemas de riego por inundación y por aspersión, en donde gran parte del volumen de agua se pierde, además de que el agua usada para riego en la mayoría de los casos es agua potable. Un



sistema que ha mostrado ser eficiente es el sistema por goteo ampliamente usado en Israel.

14. *Adopción de plaguicidas, herbicidas y fertilizantes biológicos para agricultura.* Con el propósito de evitar la contaminación por agroquímicos del agua del río y del agua subterránea, es conveniente substituirlos por productos biológicos con el mismo fin, lo cual conduciría a la agricultura a retornar al camino de la producción orgánica, aumentando su valor agregado.
15. *Adopción de La cosecha del Agua.* Como una medida de autoabastecimiento de agua de la Cuenca y de recomposición del ciclo hidrológico, con este propósito es conveniente que el gobierno municipal incentive la construcción de cisternas sumergidas o sobre el piso, para la captación de agua pluvial, para uso y consumo humano. La medida se puede incentivar condonando en cada recibo del pago de agua, la doceava parte del costo de la construcción y/o instalación de la cisterna. Con esta medida se “incrementaría” el caudal del acuífero, pues al consumir el agua cosechada, no habría necesidad de consumir agua de los mantos freáticos, con lo que se aumentaría su disponibilidad. Es importante considerar la conveniencia de recargar el acuífero con agua de lluvia tratada, captada en edificios gubernamentales y comerciales.
16. *Participación social.* El saneamiento del río depende en gran medida de la participación ciudadana, pues ésta interviene de distintas maneras:
 - a) Como inspectores ciudadanos, ya que ellos son quienes percatan de las descargas contaminantes de aguas residuales y pueden hacer la notificación o denuncia ciudadana.
 - b) Minimizando la contaminación de las aguas residuales doméstica, ya que desde los hogares se puede disminuir el vertido en las tarjas de residuos contaminantes, como el aceite para cocinar, medicamentos caducos, alimentos, residuos sólidos, además de que pueden evitar el uso excesivo de detergentes y otros productos de limpieza.
 - c) Disminuyendo el consumo excesivo de agua en las actividades domésticas.
 - d) Formando grupos de protección al río, cuyas actividades pueden empezar con campañas de limpieza del río, organizadas en fines de semana, en forma



bimestral, y en donde la acción y retroalimentación del grupo social conduzca a la educación ambiental.

- e) Realizándose concursos para el saneamiento del río, promovidos por el municipio y las universidades, con el patrocinio de las industrias asentadas en Naucalpan o del exterior del municipio, de manera tal que este tipo de acciones conduzcan a la población a tener identidad con el río y llegar a sentir orgullo por éste, lo que favorece la educación ambiental.
- f) Organizar el día del Río Chico Los Remedios, el cual sería un día de fiesta para el municipio y que cambiaría por completo la indiferencia o rechazo que se tiene por éste, a la adopción, respeto y orgullo que ayer se tuvo.

17. Adquisición de fondos para sostener el plan de saneamiento y el manejo sustentable del agua en el municipio, La cuota de recuperación en la venta del agua residual tratada es muy importante, ya que en la actualidad su costo es subsidiado por el municipio, el importe de una pipa de 10 m³ tiene un costo de \$ 700.00 M.N. (OAPAS, 2010), que corresponde al gasto del diesel de la pipa para transportar el agua ART a su destino, lo cual hace que las autoridades tengan la percepción de que están depositando dinero a la alcantarilla, pues no recuperan la inversión, el monto de ésta es de tal magnitud que no resuelve el problema de saneamiento, por lo que no se alcanza a “ver” este esfuerzo en la óptica ciudadana, y políticamente pareciera ser una inversión infructuosa, ya que es más redituable para el posicionamiento político el pavimentar calles o entubar el río, que depurar las aguas residuales, aunque no lo es así, pues este esfuerzo de sanear parte del agua residual, permite disminuir la contaminación del agua que lleva el cauce del río. El problema es que se carece de una administración adecuadamente del agua residual depurada, pues ésta debe ser vendida con una tarifa que implique la recuperación de la inversión en su tratamiento, que en un principio pudiese ser del 15%, y paulatinamente se fuese incrementando, con la consideración de que el precio del agua residual tratada debe ser inferior al del agua potable, debido a la necesidad de desalentar el consumo del agua potable en el sector industrial. Y para que esto suceda se observa la importancia de otra variable de gran impacto en la toma de decisiones de las autoridades municipales:



la tecnología aplicada para el saneamiento del agua, ya que debido a que se tiene el acotamiento para el precio del agua residual tratada, que debe ser menor al del agua potable, por lo que **la tecnología empleada deberá ser eficaz y de menor costo que la del agua potable**, este deberá ser el principio rector para elegir las plantas de tratamiento que se instalen en el municipio, ya que en el mercado se cuenta con tecnología que permite excelentes resultados en el saneamiento del agua residual, con el problema de que los costos del tratamiento son extremadamente elevados, lo cual hace inviable su uso.

Entre las estrategias para obtener fondos para el saneamiento del río, se puede considerar la venta de publicidad a empresas que apoyen este proyecto con donativos, y a medios de comunicación para que lo difundan.

18. *Tecnología eficaz para la depuración de las aguas y de bajo costo.* Para el saneamiento del río la tecnología debe cumplir un doble condicionamiento técnico (eficacia y de bajo costo), además de que deberá tener una imagen que armonice con el paisaje, lo cual favorecerá su aceptación social, que es un factor fundamental para su buen funcionamiento.

