

26



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

“PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA CIUDAD DE
CHILPANCINGO, GUERRERO”

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
HERIBERTO ESPEJEL CUELLAR

MEXICO, D.F.

2000

23/1952



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señor

HERIBERTO ESPEJEL CUELLAR

Presente .

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/005/2000

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora **ING. ALBA B. VAZQUEZ GONZALEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

“PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CHILPANGINGO, GUERRERO”

INTRODUCCION

- I. ASPECTOS FISICOS Y NATURALES**
- II. ESTUDIOS BASICOS**
- III. INGENIERIA DE PROYECTO**
- IV. APROVECHAMIENTO DEL AGUA TRATADA**
- V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

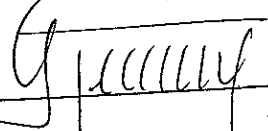
Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

Cd. Universitaria, a 14 de enero del 2000.

EL DIRECTOR



M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB/GMP/nll

DEDICATORIAS

A mi mamá Elida Cuéllar Martínez por ser mi ejemplo a seguir, por todo el amor, apoyo, cariño, comprensión que siempre me ha dado y porque siempre tuviste fé en mí.

¡GRACIAS MAMÁ!

A mi papá Heriberto Espejel Juárez por ser el mejor padre, por su paciencia y apoyo incondicional y principalmente por ser mi mejor amigo, no te defraudaré.

¡GRACIAS PAPÁ!

A Xochitl Gómez Castro por su apoyo, ayuda y principalmente por su amor y porque juntos hemos compartido momentos inolvidables.

¡GRACIAS XOCHITL!

Deseo expresar mi más amplio reconocimiento a la ING. Alba Vázquez González, tanto por haber aceptado la dirección de mi tesis como por las opiniones y sugerencias que contribuyeron a enriquecer el trabajo.

INDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVO	3
I. ASPECTOS FÍSICOS Y NATURALES	5
I.1 Localización	5
I.2 Hidrografía	6
I.3 Topografía	7
I.4 Geología	8
I.5 Clima	8
I.6 Suelos	9
I.7 Vegetación y Fauna	10
II. ESTUDIOS BÁSICOS	16
II.1 Alternativas de Conducción y Localización de la Planta de Tratamiento	16
II.2 Estudio Topográfico	17
II.3 Estudio Hidrológico	18
II.4 Uso de Suelo	19
II.5 Estudio Socioeconómico	26
II.6 Estudio Mecánica de Suelos	28
II.7 Estudio Caracterización de las Aguas Residuales	34
II.7.1 Estaciones de aforo	34
II.7.2 Muestreo y Métodos para el Análisis de Laboratorio	35
II.7.3 Caracterización del agua	37
II.7.4 Análisis y Evaluación Cuantitativa de la Calidad de las Aguas Residuales	39
II.7.5 Métodos para el Control, Minimización y/o Erradicación de los Elementos Contaminantes y sus Efectos	46
II.7.6 Sistemas de Tratamiento	48
II.7.7 Procesos Biológicos de Tratamiento	50
II.7.8 Conclusiones y Recomendaciones	51

III. INGENIERÍA DEL PROYECTO	60
III.1 Análisis y Evaluación del Sistema de Tratamiento	60
III.2 Alternativas de Tratamiento	62
III.3 Requerimientos de los Procesos de Tratamiento	67
III.4 Factores Generales de Selección	71
III.5 Selección Técnica de los Procesos Evaluados	72
III.6 Predimensionamiento, Prediseño de Operaciones y Proceso de Tratamiento	73
III.6.1 Caja Repartidora	74
III.6.2 Pretratamiento	76
III.6.3 Sedimentación Primaria	86
III.6.4 Tratamiento Biológico	94
III.6.5 Sedimentadores Secundarios	104
III.6.6 Cloración	110
III.6.7 Tratamiento de Lodos	114
IV. APROVECHAMIENTO DEL AGUA TRATADA	123
IV.1 Legislación Relativa a la Disposición Aprovechamiento de Aguas Residuales	123
IV.2 Análisis de Disposición y Aprovechamiento del Agua Residual Tratada en la Planta	130
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
ANEXO 1	
Plano 1. Localización	138
Plano 2. Alternativas de Ubicación de la Planta de Tratamiento	139
Plano 3. Estaciones de Aforo y Muestreo	140
Plano 4. Planta de Tratamiento Arreglo de Conjunto	141
BIBLIOGRAFIA	142

INTRODUCCION

Con la elaboración de este trabajo se pretende no solamente concluir el aspecto académico en esta etapa de la formación profesional, sino también contribuir al análisis y la difusión del tratamiento de aguas residuales, tema que no obstante su importancia en el desarrollo del país no ha sido tratado lo suficiente, a pesar de que en los últimos años se le ha dado un gran impulso, sin embargo aún resulta insuficiente por la necesidad que se tiene de tratar las aguas residuales para su posterior utilización y así liberar volúmenes de agua potable para las actividades humanas más indispensables y tener un mejor aprovechamiento de un recurso natural básico para la vida de los seres humanos.

La descarga de aguas residuales en cuerpos de aguas naturales y los efectos resultantes debido a la degradación de la calidad de las aguas han sido tema de gran interés. La presencia en los recursos hidráulicos de metales y sustancias orgánicas e inorgánicas complejas, han generado innumerables situaciones de impacto sobre el ecosistema acuático y la salud pública en general.

De acuerdo con datos del Programa Hidráulico 1995 - 2000 se generan 231 metros cúbicos por segundo de aguas residuales (135 como producto de la industria y 36 de los hogares). Se cuenta con la infraestructura para tratar 43 metros cúbicos por segundo. Sin embargo, de la capacidad instalada de tratamiento, solamente se tratan adecuadamente 17 metros cúbicos por segundo de aguas residuales por lo que se descargan al medio ambiente sin tratar 214 metros cúbicos por segundo, lo cual representa que se tiene la capacidad instalada para tratar el 18.6 por ciento del total de aguas residuales que se generan, pero solamente el 7.4 por ciento del total de aguas residuales generadas, se tratan adecuadamente, esto debido a que las plantas de tratamiento existentes no operaban o se encuentran sub - utilizadas.

Este diagnóstico permite prever que la construcción de plantas para el tratamiento de aguas residuales está cobrando una gran relevancia.

Las plantas de tratamiento convencionales, como lo son la mayoría de las que existen en nuestro país, están destinadas a reducir el contenido orgánico e inorgánico de las aguas residuales. La presencia de tóxicos en el agua puede afectar la operación de los procesos de tratamiento secundario.

Una sustancia tóxica es un material que puede inhibir o destruir la actividad biológica. Los agentes físicos y químicos son capaces de alterar el equilibrio en los seres vivos.

Actualmente, el registro de "Chemical Abstract Service", de los Estados Unidos de América, excede de 7 millones de sustancias químicas. De este total, 70 mil son de uso común en países industrializados. Muchas de estas sustancias son tóxicas y pueden afectar a los cuerpos de agua por diferentes vías.

El presente trabajo esta integrado por cinco capítulos en donde se analiza el tratamiento de las aguas residuales generadas por la ciudad de Chilpancingo, Guerrero. El primer capítulo presenta la localización y definición general de los aspectos físicos y naturales del área en estudio.

En el segundo capítulo se presentan los estudios básicos que se requieren para la realización del anteproyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales, destacando por su importancia el conocimiento de la calidad y cantidad de las aguas residuales de la Ciudad de Chilpancingo, de acuerdo con un estudio de caracterización de las aguas residuales realizado en 1990, a partir del cual se parte para hacer un análisis de los diferentes sistemas de tratamiento.

El capítulo tres por su parte, está destinado a la evaluación de los requerimientos de los procesos de tratamiento, para llegar a una solución técnica del más apropiado para el caso. Se realiza además el predimensionamiento del sistema sugerido.

En el capítulo cuarto se estudian las posibles alternativas de aprovechamiento del agua tratada considerando la calidad del efluente y los requerimientos de tratabilidad del agua para su reúso.

El capítulo cinco resume lo que a nuestro juicio deberá considerarse en el problema del tratamiento del agua residual y se plantean algunas recomendaciones al respecto.

OBJETIVO

Este trabajo tiene como objetivo general, resaltar la importancia del agua como uno de los recursos naturales indispensables para la vida humana y para el desarrollo de las actividades agrícolas e industriales. Lo cual es aún más evidente en muchas regiones del país donde el agua es un factor limitante para el desarrollo de actividades humanas.

En el ámbito nacional el control de la contaminación de los cuerpos de agua a través del ordenamiento y la promoción del aprovechamiento de las aguas residuales, se considera como una política técnica y económicamente confiable. Esa política, involucra aplicar el principio de uso eficiente del agua en la economía general del país, liberando los volúmenes de agua de buena calidad utilizada en el riego para abastecer a las poblaciones y en su lugar usar aguas residuales tratadas de origen municipal, tomando en consideración el tipo de cultivos.

Con datos del Programa Hidráulico 1995 – 2000, de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, los usos del agua se dividen en consuntivos y no consuntivos. Se estima que en 1995 la extracción total para los principales usos fue de 186.7 km³, de los cuales 73.5 km³ se destinaron para los consuntivos, distribuidos de la siguiente manera: agrícola 61.2, doméstico 8.5, industrial 2.5, acuacultura intensiva 1.3; y los restantes 113.2 km³ se destinaron para la generación de energía hidroeléctrica, clasificada como no consuntiva.

En México la experiencia de aprovechar las aguas residuales en riego agrícola data de principios de siglo. Actualmente su aprovechamiento se presenta dentro de un marco de escasez y conflicto por el uso del agua, en ciertas regiones donde el recurso es limitado. En algunas zonas, los agricultores prefieren el uso de esas aguas por los efectos positivos que estas ejercen en suelos y cultivos.

El reúso de las aguas residuales en el país se ha convertido en una práctica desordenada e incontrolada, que indirectamente ha contribuido a satisfacer las demandas de agua de algunos sectores productivos, principalmente el agrícola.

Las ventajas de esta práctica, son: mayor oferta de agua, apertura de tierras al cultivo, fuente segura de abastecimiento, aporte de nutrientes, efectos positivos en suelos, incremento de la productividad agrícola y desarrollo regional. A su vez el no tratar las aguas residuales, tiene ciertas desventajas que inciden en la salud pública, en la calidad de los cultivos y en la contaminación de los acuíferos de la región.

También hay que considerar que el agua tratada puede tener otro tipo de reúso, como para lavado de automóviles, para enfriamiento en maquinaria, riego de camellones, parques y jardines, en sanitarios, en panteones, etc.

La importancia del agua como el principal insumo para incrementar la productividad agrícola es evidente, ya que de los 20 millones de hectáreas que se cosechan actualmente en México, alrededor de 6 millones se encuentran bajo riego y en éstas, el

valor de su producción representa el 50% del total nacional. Es decir la productividad de las áreas regadas es 2.5 veces mayor que en las áreas de temporal.

Sin embargo, cada vez existe una mayor competencia por el uso del agua, principalmente en las zonas áridas y semiáridas que abarcan el 67% del territorio nacional, en donde el agua ya se emplea en una gran proporción, originando conflictos por el uso de este recurso, por lo que en estas regiones el reúso del agua cobra especial relevancia.

La presente Administración del Gobierno Federal a través del organismo descentralizado Comisión Nacional del Agua, se encuentra instrumentando un programa de acción a corto y mediano plazo cuyo propósito es contar con estudios en centros de población clasificados como ciudades medias en crecimiento, con la finalidad de cuantificar el caudal de las aguas residuales que generan para que luego de ser sometidos a un proceso de tratamiento, sea factible su aprovechamiento en el desarrollo de la agricultura bajo riego con aguas tratadas, contribuyendo de esta manera al principio del "uso eficiente del agua".

La región centro - oriente del estado de Guerrero donde se localiza el proyecto se caracteriza por disponer de buenas condiciones climatológicas, de calidad de suelos, de topografía, y un caudal de aguas residuales susceptibles de aprovechamiento, para lo cual se requiere de la realización de los estudios básicos cuya finalidad será, la de apoyar y complementar acciones que permitan la creación de un polo de desarrollo agrícola.

En la Ciudad de Chilpancingo capital del estado de Guerrero, se generan volúmenes considerables de aguas residuales que son aprovechadas para la agricultura sin ningún tratamiento previo, en tierras pertenecientes al poblado de Tepechicotlán (ver Anexo 1 plano 1. Localización). Al Río Huacapa van a dar todas las aguas que genera la Ciudad, y del mismo Río son aprovechadas para el riego. Estas aguas en su mayoría son de origen doméstico, por consiguiente contienen bajas concentraciones de sustancias tóxicas; sin embargo, es necesario determinar y cuantificar la calidad de las mismas, para definir el tratamiento que más se adecuó al uso que se les dará.

CAPITULO I. ASPECTOS FÍSICOS Y NATURALES

I.1 LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se localiza en los límites de los municipios de Chilpancingo y Mochitlán que junto con otros 10 integran la región centro del Estado de Guerrero. Su localización geográfica está entre los paralelos 17°91' y 18°02' de latitud norte y los meridianos 98°60' y 100°16' de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

Ambos Municipios ocupan una superficie de 2,965.9 km², representando el 28.8% de la superficie total de la región. De estos dos Municipios, Chilpancingo, es el más extenso con una superficie de 2,338.4 km² que representa el 22.7% de la región y el 3.7% del Estado, localizado entre las coordenadas 17°11' y 17°37' de latitud norte y los 99°24' y 100°09' de longitud oeste, cuenta con 112 localidades y la cabecera municipal se encuentra a una altitud de 1,360 m.s.n.m. Figuras I.1 y I.2.

El Municipio de Mochitlán se ubica entre los paralelos 17°10' y 17°30' de latitud norte y los 99°35' y 99°14' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Su extensión territorial es de 577.6 km² que representan el 0.90 y 5.83 por ciento del territorio total estatal y regional, respectivamente. Con 26 localidades, su cabecera municipal a 989 m.s.n.m., colinda al norte con Tixtla, al este con Chilapa y Quechultenango, al sur con Juan R. Escudero y Tecoaapa y al oeste con Chilpancingo.

Por su parte el Municipio de Chilpancingo de los Bravo limita al norte con los municipios de Leonardo Bravo y Eduardo Neri (antes Zumpango del Río), en la parte sur colinda con Juan R. Escudero y Acapulco, al este con Mochitlán y Tixtla, al oeste con Coyuca de Benítez y General Heliodoro Castillo.

Chilpancingo está integrado por 157 localidades en las que viven 170,368 habitantes; el 72.5% de la población se concentra en la cabecera municipal, que a su vez es también la capital del Estado de Guerrero, en el Ocotito, Petaquillas, Mazatlán, Jaleaca de Catalán, en donde reside el 13.4% de la población y en 115 localidades dispersas menores de 100 habitantes se establece el 1.2 % de la población. De acuerdo con los movimientos migratorios registrados en un lapso de 10 años el municipio presentó una categoría migratoria de "Fuerte atracción".

Chilpancingo es una de las ciudades mejor comunicadas, ya que se llega fácilmente por la Carretera Federal México – Acapulco, o por la Autopista México – Acapulco de alta velocidad.

Las vías y medio de comunicación están integrados por 129.5 kilómetros de carreteras pavimentadas y 71.8 kilómetros de carreteras revestidas, 22 establecimientos postales, una oficina telegráfica, 10 436 líneas telefónicas y 990 unidades del servicio público de transporte. (Figura I.3)

En particular la zona del proyecto que se estudia, se encuentra bien comunicada por carretera ya que en toda su extensión es cruzada por la carretera del recorrido turístico

No. 5 cuya ruta es: Chilpancingo, Mochitlán, Colotlipa y concluye en las grutas de Juxtlahuaca.

Esta vía esta pavimentada y solo presenta un breve tramo de terracería y un puente muy angosto de un solo sentido. El recorrido va de Chilpancingo a la localidad de Petaquillas (10 km) por la carretera Federal No. 95 México – Chilpancingo - Acapulco, y de este a la Ciudad de Mochitlán (11 Km) pasando por el ejido de Tepechicotlán. (Ver en el Anexo 1 el Plano 1. Localización)

En la zona no se cuenta con vías férreas y la comunicación aérea se tiene en la Ciudad de Chilpancingo, donde se encuentra un aeropuerto de mediano alcance, es decir, para vuelos locales y para aparatos de baja envergadura. El aeropuerto internacional de Acapulco se encuentra a 121 km y el de la Ciudad de México a 270 Km aproximadamente. En cuanto a la comunicación marítima, el mencionado puerto es lo más cercano, cuyo movimiento es tanto turístico como comercial de altura.

En el ejido de Tepechicotlán no se dispone de los servicios de correos, telégrafos y teléfonos sino hasta la cabecera municipal o bien en Mochitlán que se encuentra a solo 5 km. En este último lugar, el servicio telefónico cuenta con el sistema lada y también hay agencias de correos y telégrafos.

En el caso de la región del estudio se aprovecha el servicio de transporte de Mochitlán, puesto que se encuentra a su paso y se integra de la siguiente manera: servicio de transporte colectivo Mochitlán - Chilpancingo y viceversa pasando por Tepechicotlán y Petaquillas con una frecuencia de salida de 15 minutos o cuando se completa el cupo de la camioneta. Se dispone, también, del servicio de autobuses foráneos cuya ruta es Chilpancingo - Mochitlán - Colotlipa - Juxtlahuaca, cuya frecuencia de paso es de cada hora, además operan camionetas que dan servicio colectivo a varias localidades rurales del propio Municipio.

I.2 HIDROGRAFÍA

En términos hidrológicos, el estado de Guerrero se divide en dos grandes regiones bien definidas que son: la externa, conocida también como la de las costas - centro, en donde se ubica la zona de estudio y la interna, correspondiente a la cuenca general del Río Balsas la primera de las regiones citadas, se divide en dos subcuencas con una superficie global de 30,056 Km², una de las cuencas es la de costa grande, que tiene un área de 12,226 km² y es drenada por los Ríos: De la Unión, Tecpan, Atoyac, Coyuca y la Sabana. Se estima una precipitación media anual de 1,163 mm, con una evaporación media que llega a 1,807 mm y el escurrimiento medio de 5,235 millones de m³. La otra cuenca, es la centro - costa chica, la conforman varios ríos, entre los más importantes se encuentra: El Papagayo, Nexpa, Marquelia, Copala y Ometepec. Su área de drenado es de 17,830 km², la precipitación media anual es de 1,301 mm, con una evaporación media anual estimada en 1,163 mm y un escurrimiento promedio de 12,099 millones de m³.

En la zona de estudio, en particular en el municipio de Chilpancingo, se cuenta con los recursos hidrológicos de los ríos Huacapa, Ocotito, Zoyatepec y otros de menor importancia, se tienen dos presas, una esta localizada en la cabecera municipal a 3 km de la ciudad de Chilpancingo conocida como del Cerrito Azul y la otra, ubicada en la localidad de Rincón de la Vía.

El río Huacapa drena la ciudad de Chilpancingo, y pasa por las poblaciones de Petaquillas, Tepechicotlan, Mochitlán, Quechultenango y Colotipa en donde cambia el nombre a río Azul, afluente del río Papagayo que descarga sus aguas en el Océano Pacífico. (Figura I.4)

I.3 TOPOGRAFÍA

En el Estado de Guerrero destacan cuatro elevaciones montañosas bien definidas, siendo la más importante la Sierra Madre del Sur y Ramales de las Sierras de las Goletas y Tejuipico, lo anterior origina que la orografía en la región centro se caracterice por su gran accidentalidad, debido a que es cruzada por ese gran macizo montañoso, sus cumbres más elevadas son los cerros Teotepec y Tlacotepec y son los de mayor altitud en la Región.

En la zona de estudio, específicamente en el municipio de Chilpancingo, su orografía se clasifica en tres tipos que son: a) zonas accidentadas que representan un 65% de la superficie, y se localizan en las sierras Ocotlán y Jaleaca de Catalán, al norte, oeste y noroeste, su relieve varía de 700 a 2,700 m.s.n.m., b) las zonas semi - planas abarcan el 25% del territorio municipal y se encuentran distribuidas al oriente, sur y sureste principalmente en las localidades de Petaquillas, Mazatlán y Chilpancingo alcanzando elevaciones entre los 1,647 a los 2,195 M.S.N.M. y las c) zonas planas, que representan un 10% de la superficie total municipal y su relieve varía de 250 a 700 m.s.n.m.