En este trabajo se estudiaron dos métodos de tratamiento combinados, anaerobio-aerobio y anaerobio-humedales, por considerarse, en base a los resultados mostrados en el capítulo 5, que pueden cumplir con las condicionantes para selección de plantas de tratamiento. En ambos tratamientos se incluye el proceso anaerobio, por ser económico al requerir un mínimo de energía eléctrica para la conducción del agua residual al reactor y ofrecer amplias posibilidades de eficiencia en la remoción de contaminantes.

En el tratamiento combinado anaerobio-aerobio, se observa un alto potencial en la optimización del tratamiento del agua residual, para su uso en la industria, ya que aunque el proceso aerobio es costoso por el consumo de energía eléctrica y el tratamiento del alto volumen de lodos que produce, es muy eficiente y rápido; por lo que para disminuir costos de operación, se debe disminuir el tiempo del proceso de depuración, para lo cual se realiza la depuración previa del agua residual en el proceso anaerobio, que no es costoso.

En el tratamiento combinado anaerobio-humedal, el saneamiento es eficaz y muy económico, ya que el consumo de electricidad es mínimo en el reactor anaerobio y



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



en el humedal no se necesita, aunque el tratamiento tiene la desventaja de requerir mayor tiempo, ya que excede en 12 horas al tratamiento anaerobio-aerobio, sin embargo este tratamiento ofrece las ventajas de producir plantas de ornato o con fines de producir materia prima para artesanías, además de generar un mínimo de lodos y ser armonioso con el paisaje rural, pudiéndose instalar una planta de tratamiento con esta tecnología en Los Remedios, en donde se encuentra la presa Tenantongo.

19. Educación ambiental, es un componente fundamental de este plan, comprende desde el nivel preescolar hasta el universitario, paralelo a las prácticas de educación ambiental ciudadanas.



• CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios realizados del agua del río, en el punto de muestreo 7, localizado a un costado del Parque Naucalli, en donde el río lleva el total de los aportes de agua de arroyos, manantiales y ríos tributarios, además de las aguas residuales industriales y municipales que Naucalpan que se descarga en él; registraron como contaminantes que rebasan la norma NOM-001-SEMARNAT-1996 los siguientes: la Demanda Bioquímica de Oxígeno, los sólidos suspendidos totales, las grasas y aceites, los coliformes fecales y en ocasiones los huevos de helminto, teniéndose la ventaja de no registrarse contaminación de metales que rebase la normatividad. Estos resultados permitieron seleccionar las pruebas de tratabilidad, que se basaron en tratamientos biológicos, haciendo énfasis en el ahorro energético y económico, por ello el principal tratamiento es anaerobio. Debido a los resultados obtenidos se propone el tren de tratamiento anaerobio-aerobio y anaerobio-humedales, recomendándose el establecimiento de las plantas de tratamiento anaerobio-humedales y anaerobio-aerobio junto a la presa Tenantongo, otra planta de tratamiento de aguas residuales semejante se podría instalar en la superficie federal que se encuentra junto al río, próxima al Vaso del Cristo.

Para el saneamiento del Río Chico Los Remedios es necesario considerar como parte de las medidas a seguir, el desazolvar las presas de contención, ya que los resultados registrados muestran la presencia de metales pesados, cuya concentración máxima observada ha sido: cadmio 1.30 mg/L (presa El Colorado), cobre 24.5 mg/L (presa El Colorado), cromo total 0.72 mg/L (presa El Colorado), plomo 7.75 mg/L (presa El Colorado), níquel 24.25 mg/L (presa La Colorada) y zinc 64.25 mg/L (presa El Colorado). Resultando la presa El Colorado la que tiene sedimentos con mayor concentración de metales pesados y la presa Tenantongo es la que registró menor concentración de metales pesados en sus sedimentos, lo que es importante considerar para el tratamiento de restauración o remediación de los sedimentos de las presas, cuando éstas se desazolven.

Los resultados de los análisis periódicos durante 4 años realizados al agua del manantial de Rincón Verde muestran que no hay contaminación de acuíferos por infiltración, pues de los parámetros analizados con la finalidad de usarlos como indicadores, no se



encontró la presencia de ninguno de ellos en el manantial, además de que el sitio de muestreo es confiable, por encontrarse a 500 m en línea recta descendente de la posible fuente de contaminación.

El trabajo multidisciplinario e interdisciplinario del Plan Integral de Saneamiento permitirá que éste tenga un mayor y más sólido alcance de los objetivos de conservación del río y el ecosistema al que pertenece, ya que la visión que le proveerán sus integrantes será una garantía.

El construir un Plan Integral de Saneamiento permitirá que el Río Chico Los Remedios vuelva a ser un río sano, ya que el agua que se descargue en el río será agua residual tratada y cumplirá con las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y/o NOM-003-SEMARNAT-1997, pudiéndose usar el agua para riego, lavado de autos, entre otros usos. Se recomienda realizar más pruebas de tratabilidad con el tren de tratamiento propuesto, dejando el tiempo suficiente para que los microorganismos de los reactores y del humedal se estabilicen (por lo menos tres semanas después de la inoculación).

En cuanto al relleno sanitario, es conveniente estudiar su comportamiento en la parte posterior de su ubicación, ya que este proyecto centró su investigación en el estudio del frente, no en la zona posterior.