En el Municipio de Mochitlán también se presentan los tres tipos de agrupamientos del relieve que son: a) las zonas accidentadas, ocupan el 60% de su territorio y se observan pendientes muy pronunciadas y alturas mayores de 2,250 m.s.n.m. b) zonas semi - planas ocupan el 25% de la superficie total, las constituyen lomeríos y pendientes regulares y c) las zonas planas se estiman en 86.6 km², representando el 15% de la superficie municipal con elevaciones entre los 200 a 250 m.s.n.m.

En Mochitlán se cuentan las siguientes elevaciones: El Volcán Negro, Volcán Mexcaltepec, Chachihualt, Los Chirimias, El borde de las Tecomacas, Los Cerros de Texquiteme, el Violín y la Vieja.

La topografía estatal tiene elevaciones notables como son las siguientes: El cerro de Teotepec con 3,550, el Tlacotepec con 3,000, la Escalera con 2,521 y el Grande con 1,858 m.s.n.m., respectivamente. No obstante lo escarpado de la orografía existen algunas regiones planas, los valles más importantes se localizan en los municipios de: Iguala, Cocula, región de tierra caliente, en la zona costera y otras pequeñas llanuras como la de Chilapa, Tixtla, Chilpancingo y Mochitlán, (en estos dos últimos, se ubica el

estudio y es la topografía predominante, en los límites de la Ciudad de Chilpancingo) la zona sur hasta el valle de Mochitlán, se manifiesta por explanadas en casi su totalidad, con pequeñas porciones de lomeríos.

La pendiente topográfica que se observa en el área mencionada se considera adecuada para conducir las aguas tratadas desde la planta hasta la posible zona de riego, donde las condiciones topográficas son favorables para la construcción de canales de riego, porque son mínimas las pendientes.

I.4 GEOLOGÍA

El área de estudio se encuentran en las inmediaciones de la Sierra Madre del Sur, que se origina a fines del cretácico superior y principios de cenozoico formado por rocas sedimentarias paleozoicas, pizarras cristalinas e intrusiones graníticas, esta coronada en algunas partes por manchones o bloques de caliza mezozoica.

Respecto a la sismicidad, la región se encuentra en zona sísmica y los temblores registrados son básicamente de origen tectónico, caracterizados por una amplia red de influencia y prolongados periodos de oscilación.

Geomorfológicamente la Sierra Madre del Sur comenzó a levantarse a fines del cretácico y principios del cenozoico, los nombres locales con que se le conocen son: Cuchilla, Cumbres de la Tentación, Iqualatalco, Campo Morado y Malinaltepec, su orientación es de noreste a sureste, con altura promedio de 2,000 m, dominan las pendientes superiores al 20% debido a su topografía montañosa.

Los aprovechamientos más importantes de agua potable existentes son los manantiales de Omiltemi y del Río subterráneo de Acahuizotla, los que junto con otros proporcionan un gasto de 209 l / s a la ciudad de Chilpancingo.

Los materiales de construcción existentes son los típicos de la zona, arena y piedra del río, rocas como génesis, micapizarras, granitos, dioritas y en cuanto a materiales como cemento, acero, pinturas y otros existe abasto suficiente en los comercios de Chilpancingo.

I.5 CLIMA

En términos generales, en la región centro del Estado de Guerrero se cuenta con climas subhúmedos, cálidos y semicálidos con temperatura media anual de 25°C, el periodo de lluvias en esta área es en verano y su precipitación media anual es de 1,172 mm la máxima temperatura es de 28°C y la mínima de 14°C mismas que están sujetas a variaciones que se presentan tanto en la Sierra Madre del Sur como en la cuenca hidrológica del Balsas.

En la zona que comprende el estudio, en la parte correspondiente al municipio de Chilpancingo, se observa también que los climas existentes son el orden de incidencia,

el subhúmedo o semicálido, el subhúmedo o cálido y subhúmedo templado y la temperatura dominante varía de los 15°C a los 24°C. Por su parte la temporada de lluvias, se estabiliza entre los meses de junio a septiembre, registrándose una precipitación media anual de 1,650 mm los meses en donde el calor es más intenso son de marzo a mayo que es cuando el estiaje se manifiesta en toda su intensidad, en tanto, los meses más fríos son diciembre y enero.

Los vientos dominantes durante el año son los siguientes: en primavera de sur a este, en el verano del sureste al norte y de norte a sur, en el otoño los vientos predominantes tienen una dirección del sureste al norte y finalmente, en el invierno estos corren de sureste a noreste.

Por lo que se refiere al área de estudio comprendida en el municipio de Mochitlán, predominan dos tipos de clima, el subhúmedo - semicálido y subhúmedo - cálido en la parte del valle, en tanto que en la parte alta, el clima predominante es el templado seco que de acuerdo con la clasificación de Koppen es el C.WV cuyas temperaturas se sitúan entre los 14°C y 20°C. La precipitación pluvial es de 1,500 mm, los vientos dominantes provienen del este y la temporada de lluvias se presenta con regularidad desde el mes de junio extendiéndose hasta octubre, situación observada también en el valle donde se encuentran los terrenos susceptibles de incorporarse al riego.

En esta zona los meses más calurosos son de marzo, abril, mayo y en ocasiones hasta junio, en esta época el estiaje es más intenso y es, también, cuando los productores de ganado bovino sufren para alimentarlos, puesto que la temperatura llega hasta los 26°C. El invierno se presenta entre diciembre y enero alcanzando temperaturas mínimas de 8°C.

I.6 SUELOS

En términos generales los suelos de la región centro se han clasificado como montañosos y de valle, los primeros son de escaso espesor, pedregosos y pobres en nitrógeno, por lo que son poco aptos para la producción agrícola, el color predominante es el gris oscuro y tienen la particularidad de ser arrastrados fácilmente por las lluvias.

En las superficies planas los suelos se clasifican en aluviales de pradera y arenoso, destacando los primeros por su fertilidad, en estos es el acrisol el de mayor incidencia y se caracteriza por la acumulación de arcilla en el subsuelo, en cuanto a su color, este va del amarillo al amarillo claro, con manchas rojas y se considera de textura susceptible a la erosión, distribuyéndose del centro hacia el sureste de la región.

En el área de estudio, en la parte correspondiente al municipio de Chilpancingo, los suelos predominantes son el chernozem o negro, estepa prairie o de pradera con descalcificación y café grisáceo o café rojizo y amarillo bosque. De estos el primero y el último son los que presentan mayor aptitud para la producción agrícola, mientras que el segundo tiene vocación para el desarrollo de la ganadería extensiva.

En el área de estudio localizada en el municipio de Mochitlán, destacan en el valle los suelos chernozem o negros calenio que son muy apropiados para el desarrollo de la agricultura, debido a que contienen gran cantidad de sales y humos. Por su parte los suelos predominantes en las zonas altas se caracterizan por ser de textura calcareo – arenoso - arcilloso, con una profundidad promedio de 25 cm, su textura se clasifica como regular y bastante pedregoso.

En forma general, los suelos del área de estudio y del posible riego se pueden describir de la siguiente manera:

Una parte del área presenta suelos de origen aluvial, pero poco desarrollo in-situ, inmaduros y semimaduros, profundos (más de 150 cm) de color pardo amarillento obscuro a pardo obscuro a través del perfil; la textura es franco arenosa en unos y de arcilla en otros; la permeabilidad es rápida y/o lenta, el relieve es casi plano, con pendientes < 2% el drenaje superficial es de moderado a lento. No se observo manto freático (hasta los 150 cm y en algunos casos 200 cm), su fertilidad natural es moderada y el pH predominante es neutro, son suelos que están libres de salinidad y/o sodicidad.

Otra parte del área estudiada pertenece a suelos aluviales, recientes y jóvenes, profundos (más de 150 cm), de color pardo obscuro a través de todo el perfil, textura de franco - arenosa a franco - arcillosa, permeabilidad rápida, relieve casi plano, con pendientes <2% drenaje superficial moderado, no se observó manto freático (hasta los 150 cm), su fertilidad natural es de baja a moderada y el pH predominante es neutro, también están libres de salinidad y/o sodicidad y los cultivos que pueden establecerse son: trigo, maíz, sorgo, grano y forraje, jitomate, frijol y alfalfa, cuya rentabilidad es bastante buena.

I. 7 VEGETACION Y FAUNA

En la región geoeconómica centro del estado en donde se ubica el área del proyecto, la flora dominante es la siguiente: al norte se encuentra selva baja caducifolia, al sur y dispersos una mayor parte del área que corresponde a la Sierra Madre del Sur, se localizan bosques mesofilos de montaña.

En lo relativo a la fauna, puede clasificarse como silvestre y de especies menores, sobresaliendo por su abundancia: roedores, conejos liebres, ardillas, reptiles como víboras y culebras, camaleones e iguanas; dentro de los felinos se encuentran los tigrillos, pumas, gato montes, además de lobos y coyotes; dentro de las aves se tienen palomas, garzas, chachalacas, gavilanes, zopilotes, etc.

En el nivel de área del proyecto y en particular, en el municipio de Chilpancingo la vegetación se integra por selva baja caducifolia predominando especies como el mezquite, huizache, caquahuate etc, cuya característica principal es que todos los árboles o la mayoría tiran sus hojas en el tiempo de secas, existen también bosques de pino y encino cuya explotación forestal está muy extendida.

La fauna predominante es muy variada, se pueden encontrar especies como: camaleón, tigrillo, tejón, champolillo, venado, conejo, alacrán, águila, zopilote, guilota, tortola, masacuata, coralillo, gallina de campo, chachalaca, ardillas, zorrillos, coyotes, ratones y pájaros.

En las partes altas de Mochitlán, la vegetación dominante a nivel municipal es selva baja, caducifolia, bosque mixto, bosque de encino y pino, por eso en las partes altas se muestra una clara vocación forestal, predominando las coníferas como pino, encino, tepehuajes, espino blanco, nanche etc. Arbustos como huizache, plantas herbáceas como maguey, nopal y biznaga. Resulta incomprensible que no obstante la existencia de bosque maderable su explotación se reduce al aprovechamiento de leña para combustible en la planta elaboradora de mezcal que utiliza como materia prima el maguey de la región.

La fauna es variada, se encuentran camaleones, lagartijas, coralillos, águilas, gavilanes, zorros, tiacuaches, venados, pájaros, palomas, pericos e iguanas entre otros.

FIGURA I. 1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE PROYECTO

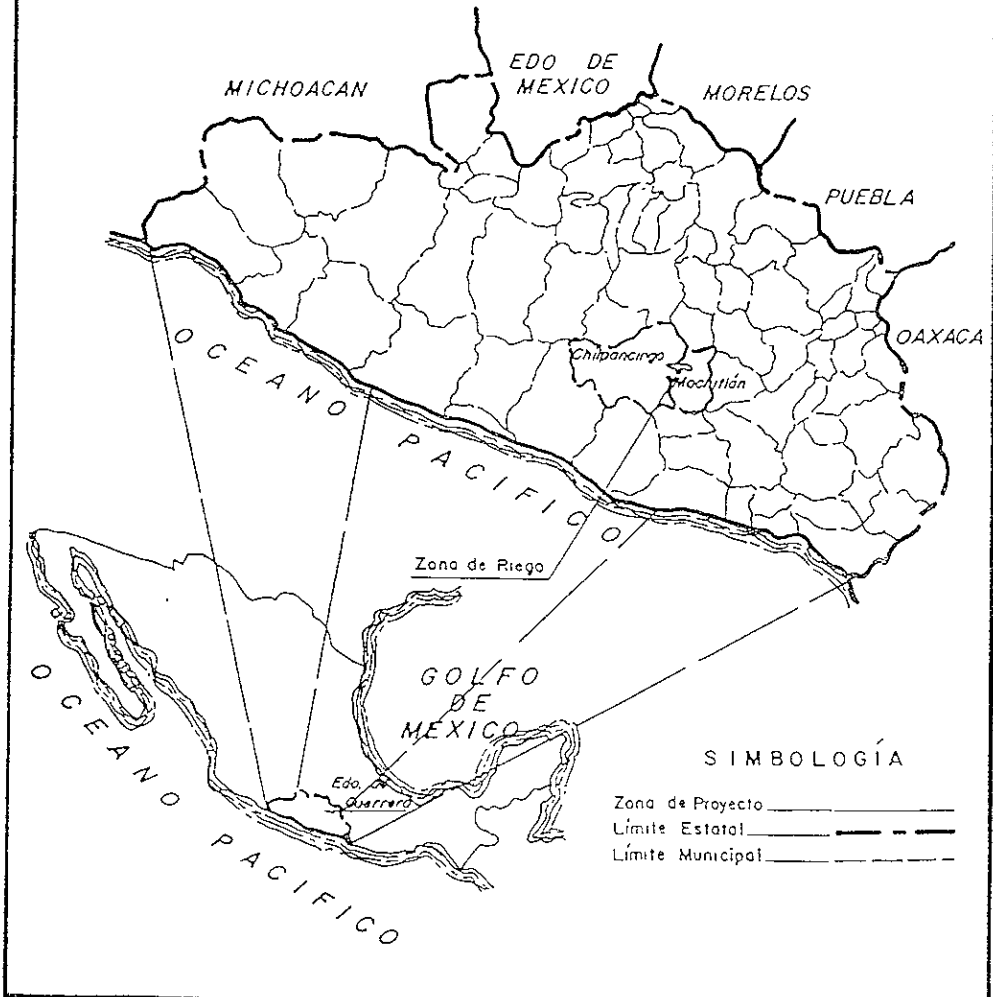
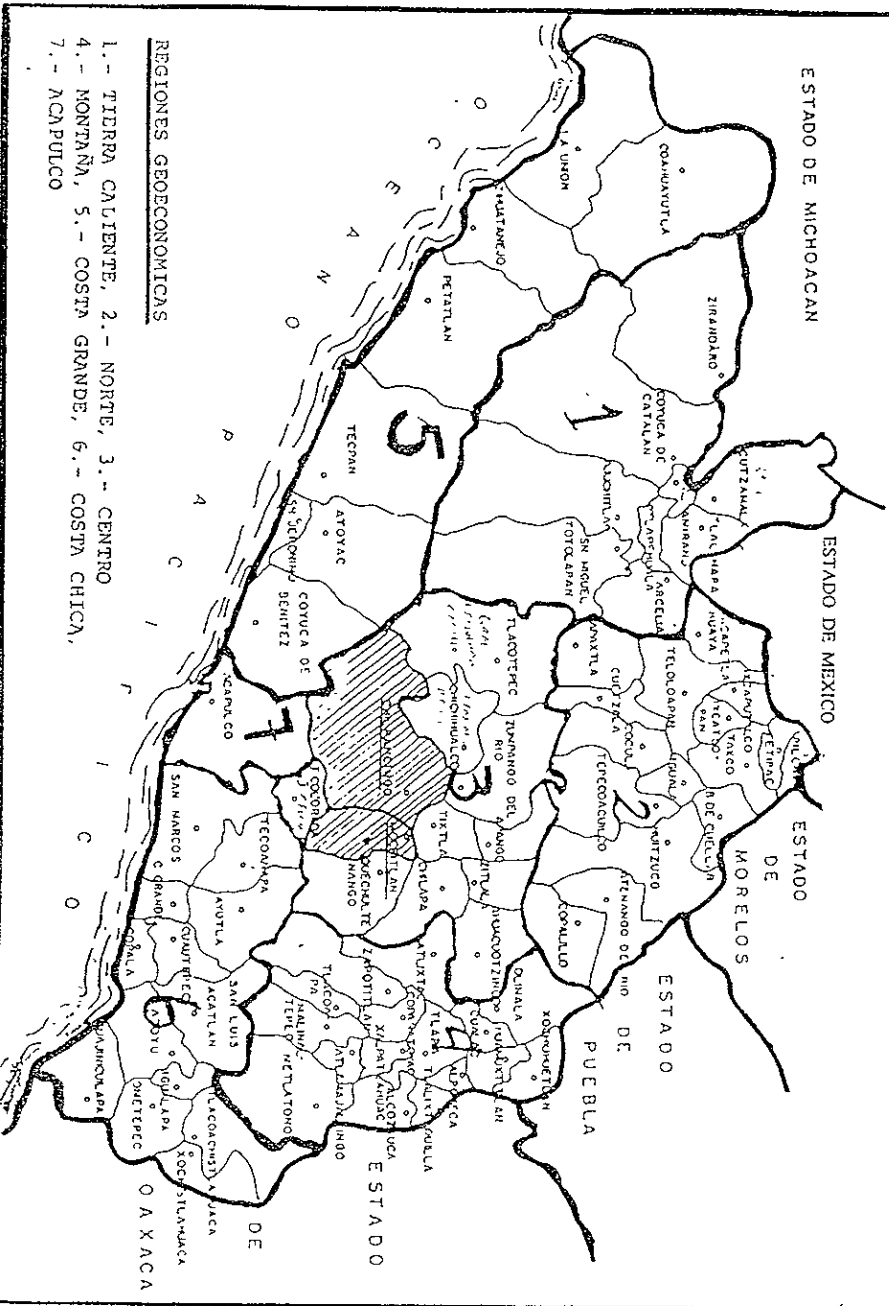