- ANEXO

**Tabla 4.2.a. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL PUNTO 7 DE MUESTREO
RÍO CHICO LOS REMEDIOS (LOMAS VERDES) 2005.**

		P	A	R	A	M	E	T	R	O	S		
	pH (unidades pH)	T (°C)	CONDUCTIVI DAD (µS/cm)	GRASAS Y ACEITES (mg/L)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	SAAM mg/L)
*LÍMITE MÁX. PERMISIBLE	5.5-10	40	N.S.I.	15	0.2	0.2	1.0	0.01	2.0	0.5	20	4	N.S.I.
MES													
Ene	7.06	16.0	1262.5	67.57	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< a 0.030	< 0.024	< 0.05
Feb	7.57	17.77	919	66.03	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	0.352	< 0.024	0.085
Mar	7.20	19.70	1184.0	75.25	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	0.0302	< 0.024	0.08
Abr	7.24	21.02	1024.7	84.47	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	0.040	0.026	0.10
May	6.90	20.20	1010	45.4	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	< 0.024	< 0.05

N.S.I. No Se Indica
N.D. No Detectado
* NOM-001-SEMARNAT-1996
Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 4.2.b. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL PUNTO 7 DE MUESTREO
RÍO CHICO LOS REMEDIOS (LOMAS VERDES) 2005.**

		*P	A	R	A	M	E	T	R	O	S	
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (mg/L)	NITROGENO KJENDALH (mg/L)	NITROGENO DE NITRATOS (mg/L)	NITROGENO DE NITRITOS (mg/L)	SST (mg/L)	SS (mL/L)	CIANUROS (mg/L)	FOSFORO TOTAL (mg/L)	COLIFORMES FECALES [NMP / 100]	HUEVOS DE HELMINTO unidades/ L	Nitrógeno Total (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	800	N.S.I.	N.S.I.	N.S.I.	125	2	2	30	2000	≤ 1]	60	150
MES												
Ene	307.2	28.60	2.7	< a 0.005	8	0.5	< 0.005	2.58	43 X 10 ⁶	2	31.3	250.5
Feb	301.2	38.57	0.170	< a 0.005	18	2.0	0.005	9.46	15 X 10 ⁶	3	65.76	290.83
Mar	753.0	33.52	0.215	< a 0.005	96.0	2.5	< 0.005	8.48	105 X 10 ³	N.D.	33.73	380.6
Abr	200.8	33.25	0.232	< 0.005	14.0	0.8	< 0.005	8.65	27 X 10 ⁴	N.D.	33.49	218.0
May	496	57.99	2.2	< 0.005	9	0.5	< 0.005	7.48	11 X 10 ⁶	N.D.	30.21	298

N.S.I. No Se Indica
 N.D. No Detectado
 * NOM-001-SEMARNAT-1996
 Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 4.3.a. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL PUNTO 7 DE MUESTREO
 RÍO CHICO LOS REMEDIOS (LOMAS VERDES) 2006.**

		P	A	R	A	M	E	T	R	O	S		
	pH (unidades pH)	T (°c)	CONDUCTIVI DAD (μS/cm)	GRASAS Y ACEITES (mg/L)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	SAAM mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	5.5-10	40	N.S.I.	15	0.2	0.2	1.0	0.01	2.0	0.5	20	4	N.S.I.
MES													
Ene	7.06	16.0	1262.5	69.78	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< a 0.030	< 0.024	< 0.05
Feb	7.50	15.0	1098.8	38.26	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	0.352	< 0.024	< 0.05
Mar	7.24	19.7	1024.7	75.25	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	0.0302	< 0.024	0.08
Abr	7.40	21.27	1026	84.47	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	0.040	0.026	0.10
May	6.90	20.20	1010	45.4	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	< 0.024	< 0.05
Jun	6.8	21.9	955	71.87	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	< 0.024	< 0.05
Jul	7.32	19.9	644.8	17.10	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	< 0.024	< 0.05
Agos	6.82	21.0	806.3	18.17	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.033	< 0.05
Sept	6.57	20.4	1094	30.23	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	< 0.024	< 0.05
Oct	9.11	21.5	980	71.25	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.027	< 0.05
Nov	7.72	19.0	916	50.01	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.022	< 0.05
Dic	7.41	19.9	1005.17	49.81	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.090	< 0.05

N.S.I. No Se Indica
N.D. No Detectado
*** NOM-001-SEMARNAT-1996**
 Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 4.3.b. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL PUNTO 7 DE MUESTREO
 RÍO CHICO LOS REMEDIOS (LOMAS VERDES) 2006.**

		*p	A	R	A	M	E	T	R	O	S	
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (mg/L)	NITRÓGENO KJENDALH (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRATOS (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRITOS (mg/L)	SST (mg/L)	SS (mL/L)	CIANUROS (mg/L)	FÓSFORO TOTAL (mg/L)	COLIFORMES FECALES [NMP / 100]	HUEVOS DE HELMINTO unidades/ L	Nitrógeno Total (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE →	800	N.S.I.	N.S.I.	N.S.I.	125	2	2	30	2000	≤ 1]	60	150
MES												
Ene	752.0	42.56	0.172	< a 0.005	360	5.0	0.005	7.74	230 000	2	31.3	128.0
Feb	166.0	25.57	0.633	0.064	20.0	0.2	0.005	4.04	56 000	1	26.267	28.0
Mar	753.0	33.52	0.215	< a 0.005	96.0	2.5	< 0.005	8.48	105 X 103	N.D.	33.73	380.6
Abr	200.8	33.25	0.232	< 0.005	14.0	0.8	< 0.005	8.65	27 X 104	N.D.	33.49	218.0
May	304	20.10	0.20	< 0.005	40.0	0.3	< 0.005	7.22	104000	1	30.26	59.50
Jun	640	30.06	0.26	< 0.005	44.0	0.4	< 0.005	7.48	93000	N.D.	30.32	201.0
Jul	160.6	36.71	0.13	< 0.005	4	2	< 0.005	6.53	24000000	3	36.84	20.30
Agos	289	30.86	0.14	< 0.005	20	0.1	< 0.005	3.93	179000	N.D.	32.09	27.07
Sept	240.6	24.47	0.55	< 0.005	24	0.1	< 0.005	4.08	990000	1	25.02	196.80
Oct	212.7	38.18	0.20	< 0.005	48	0.5	< 0.005	6.44	15000000	2	36.38	113.34
Nov	231	28	0.33	< 0.005	98	0.5	< 0.005	4.28	3040X106	3	28.33	140
Dic	290	6.72	1.14	< 0.005	76.6	2.5	< 0.005	3.6	4000000	2	7.86	246