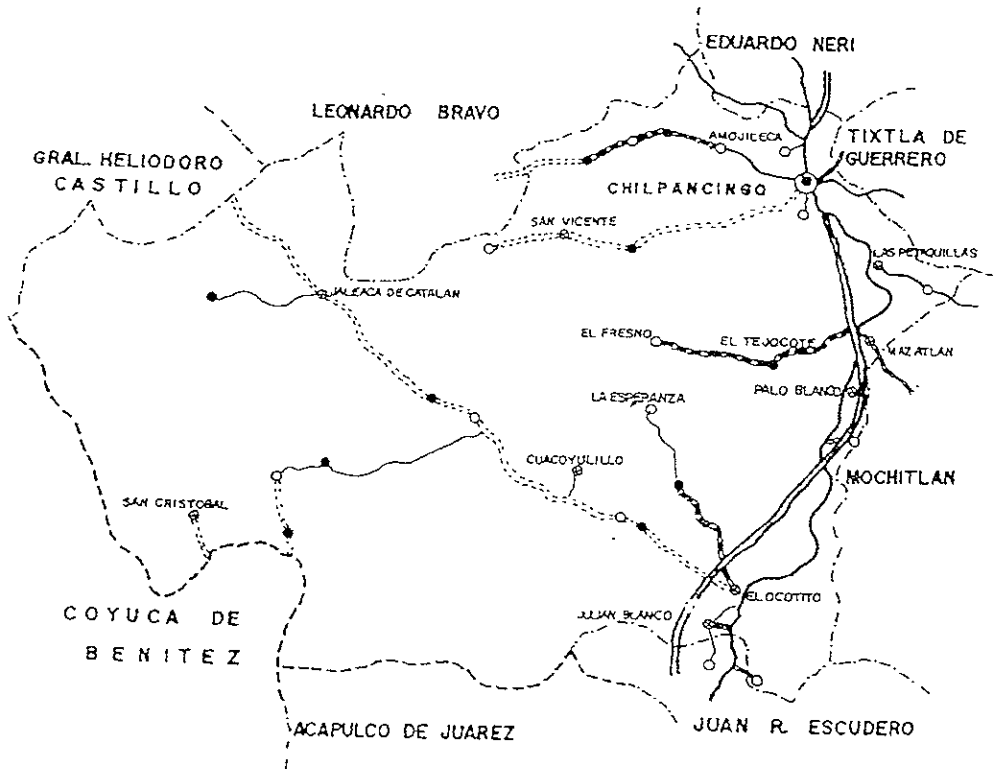
FIGURA 1. 2 DIVISION MUNICIPAL Y REGIONALIZACION DEL ESTADO DE GUERRERO



REGIONES GEOECONOMICAS

- 1.- TIERRA CALIENTE, 2.- NORTE, 3.- CENTRO
- 4.- MONTAÑA, 5.- COSTA GRANDE, 6.- COSTA CHICA,
- 7.- ACAPULCO

FIGURA I. 3 RED CARRETERA DEL MUNICIPIO DE CHILPANCINGO



SIMBOLOGIA

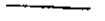

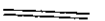



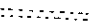

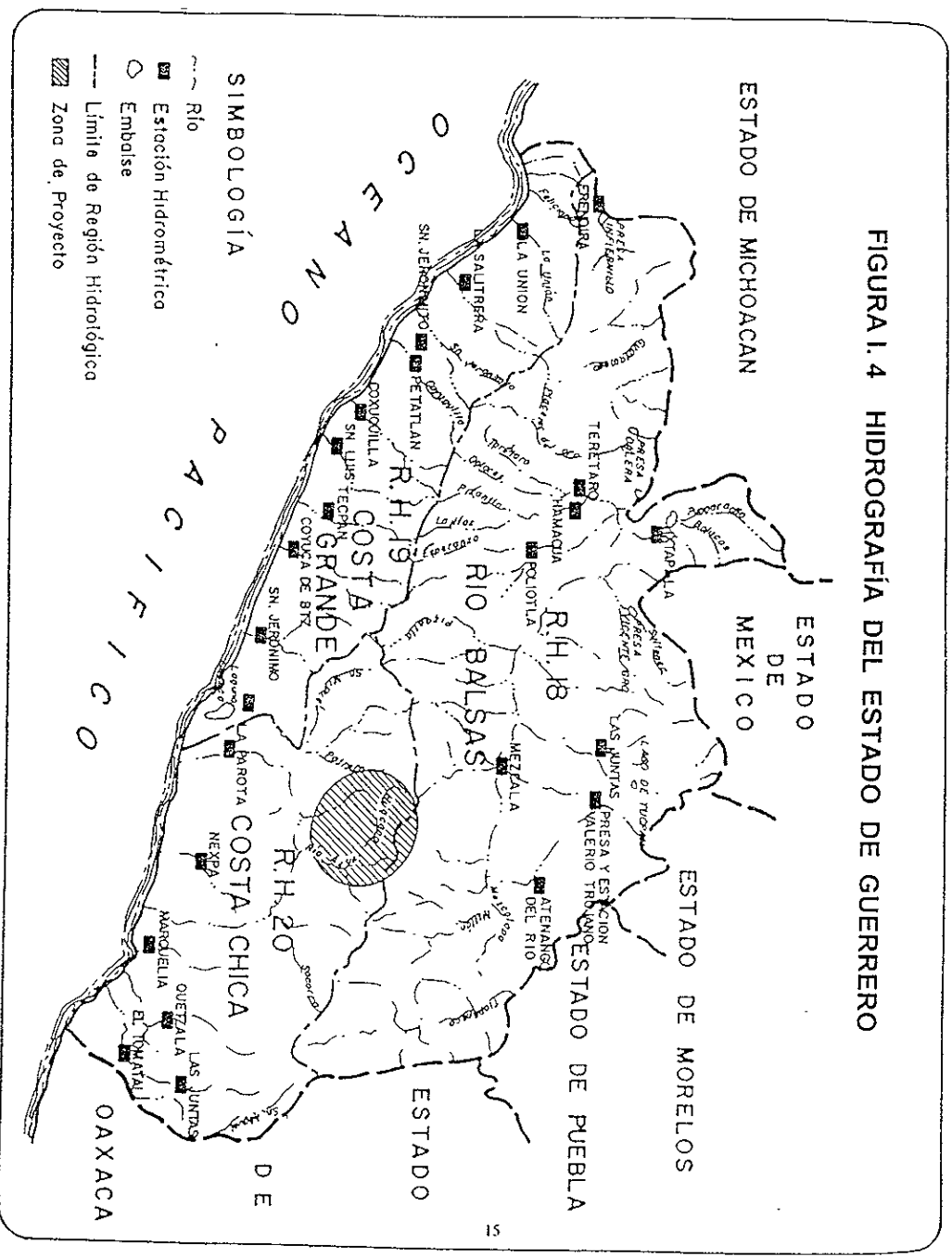
- | | | | |
|---|------------------------|---|--|
|  | CARRETERA PAVIMENTADA |  | LOCALIDADES MAYORES DE 1000 HABITANTES |
|  | AUTOPISTA |  | LIMITES REGIONALES |
|  | CAMINO RURAL TERMINADO |  | LIMITES MUNICIPALES |
|  | CAMINO DE TRAZO | | |
|  | BRECHAS | | |

FIGURA I. 4 HIDROGRAFÍA DEL ESTADO DE GUERRERO



CAPITULO II. ESTUDIOS BÁSICOS

En este capítulo se presenta el estudio de diversas condiciones de la región, que influyen en la definición del tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad de Chilpancingo, Gro. Los siguientes estudios se deben realizar por un grupo multidisciplinario de personas, con mayor detalle para dar una calidad de proyecto ejecutivo a este trabajo.

II.1 ALTERNATIVAS DE CONDUCCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La red actual de alcantarillado sanitario (ver en el Anexo 1 el Plano. 2 "Alternativas de ubicación de la planta de tratamiento") cubre aproximadamente el 75% de la localidad.

En 1984 se construyeron dos colectores marginales en el río Huacapa, el colector oriente (margen izquierdo) se construyó al 100% y el colector poniente (margen derecha) se construyó al 50%; debido a las lluvias extraordinarias presentadas en 1984. Los colectores se unen por la margen derecha del río Huacapa, en las afueras de la ciudad, alimentando con su caudal al emisor, que descarga algunos metros aguas abajo al río Huacapa. Hay que destacar que el alcantarillado de la ciudad es únicamente sanitario, debido a que el drenaje pluvial se descarga directamente al río Huacapa en diferentes puntos.

Se definen dos sitios, con sus líneas de conducción y desfogue, que se ilustran en el Anexo 1 en el Plano. 2 "Alternativas de ubicación para la planta de tratamiento", cuyas características y requerimientos principales son:

Sitio No. 1

De acuerdo al plan de desarrollo urbano para la ciudad de Chilpancingo, Gro. el predio se localiza en área de preservación ecológica, con un uso actual del suelo definido como agrícola.

Topográficamente el predio se localiza en zona de lomeríos, con elevaciones que varían de 1189 msnm a 1211 msnm correspondiéndole una mayor elevación al predio con respecto a la descarga del emisor del río Huacapa de aproximadamente 34 m y una distancia aproximada de 540 m, lo cual provoca que exista necesariamente un sistema de bombeo de las aguas residuales, hacia la planta de tratamiento.

Por la ubicación de este predio donde se puede encontrar la planta de tratamiento, es posible que posteriormente de ser tratadas las aguas residuales, fueran utilizadas para regar por gravedad las zonas, localizadas aguas abajo de la descarga actual del emisor del río Huacapa, rumbo a Petaquillas.

Requerimientos:

- Línea de conducción de aguas residuales al predio aproximadamente de 540 m.

- Línea de desfogue de aguas residuales al río Huacapa aproximadamente de 540 m..
- Estación de bombeo para conducir las aguas residuales al predio a una altura de 34 m.
- Si se define no regresar las aguas tratadas al Río Huacapa y derivarlas por gravedad para riego, se requerirán obras complementarias como canales o tubería para riego.

Sitio No. 2

Considerando el plan de desarrollo urbano para la Ciudad de Chilpancingo, Gro El predio se localiza en área de preservación ecológica, con un uso actual del suelo definido como agrícola.

Topográficamente el predio se localiza en una zona de loma que varían desde 1175 msnm a 1140 msnm. La descarga del colector principal se encuentra aproximadamente 15 m arriba de la cota del predio y a una distancia de 6,071 m. Por encontrarse el predio en la zona agrícola, se puede reincorporar el agua tratada al Río Huacapa y regar esta zona ó realizar la infraestructura necesaria para riego.

Requerimientos:

- Línea de conducción de aguas residuales al predio aproximadamente de 6071 m.
- Línea de desfogue de aguas residuales al río Huacapa aproximadamente de 145 m.
- Si se define no regresar las aguas tratadas al río Huacapa y derivarlas por gravedad para riego, se requerirán obras complementarias como canales o tubería para riego.

Conclusión

Por lo expuesto anteriormente y básicamente para evitar costos operativos excesivos debido al bombeo que se requeriría, así como los problemas de impacto ambiental que podría causar el que la planta se ubique dentro de la zona urbana en el sitio No. 1, se puede definir como sitio más aceptable para ubicar la planta de tratamiento al sitio No. 2, que a pesar de su distancia con el colector, será conducida por tubería y con una suficiente pendiente para ser por gravedad, otra ventaja es la cercanía de la planta con la zona de riego en Petaquillas.

II.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO

El estudio topográfico se elabora con el propósito de contar con una planta topográfica que se constituya en la cartografía básica para la elaboración de los estudios básicos y el anteproyecto de la planta de tratamiento, así como otros posibles anteproyectos como línea de conducción de las aguas negras, la zona de riego y la presa derivadora.

Para el estudio topográfico de la zona se estableció un sistema de referencias arbitrario deducido de la cartografía de la zona editada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), siendo estas las cartas topográficas la E14C28 y la E14C38, denominadas Chilpancingo y Mazatlán respectivamente, en escala 1:50,000.

Con lo anterior fue posible definir las principales características topográficas de la cuenca del río Huacapa y son las siguientes:

- Área drenada hasta la presa cerrito azul	157.3 km ²
- Área drenada hasta el sitio de estudio	378.8 km ²
- Área drenada hasta la estación hidrométrica Colotipa	812.0 km ²
- Longitud del colector hasta la presa cerrito azul	29.0 km ²
- Longitud del colector hasta el sitio de estudio	48.5 km ²
- Desnivel del colector hasta la presa cerrito azul	1,120.0 m
- Desnivel del colector hasta el sitio de la planta de tratamiento	1,370.0 m

La topografía de la línea de conducción y del sitio seleccionado para el establecimiento de la planta de tratamiento presenta las siguientes características: se inicia al término del colector principal, al inicio de la carretera a Acapulco, en la cota 1175.071 msnm, manteniéndose paralela a la margen derecha del río Huacapa una longitud de 2900 m, hasta alcanzar una cota de 1169.50 msnm, existiendo un desnivel entre ambos puntos de 5.571 m, por lo tanto una pendiente del terreno de $s = 0.0002$.

A partir de ese punto la línea de conducción se desvía al sitio seleccionado para el establecimiento de la planta de tratamiento, que se encuentra a 3171 m del punto antes mencionado y a una altura de 1160.071 msnm, existiendo un desnivel entre el punto de referencia y el sitio en donde se puede ubicar la planta de tratamiento es de 9.423 m, por lo tanto una pendiente del terreno de $s = 0.0003$.

El trazo tendrá dos desarrollos, uno de 2+900.00 m y otro de 3+171.00 m.

II.3 ESTUDIO HIDROLÓGICO

A partir de la información registrada en las diversas estaciones de la región, se procedió a definir el periodo de análisis, mismo que se estableció en 32 años (1953-1984), tomando inicialmente la estación más cercana al estudio, en el Cuadro II. 1 se pueden observar los valores anuales de precipitación para todas las estaciones.

Con la información obtenida, fue posible estimar la precipitación media anual representativa a los diferentes sitios sobre el colector principal, lo que se obtuvo mediante el trazado de las isoyetas medias anuales de la región, obteniéndose los siguientes valores:

- Precipitación media anual de la cuenca a la presa cerrito azul	1,126.9 mm
- Precipitación media anual de la cuenca parcial (presa cerrito azul y el sitio de estudio)	988.6 mm
- Precipitación media anual de la cuenca total hasta el sitio de estudio	1,046.0 mm
- Precipitación media anual estación Chilpancingo	868.1 mm
- Temperatura media anual de	21.5°C
- El clima de clasifico como: semiseco, con lluvias moderadas; semicálido y con alta concentración de calor en verano	

- Aportación media del efluente	9,350 millones de m ³
- Aportación media por cuenca propia	33,130 millones de m ³
- Aportación media total	42,480 millones de m ³
- Lámina bruta	0.91 m
- Demanda anual aproximada para riego	6.20 millones de m ³
- Avenida máxima probable	175.00 m ³ /seg
- Periodo de retorno	100 años
- Tirante máximo en el cauce	2.90 m

Los escurrimientos que se consideran en el sitio de estudio, son principalmente dos tipos: los principales son los colectados en función de las descargas residuales de la ciudad de Chilpancingo y los restantes caudales son debidos a la precipitación y están en función del área propia drenada.

Los primeros se cuantificaron de acuerdo al sistema de drenaje urbano y a la proyección a futuro de la población servida, en la cabecera municipal, este se proyectó cubriendo un horizonte de 10 años, es decir hasta el año 2010, tomando como adecuado el periodo 2000-2010.

El drenaje superficial es de moderado a lento y no se observa el manto freático a una profundidad de 150 a 200 cm. En la Figura II. 1 se presenta la gráfica correspondiente a las evaluaciones - caudales del río Huacapa.

II.4 USO DE SUELO

Con la elaboración de esta parte del estudio el objetivo que se persigue es conocer con el mayor detalle posible la utilización actual del suelo en el área del proyecto, en la agricultura, ganadería, forestal y otros, así como las características más relevantes del nivel de desarrollo de las actividades productivas.

Como se ha mencionado, geográficamente la zona de estudio se localiza entre los paralelos 17°27' y 17°29' de latitud norte y entre los meridianos 99°23' y 99°25' de longitud oeste a una altitud promedio 1,200 msnm políticamente se encuentra ubicada en los límites de los municipios de Chilpancingo y Mochitlán. Se encuentra integrada por pequeños propietarios y ejidatarios de las localidades de Tepechicotlán y Mochitlán.

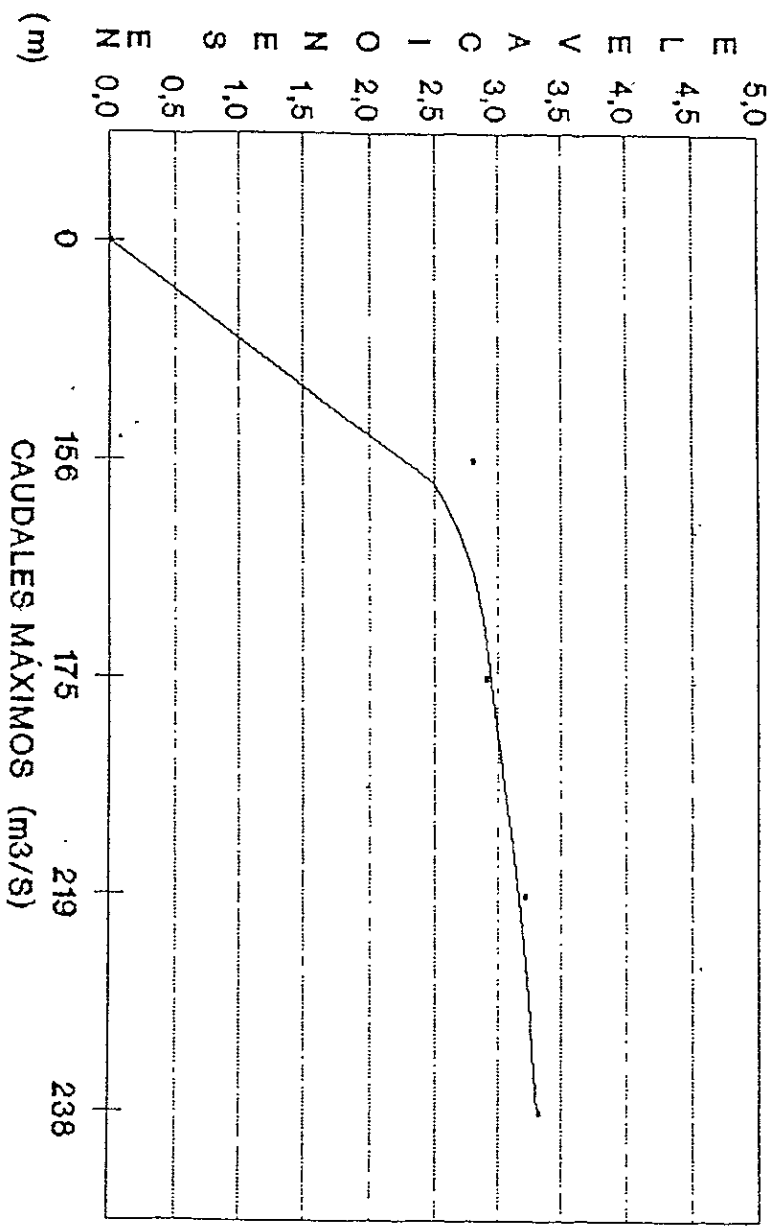
A.- USO AGRÍCOLA

El desarrollo de la agricultura en el área de estudio presenta características de tipo tradicional, en las áreas temporaleras y en menor escala en riego. Del total de la superficie agrícola en su mayor parte se trata de tierras de temporal (890.0 ha), además de que el cultivo principal lo constituye el maíz al ocupar el 95.0 % de la superficie sembrada. Los otros cultivos que se trabajan son en orden de importancia: cacahuete, frijol, papaya, alfalfa, sandía y chile.

CUADRO II. 1 PRECIPITACION ANUAL (en mm)

ESTACION	CHILPANCIINGO	TIXTLA	PALO SECO	COLOTLIPA	CHILAPA	SAN VICENTE	CHICHIHUALCO
1963	560.40	673.90	968.10	682.30	598.10	128.00	571.80
1964	1193.50	1209.30	1832.70	967.60	650.20	1904.90	874.30
1965	965.60	753.90	1487.30	1641.50	1082.00	1742.30	487.20
1966	901.80	804.20	1364.50	754.00	519.70	361.70	457.30
1967	693.20	600.73	933.10	1395.80	1689.70	1689.70	575.00
1968	1156.30	1148.30	1924.50	1692.50	1087.10	1387.60	904.30
1969	909.40	781.20	1160.30	1113.40	810.50	2594.00	309.40
1960	647.00	1313.80	1010.50	1308.70	1128.30	1827.90	823.30
1961	943.36	1018.30	1542.30	1448.10	904.30	1328.10	434.70
1962	676.80	659.20	1052.00	1141.60	828.00	1841.80	704.10
1963	824.60	741.50	1073.90	1268.50	875.40	1438.60	433.40
1964	960.40	613.60	1140.50	1337.00	894.70	1608.80	362.40
1965	780.20	580.30	845.60	1176.00	1090.50	1708.70	440.00
1966	581.40	538.90	1033.70	1335.50	876.40	1672.30	735.00
1967	1076.50	989.90	1310.70	1404.90	913.50	2139.20	470.40
1968	774.70	581.00	1192.00	1231.80	752.10	1748.00	835.50
1969	745.10	683.00	345.00	1122.40	741.10	1384.30	714.00
1970	607.80	397.33	1106.10	1421.90	392.70	1742.30	357.40
1971	764.30	398.00	983.70	1044.60	1628.70	1628.00	779.30
1972	313.60	661.35	927.30	1345.50	570.60	1003.00	829.00
1973	1130.50	791.00	1439.30	1345.70	888.40	1948.10	337.80
1974	982.30	891.50	1135.30	1151.00	743.30	1074.20	758.00
1975	981.20	1115.50	1194.20	1073.70	713.80	1371.50	663.00
1976	1076.60	989.20	1285.80	1479.90	888.10	1607.30	789.80
1977	628.40	543.30	1139.50	1202.40	847.90	1378.00	838.30
1978	1011.80	1139.40	1408.10	1188.00	803.10	1348.40	737.50
1980	1087.40	960.40	839.40	1025.70	628.70	1144.60	376.50
1981	1067.30	873.80	1486.00	1138.90	914.70	1768.70	573.50
1982	652.50	609.40	2135.00	1413.00	928.30	1941.20	823.00
1983	700.50	609.90	376.20	808.20	609.00	1636.90	574.70
1984	1032.30	792.93	1184.60	1107.00	890.60	1628.20	554.50
SUMA	27113.66	25646.08	38240.7	38918.1	25994.2	49604.1	19584.3
PROMEDIO	847.30	827.29	1233.57	1255.42	838.52	1587.87	631.75

FIGURA II. 1 RÍO HUACAPÁ, GUERRERO
ELEVACIONES - CAUDALES



Los productores de Tepechicotlán, al utilizar los escurrimientos del río Huacapa para irrigar sus tierras, han aceptado eliminar de su patrón de cultivos, aquellos que por normatividad deben no producirse, si en el riego se utilizan aguas residuales sin ningún tratamiento previo

Lo anterior ha limitado en particular el cultivo de hortalizas que hasta hace pocos años producían en el área del proyecto, sin embargo, es importante señalar que las aguas tratadas pueden favorecer las acciones para desarrollar una actividad agrícola productiva y rentable.

a) Cultivos Anuales

La mayoría de los cultivos que se desarrollan en la zona son de ciclo corto (anuales), a excepción de la alfalfa y papaya cuya vida vegetativa productiva es mayor a un año.

Del total de la superficie agrícola en el año de 1989 en la zona de estudio (890.0 ha) los cultivos anuales (maíz, cacahuete, frijol, sandía y chile) cubren 881.02 ha equivalente al 98.9% de las cuales 796.57 ha (Cuadro II. 2), son tierras de temporal. Los cultivos perennes, detectados (papaya y alfalfa) cubren las 8.98 ha restantes, 1.1% del total.

En el uso actual del suelo agrícola, el cultivo dominante es el maíz con 845.82 ha distribuidas en 777.85 ha de temporal y 67.97 ha de riego.

El cacahuete se cultivó en 16.57 ha todas de temporal, el frijol en 12.35 ha de riego; el maíz - frijol intercalados ocupan 3.45 ha de riego, la sandía 2.15 ha de temporal y el chile sólo siembre en 0.68 ha con riego.

Los productores han cultivado en riego el cacahuete en ciclos anteriores, no obstante lo rentable que es, ahora han limitado la producción de este y algunos otros cultivos, debido a las aguas residuales sin ningún tratamiento previo que lleva el río Huacapa.

De acuerdo a la localización geográfica de los cultivos anuales, se tiene que, tanto en Tepechicotlán como en Mochitlán se siembra el maíz, frijol y cacahuete además de sandía y chile. Así mismo, se observa que en el caso de Mochitlán, la totalidad de las tierras agrícolas son de temporal

b) Cultivos Perennes

Los únicos cultivos perennes que se identificaron en el área de estudio, fueron alfalfa y papaya.

La fruticultura en la zona esta representada por el cultivo del papayo (carica papaya) y se trata de una plantación delicada y un producto difícil de manejar y transportar.

c) Otros Cultivos Perennes

La alfalfa (*medicago sativa*) es un cultivo de origen mediterráneo. Se produce como cultivo forrajero ya sea para forraje fresco o para heno; la temperatura óptima para su desarrollo es de unos 25°C. En climas cálidos, la producción es mayor en condiciones secas que en zonas húmedas. La alfalfa es por lo tanto un cultivo perenne, sus mayores rendimientos se dan a partir del segundo año de desarrollo, y están en función del manejo, se cultiva en promedio durante 4 años en forma continua; después de la siembra tarda unos tres meses para establecerse se llevan a cabo en promedio 10 cortes por temporada vegetativa.

B.- USO PECUARIO

La explotación de la actividad pecuaria se realiza fuera de la zona del proyecto en los cerros y laderas contiguos a la superficie agrícola es decir en las áreas de agostadero.

Aún cuando la ganadería es una actividad importante económicamente los ganaderos de la zona no le dan la atención debida a su ganado, la explotación de sus pequeños hatos la llevan a nivel tradicional, no cuentan con un calendario de vacunación, definido de acuerdo a las enfermedades más comunes de la región; no llevan algún registro productivo de su ganado, los cruzamientos los realizan al azar y no muestran interés en la adquisición de razas especializadas y/o mejoradas.

Así mismo, no existe ningún tipo de infraestructura pecuaria como son corrales de manejo, cercas, baños, garrapaticidas, bodegas, etc. En este caso, solo se puede mencionar que las parcelas agrícolas se encuentran cercadas con alambre, para evitar que el ganado entre en los cultivos y ocasione perjuicios.

El inventario ganadero en el área de Mochitlán lo integran el ganado vacuno, caprino y porcino principalmente y en cuanto a las características, se observa que el ganado vacuno es criollo y cruza con cebú, el caprino en su mayoría es criollo y en esas mismas condiciones esta el porcino

El ganado vacuno y caprino se alimenta de pastos naturales y ramoneo de arbustos y árboles, también los esquilmos de la cosecha sirven para alimentar el ganado.

La comercialización se realiza localmente, los compradores acuden directamente a las localidades, y el destino de la producción es principalmente para Chilpancingo, Acapulco y Zihuatanejo. En el Cuadro II. 3 se incluye el inventario ganadero registrado en el Municipio de Chilpancingo y Mochitlán, para el año de 1995.

C.- USO FORESTAL

La superficie estudiada, es su totalidad corresponde al uso agrícola, es decir, no dispone de áreas forestales sin embargo, las áreas circunvecinas están cubiertas por agrupaciones arbustivas de foliolos pequeños. Esta vegetación se distribuye ampliamente sobre las laderas de los cerros; debe señalarse que son frecuentes las comunidades de bursera SPP, lysiloma SPP (tepeguajes) ipomoea SPP (easahuates), erithrina SPP (colorin) y cordia SPP (cueramo).

En consecuencia el tipo de vegetación no tiene importancia de interés comercial para la industria u otros usos actualmente la madera que se obtiene se emplea como combustible y en cercas para la división parcelaria.

D.- OTROS USOS

En el área del estudio se encuentra una zona en donde los agricultores extraen arena y grava del río Huacapa, es decir lo han adaptado como banco de materiales. Así mismo, todo el área es cruzada por el propio río Huacapa, se encuentran también algunos caminos interiores de terracería por donde los agricultores trasladan al exterior del área agrícola su producción.

CUADRO II. 2 USO AGRÍCOLA EN LA ZONA DE ESTUDIO

CULTIVOS	SUPERFICIE					
	TOTAL	%	TEMPORAL	%	RIEGO	%
ANUALES	881.02	98.9	796.57 *	90.4	84.45	9.6
MAÍZ	845.82	95	777.85 *	92	67.97	8
CACAHUATE	16.57	1.8	16.57	100	-	-
FRIJOL	12.35	1.4	-	-	12.35	100
MAÍZ - FRIJOL	3.45	0.4	-	-	3.45	100
SANDÍA	2.15	0.2	2.15	-	-	-
CHILE	0.68	0.1	-	-	0.68	100
PERENNES	8.98	1.1	-	-	8.98	200
FRUTALES						
PAPAYA	5.72	0.6	-	-	5.72	100
OTROS						
ALFALFA	3.26	0.5	-	-	3.26	100
TOTAL	890	100	796.57 *	89.5	93.43	10.5

FUENTE: SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y DESARROLLO RURAL (SAGAR). DELEGACIÓN EN EL ESTADO DE GUERRERO. SUBDELEGACIÓN DE AGRICULTURA.

* INCLUYE 67.25 ha CULTIVADAS EN PLANICIES ALTAS SE CLASIFICAN COMO DE AGOSTADERO COMÚN.

**CUADRO II. 3 INVENTARIO GANADERO, MUNICIPIOS DE
CHILPANCINGO Y MOCHITLAN GRO. EN 1995.**

TIPO DE GANADO	NÚMERO DE CABEZAS		RAZA	SISTEMA DE EXPLOTACIÓN	ALIMENTACIÓN
	CHILPANCINGO	MOCHITLAN			
BOVINOS	19570	6400	CRIOLO	EXTENSIVA	LIBRE PASTOREO
PORCINOS	18687	5985	CRIOLO	LIBRE	SOLAR
CAPRINOS	7671	5598	DUROC	EXTENSIVA	LIBRE PASTOREO
OVINOS	1273	213	CRIOLO	EXTENSIVA	LIBRE PASTOREO
AVES	160262	12280	CRIOLO	SOLAR	GRANOS
COLMENAS	1736	267		CAJONES	
TOTAL	207463 *	30476 *			

FUENTE: SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y DESARROLLO RURAL (SAGAR). DELEGACIÓN EN EL ESTADO DE GUERRERO. SUBDELEGACIÓN DE GANADERÍA.

* NO INCLUYE COLMENAS

II.5 ESTUDIO SOCIOECONÓMICO

La problemática económica y social que se observa en el área de estudio se caracteriza por severos rezagos sociales, pues un 39.7% de la población que vive en la periferia de la ciudad de Chilpancingo carece del servicio de agua potable, en tanto que el 47.2% no dispone de drenaje sanitario. Estos problemas se presentan en asentamientos humanos que se multiplicaron sin ningún control y en forma explosiva, dando como resultado que las condiciones de vida de la población sean muy precarias puesto que no solamente carecen de estos vitales servicios, sino también de energía eléctrica, alumbrado público, pavimentación de calles, servicios de recolección de basura, escuelas, mercados, centros de salud, vigilancia, etc. El resto de la población de Chilpancingo si dispone de todos los servicios y en términos cualitativos se clasifican como bastante buenos.

En el área de estudio la transición demográfica tiende al equilibrio poblacional, puesto que la tasa media de crecimiento anual en la última década fue de 1.13%, que la sitúa bajo la hipótesis programática que prevé que el crecimiento poblacional se estabilizara en un nivel de alrededor del uno por ciento. Otro aspecto relevante es que el 53.5% de la población total es menor de 20 años y en este momento demandan todos los servicios básicos, representan también parte de la fuerza laboral disponible en el corto y mediano plazo. Por su parte la población actual considerada como activa, es decir la mayor de 12 años y hasta los 64 representa en términos relativos el 49.7%, en tanto que la población considerada como de la tercera edad representó en el año de 1990 el 7.8% de la población total.

La población económicamente activa en el año de 1990 en el área del estudio muestra la siguiente distribución sectorial. El 64.7% se ocupa en el sector agropecuario confirmando su vocación natural, en la incipiente industria se ocupan el 3.4% de la P.E.A., en las labores del comercio en pequeña escala se ocuparon el 1.8%, en las actividades del transporte y comunicaciones se ocupó el 1.0%, los servicios de carácter comunal ocuparon en el año citado el 15.4% de la P.E.A. el 13.7% restante se clasificó como actividades insuficientemente especificadas.

El fenómeno del empleo y subempleo en la zona del estudio presenta las mismas características a las observadas a nivel regional y estatal, es decir quienes se emplean en la agricultura de temporal tienen ocupación limitada y por periodos, lo que obviamente se refleja en un ingreso agrícola limitado, originando que los productores agrícolas complementen su ingreso con otra actividad que va desde albañil, jornalero, chofer, comerciante e incluso empleo fijo en la ciudad de Chilpancingo. La agricultura de riego que se practica en el área de estudio permite la producción agrícola en dos ciclos en un año calendario convirtiéndola en actividad generadora de empleo. Permite cultivos que requieren mayor intensidad de mano de obra y tienen una mayor rentabilidad lo que se traduce en mayor ingreso y por lo tanto en mejores niveles de vida para el productor y su familia. Se puede afirmar que en el área de riego existe desempleo temporal que se da entre un ciclo y otro, mientras que en el área temporalera se extiende a 6 meses el tiempo en que los productores tienen disponible su oferta de mano de obra.

En la zona de estudio los niveles de bienestar social se pueden considerar como bastante buenos ya que han venido evolucionando positivamente; sobresaliendo la vivienda, pues cuentan en su interior con agua potable, drenaje y energía eléctrica. Los indicadores disponibles confirman que la vivienda en las áreas urbanas de la zona de la planta de tratamiento son similares a los que se observan en el área urbana de Chilpancingo. Es en las áreas rurales en donde el rezago es bastante considerable a pesar de que se han instrumentado programas que tienden a disminuir esas carencias.

En la zona de estudio también se muestran rezagos importantes, en lo relativo a analfabetismo y educación básica en las pequeñas comunidades rurales. En las áreas urbanas la oferta de servicios educativos es satisfactoria y cubre la demanda de la población infantil y juvenil.

En términos de salud se presentan condiciones favorables sin llegar a lo ideal, como lo demuestra la tasa de mortalidad que fue 6.2 por cada mil habitantes contra el 6.5 defunciones por cada mil habitantes que se registraron en el año de 1984 a nivel del estado de Guerrero. Los servicios de atención a la salud en la localidad de Tepechicotlán reporta serias limitaciones ya que se carece de lo mas elemental y la población tiene que seguir recurriendo a los curanderos y remedios caseros. En Mochitlán y Chilpancingo sí se dispone de mayores servicios de salud y los niveles de atención son satisfactorios.

El perfil nutricional de los pobladores del área de estudio no es totalmente satisfactorio ya que el tipo de alimentación es insuficiente en nutrientes básicos, pues se basa en combinaciones de maíz, frijol, chile, café, algunas verduras y frutas que se producen en la región. Sin embargo, la cultura alrededor del maíz esta muy arraigada y es parte de las fiestas populares, de las tradiciones y costumbres que en esta zona son muy apreciadas por la población.

Se dispone de teléfonos, telégrafos, correos, transporte de pasaje, mercado, panteón municipal, biblioteca. Sin embargo, en lo relativo a los servicios de agua potable, drenaje, salud, limpieza y recolección de basura deberán hacerse mejoras sustanciales. El escaso nivel del desarrollo económico de la zona de estudio no ha permitido que las actividades productivas se ubiquen en el proceso de aceleración y multiplicación que propician la distribución del ingreso y con ello mejores niveles de vida.

El nivel tecnológico con que operan los agricultores es aceptable puesto que se cuenta con la asesoría y la instrumentación de paquetes tecnológicos proporcionados por personal técnico especializado, lo que se refleja en una capacitación a los productores sin costo para ellos. Tales apoyos son muy bien aprovechados, ya que son agricultores por vocación y tradición y están concientizados de las ventajas y beneficios de la modernización y conversión de la agricultura de temporal a riego.

La ganadería es de tipo extensivo y familiar ya que no cuentan con recursos forrajeros para intensificar el desarrollo de los hatos y por lo tanto su infraestructura como corrales, abrevaderos, etc. Son muy rústicos, sin embargo, el potencial de desarrollo es bastante prometedor pues se cuenta con una demanda creciente e insatisfecha de carne, leche y sus derivados. Los productores tienen buenos precios de venta y les

representa un ingreso considerable por lo que pueden mejorar las condiciones de vida de los ganaderos y sus familias.

La industria, el comercio y los servicios muestran un desarrollo modesto acorde con el nivel global que se registra en el área del proyecto. Son actividades inducidas que crecerán en la medida en que la actividad dominante inicie su despegue con la instrumentación y operación de un proyecto de riego.

El ingreso agrícola promedio de los productores del área resultó ser en el año de 1989, 45.0% menor del salario mínimo fijado para esa zona. Sin embargo los productores de riego obtienen un ingreso promedio anual de 3.8 millones de pesos, cifra 0.8 millones de pesos mayor al salario mínimo vigente en la zona.

II.6 MECÁNICA DE SUELOS

a) DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

El predio se encuentra ubicado en una loma, con curvas de nivel que van de 1175 m a 1140 m. En su parte norte (N), se localiza una depresión topográfica baja manifestada con una fuerte pendiente.

Al este (E), se localiza una depresión topográfica en donde se tiene la elevación más baja, que tiene un suave pendiente, hasta la parte más baja en donde pasa el río Huacapa.

Al sur (S) y suroeste (SW), se encuentran las máximas elevaciones, acompañada de una fuerte pendiente.

Se observó también que en la zona de estudio el tipo de suelo tiende a ser homogéneo dada su formación geológica y al uso que se le ha venido dando.

b) POZOS A CIELO ABIERTO

En el área en donde se puede ubicar la planta, se definió la localización de pozos a cielo abierto (PCA), siendo sus coordenadas las siguientes:

PCA - 1	X = 11 + 409	Y = 7 + 456
PCA - 2	X = 11 + 652	Y = 7 + 551
PCA - 3	X = 11 + 752	Y = 7 + 575

Su localización se indica en la Figura II.2 y su correspondiente estratigrafía en los Cuadros II.4., II.5. y II.6.

c) TRABAJOS DE LABORATORIO

Las muestras de suelo previamente clasificadas en el campo y debidamente protegidas, se enviaron al laboratorio para hacerles los siguientes ensayos:

Pruebas índice

- Clasificación manual y visual en húmedo y seco
- Contenido de agua
- Densidad de sólidos
- Granulometría por mallas
- Límites de consistencia

Pruebas de resistencia y compresibilidad.

- Compresión simple
- Compresión triaxial no consolidada - no drenada

Como resultado de estas pruebas se determinaron los valores promedio siguientes:

W	=	Contenido de agua	26%
LL	=	Límite líquido	41%
CP	=	Límite plástico	15%
Ip	=	Índice de plasticidad	35%
S	=	Peso volumétrico	1.832 ton / m ³
C	=	Cohesión	2.100 ton / m ²
E	=	Relación de vacíos	0.83
Gw	=	Grado de saturación	83%
0	=	Angulo de fricción interna	15%

Lo anterior indica que se trata de un suelo cohesivo – friccionante.

d) DESCRIPCIÓN DEL SUBSUELO

Con base en los trabajos de campo y a las pruebas de laboratorio efectuados, se confirma lo siguiente:

En general la estratigrafía de los 3 sondeos es muy parecida

0.00 a 0.60 Turba color negro con limo y arena fina

0.60 a 1.40 Arcilla limosa con arena fina

1.40 a 2.00 Arcilla con poca arena fina y limos

e) CAPACIDAD DE CARGA (PRELIMINAR)

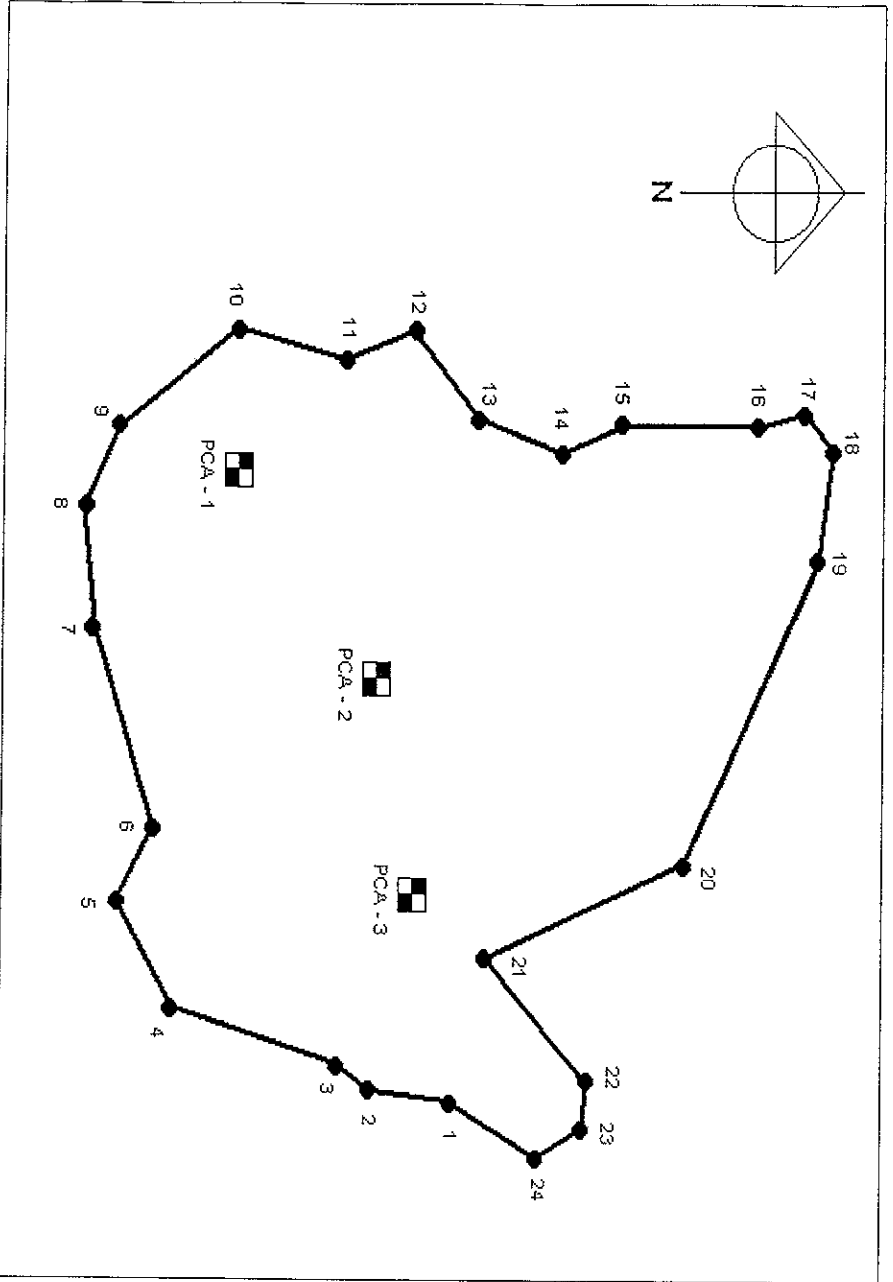
El cálculo se hizo con la expresión de Terzaghi, considerando un factor de seguridad de 3 en condiciones estáticas, y la capacidad de carga neta admisible (q_a) resultó de 15 ton / m².

f) PERMEABILIDAD DEL TERRENO

Un aspecto importante dentro de nuestro estudio consiste en determinar la permeabilidad del terreno. Haciendo uso de la Ley de Darcy ($V = K i$) y el permeámetro de carga hidráulica constante, el cual consiste en aplicar una carga constante a una muestra de suelo y se mantiene hasta que termina la prueba. Lo anterior tiene como objetivo determinar el valor de K.