N.S.I. No Se Indica

N.D. No Detectado

* NOM-001-SEMARNAT-1996

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 4.4.a. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL PUNTO 7 DE MUESTREO
 RÍO CHICO LOS REMEDIOS (LOMAS VERDES) 2007.**

		P	A	R	A	M	E	T	R	O	S		
	pH (unidades pH)	T (°c)	CONDUCTIVI DAD (µS/cm)	GRASAS Y ACEITES (mg/L)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	SAAM mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE → MES	5.5-10	40	N.S.I.	15	0.2	0.2	1.0	0.01	2.0	0.5	20	4	N.S.I.
Ene	7.31	16.0	912.6	31.68	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< a 0.030	0.85	< 0.05
Feb	7.35	14.25	953.5	26.61	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	0.352	0.060	< 0.05
Mar	7.41	16.83	1116	92.1	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	0.0302	< 0.024	0.08
Abr	7.60	16.9	1015.5	45.9	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	0.040	0.038	0.10
May	7.63	18.6	948	51.4	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.065	< 0.05
Jun	7.64	17.1	845	22	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.070	6.34
Jul	7.80	18.18	942.8	25.15	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.08	12.9
Agos	7.23	18.6	667	42.9	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.170	1.3
Sept	7.73	19.28	796	27.3	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.19	0.92
Oct	7.65	20.6	906	58.2	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.09	0.90
Nov	7.15	22.9	1020	52.8	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.217	0.92
Dic	7.89	17.10	1216	59.6	< a 0.0007	< a 0.027	< a 0.005	< a 0.0004	< a 0.047	< a 0.022	< 0.030	0.097	0.88

N.S.I. No Se Indica
 N.D. No Detectado
 * NOM-001-SEMARNAT-1996
 Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 4.4.b. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL PUNTO 7 DE MUESTREO
 RÍO CHICO LOS REMEDIOS (LOMAS VERDES) 2007.**

		*p	A	R	A	M	E	T	R	O	S	
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (mg/L)	NITRÓGENO KJENDALH (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRATOS (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRITOS (mg/L)	SST (mg/L)	SS (mL/L)	CIANUROS (mg/L)	FÓSFORO TOTAL (mg/L)	COLIFORMES FECALES [NMP / 100]	HUEVOS DE HELMINTO unidades/ L	Nitrógeno Total (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	800	N.S.I.	N.S.I.	N.S.I.	125	2	2	30	2000	≤ 1]	60	150
MES												
Ene	420	43.68	0.12	< a 0.005	76	3.5	< a 0.005	4.69	40500000	2	47.64	274
Feb	672	48.38	0.23	< a 0.005	88	2.0	< a 0.005	7.04	4000000	1	48.62	120.78
Mar	535	69.44	< a 0.002	< a 0.005	60	0.8	< 0.005	5.18	4400000	1	69.44	360.32
Abr	619.52	61.8	0.99	< 0.005	48	2	< 0.005	9.13	120000	2	62.79	292.65
May	337.92	55.44	0.64	< 0.005	46	0.1	< 0.005	5.45	1450000	1	56.08	134.99
Jun	640	43.12	0.36	< 0.005	40	2.5	< 0.005	6.38	1700000	2	43.48	233.45
Jul	844.80	58.52	0.85	< 0.005	68	0.4	< 0.005	10.14	1750000	2	59.37	261.19
Agos	422.4	55.44	1.95	1.0	36	1.5	< 0.005	3.58	2900000	3	58.39	243.6
Sept	225.28	7.29	0.98	< a 0.005	86	0.5	0.009	10.51	2300000	2	8.27	209.09
Oct	309.76	40.81	0.001	< 0.005	170	5	0.04	6.39	980000	1	40.82	119.77
Nov	320.24	30.21	0.10	< 0.005	93	2	< 0.005	7.12	1020000	2	30.31	155.45
Dic	403.6	42.64	0.15	< 0.005	79	2	< 0.005	8.23	13600000	2	42.79	201.60

N.S.I. No Se Indica
 N.D. No Detectado
 * NOM-001-SEMARNAT-1996
 Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 4.4.a. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL PUNTO 7 DE MUESTREO
 RÍO CHICO LOS REMEDIOS (LOMAS VERDES) 2011.**