Después de varias pruebas correspondientes se determinó el valor promedio de K, siendo de 6.7×10^{-6} cm / seg.

FIGURA II. 2 LOCALIZACIÓN DE POZOS A CIELO ABIERTO (SIN ESCALA)



II. 6. MECÁNICA DE SUELOS

Sondeo: PCA-1

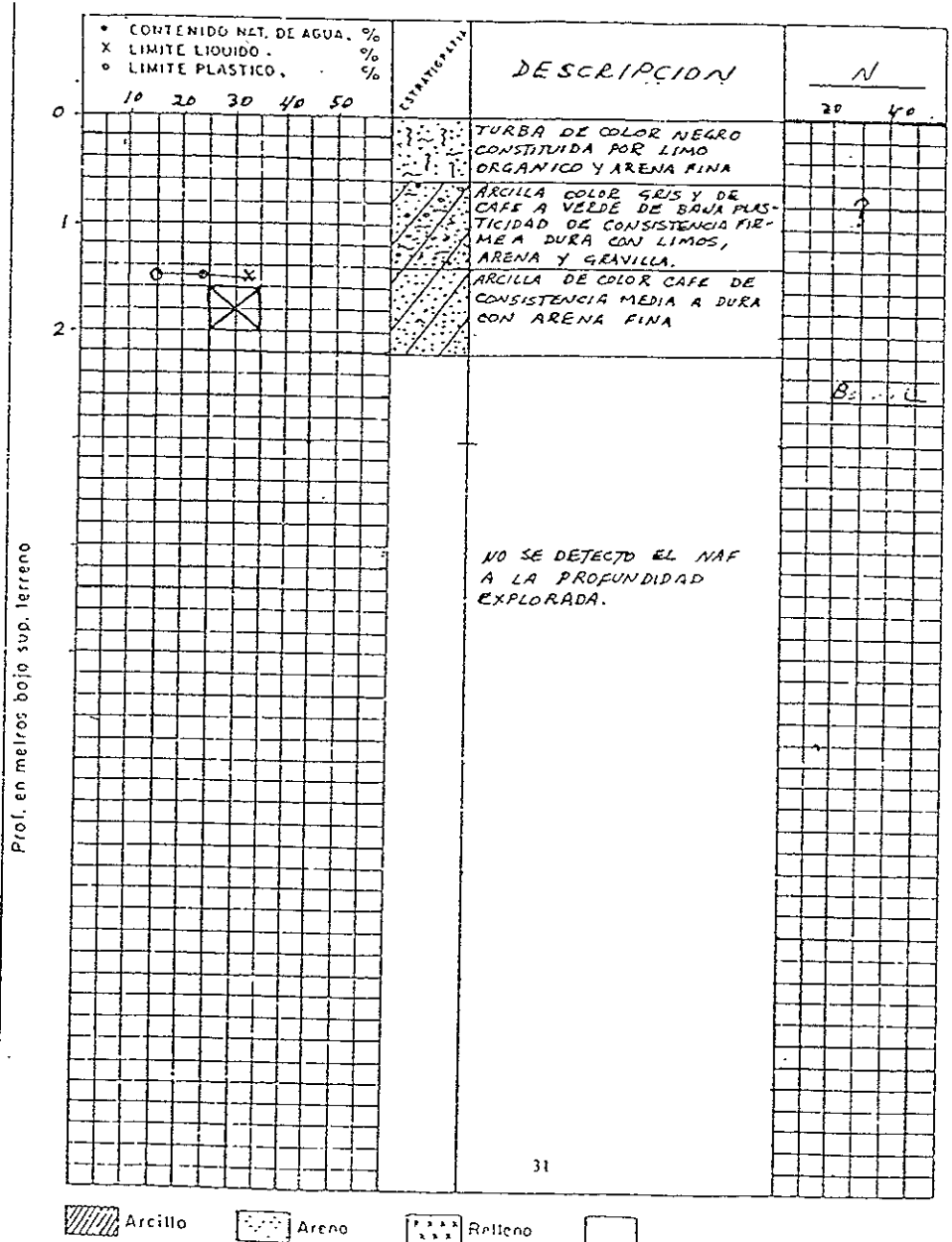
Localización: X = 11 + 409 Y = 7 + 456

Fecha de perforación: 02 - Diciembre - 1985

Elev Brocal: _____

Tipo de Sondeo: Pozo a Cielo Abierto

Cuadro II. 4



II. 6. MECÁNICA DE SUELOS

Sondeo PCA - 2

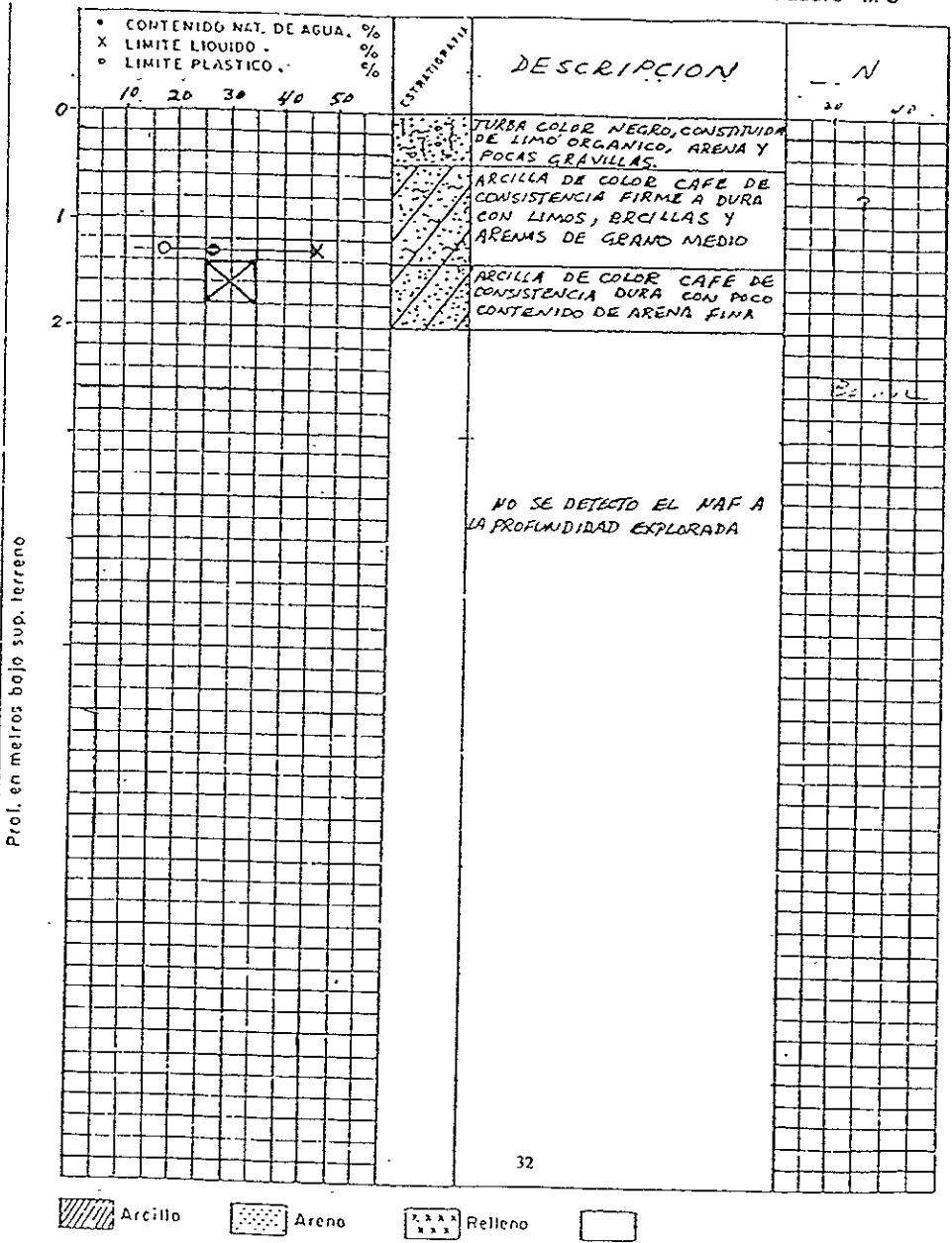
Localización: X = 11 + 652 Y = 7 + 551

Fecha de perforación: 02 - Diciembre - 1985

Elev Brocal: _____

Tipo de Sondeo: Pozo a Cielo Abierto

Cuadro II. 5



II. 6. MECÁNICA DE SUELOS

Sondeo PCA-3

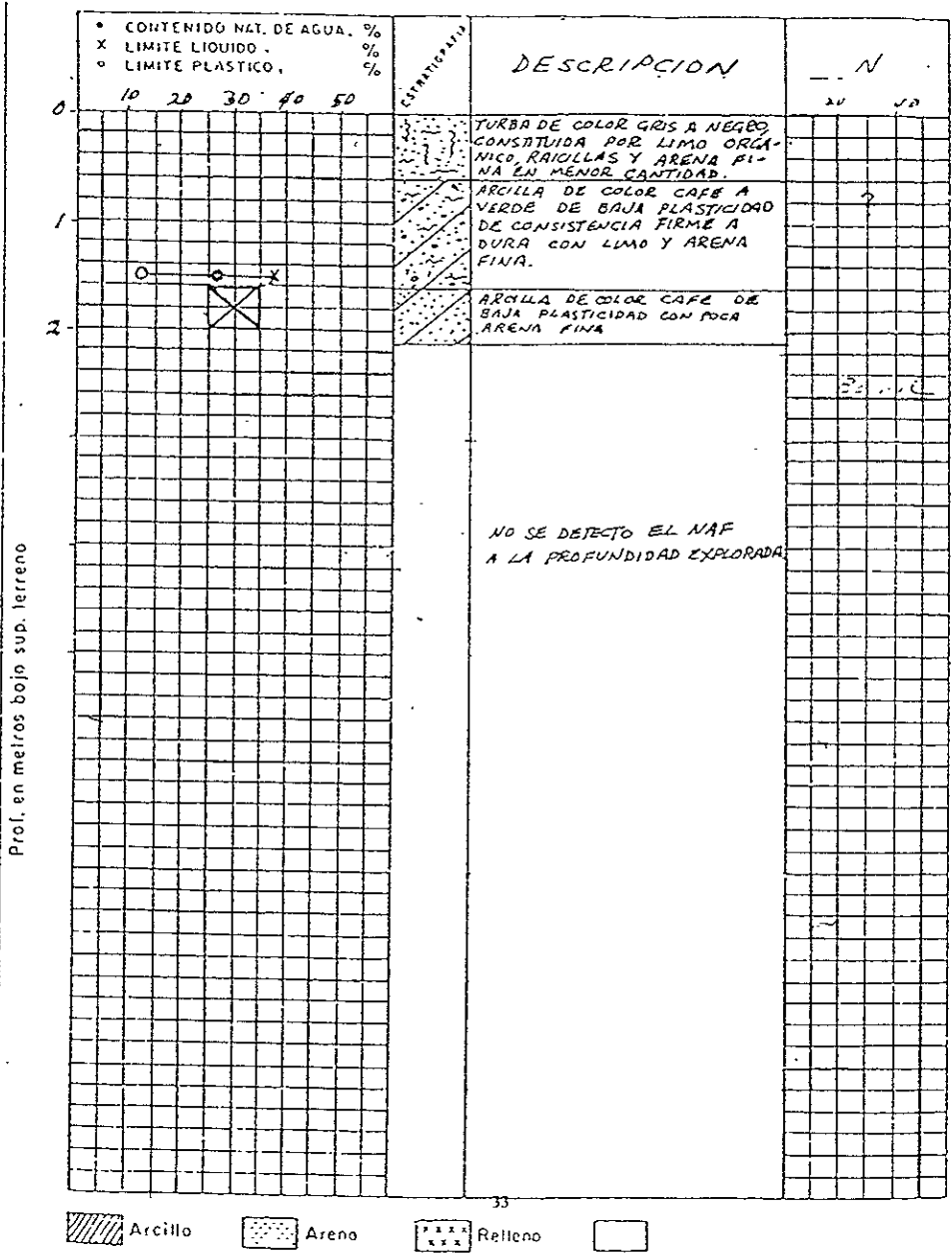
Localización: X = 11 + 752 Y = 7 + 575

Fecha de perforación 02 - Diciembre - 1985

Elev Brocal: _____

Tipo de Sondeo Pozo a Cielo Abierto

Cuadro II. 6



II. 7 ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

El estudio de caracterización de las aguas residuales de la ciudad de Chilpancingo tiene por objeto conocer la cantidad y calidad de dichas aguas, determinar su grado de contaminación, así como evaluar y seleccionar alternativas de tratamiento para remover los contaminantes presentes y adecuar el agua tratada para su uso posterior.

Para la realización de esta parte del trabajo, se utiliza la información disponible del Municipio de Chilpancingo, de la CNA, del Gobierno del Estado y de varias empresas consultoras que han elaborado programas de aforo y muestreo.

II. 7. 1 ESTACIONES DE AFORO

Actualmente en la ciudad de Chilpancingo se carece de estaciones de aforo, tanto en los drenes naturales o barrancas, como a través del río Huacapa, que es el río que sirve de desagüe a las aguas residuales de esta ciudad.

Para la elaboración del programa de aforo y muestreo se realizaron visitas de campo con la finalidad de elegir los sitios más representativos para llevar a cabo las determinaciones de gasto y muestreo de las aguas residuales. La selección de los sitios de monitoreo se hizo con la autorización de personal de la Comisión Nacional del Agua (CNA).

Tomando en consideración que la ciudad de Chilpancingo tiene un desarrollo industrial bajo la mayoría de las descargas de las aguas son de tipo doméstico y en consecuencia el tratamiento de las mismas, para su uso en agricultura, podrá ser del tipo biológico convencional.

Con base en las visitas de campo y en los recorridos por los diversos colectores que se realizaron en el área de estudio, se estableció que tanto el aforo como el muestreo de las aguas residuales se llevará a cabo en catorce sitios representativos y de fácil acceso. Los sitios de monitoreo seleccionados fueron los siguientes:

- 1) Barranca Jalahuancingo (por la estación de autobuses Estrellas de Oro)
- 2) Plazuela de Santa Cruz (a un costado de la calle Moisés Guevara)
- 3) Barranca Apacingo (Calle 18 de marzo, a un costado del mercado de San Francisco).
- 4) Barranca San Miguel (en la calle Sor Juana Inés de la Cruz)
- 5) Barranca Pezuapa (a un costado del almacén de la S.S.A.)
- 6) Barranca de la colonia PRI (a un costado del almacén de la S.A.R.H.)
- 7) Puente Corona (en el cruce del Boulevard Vicente Guerrero, frente a la cervecería Corona)
- 8) Río Colector (sobre el río antes del cruce con el puente Rancho los Gómez).
- 9) Colector roto. (Sobre el Río, cerca de la carretera Nacional México - Acapulco)
- 10) Confluencia del Río Colector (abajo del Colector roto).
- 11) Río Huacapa, 200 m abajo del reclusorio (frente al Hotel Mirador del Marqués).

- 12) Río Huacapa (punto intermedio entre el reclusorio y Petaquillas, entrada en Los Pinos)
- 13) Río Huacapa (afuera de Petaquillas, en el lugar de manantiales).
- 14) Río Huacapa (en la presa derivadora, carretera Petaquillas - Tepechicotlán)

Estos puntos de muestreo se pueden identificar en el Plano 3 "Estaciones de aforo y muestreo", Anexo 1.

Para el establecimiento del programa de aforo se considero que los aforos deberán cubrir los siete días de la semana, durante periodos de tiempo determinados, que en este caso fueron cada cuatro horas. El aforo se inició en la mañana y se concluyó por la noche del mismo día, con ello, se obtuvo la variabilidad aproximada del gasto en las horas de mayor actividad doméstica y comercial.

Los aforos se efectuaron en los catorce sitios seleccionados, señalados anteriormente. El periodo de aforo se inició el 6 y terminó el 12 de abril de 1990.

El método de aforo utilizado para la determinación del gasto (Q) de aguas residuales, en los catorce sitios, fue el de sección velocidad, para lo cual se empleó un molinete, colocándolo a la profundidad establecida para determinar la velocidad media de cada sección parcial, que al multiplicarla por el área se obtienen los gastos parciales y sumando estos el gasto total.

En el cuadro II. 7 se muestra un resumen de los aforos durante el periodo de medición. De acuerdo con información de la Comisión Nacional del Agua se puede observar en el cuadro II. 8, la variación del gasto horario para diferentes ciudades del País con una población mayor de 100,000 habitantes, como es el caso de Chilpancingo, Gro.

II. 7. 2 MUESTREO Y MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LABORATORIO

Al igual que para los aforos, los periodos de muestreo de las aguas residuales fueron cada cuatro horas, iniciando por la mañana y terminando por la noche, durante siete días consecutivos, con la finalidad de determinar las variaciones en cuanto a gasto y la calidad física, química y biológica de las aguas durante el día y detectar los horarios en los cuales dichas aguas contienen mayor concentración de materiales contaminantes. Con ello, se podrá definir el tratamiento más adecuado, de tal forma que se absorban las variaciones que se presenten. El periodo de muestreo para los catorce sitios se inició el 6 de abril y terminó el 12 de abril de 1990.

MUESTRAS SIMPLES. De manera paralela al aforo se tomaron muestras simples de aguas residuales, para realizar determinaciones "in-situ", tales como: temperaturas ambiente y del agua residual, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, color, olor y dureza. Las ocho determinaciones antes mencionadas se realizaron para cada una de las muestras simples colectadas, en los catorce sitios seleccionados previamente, durante siete días consecutivos.

Las determinaciones se realizaron de acuerdo con las técnicas de muestreo y análisis de campo establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas y Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater décimo quinta edición de la WPCF, AWWA Y APHA. En el cuadro II. 9 se presenta el resumen de los resultados obtenidos en campo

MUESTRAS COMPUESTAS. Se determinó que a partir de las muestras simples de las estaciones 10, 11, y 14 tomadas durante el periodo de muestreo, se prepararan muestras compuestas, por estación de dichos puntos, estas fueron seleccionadas, por estar ubicadas en puntos del río, que prácticamente conducen la totalidad de las descargas de la ciudad.

Las muestras colectadas se almacenaron y preservaron, de acuerdo con los criterios establecidos en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de la WPCF, AWWA Y APHA y con las Normas Oficiales Mexicanas.

Con respecto al transporte y con la finalidad de evitar cambios químicos y biológicos que pudiesen alterar los resultados de laboratorio, fue necesario que el tiempo entre el muestreo y su análisis en el laboratorio fuera el mínimo, por lo que las muestras preservadas se trasladaron inmediatamente al laboratorio para su respectivo análisis.

Las muestras simples, empleadas para preparar la muestra compuesta se almacenaron en recipientes adecuados, se colocaron en espacios oscuros y se refrigeraron a 4°C.

Los recipientes empleados para el muestreo fueron:

- a) Para grasas y aceites se utilizaron frascos de vidrio de boca ancha, con capacidad mínima de un litro,.
- b) Para oxígeno disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), se utilizaron frascos tipo Winkler con capacidad de 300 ml.
- c) Para la determinación de coliformes se utilizaron recipientes de vidrio, color ámbar, previamente esterilizados, con capacidad mínima de 125 ml.
- d) Para las determinaciones de físicas y químicas se utilizaron recipientes de plástico con capacidad de 3 l.

Los métodos analíticos empleados para las determinaciones físicas, químicas y bacteriológicas en laboratorio de las aguas residuales de la ciudad de Chilpancingo, son las que se especifican en las Normas Oficiales Mexicanas y en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater décimo quinta edición, de la WPCF, AWWA Y APHA.

En el cuadro II. 10 se presenta un resumen de los métodos de análisis que se emplearon para la caracterización de las aguas residuales de la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, así como la clave de la Norma Oficial Mexicana o del Standard Methods. Como se puede observar en dicha tabla no todos los métodos se han oficializado.

Los parámetros físicos, químicos y biológicos seleccionados y analizados, corresponden a los materiales que comúnmente se determinan en las aguas residuales de origen doméstico o municipal.

II. 7. 3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Las aguas residuales de la ciudad de Chilpancingo son prácticamente de tipo municipal, ya que no existe en la ciudad industria desarrollada que pudiese verter en grandes cantidades contaminantes tóxicos, lo anterior se puede observar con los resultados de los análisis físicos y químicos realizados. (Cuadro II. 11)

Las aguas residuales se utilizan actualmente para el riego de un número reducido de cultivos, con el tratamiento de las aguas residuales podrá diversificarse el patrón de cultivos.

En el Cuadro II. 12 se presenta la composición típica de las aguas residuales de origen doméstico para compararlas con los resultados de los análisis físicos y químicos.

Las características de las aguas residuales dependen de diversos factores, entre los cuales se tienen: origen de las descargas, condiciones climatológicas de la localidad, nivel de desarrollo, tipo y grado de industrialización y cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado, entre otros. De esta forma, para fines prácticos, los contaminantes pueden ser de origen doméstico, municipal, industrial, agrícola y pecuario. El origen del agua residual determina el tipo del contaminante y concentración.

TEMPERATURA. La temperatura del agua estará determinada por el clima de la región y por las descargas de aguas domésticas. En el caso de descargas industriales está en función del tipo de industria y proceso de producción.

COLOR. El color lo determina la presencia o ausencia de vegetación en el agua y los desperdicios orgánicos e inorgánicos que se incorporan a las aguas de los colectores o a los cuerpos receptores, a través de las descargas. El color del agua también dependerá de las fuentes contaminantes, sea doméstica, industrial o agrícola, entre otras.

OLOR. El olor proviene principalmente de la descomposición y putrefacción de la materia orgánica presente en las aguas residuales y de la presencia de sustancias y compuestos muy olorosos, como solventes, aromatizantes, parafinas, lubricantes y mezclas, entre otros.

CONDUCTIVIDAD. La conductividad esta condicionada por la presencia o concentración de sales disueltas y la ionización de las sustancias químicas concentradas, provenientes de desechos inorgánicos presentes en aguas domésticas e industriales y de la lixiviación de las bases presentes en los suelos.

pH. Está determinado por la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual, por la producción de bióxido de carbono debida a la acción microbiana y por sustancias presentes en los desechos industriales de tipo ácido, carbonatos, hidróxidos, fosfatos, silicatos y nitratos entre otros.

ALCALINIDAD. La alcalinidad está determinada principalmente por el alto contenido de detergentes provenientes de las aguas domésticas. También esta determinada por la disolución de materiales carbonatados de las rocas existentes en la región y por la adición de compuestos en las aguas de desecho de origen industrial.

DUREZA. La dureza de las aguas está condicionada a la presencia de carbonatos, o bien producida por sales fijas del tipo de cloruros, sulfatos etc. Dichas sustancias provienen de los desechos domésticos e industriales.

OXÍGENO DISUELTO. El oxígeno disuelto presente en las aguas residuales se debe a la aireación del agua, a través de su recorrido a cielo abierto, también proviene de la fotosíntesis que se lleva a cabo por la presencia de flora acuática en estas aguas.

La ausencia se debe al consumo que los microorganismos hacen de este elemento para oxidar la materia orgánica, así como a las reacciones propias que llevan a cabo en el agua residual.

NITRÓGENO. El nitrógeno en todas sus formas proviene de la actividad microbiológica (amoníaco), de la descomposición de la materia orgánica (orgánico) y de la disolución de rocas (nitratos). Como contaminante proviene de la orina y de los procesos industriales.

GRASAS Y ACEITES. Las grasas y aceites provienen de los desechos industriales y domésticos, y de la actividad vehicular existente en la ciudad.

SÓLIDOS. Los sólidos provienen del acarreo y arrastre de partículas minerales y orgánicas presente en la ciudad, de la disolución de minerales constituyentes de los suelos y rocas de la zona, y de la incorporación de materia orgánica.

FENOLES. La presencia de fenoles está estrictamente ligada con los desechos industriales, ya que son sustancias que se utilizan en determinados procesos de la producción.

FOSFATOS. Los fosfatos al igual que los fenoles provienen principalmente de desechos industriales, ya que son utilizados en algunos procesos de la producción. También se incorporan a las aguas residuales por el uso de detergentes.

MATERIA FLOTANTE. La materia flotante proviene de muchas fuentes, pero principalmente de residuos vegetales, así como de la gran cantidad de basura que existe en algunas barrancas de la ciudad, que sirven de drenaje natural, así como de procesos industriales donde se forman cantidades excesivas de natas, lodos y material residual que se incorporan al agua.

COLIFORMES. Los coliformes provienen de los desechos humanos y animales, y de la descomposición de materia orgánica putrefacta.

II. 7. 4 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las muestras compuestas diarias que se analizaron, pertenecen a los tres sitios siguientes:

SITIO No. 10	Confluencia del Río Colector.
SITIO No. 11	Reclusorio (200 m abajo del reclusorio)
SITIO No. 14	Río Huacapa, en la Presa derivadora

Una vez en el laboratorio, se procedió a efectuar los análisis físicos, químicos y microbiológicos correspondientes, una muestra compuesta que esta formada por varias muestras simples mezcladas en volúmenes proporcionales al gasto o flujo de descarga medido en el sitio y en el momento del muestre. Las características más significativas en el diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Chilpancingo, son las siguientes:

- pH
- Alcalinidad
- Sólidos en todas su formas
- Grasas y aceites
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- S.A.A.M.
- Fenoles totales
- Materia flotante
- Nitrógeno en todas sus formas (total, orgánico, amoniacal, nitratos y nitritos)
- Fosfatos totales
- Coliformes fecales

Estos parámetros son de gran importancia, ya que son los que modifican las condiciones químicas y biológicas de los cuerpos de agua, alteran el crecimiento de los microorganismos en los procesos de tratamiento biológico e interfieren en los procesos de coagulación y sedimentación; además permiten determinar la eficiencia del proceso y controlan la operación del sistema y la calidad del efluente.

A. DESCRIPCIÓN DE SUS EFECTOS EN LA NATURALEZA

Todas las aguas residuales contienen diversas sustancias físicas y químicas, benéficas y perjudiciales para el ambiente. En este caso, se señalarán las sustancias perjudiciales que, de cierta forma pueden provocar efectos directos en los lugares donde serán utilizadas dichas aguas.

De las características físicas (temperatura, color y olor), el olor tiene efectos negativos ya que los malos olores producidos son desagradables a los habitantes de la zona, además de que es índice de septicidad o descomposición de materia orgánica y de elementos que pueden alterar el crecimiento de las plantas.

El color es indicativo de la presencia de sustancias indeseables; las aguas con color son rechazadas por los usuarios.

Altas temperaturas inhiben el crecimiento de las plantas y reducen el rendimiento de los cultivos. En los cuerpos receptores reduce el oxígeno disuelto y altera el metabolismo de los organismos acuáticos.

Las sustancias químicas presentes en el agua que producen alcalinidad y dureza, detergentes, amoníaco, nitratos, nitrógeno orgánico, fenoles y fosfatos, pueden provocar efectos negativos en el suelo y directa e indirectamente sobre la vegetación, dependiendo de la concentración de cada uno de ellos.

Los nutrientes fósforo y nitrógeno estimulan el crecimiento de las plantas, sin embargo, en exceso pueden ser perjudiciales a estas.

La alcalinidad ocasiona problemas de salinidad y/o sodicidad en los suelos agrícolas, por lo que será necesario controlar su concentración en el agua.

El amoníaco puede ser perjudicial para la flora y fauna presentes en el suelo, haciéndolo poco a poco más estéril.

Los fenoles son compuestos que pueden provocar problemas en el agua para su uso, sobre todo en la agricultura. Además pueden producir sabores y olores desagradables, tanto a las especies acuáticas como terrestres.

Las grasas y aceites pueden ocasionar problemas en las características físicas y biológicas de los suelos debido a que estas sustancias afectarán la estructura, textura y la actividad microbiana del suelo. Por lo que será necesario erradicar dichas sustancias de las aguas residuales antes de ser vertidas o usadas en los terrenos agrícolas.

Los coliformes presentes en las aguas son transmisores de enfermedades patógenas, directamente o indirectamente, ya que pueden ocasionar daños a la salud de los usuarios del agua y a los consumidores de los productos agrícolas.

Por otro lado, los animales domésticos pueden contagiarse al pastorear libremente en terrenos regados con aguas residuales que contienen estos organismos.

B. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LABORATORIO

• ESTACIÓN: (10) CONFLUENCIA RÍO COLECTOR

TEMPERATURA.

La temperatura de las aguas residuales es comúnmente mayor que la del agua de suministro, debido a la adición de agua caliente empleada en las actividades domésticas e industriales, y a la descomposición de la materia orgánica.

La variación de temperatura en esta estación fue de 23 -30°C encontrándose los valores mínimos en las horas de la mañana, y los máximos al medio día. Los valores determinados se consideran adecuados para los procesos de tratamiento biológicos.

CONDUCTIVIDAD

Esta varió de 710-1100 mhos / cm con valor promedio de 932.48 mhos / cm. La concentración determinada el día 7 de abril fue significativamente mayor con respecto a la del día 12; sin embargo, dicho valor se puede encontrar en las aguas residuales de concentración media, con tendencia fuerte y en comunidades de 100,000 habitantes o más.

pH

En el pH varió de 7.20 - 7.70 (ligeramente alcalino). El pH es un factor clave para el crecimiento de los organismos, la mayoría de ellos no pueden tolerar niveles de pH superiores a 9.5 e inferiores a 4, generalmente el pH óptimo varía de 6.5 a 8.5. El valor promedio de pH fue de 7.4.

SÓLIDOS EN TODAS SUS FORMAS

El ámbito de variación de los STT fue de 1222 -1416 mg/l, con una concentración promedio de 1285.71 mg/l; con respecto a la concentración de STT el agua corresponde a un agua residual de concentración fuerte (Cuadro II. 11)

La cantidad de materia orgánica es inferior, en todas las muestras, al contenido de materia inorgánica o mineral, esto se puede observar con las concentraciones de STV y STF, respectivamente. Los valores promedios fueron de 607.3 mg/l de STV y de 685.30 para STF.

La concentración de sólidos sedimentables corresponde a la categoría de agua residual débil, obteniéndose un valor promedio de 9.34 mg/l.

GRASAS Y ACEITES

La concentración de estos constituyentes varió de 40 - 90.0 mg/l, con una concentración promedio de 70.13 mg/l, la cual cae en la categoría de agua residual media. Las grasas y aceites son compuestos muy estables, por lo cual son difíciles o lentamente biodegradables.

Debido a que estos compuestos causan muchos problemas en las plantas de tratamiento, será conveniente considerar su remoción antes de que las aguas residuales se traten biológicamente.

ALCALINIDAD TOTAL

Los valores obtenidos se encuentran dentro de la categoría de agua residual fuerte (Cuadro II. 11); estos variaron de 169.10 - 197.88 mg/l, con un promedio de 186.36 mg/l. Estos valores se pueden deber a la gran cantidad de residuos de calcio, magnesio, sodio y potasio, que son arrojados a través de las descargas domiciliarias e

industriales o también posiblemente a las características del suelo ya que el río no esta revestido y el agua puede disolver y arrastrar estos elementos.

OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto en las aguas de esta descarga fue nulo, por lo que se presentan condiciones de septicidad. La pendiente y las pequeñas turbulencias que se producen permiten que el agua se oxigene hasta su descarga, sin embargo, en este caso no hay suficiente oxigenación.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Las concentraciones de DBO_5 variaron de 153 - 298 mg/l, con un valor promedio de 220.45 mg/l; encontrándose algunas de ellas en la categoría de agua residual media y otras en la categoría de agua residual fuerte. Esto implica que, para el diseño de la planta de tratamiento se tendrán que satisfacer las necesidades de oxígeno de los microorganismos para que oxide el material orgánico presente.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La correlación entre DBO_5 / DQO que, para aguas residuales típicas domésticas, varía de 0.4 - 0.8, se satisface para este caso. Los valores obtenidos están dentro de un ámbito de 250 - 590 mg/l, cuyo promedio fue de 459 mg/l.

NITRÓGENO EN TODAS SUS FORMAS

Las concentraciones de nitrógeno amoniacal obtenidas, se encuentran dentro de las categorías de agua residual media y alta; éstas variaron de 47 - 85.4 mg/l. Las concentraciones de nitrógeno orgánico, variaron de 14 a 27 mg/l, obteniéndose 19 mg/l en promedio; estas tienden a una caracterización de agua residual media. Debido a que el nitrógeno es esencial en la síntesis de proteínas, los datos servirán para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales con procesos biológicos.

La concentración de nitritos es típica de un agua residual débil y la de nitratos de un agua residual fuerte, cuyo valor promedio fue de 402.3 mg/l. Esto posiblemente se debe a que desde el suministro hay concentraciones de nitratos o de alguna industria que desecha compuestos nitrogenados.

FOSFATOS TOTALES

La concentración de fosfatos totales varió de 24 - 33 mg/l, con un promedio de 29.24 mg/l, la cual sobrepasa la concentración de agua residual fuerte. Estos valores pueden causar crecimientos excesivos de algas y microorganismos, sin embargo, es un nutriente que emplean dichos microorganismos para realizar sus funciones metabólicas.

S.A.A.M.

Las concentraciones determinadas se encuentran en un ámbito de 16 - 20 mg/l, valores comúnmente encontrados en las aguas residuales de origen doméstico de poblaciones con alrededor de 100,000 habitantes o más, sin embargo, será conveniente observar el comportamiento de este constituyente en las pruebas de tratabilidad para prever y controlar las espumas en la planta de tratamiento que se diseñe.

COLIFORMES TOTALES Y FECALES

Las concentraciones variaron de 3.9×10^6 – 7.0×10^6 en coliformes totales y de 1.3×10^5 – 4.0×10^5 para coliformes totales encontrándose dentro del ámbito normal, de 1×10^8 y 1×10^6 número más probable de organismos/100 ml respectivamente.

• ESTACIÓN (11) 200 m ABAJO DEL RECLUSORIO

TEMPERATURA

La variación de la temperatura fue de 23 – 37 °C, considerándose adecuados a los valores para el proceso de tratamiento biológico.

CONDUCTIVIDAD

La variación obtenida fue de 870 – 1100 mhos/cm, con un valor promedio de 971.52 umhos/cm. Al igual que en el caso anterior, estas concentraciones son características de un agua residual de origen doméstico de concentración media.

pH

El pH varió de 7.18 – 7.80 en campo, lo que indica condiciones ligeramente alcalinas.

SÓLIDOS EN TODAS SUS FORMAS

Los STT variaron de 985 – 1253 mg/l, los STV de 450 – 621 mg/l y los SSV de 161 – 268 mg/l. Las concentraciones anteriores se encuentran clasificadas en la categoría de agua residual fuerte, tanto para STT, como para STV y SSV.

En esta estación, el contenido de sólidos sedimentables varía de 5.5 – 12 ml/l, con un valor promedio de 6.52 mg/l

GRASAS Y ACEITES

La concentración varió de 25-68 mg/l, la cual cae en la categoría de agua residual con concentraciones bajas.

ALCALINIDAD TOTAL

Este parámetro presenta variaciones de 169.80 – 208.58 mg/l, correspondiendo a la categoría de agua residual fuerte. En este ámbito de concentraciones, la alcalinidad no es factor limitante para el proceso biológico.

OXÍGENO DISUELTO (OD)

La concentración de oxígeno disuelto durante la campaña de análisis fue de 0 mg/l. Esto es natural, debido a la carga orgánica.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

La concentración de DBO₅ varió de 60-93 mg/l, con un valor promedio de 72.86 mg/l, correspondiendo a un agua residual de concentración débil.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La DQO varió de 97 – 201 mg/l, correspondiendo su clasificación de agua residual

débil a media. La correlación entre DBO₅/DQO, para esta estación, se encuentra en el ámbito establecido de 0.4 – 0.8.

NITRÓGENO EN TODAS SUS FORMAS

Las concentraciones de nitrógeno en todas sus formas son sensiblemente menores a las determinadas en las estaciones (10) y (14).

El nitrógeno total varió de 21 – 24 mg/l, el orgánico de 6 – 9 mg/l y el amoniacal de 15 – 20 mg/l. En esta estación las aguas residuales se encuentran dentro de la categoría débil (nitrógeno orgánico) y media (nitrógeno amoniacal).

Las concentraciones media de N-NO₂ y de N-NO₃ fueron 2.42 y 21.75 mg/l, respectivamente.

FOSFATOS TOTALES

La concentración de fosfatos varió de 11-18 mg/l, y valor promedio de 16.57 mg/l. Los valores encontrados corresponden a la categoría de agua residual fuerte. Y son apropiados para que los organismos desarrollen sus actividades correctamente.

ESTACIÓN: (14) PRESA DERIVADORA

TEMPERATURA

El ámbito de variación fue de 24 -29 °C, presentándose los valores mínimos al atardecer y al amanecer y los máximos al medio día.

Por ser una corriente extendida y con profundidades someras, la temperatura ambiente presenta mayor influencia sobre la temperatura del agua.

CONDUCTIVIDAD

Los valores determinados no mostraron variaciones de importancia con respecto a la estación (10).

El ámbito de variación fue de 750-940 mhos/cm, con un valor promedio de 831.09 mhos/cm.

Las concentraciones obtenidas son características de este tipo de aguas residuales.

PH

Este parámetro se mantuvo ligeramente alcalino, varió de 7.90-8.30 en campo y de 8.03-8.33 en laboratorio; encontrándose un valor promedio de 8.11.

Los valores muestran que después de un lapso de tiempo, almacenamiento de la muestra, el pH se estabiliza tendiendo a incrementar su alcalinidad.

SÓLIDOS EN TODAS SUS FORMAS

En esta estación, la concentración STT varió de 1000 – 1902 mg/l, encontrándose muy por encima de la categoría de agua residual fuerte. (Cuadro II. 11)

La concentración de sólidos suspendidos volátiles varió de 24 - 364 mg/l. La concentración de sólidos sedimentables es baja, de 0.2-0.5 mg/l, lo que es indicativo que en la corriente se presentan en tramos condiciones favorables para una buena sedimentación, lo cual puede suceder en un clarificador primario.

GRASAS Y ACEITES

La concentración de grasas y aceites es menor que la de la estación anterior: estas variaron de 8 -15 mg/l, con un valor promedio de 11.17 mg/l; encontrándose en la categoría de agua residual baja.

Las concentraciones detectadas pueden ser fácilmente asimilables y removidas en un proceso de tratamiento secundario.

ALCALINIDAD TOTAL

La alcalinidad varió de 169.12 – 185.14 mg/l, encontrándose en la categoría de agua residual fuerte. Esta concentración es consecuencia de las descargas que llegan a este cuerpo receptor.

OXÍGENO DISUELTO

El OD varió de 4.93-5.90 mg/l, con un valor medio de 5.42 mg/l. La concentración se puede deber a la poca incorporación de materia orgánica, como se puede observar con los valores obtenidos de DBO₅, y al movimiento y transferencia de oxígeno en su curso.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

El ámbito de variación fue de 15-25 mg/l, encontrándose en la categoría de agua residual. Esta también indica que se está efectuando el proceso de autopurificación y que el agua está sumamente diluida.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La DQO varió de 65-101 mg/l, con promedio de 87.71 mg/l. En este caso la correlación DBO₅/DQO se cumple para este tipo de aguas residuales.