		P	A	R	A	M	E	T	R	O	S		
	pH (unidades pH)	T (°c)	CONDUCTIVI DAD (μS/cm)	GRASAS Y ACEITES (mg/L)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Cu (mg/L)	SAAM mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE →	5.5-10	40	N.S.I.	15	0.2	0.2	1.0	0.01	2.0	0.5	20	4	N.S.I.
MES													
Ene	7.07	17.20	970.50	42.45	< a 0.0006	< a 0.022	< a 0.005	< a 0.0003	< a 0.034	< a 0.022	< a 0.025	0.64	< 0.04
Feb	7.19	15.06	982.32	39.72	< a 0.0006	< a 0.022	< a 0.005	< a 0.0003	< a 0.034	< a 0.022	0.045	.1009	< 0.04

N.S.I. No Se Indica
 N.D. No Detectado
 * NOM-001-SEMARNAT-1996
 Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 4.4.b. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL PUNTO 7 DE MUESTREO
RÍO CHICO LOS REMEDIOS (LOMAS VERDES) 2007.**

		*p	A	R	A	M	E	T	R	O	S	
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (mg/L)	NITRÓGENO KJENDALH (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRATOS (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRITOS (mg/L)	SST (mg/L)	SS (mL/L)	CIANUROS (mg/L)	FÓSFORO TOTAL (mg/L)	COLIFORMES FECALES [NMP / 100]	HUEVOS DE HELMINTO unidades/ L	Nitrógeno Total (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	800	N.S.I.	N.S.I.	N.S.I.	125	2	2	30	2000	≤ 1]	60	150
MES												
Ene	388.54	43.68	0.19	< a 0.004	81	2.5	< a 0.006	.605	49500000	2	49.81	284
Feb	370.69	48.38	0.24	< a 0.004	76	2.1	< a 0.006	7.78	51900000	1	57.34	163.20

N.S.I. No Se Indica
N.D. No Detectado
* NOM-001-SEMARNAT-1996
Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.5.a. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL MANANTIAL DE RINCÓN VERDE (SAN MATEO) 2006.

		P	A	R	A	M	E	T	R	O	S				
	pH (unidades pH)	Olor y Sabor	COLOR (unidades Pt-Co)	Al (mg/L)	As (mg/L)	Ba (mg/L)	Cu (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Na (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	6.5-8.5	N.S.I.	20	0.20	0.04	0.70	2.00	0.005	0.05	0.001	0.30	0.15	200	0.01	5.00
MES															
Ene	7.05	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	16.10	< 0.008	< 0.030
Feb	6.94	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	0.025	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	14.08	< 0.008	0.035
Mar	7.30	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	14.52	< 0.008	0.032
Abr	7.12	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	15.23	< 0.008	0.040
May	6.90	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	14.94	< 0.008	< 0.030
Jun	6.98	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	14.68	< 0.008	< 0.030
Jul	7.07	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	15.22	< 0.008	< 0.030
Agos	6.99	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	0.030	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	0.027	< 0.025	16.19	< 0.008	< 0.030
Sept	7.02	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	0.026	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	0.028	< 0.025	15.88	< 0.008	< 0.030
Oct	7.16	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	15.57	< 0.008	< 0.030
Nov	6.98	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	0.028	< 0.025	15.26	< 0.008	< 0.030
Dic	7.12	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	15.40	< 0.008	< 0.030

N.S.I. No Se Indica

N.D. No Detectado

* NOM-127-SSA1-1994

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.5.b. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL MANANTIAL DE RINCÓN VERDE (SAN MATEO) 2006.

		*P	A	R	A	M	E	T	R	O	S			
	DUREZA TOTAL (como CaCO ₃)	NITRÓGENO AMONIA CAL (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRATOS (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRITOS (mg/L)	TURBIEDAD (UTN)	SDT (mg/L)	SAM M (mg/L)	CIANURO S (mg/L)	FENOLES ó Compuestos fenólicos (mg/L)	COLIFORMES S FECALES [NMP / 100]	FLUORUROS (como F) (mg/L)	SULFATOS (como SO ₄) (mg/L)	COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)	CLORUROS (como Cl) (mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE		0.50	N.S.I.	N.S.I.	5	1000	0.5	2	0.30	2000	1.50	400	2	250
MES														
Ene	161.82	0.12	0,644	< a 0.005	N.D.	180.3	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.18	168	19.05
Feb	173,16	0.10	0.590	< a 0.005	N.D.	182.1	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	10.11	170	18.92
Mar	128.50	0,12	< a 0.002	< a 0.005	N.D.	176.4	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.27	182	17.03
Abr	140.78	0.13	0.99	< 0.005	N.D.	173.5	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.46	201	20.06
May	175.04	0.10	0.64	< 0.005	N.D.	164.5	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	10.20	102	14.58
Jun	140.35	0.12	0.36	< 0.005	N.D.	180.2	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.67	79	18.92
Jul	139.60	0.10	0.85	< 0.005	N.D.	165.1	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	10.33	16	19.77
Agos	142.38	0.11	1.95	1.0	N.D.	171.9	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.52	15	16.22
Sept	125.12	0.11	0.98	< 0.005	N.D.	164.2	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.11	24	18.21
Oct	144.05	0.12	0.001	< 0.005	N.D.	178.7	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.24	46	15.65
Nov	130.04	0.13	0.10	< 0.005	N.D.	185.6	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	10.16	19	14.33
Dic	137,90	0.1	0.15	< 0.005	N.D.	169.1	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	10.06	12	16.40

N.S.I. No Se Indica

N.D. No Detectado

* NOM-127-SSA1-1994

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.5.a. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL MANANTIAL DE RINCÓN VERDE (SAN MATEO) 2007.