NITRÓGENO EN TODAS SU FORMAS

La concentración de nitrógeno total es menor a la de la estación anterior. En general, las concentraciones de nitrógeno total, amoniacal y orgánico se encuentran clasificados en la categoría residual débil (ver cuadro II. 11)

FOSFATOS TOTALES

La concentración de este constituyente varió de 2 – 5 mg/l; encontrándose en la categoría de agua residual débil. Estos valores se pueden considerar adecuados para los sistemas de tratamiento biológico. Dentro de esta categoría, las concentraciones promedio variaron de 0.93 mg/l para nitrógeno de nitritos hasta 77.453 mg/l para nitrógeno de nitratos.

S.A.A.M.

El ámbito de variación fue de 10 – 15 mg/l, con un valor promedio de 12.14 mg/l. Esta concentración es relativamente baja y puede ser removida en el proceso de tratamiento.

COLIFORMES TOTALES Y FECALES

Las concentraciones de coliformes totales y fecales variaron de 1.9×10^5 – 4.0×10^5 y de 1.1×10^4 – 1.3×10^4 , respectivamente encontrándose también dentro del ámbito para aguas residuales de 1×10^5 – 1×10^8 organismos/100 ml.

II. 7. 5 MÉTODOS PARA EL CONTROL, MINIMIZACIÓN Y/O ERRADICACIÓN DE LOS ELEMENTOS CONTAMINANTES Y SUS EFECTOS.

Las aguas residuales de la ciudad de Chilpancingo, Gro; presentan cargas moderadas de carga orgánica y en general, concentraciones aproximadas a las de un agua residual media, debido a que la mayoría de estas aguas provienen de los escurrimientos de las partes altas y de descargas municipales; como se mencionó la actividad industrial es baja y solo existen fábricas de muebles y el rastro municipal; este último con mayor incorporación de residuos orgánicos.

A continuación se señalarán algunos métodos de tratamiento, considerando los contaminantes en forma independiente, sin embargo, en el agua se forma una mezcla homogénea de ellos.

A. MÉTODOS PARA REMOVER CONTAMINANTES FÍSICOS.

COLOR.- Debido a que el color de las aguas esta determinado por la presencia de vegetales, descomposición de materia orgánica y de ciertas sustancias químicas, el método para su remoción recomendado es por coagulación; este consiste en agregar un coagulante, mezclar y dejar sedimentar, posteriormente filtrar todas las partículas en suspensión para luego pasarlos por carbón activado para su absorción.

Aguas con bajas concentraciones de este elemento se pueden tratar biológicamente sin que se presenten problemas de operación ni en la calidad del efluente.

OLOR.- El olor se genera por la descomposición de la materia orgánica y de ciertas sustancias químicas como disolventes. El método recomendado para erradicar el mal olor es utilizando carbón activado. Se realiza primeramente una aireación seguida de una decoloración y por último es filtrado en carbón activado.

SÓLIDOS.- Los sólidos gruesos y finos, orgánicos e inorgánicos, se removerán con las operaciones de cribado, desarenación, sedimentación. Otros métodos, son clarifloculación y filtración.

B. MÉTODOS PARA REMOVER CONTAMINANTES QUÍMICOS

CONDUCTIVIDAD. Debido a que esta característica depende de la cantidad de sales presentes en el agua, el método a utilizar para erradicar dicho problema es el de ablandamiento, que consiste básicamente en una desmineralización del agua.

pH. Para corregir problemas de alto o bajo pH, será necesario utilizar ácidos o álcalis respectivamente para neutralizar las aguas residuales.

En la mezcla de aguas el pH se estabiliza pudiendo lograrse pH's dentro del ámbito adecuado para los procesos biológicos.

ALCALINIDAD. Como ya se mencionó, la alcalinidad es producida por la incorporación de rocas carbonatadas. El método a utilizar para su control o reducción es el de ablandamiento con cal - soda o bien por intercambio iónico, vía ciclo sódico o ciclo hidrógeno, para ocasionar una desmineralización.

DUREZA. La dureza la ocasiona la presencia de carbonatos o sales fijas del tipo de cloruros, sulfatos, etc. el método recomendado para remover este contaminante es el ablandamiento.

NITRÓGENO DE NITRITOS. Proviene de la descomposición de la materia orgánica, siendo compuesto intermedio en los procesos de oxidación - reducción. El método para su control o reducción es desmineralización, llevando a cabo una destilación. Por su forma inestable se transformará a NO_3 , en presencia de oxígeno, siendo empleado por los organismos para sus funciones metabólicas.

NITRÓGENO DE NITRATOS. Al igual que el anterior, el método para su control o remoción es la desmineralización, y posteriormente destilación. En los procesos biológicos se tienen remociones significativas de este material.

SÓLIDOS. El método para remover los sólidos del agua residual es por ablandamiento, sin embargo, la remoción de los sólidos se inicia desde el pretratamiento, donde se eliminan sólidos gruesos y pesados como arena. En los tanques de sedimentación se tienen reducciones importantes de sólidos.

Como los sólidos pueden conformarse de materia orgánica en suspensión, coloidal o disuelta, este material se remueve en cantidades importantes en los tratamientos biológicos

FENOLES. Su presencia se debe a contaminación industrial; uno de los métodos para su control y remoción es sobrecloración con una tratamientos de dióxido de cloro, ozonización y por último filtración con carbón activado.

FOSFATOS. Los fosfatos se pueden remover por ablandamiento, en el cual por efecto de algunas sustancias químicas, se sedimentan, realizándose posteriormente, una destilación.

Los fosfatos son nutrientes esenciales para los microorganismos; estos materiales son empleados en los procesos metabólicos, por lo que se tienen remociones elevadas en los procesos biológicos.

COLIFORMES. Los coliformes provienen de desechos animales y humanos; el método más efectivo para su erradicación es la cloración. La concentración adicionada de cloro se determinará en función del contenido de material orgánico carbonoso y nitrogenado en el efluente, de la concentración de organismos y del tiempo de contacto.

II. 7. 6 SISTEMAS DE TRATAMIENTO

Los sistemas de tratamiento de las aguas residuales son un conjunto de operaciones y procesos unitarios por medio de los cuales es posible eliminar, en las diferentes etapas que se tienen lugar, cantidades variables de los contaminantes presentes.

Existen muchos procedimientos para el tratamiento de las aguas residuales; todos ellos pueden incluirse en los cuatro grupos o sistemas siguientes: tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado. Además, se deberá considerar el tratamiento de lodos.

A. TRATAMIENTO PRELIMINAR

La finalidad del tratamiento preliminar es eliminar o separar los sólidos gruesos o flotantes, sólidos inorgánicos pesados y eliminar cantidades excesivas de aceites y grasas. También se logra homogeneizar y regular los flujos de agua y neutralizar su pH.

Para llevar a cabo este proceso es necesario contar con:

- a) Cribado: Rejas, rejillas o mallas
- b) Desmenuzadores (molinos, trituradoras o cortadores)
- c) Tanque de preaereación
- d) Homogeneización
- e) Regulación
- f) Neutralización

En algunas ocasiones, en este sistema se llegan a realizar cloraciones, ya que la cloración se puede realizar en cualquier etapa del proceso, sin embargo, su principal objetivo es en la desinfección del agua, por lo que queda comprendida, generalmente, en los sistemas de tratamientos secundarios.

B. TRATAMIENTO PRIMARIO

En este tratamiento se separa o elimina la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, aproximadamente del 40 – 60 %, mediante el proceso físico de sedimentación en tanques de clarificación o sedimentación. Cuando se agregan ciertos productos químicos en los tanques primarios, se eliminan casi todos los sólidos coloidales así como los sedimentables, o sea entre 80 – 90 % de sólidos suspendidos. La actividad biológica en esta etapa es muy baja.

El propósito fundamental del tratamiento primario consiste en disminuir la velocidad de las aguas residuales para dar tiempo suficiente a las partículas para que se sedimenten, es por eso que se denominan tanques de sedimentación, estos tanques pueden ser:

- a) Tanques sépticos
- b) Tanques de doble acción (Imhoff)

- c) Tanques de sedimentación simple o con eliminación mecánica de lodos

Los tanques o fosas sépticas y los Imhoff también se encuentran clasificados dentro de los tratamientos secundarios, por los procesos de tipo biológico que se desarrollan: (Procesos biológicos anaerobios).

El tratamiento primario se considera suficiente para descargar los efluentes a los cuerpos receptores y para el uso en la agricultura, sin embargo, esta tendencia se ha limitado por los efectos que el agua puede aún ocasionar, tanto en usuarios como en los consumidores de los productos agrícolas.

C. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Este tratamiento se utiliza cuando las aguas residuales contienen concentraciones importantes de materia orgánica, como las provenientes de casas habitación, municipios, rastros e industrias procesadoras de alimentos entre otras.

El tratamiento secundario requiere de la presencia de organismos aerobios para la descomposición y estabilización de sólidos orgánicos. Los procesos empleados para el tratamiento secundario son los siguientes:

- a) Filtros rociadores o percoladores, con tanques de sedimentación secundaria.
- b) Tanques de aireación: reactores biológicos
 - Lodos activados con tanques de sedimentación simple
 - Aireación por contacto
 - Aireación por etapas
 - Aireación extendida
 - Oxígeno puro
 - Proceso Krauss
 - Zanjas de oxidación, zanjas tipo carrusel y aireación a contra corriente
 - Lagunas aireadas mecánicamente (facultativas y de mezclado completo).
- c) Lagunas de Estabilización (anaerobias, facultativas y aerobias)

D. CLORACIÓN

Este método de tratamiento se puede emplear en cualquier etapa de los sistemas de tratamiento. Generalmente, se aplica el cloro a las aguas residuales con los propósitos siguientes:

- a) Desinfección y destrucción de organismos patógenos.
- b) Prevención de la descomposición de las aguas negras para:
 - Controlar el olor
 - Protección de las estructuras de la planta
- c) Auxiliar en la operación de la planta para:
 - Sedimentación
 - Filtros rociadores

- Abultamiento de lodos activados
- d) Ajuste o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno.

E. TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO

Los sistemas de tratamiento terciario o avanzado, generalmente se emplean para remover grupos de contaminantes específicos que no se removieron con los tratamientos anteriores, estos comprenden entre otros, las siguientes operaciones y procesos:

- a) Clarifloculación o precipitación química
- b) Filtración con arena
- c) Adsorción con carbón activado
- d) Osmosis inversa
- e) Electrodialisis
- f) Intercambio iónico

Con la aplicación de estos sistemas se obtiene calidades de agua para consumo humano, sin embargo, sus costos son elevados.

F. TRATAMIENTO DE LODOS

Los lodos de las aguas residuales están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario, secundario y terciario, junto con el agua y organismos que se separa con ellos. Este tratamiento tiene dos objetivos: eliminar parcial o totalmente el agua de los lodos para disminuir su volumen, y estabilizar el total de los sólidos orgánicos.

Esto se logra con dos o más de los métodos siguientes:

- a) Espesamiento
- b) Digestión aerobia o anaerobia
- c) Secado en lechos de arena, cubiertos o descubiertos
- d) Elutriación
- e) Filtración al vacío
- f) Secado con calor
- g) Incineración
- h) Oxidación húmeda
- i) Flotación con productos químicos y aire
- j) Centrifugación
- k) Filtración por comprensión

II. 7.7 PROCESOS BIOLÓGICOS DE TRATAMIENTO (TRATAMIENTO SECUNDARIO)

De acuerdo con la calidad de las aguas residuales, obtenida de los análisis de campo

laboratorio, los sistemas de tratamiento a emplear serán los clasificados como secundarios.

Dentro de este grupo, como se señaló anteriormente, existe una amplia gama de procesos biológicos que pueden ser empleados para tratar el agua al nivel de calidad deseado.

Los sistemas de tratamiento secundario son procesos que utilizan diferentes tipos de organismos para que, mediante sus funciones naturales, degraden directa o indirectamente la materia orgánica contenida en las aguas residuales, y que no ha sido erradicada en el pretratamiento y tratamiento primario.

La selección del proceso dependerá de varios factores entre los que se pueden mencionar: disponibilidad de área, condiciones topográficas y mecánicas del terreno, calidades del agua de alimentación tratada, usos o disposición de agua tratada, disponibilidad de recursos materiales y humanos, grado de desarrollo de la localidad y experiencia en la operación de las unidades de proceso.

Para la selección del proceso, será necesario analizar y evaluar técnica y económicamente cada uno de ellos para definir el que sea más factible de adecuar a las condiciones socioeconómicas de la localidad

II. 7. 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En el presente estudio de aguas residuales, los gastos aforados de aguas residuales en los 14 sitios de monitoreo, fueron bajos. Esto posiblemente se deba a que existen tomas de agua para riego de algunos terrenos agrícolas. Las mediciones se efectuaron cada 4 horas diariamente durante 7 días, abarcándolos horarios de mayor actividad en la ciudad (6 a.m. a 8 p.m.)
- La calidad de las aguas residuales de la ciudad de Chilpancingo, basándose en los análisis físicos, químicos y biológicos practicados, corresponden a aguas de calidad media, ya que la mayoría de las aguas de desecho son de tipo doméstico y mínimamente de tipo industrial, por lo que los efectos en los suelos agrícolas donde están siendo utilizadas no son notorios, pero si está limitando el número de cultivos y sobre todo el de hortalizas.
- El sistema de tratamiento se propone para la reutilización de aguas residuales, es un tratamiento secundario por medio de lagunas de estabilización, filtros biológicos o lodos activados.

Recomendaciones

Es necesario que en las barrancas o drenajes naturales así como en el Río Huacapa se instalen estaciones de aforo con la finalidad de tener datos estadísticos diarios a

través del tiempo, de los gastos de aguas residuales que arroja o desecha la Ciudad de Chilpancingo.

- Es importante que se lleven a cabo monitoreos de contaminantes a través de todo el año, realizando muestreos periódicos con la finalidad de adecuar el proceso de tratamiento y que las aguas que se entreguen a los productores agrícolas sean de la mejor
- El patrón de cultivos que aplique debe estar acorde a la calidad del agua que se entregue, siguiendo las normas establecidas por la Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural. Dicho patrón de cultivos se obtendrá a partir del estudio agrológico realizado para este fin.
- Es necesario que se controlen los desechos de la escasa industria existente en la Ciudad, evitando que arrojen contaminantes fuertes con la finalidad que el tratamiento de las aguas no se altere, sea más sencillo y menos costoso.
- Es conveniente que se realicen muestreos de suelos en los terrenos agrícolas cada 3 o 5 años con objeto de detectar algún contaminante residual tóxico que se puede irse incorporando en el suelo, y que, en cierto momento, sea absorbidos por los cultivos que se produzcan en la zona.
- Es muy importante que los muestreos, análisis y la definición de los usos de el agua tratada se realicen y definan por especialistas en la materia, con la finalidad de hacer un buen manejo y uso de dichas aguas en la agricultura y evitar problemas de salud en un futuro.

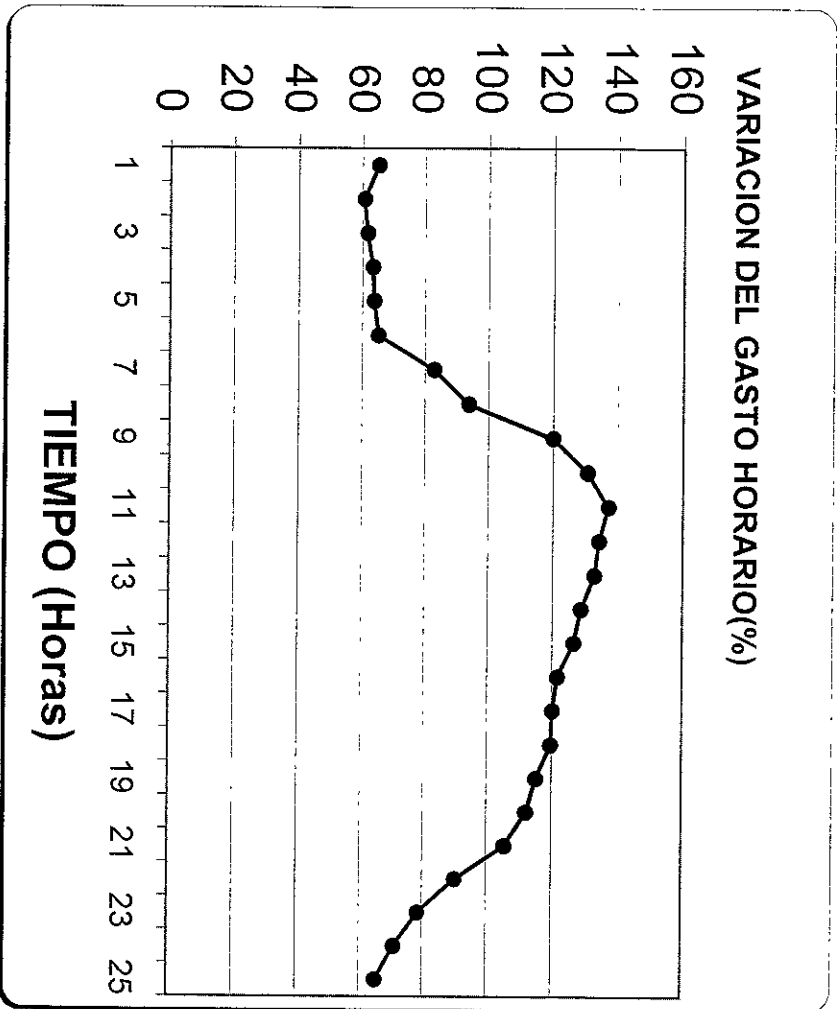
CUADRO II. 7 RESÚMEN DE LOS AFOROS DETERMINADOS EN LAS PRINCIPALES DESCARGAS DE LA CD. DE CHILPANCIINGO, GRO.

FECHA	ESTACIONES DE AFORO													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6-Abr-90	6 89	15 11	35 43	31 07	23 32	9 87	221 88	106 33	116 01	220 11	181 13	151 72	139 91	143 18
	7 12	16 35	39 20	38 10	25 25	11 13	223 42	103 75	124 43	223 13	180 92	164 12	154 13	148 08
	6 99	16 20	38 95	36 15	24 12	10 18	225 42	101 18	121 38	221 12	189 11	160 18	144 77	148 72
7-Abr-90	20 13	33 86	62 13	29 18	10 16	10 88	231 13	115 17	68 08	238 61	177 15	151 85	149 88	138 76
	23 69	37 41	78 08	33 25	11 59	10 16	235 89	123 88	109 04	243 71	169 84	154 96	151 76	149 67
	21 25	35 74	59 89	37 88	18 12	10 25	294 84	189 90	58 88	238 15	275 01	243 88	211 39	196 22
8-Abr-90	23 88	61 67	84 82	31 48	11 12	10 95	241 13	131 75	84 68	221 40	179 86	146 69	149 77	140 88
	29 41	67 50	35 00	33 23	11 88	11 01	122 59	132 48	98 13	223 88	166 13	158 13	150 84	138 75
	25 33	68 87	64 13	31 21	13 19	11 89	278 13	161 86	88 72	220 22	198 86	151 01	161 34	148 09
9-Abr-90	30 48	53 12	46 15	39 87	22 13	10 11	233 08	174 06	79 75	266 89	215 26	210 09	181 33	179 65
	34 56	62 04	48 12	39 33	20 89	14 16	238 10	181 33	83 15	576 15	230 32	208 13	191 68	188 72
	38 13	62 08	58 12	38 15	31 12	23 61	148 10	190 50	65 48	261 18	248 13	215 12	220 13	222 08
10-Abr-90	21 18	64 02	58 12	38 15	31 12	23 61	248 10	190 50	65 48	261 18	248 13	215 12	220 13	222 08
	26 15	38 27	41 18	39 65	18 18	12 74	208 15	179 46	68 88	242 99	239 10	201 02	175 13	201 75
	19 29	30 38	36 12	21 15	16 88	11 09	201 85	168 13	55 49	210 09	206 15	191 13	161 23	184 13
11-Abr-90	11 82	23 29	31 53	15 89	11 89	8 15	239 45	121 18	115 39	215 09	166 71	165 43	131 52	143 12
	10 15	24 89	33 15	28 10	18 12	10 29	259 28	162 45	106 13	246 37	201 85	173 17	161 45	152 06
	14 73	27 13	48 99	32 15	12 49	11 36	244 76	189 13	78 77	221 14	217 81	208 47	202 42	189 15
12-Abr-90	9 15	37 42	22 18	23 78	11 18	208 42	116 32	94 46	94 46	201 86	220 8	210 33	208 9	200 13
	9 20	39 22	36 42	33 44	19 15	10 43	217 75	109 87	90 45	203 89	231 84	225 32	220 13	218 79
	11 01	41 26	32 48	35 44	19 28	12 13	202 13	118 15	98 13	205 12	228 13	215 44	210 48	202 35
Q min	6 89	15 11	22 18	15 89	10 18	8 15	116 32	94 46	55 49	201 86	169 84	146 69	131 52	138 75
Q med	19 07	40 72	47 13	32 71	18 10	21 54	221 49	144 83	89 09	245 82	210 63	186 73	175 97	174 02
Q max	38 13	68 87	84 32	39 85	31 12	208 42	294 84	190 50	124 43	576 15	275 01	243 88	220 13	222 08

FUENTE ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CHILPANCIINGO GUERRERO (1989)

CUADRO II. 8 VARIACIÓN DEL GASTO HORARIO PARA LA CIUDAD DE CHILPANCINGO GRO.