	P	A	R	A	M	E	T	R	O	S					
	pH (unidades pH)	Olor y Sabor	COLOR (unidades Pt-Co)	Al (mg/L)	As (mg/L)	Ba (mg/L)	Cu (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Na (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE →	6.5-8.5	N.S.I.	20	0.20	0.04	0.70	2.00	0.005	0.05	0.001	0.30	0.15	200	0.01	5.00
<i>MES</i>															
Ene	7.25	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	16.10	< 0.008	0.039
Feb	7.11	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	0.025	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	14.08	< 0.008	0.035
Mar	6.96	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	14.52	< 0.008	0.032
Abr	7.08	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	15.23	< 0.008	0.040
May	7.19	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	14.94	< 0.008	< 0.030
Jun	6.93	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	14.68	< 0.008	< 0.030
Jul	7.10	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	15.22	< 0.008	< 0.030
Agos	6.90	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	0.030	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	0.027	< 0.025	16.19	< 0.008	< 0.030
Sept	6.98	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	0.026	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	0.028	< 0.025	15.88	< 0.008	< 0.030
Oct	7.02	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	< 0.020	< 0.025	15.57	< 0.008	< 0.030
Nov	7.20	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	0.028	< 0.025	15.26	< 0.008	< 0.030
Dic.	6.94	Agradable	N.D.	< 0.030	< 0.0007	< 0.08	< 0.024	< 0.0032	< 0.005	< 0.0004	0.025	< 0.025	14.56	< 0.008	< 0.030

N.S.I. No Se Indica

N.D. No Detectado

* NOM-127-SSA1-1994

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.5.b. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL MANANTIAL DE RINCÓN VERDE (SAN MATEO) 2007.

	*P	A	R	A	M	E	T	R	O	S				
	DUREZA TOTAL (como CaCO ₃)	NITRÓGENO AMONIAICAL (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRATOS (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRITOS (mg/L)	TURBIEDAD (UTN)	SDT (mg/L)	SAMM (mg/L)	CIANURO S (mg/L)	FENOLES ó Compuestos fenólicos (mg/L)	COLIFORMES FECALES [NMP / 100]	FLUORUROS (como F) (mg/L)	SULFATOS (como SO ₄) (mg/L)	COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)	CLORUROS (como Cl) (mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE →		0.50	N.S.I.	N.S.I.	5	1000	0.5	2	0.30	2000	1.50	400	2	250
MES														
Ene	142.43	0.295	0.522	< a 0.005	N.D.	182.2	< 0.02	< 0.004	N.D.	N.D.	< 0.073	10.04	32	13.82
Feb	125.37	0.10	0.590	< a 0.005	N.D.	182.1	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	10.11	170	17.14
Mar	150.06	0.12	< a 0.002	< a 0.005	N.D.	176.4	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.27	182	15.48
Abr	135.62	0.13	0.99	< 0.005	N.D.	173.5	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.46	201	14.11
May	164.21	0.10	0.64	< 0.005	N.D.	164.5	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	10.20	102	18.15
Jun	148.19	0.12	0.36	< 0.005	N.D.	180.2	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.67	79	14.03
Jul	143.75	0.10	0.85	< 0.005	N.D.	165.1	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	10.33	16	16.21
Agos	129.08	0.11	1.95	1.0	N.D.	171.9	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.52	15	16.36
Sept	137.10	0.11	0.98	< 0.005	N.D.	164.2	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.11	24	15.90
Oct	153.14	0.12	0.001	< 0.005	N.D.	178.7	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	9.24	46	14.54
Nov	130.44	0.13	0.10	< 0.005	N.D.	185.6	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	10.16	19	17.35
Dic	145.23	0.1	0.15	< 0.005	N.D.	169.1	< 0.05	< 0.005	N.D.	N.D.	< 0.073	10.06	12	14.29

N.S.I. No Se Indica

N.D. No Detectado

* NOM-127-SSA1-1994

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.5.a. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL MANANTIAL DE RINCÓN VERDE (SAN MATEO) 2009.

		P	A	R	A	M	E	T	R	O	S				
	pH (unidad es pH)	Olor y Sabor	COLOR (unidades Pt-Co)	Al (mg/L)	As (mg/L)	Ba (mg/L)	Cu (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Na (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE →	6.5-8.5	N.S.I.	20	0.20	0.04	0.70	2.00	0.005	0.05	0.001	0.30	0.15	200	0.01	5.00
MES															
Mar	6.90	Agradable	N.D.	< 0.027	< 0.0006	< 0.08	< 0.020	< 0.0032	< 0.004	< 0.0003	< 0.020	< 0.022	15.10	< 0.007	0.033
Abr	7.11	Agradable	N.D.	< 0.027	< 0.0006	< 0.08	< 0.020	< 0.0032	< 0.004	< 0.0003	< 0.020	< 0.022	14.22	< 0.007	0.039

N.S.I. No Se Indica

N.D. No Detectado

* NOM-127-SSA1-1994

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4.5.b. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE AGUA DEL MANANTIAL DE RINCÓN VERDE (SAN MATEO) 2009.

		*p	A	R	A	M	E	T	R	O	S			
	DUREZA TOTAL (como CaCO ₃)	NITRÓGENO AMONIACAL (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRATOS (mg/L)	NITRÓGENO DE NITRITOS (mg/L)	TURBIEDAD (UTN)	SDT (mg/L)	SAM M (mg/L)	CIANURO S (mg/L)	FENOLES ó Compuestos fenólicos (mg/L)	COLIFORMES S FECALES [NMP / 100]	FLUORUROS (como F) (mg/L)	SULFATOS (como SO ₄) (mg/L)	COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml)	CLORUROS (como Cl ⁻) (mg/L)
*LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE →		0.50	N.S.I.	N.S.I.	5	1000	0.5	2	0.30	2000	1.50	400	2	250
MES														
Mar	135.22	0.140	0.530	< a 0.004	N.D.	180.3	< 0.01	< 0.004	N.D.	N.D.	< 0.062	10.22	67	15.72
Abr	129.58	0.110	0.547	< a 0.004	N.D.	184.2	< 0.01	< 0.004	N.D.	N.D.	< 0.062	10.16	84	15.54

N.S.I. No Se Indica

N.D. No Detectado

* NOM-127-SSA1-1994

Fuente: Elaboración propia.



- **GLOSARIO**

Acuífero: Formaciones geológicas conectadas por donde circula el agua, y se almacena, de una manera que puede ser extraída.

Acuífero sobreexplotado: Formación geológica que presenta abatimientos significativos de los niveles del agua durante un periodo largo de tiempo y que normalmente se le asocia un lapso de 10 años.

Aguas del subsuelo: Aquellas aguas existentes debajo de la superficie terrestre.

Aguas nacionales: Las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Aguas residuales: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Ciclo hidrológico: Es un movimiento continuo a través del cual el agua se evapora del océano y los demás cuerpos de agua, se condensa y cae en forma de precipitación sobre la tierra; después, esta última puede subir a la atmósfera por evaporación o transpiración, o bien regresar al océano a través de las aguas superficiales o subterráneas.

CONAGUA (CNA): Comisión Nacional del Agua, organismo desconcentrado de la *SEMARNAT*: Secretaría encargada de la gestión de las aguas nacionales.

Condiciones particulares de descarga: El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.



Contaminantes: Son aquellas especies químicas que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos a la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Cuerpo receptor: La corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar los suelos, subsuelo o los acuíferos.

Drenaje: Sistema de tuberías mediante el cual se eliminan de la vivienda las aguas negras o las aguas sucias. Si al menos una de las instalaciones sanitarias de la vivienda (lavadero, sanitario, fregadero o regadera) dispone de un sistema de tuberías para eliminar las aguas negras o aguas sucias, se considera que tiene drenaje.

Efluente: Descargas de aguas residuales provenientes de usos domésticos, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios y en general de cualquier otro uso.

Normas Oficiales Mexicanas: Aquellas expedidas por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización referidas a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales a los que se refiere el Artículo 113 de la Ley mencionada.

Precipitación: Agua que cae de la atmósfera en forma de lluvia, nieve, aguanieve o granizo.

Precipitación anual: Es la precipitación que se calcula considerando datos del 1° de enero al 31 de diciembre de cada año.



Reuso del agua: Describe el empleo de aguas residuales tratadas en cualquier uso con algún tipo de beneficio humano o a la naturaleza, y puede ser de índole potable y no potable.

Sistemas de alcantarillado urbano o municipal: Es el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de un servicio público de alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiendo como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales.

Tratamiento: A la operación o serie de operaciones a la que es sometida el agua o el hielo durante sus elaboración, con el propósito de eliminar o reducir su contaminación.

Zona de recarga: Área cuya permeabilidad permite la infiltración de agua hasta los acuíferos subyacentes.

Fuente: Breña, 2006



• **BIBLIOGRAFÍA**

Albert, Lilia, A., *Introducción a la Toxicología Ambiental*, México, ed. Albert, Lilia, A., 1997, pág. 31.

Albert, Lilia, A., *Curso Básico de Toxicología Ambiental*, México, ed. Limusa, S. A, de C.V., 1990, pág.18.

Alloway, B.J. "Heavy Metals in Soils", Halsted Press New York, John Wiley & Sons, Inc First Publisher 1990

Angelone, Silvia, Garibay M.T, Cauhapé, M.C Consolidación de suelos. Argentina, Universidad Nacional de Rosario, 2006.

Aparicio, F. Javier, *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. 9ª reimpresión. México, Limusa. 2001.

B. V. Der Merwe, 2000, *Recursos Hidráulicos Administración Integral en Windhoek, Namibia*. Ingeniería y Ciencias Ambientales, AIDIS, México, Año 12 No. 50. Pp. 10-14.

Braja M. D. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México, Thomson Learning, 2001.

Cruickshank, Gerardo, G. *Proyecto Lago Texcoco, Rescate Hidrológico*. México, CONAGUA, 2ª ed. 1995.

Delgadillo, Oscar; Camacho, A; Pérez, L.F; Andrade, M. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia, Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), Universidad Mayor de San Simón, 2010.

CNA. *Estadísticas del Agua, Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala*, México, CNA, 2004.

F. Esquinca Cano. 2003. *Bosques y biodiversidad*. Impulso Ambiental (CECADESU-SEMARNAT), México, No. 18, julio-agosto 2003.

Flores, Erasmo, V. *Reportes del Laboratorio de Análisis y Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco (LATAUAM) 2005*. UAM, Análisis de Laboratorio de muestras de agua del Río Los Remedios durante los años 2003-2010.

:

Flores, Erasmo, V y Valladares, M. Rita, R. *Manual de Procedimientos Analíticos, Laboratorio de Análisis y Tratamiento de Aguas de la UAM-Azcapotzalco*, México, 2002.

González, Matilde C. *El terreno*, Aula d'Arquitectura 44. España, Ediciones UPC, 2001.



Helweg, Otto., *Recursos Hidráulicos Planeación y Administración*. 1ª ed. México, Limusa, 1992.

Hernández, Aurelio, *Depuración y Desinfección de Aguas Residuales*. 5ª ed. Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección señor No. 9, 2001

INEGI, Cuadernos estadísticos, Naucalpan, México, INEGI, 2005

J. Aguirre M. 1988. Agua para el Futuro. Ingeniería Ambiental, AIDIS, México, Año 1988, No.2 Marzo-Abril, pp.12-17

J. Burbano Diago. 1997. Desarrollo Sostenible para América Latina y el Caribe. Ingeniería y Ciencias Ambientales (FEMISCA), México, Año 9, Núm. 33, pp.18-23

J. E. Becerril B., J. E. Barrios O. 2000. Saneamiento, consideraciones y perspectivas de los planes. Ingeniería y Ciencias Ambientales (AIDIS), México, Año 12, No. 47. pp. 9-11

Jiménez, Blanca E.C., *La contaminación Ambiental en México*, 1ª ed., México, ed. Limusa S.A. de C.V., 2001, pág. 34-40.

Juárez, Eulalio; Rico, Alfonso, *Mecánica de Suelos*. 3ª ed. México, Limusa, 2005, Vol 1 y 2.

LaGrega. M., Buckingham. P., Evans. J., *Gestion de Residuos Tóxicos*, 1ª ed. II, España, McGraw-Hill Interamericana de España, 1996. Vol I y II

La Jornada, *Agua*, México, La Jornada, ed. especial, 2006.

Lazcano, Antonio, A., *El Origen de la Vida*, 1ª ed., México, EDICOL, S.A. 1977, PP. 44-45

Legorreta, Jorge *"Cinco Grandes Lagos Extinguidos en Menos de 500 Años"*, ed. especial "Agua", México, La Jornada, 2006, pág. 249-254.

Legorreta, Jorge, *El Agua y la Ciudad de México*, 1ª ed., México, Universidad Autónoma Metropolitana, 2006: 21-25.

Ludevid, Manuel. A. *El Cambio Global en El Medio Ambiente*, 1ª ed., Barcelona, Mocambo, S.A., 1997, pág. 105.

Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering*, 4ª ed. McGraw-Hill, 2003.

O.A.P.A.S, (Organismo de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento), información verbal, febrero 2006.

Palmer, R; Troeh, F. *Introducción a la Ciencia del Suelo, Manual de Laboratorio*. 2ª ed, Iowa, AGT Editor, 1979.



PNUMA, *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*, Nairobi (Kenia), ediciones Mundi Prensa, 2000, pág.11.

Poy, Laura; Norandi, Mariana. "Agua", ed. especial, México, La Jornada, 2006 , pág. 18.

Robertis, D.E; Robertis, M.E; *Biología Celular y Molecular*, 1ª ed. Argentina, El Ateneo, 1946

Ramos, Y; Uribe, I. Planta Piloto para Tratamiento de Aguas Residuales Industriales de Acesco por medio de Humedales construidos – Láminas Filtrantes®. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, 2009.

R. Frías F. 1988. Aguas Residuales para Riego Agrícola. Ingeniería Ambiental, AIDIS, México, Año 1988, No.2 Marzo-Abril, pp.18-22, ed., 1981, pp.3, 79.

Santoyo, Enrique. V. *Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México*. México, TGC Geotécnica S.A. de C.V.2005.

SCFI, NMX-AA-003-1980

SCFI,NMX-AA-007-SCFI-2000 Análisis de agua - determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas método de prueba.

SCFI,NMX-AA-093-SCFI-2000 Análisis de agua - determinación de la conductividad electrolítica método de prueba.

SCFI, NMX-AA-006-SCFI-2000 Análisis de agua - determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas - método de prueba.

SCFI, NMX-AA-028-SCFI-2001 Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales.

SCFI, NMX-AA-030-SCFI-2001 Análisis de agua - determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

SCFI, NMX-AA-058-SCFI-2001 Análisis de aguas - determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.



SCFI, NMX-AA-039-SCFI-2001 análisis de aguas - determinación de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

SCFI, NMX-AA-034-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.

SSA, NOM-127-SSA1-1994.

Turk Amos, Turk Jonathan, Wittes Janet. *Ecología-Contaminación-Medio Ambiente*. México, Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V., 1973, pág. 2-3.

U.S. CENSUS BUREAU, International Data Base (IDB), 2 de febrero de 2012 <http://www.global-warming-forecasts.com/2025-climate-change-global-warming-2025.php>

Villegas, Juan D, G; Guerrero, J. E; Castaño, Juan M. R; Paredes, D.C. Septic Tank (ST)-Up Flow Anaerobic Filter (UFAF)-Subsurface Flow Constructed Wetland (SSF-CW) systems aimed at wastewater treatment in small localities in Colombia. Colombia, Scielo, 2006.

Valladares, M. Rita, R. (coordinadora), Flores, E, V; Breña, A. P. Tratar el agua Residual una necesidad. México, Comisión Ambiental Metropolitana (FIDAM 1490)- Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), ISBN 978-970-31-0783-4. 2006.

Valladares, M. Rita, R. *Plan Integral de Saneamiento del Río Chico los Remedios*. En Gómez, Eugenio, R. y otros. Innovación Tecnológica, Cultura y Gestión del Agua: Nuevos Retos del Valle de México, México, Coedición H. Cámara de Diputados, LX Legislatura Manuel Porrúa, UAM, 2009.