HORA	VARIACION DEL GASTO HORARIO (%)
0	65.1
1	60.6
2	61.6
3	63.3
4	63.7
5	65.1
6	82.8
7	93.8
8	119.9
9	130.7
10	137.2
11	134.3
12	132.9
13	128.8
14	126.6
15	121.6
16	120.1
17	119.6
18	115.1
19	112.1
20	105.6
21	90.1
22	78.4
23	71.0
24	65.1



FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

CUADRO II. 9 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES ANALITICAS EFECTUADAS EN CAMPO

PARAMETROS	ESTACIONES DE MUESTREO											
	1			2			3			4		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
Temperatura, Ambiente	28	30,24	34	28	30,23	35	28	30,38	35	28	30,81	34
° C Agua	23	25,67	29	23	25,95	30	23	26,19	29	23	26,24	29
pH, unidades pH	7,02	7,22	7,65	7,02	7,18	7,58	7,05	7,27	7,90	7,10	7,34	7,80
Color	40	59,89	68	43	59,33	67,50	28	42,88	53	23	60,48	88
Olor		FÉTIDO			FÉTIDO			FÉTIDO			FÉTIDO	
Conductividad, umhos/cm	840	1125,24	1412	870	1081,38	1340	820	939,62	1030	810	960,52	1230
Dureza, mg/l	478,13	604,62	760,30	463,13	600,58	730,30	410,88	539,13	602,30	412,18	534,20	623,33
Alcalinidad, mg/l	178,38	202,81	236,17	180,29	201,7	218,43	168,13	185,15	200,73	168,48	189,72	215,21
Oxígeno Disuelto, mg/l												

PARAMETROS	ESTACIONES DE MUESTREO											
	5			6			7			8		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
Temperatura, Ambiente				28	30,71	35	26	30,57	35	28	30,71	34
° C Agua				23	26,9	30	23	26,52	30	23	26,43	29
pH, unidades pH				7,10	7,34	7,70	7,10	7,34	7,83	7,1	7,38	7,8
Color				18	26,17	36	46,5	59,88	68	50	60,62	66
Olor					FÉTIDO			FÉTIDO			FÉTIDO	
Conductividad, umhos/cm				810	990,62	1120	780	944,43	1107	780	919,14	1020
Dureza, mg/l				169,13	181,71	215,21	169,30	185,85	214,15	169,13	183,96	199,4
Alcalinidad, mg/l				412,10	527,41	613,18	400,38	519,67	580,13	612,38	516,88	413,68
Oxígeno Disuelto, mg/l												

FUENTE: ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CHILPANCIINGO GUERRERO, (1989)

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS DETERMINACIONES ANALITICAS EFECTUADAS EN CAMPO (Continuación)

PARAMETROS	ESTACIONES DE MUESTREO											
	9			10			11			12		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
Temperatura, Ambiente ° C Agua	28	30.57	34	28	30.71	33	28	30.81	34	28	30.81	34
pH, unidades pH	23	26	29	23	26.05	30	23	26.90	37	23	26.90	30
Color	7.05	7.38	7.72	7.2	7.42	7.7	7.18	7.52	7.80	7.23	7.57	7.80
Olor	18	27.12	36	33	59.74	7.0	47	54.43	68	40.5	59.48	68
Conductividad, umhos/cm	760	FÉTIDO	884.19	990	FÉTIDO	1100	FÉTIDO	FÉTIDO	1110	840	FÉTIDO	1080
Dureza, mg/l	169.30	179.79	189.13	163.10	184.95	208.20	169.80	189.70	210.21	168.23	187.12	198.33
Alcalinidad, mg/l	383.20	500.45	563.11	368.18	521.69	583.60	463.6	534.51	636.10	463.10	530.81	615.33
Oxígeno Disuelto, mg/l												

PARAMETROS	ESTACIONES DE MUESTREO					
	13			14		
	Mínimo	Medio	Máximo	Mínimo	Medio	Máximo
Temperatura, Ambiente ° C Agua	28	30.86	34	28	30.71	34
pH, unidades pH	24	26.76	29	24	26.76	29
Color	7.33	7.64	7.90	7.90	8.06	8.33
Olor	10	19.38	33	9	15.14	22
Conductividad, umhos/cm	810	FÉTIDO	889.48	980	FÉTIDO	940
Dureza, mg/l	163.1	180.67	190.13	163.10	173.18	189.14
Alcalinidad, mg/l	383.14	502.53	563.80	363.10	470.63	533.80
Oxígeno Disuelto, mg/l	1.36	2.31	3.10	4.8	5.31	5.98

FUENTE: ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CHILPANCIÑO GUERRERO. (1989)

**CUADRO II. 10 RESÚMEN DE LOS METODOS DE ANÁLISIS EMPLEADOS
PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA
CIUDAD DE CHILPANCINGO, GRO.**

PARAMETROS	METODO EMPLEADO	NORMA O ESTANDAR APLICADO
Olor Color	Organoléptico. Comparación visual con solución platino - cobalto.	Standard Methods NOM-AA-45-1981
Temperatura (ambiente y del agua). pH	Visual con termómetro de mercurio. Potenciómetro.	NOM-AA-7-1980 NOM-AA-8-1980
Conductividad eléctrica Alcalinidad	Resistencia eléctrica (puente de Wheatstone). Volumétrico.	Standard Methods NOM-AA-36-1980
Dureza total Oxígeno disuelto	Volumétrico. Winkler.	Standard Methods NOM-AA-12-1980
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Incubación durante 5 días.	NOM-AA-28-1981
Demanda química de oxígeno (DQO)	Reflujo del Dicromato.	NOM-AA-30-1981
Nitrógeno orgánico Nitrógeno amoniacal	Kjeldahl Kjeldahl	Standard Methods Standard Methods
Nitrógeno de nitritos Nitrógeno de nitratos Nitrógeno total	Espectrofotométrico Espectrofotométrico Kjeldahl	Standard Methods Standard Methods NOM-AA-26-1980
Grasas y aceites Fenoles	Extracción Soxhlet Espectrofotométrico	NOM-AA-5-1980 NOM-AA-50-1981
Materia flotante Fosfatos totales	Colorimétrico del azul de molibdeno o cloruro estano.	DGN-AA-6-1973 NOM-AA-29-198
Sólidos totales Sólidos sedimentables	Gravimétrico Cono Imhoff	NOM-AA-34-1981 NOM-AA-4-1977
Sólidos disueltos Detergentes	Gravimétrico Colorimétrico del azul de metileno.	NOM-AA-20-1980 NOM-AA-39-1980
Coliformes totales y fecales	Tubos múltiples de fermentación	NOM-AA-42-1980

**CUADRO II. 12 COMPOSICIÓN TÍPICA DE LAS AGUAS RESIDUALES
DE ORIGEN DOMÉSTICO**

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN		
	ALTA	MEDIA	BAJA
Sólidos Totales	1200	720	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volátiles	275	165	80
Sólidos Sedimentables (mL / L)	20	10	5
DBO (A 20 °C)	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno (total como N) :	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fosfatos (como P) :	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	200	100	50
Grasas y Aceites	150	100	50

Unidades en mg / l, excepto los sólidos sedimentables.

FUENTE: Metcalf & Eddy, Inc. "Wastewater Engineering Collection, Treatment, Disposal. McGraw - Hill, Inc. 2da. Edición, 1972.

CAPITULO III. INGENIERÍA DE PROYECTO

Después de analizar los aspectos físicos y naturales de la región, además de los estudios básicos, se analizarán algunos sistemas de tratamiento para recomendar y prediseñar algún sistema. Para ello se considerará principalmente la caracterización de las aguas residuales de la Ciudad de Chilpancingo, Guerrero.

III. 1 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Para el análisis y evaluación técnica de las alternativas de tratamiento se tomaron como datos base: las características de calidad de las aguas residuales obtenidas de los resultados de los análisis de laboratorio y la meta de calidad del agua tratada, los gastos aforados y proyectados a partir del crecimiento de población y dotación de agua potable, las particularidades del predio para la posible ubicación de la planta, las condiciones climatológicas y el reúso ó disposición de las aguas residuales tratadas.

A.- PARÁMETROS BASE

El agua residual generada en la ciudad de Chilpancingo, Guerrero, tiene características típicas domésticas con variación significativa en la concentración de algunos de sus constituyentes, que va de características débiles a fuertes.

Las demandas bioquímica y química de oxígeno y la alcalinidad presentan concentraciones de débiles a medias. Las grasas, aceites y los sólidos totales tienen concentraciones que se encuentran entre medias y fuertes, y los nitratos presentan concentraciones altas.

La composición física, química y bacteriológica corresponde a una agua residual municipal, por lo que los procesos de tratamiento recomendables incluirán los del tipo biológico en alguna de sus variantes.

B.- CRECIMIENTO DE POBLACIÓN Y DOTACIÓN DE AGUA

Estos dos factores son de importancia en la selección del sistema de tratamiento, ya que de ellos depende la cantidad de agua residual generada y por lo tanto los caudales de entrada y salida a la planta y fundamentalmente definirán el tamaño de la planta, así como los requerimientos de terreno.

Las proyecciones en el crecimiento de la población de la ciudad de Chilpancingo, el suministro de agua potable y la generación de aguas residuales para el año 2010, se presentan en el cuadro III. 1 y se determinaron con base en la tasa de crecimiento histórica, a la disponibilidad actual de agua para consumo humano y con los gastos de aguas residuales generados para el año 2010, que fue el año de proyecto seleccionado de acuerdo con los criterios de la CNA, que sugieren el diseño de las plantas de tratamiento para 5 ó 10 años. Otro aspecto importante es que la dotación de agua potable se mantiene constante en 200 l.h.p.d y el coeficiente de retorno se considera del 75 % Se procurará diseñar el tratamiento de manera modular.

CUADRO III. 1 GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE CHILPANCINGO, GRO.

AÑOS	POBLACIÓN HABITANTES	DIPONIBILIDAD				REQUERIMIENTOS							
		m l.h.d	l p.s.	PER-CAPITA	PER-CAPITA	m l.h.d.	m l.h.d.	OTROS*	TOTAL		GASTOS med	GASTOS max	
				l.h.d.	l.p.s.				m l.h.d.	l.p.s.	** l.p.s.	l.p.s.	
1990	102,804	18 058	209	176	200	238	20 561	4 112	24.673	286	214	465	
1991	107101	18 058	209	169	200	248	21 420	4 284	25.704	298	223	484	
1992	111578	41 472	480	372	200	258	22 316	4 463	26 779	310	232	504	
1993	116241	41 472	480	357	200	269	23.248	4 650	27 898	323	242	526	
1994	121101	41 472	480	342	200	280	24.220	4 844	29 064	336	252	547	
1995	126223	41 472	480	329	200	292	25 245	5 049	30 294	351	263	571	
1996	129883	41 472	480	319	200	301	25 977	5 195	31 172	361	271	587	
1997	133650	41 472	480	310	200	309	26 730	5 346	32 076	371	278	604	
1998	137525	41 472	480	302	200	318	27 505	5 501	33 006	382	287	622	
1999	141514	41 472	480	293	200	328	28.303	5 661	33 963	393	295	640	
2000	145051	41 472	480	286	200	336	29 010	5 802	34 812	403	302	656	
2001	148068	41 472	480	280	200	343	29 614	5 923	35 536	411	308	669	
2002	151148	41 472	480	274	200	350	30.230	6 046	36.276	420	315	683	
2003	154292	41 472	480	269	200	357	30.858	6 172	37 030	429	321	698	
2004	157501	41 472	480	263	200	365	31 500	6 300	37.800	438	328	712	
2005	160165	41 472	480	259	200	371	32 033	6 407	38.440	445	334	724	
2006	163368	41 472	480	254	200	378	32 674	6 535	39 208	454	340	739	
2007	166635	41 472	480	249	200	386	33 327	6 665	39 992	463	347	753	
2008	169968	41 472	480	244	200	393	33 994	6 799	40 792	472	354	768	
2009	173368	43 978	509	254	200	401	34 674	6 935	41 608	482	361	784	
2010	176835	43 978	509	249	200	409	35 367	7 073	42 440	491	368	799	

FUENTE DE ABASTECIMIENTO: 4 POZOS AFORADOS CON UN GASTO DE 300 L. P. S QUE ENTRARON EN OPERACIÓN A FINALES DEL AÑO DE 1991

* COMERCIO, SERVICIOS E INDUSTRIA (20% DEL CONSUMO DOMICILIARIO)

** APORTACIÓN DE AGUAS RESIDUALES (75% DE LA DOTACIÓN DE AGUA POTABLE)

COEFICIENTE DE HARMON = 2.17

C.- CARACTERÍSTICAS DEL PREDIO PARA LA UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Las características del predio donde se ubique la planta de tratamiento es otro factor que influye en la selección del sistema de tratamiento, entre las características que se deberán considerar se tienen: disponibilidad de área, topografía, condiciones físicas y mecánicas del suelo, régimen de propiedad. Cercanía con núcleos poblacionales, accesos y servicios generales.

D.- REÚSO O DISPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Estos factores influyen en la selección del sistema debido a que determinarán los niveles de remoción de contaminantes y, a partir de estos, los procesos que podrán ser empleados para lograr las eficiencias requeridas.

E.- CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

Este es un factor importante cuando en las localidades se presentan condiciones climatológicas extremas, lo cual no sucede en la ciudad de Chilpancingo. En esta ciudad el clima no será factor limitante para la selección de algún proceso en particular.

III.2 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

Las alternativas de tratamiento biológico que se seleccionaron para su análisis y evaluación, considerando los datos del medio físico y de los estudios básicos, son los siguientes:

- Proceso convencional de lodos activados
- Filtros biológicos
- Lagunas aereadas mecánicamente

Para estimar la calidad del efluente y los requerimientos de área y equipo de los sistemas propuestos, se procedió a hacer el predimensionamiento de las unidades que conforman cada uno de los procesos señalados.

Los parámetros de diseño obtenidos de la caracterización de las aguas residuales servirán para calcular las dimensiones de las unidades del proceso de lodos activados; se emplearán indicadores y criterios de diseño en el cálculo de los filtros biológicos; y criterios y condiciones meteorológicas para las lagunas aereadas mecánicamente.

A.- DATOS BASE DEL PROYECTO

DOTACION	200 l / hab / d
APORTACION	150 l / hab / d
POBLACION EN 1999	141,514 hab

POBLACIÓN SERVIDA

1ª ETAPA 2000	145,051 hab
2ª ETAPA 2010	176,835 hab

El gasto máximo instantáneo se calcula utilizando el Coeficiente de Harmon (M), que para poblaciones mayores de 63,454 habitantes, se considera constante e igual a 2.17.

Tomando en consideración módulos de 75 l / s, los caudales se ajustan para facilitar el diseño.

El gasto máximo instantáneo es igual al gasto máximo extraordinario porque el sistema de alcantarillado únicamente recolecta las aguas residuales, las aguas pluviales son descargadas directamente al río Huacapa.

GASTOS	CALCULADO	AJUSTADO
MÍNIMO (2010)	187.5 l / s	188.0 l / s
MEDIO (2010)	368.0 l / s	375.0 l / s
MÁXIMO Instantáneo (2010)	798.0 l / s	800.0 l / s

CONC. DBO ₅ INFLUENTE	220 mg / l
CONC. SST INFLUENTE	210 mg / l
NUMERO DE MODULOS	5
GASTO MEDIO POR MODULO	75 l / s
GASTO MAXIMO POR MODULO	135 l / s
TEMPERATURA MEDIA VERANO	38 ° C
TEMPERATURA MEDIA INVIERNO	14 ° C

El número de módulos de tratamiento y la capacidad por módulo, que se empleara para el diseño y comparación de los procesos se determinó en función de la generación de aguas residuales y de las necesidades de tratamiento. Los diagramas de flujo de los procesos propuestos se presentan en las figuras III.1, III.2 y III.3.

B.- PREDIMENSIONAMIENTO

El pretratamiento será común para los tres procesos de tratamiento biológico a analizar y consta de cribado y desarenación y están conformados con las unidades siguientes:

LODOS ACTIVADOS CONVECCIONAL

- Pretratamiento: cribado, desarenación
- Tratamiento primario: sedimentación primaria
- Tratamiento secundario: lodos activados, sedimentador secundario y tanque de contacto con cloro
- Tratamiento de lodos: lechos de secado

FIGURA. III.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

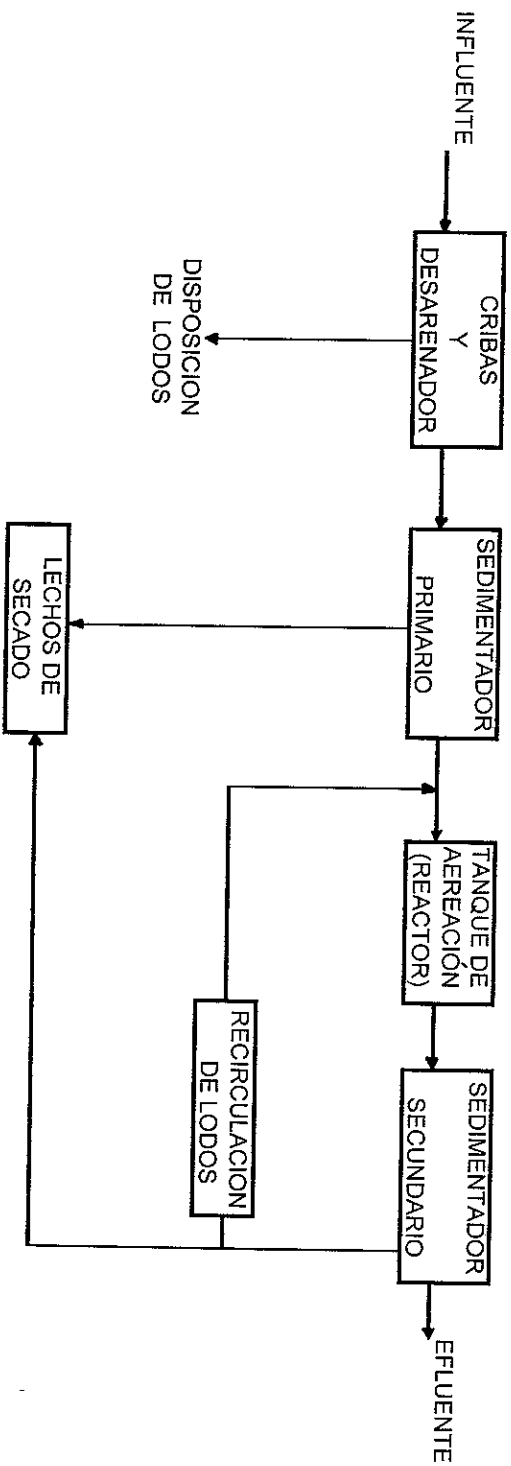


FIGURA. III.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE FILTROS BIOLÓGICOS

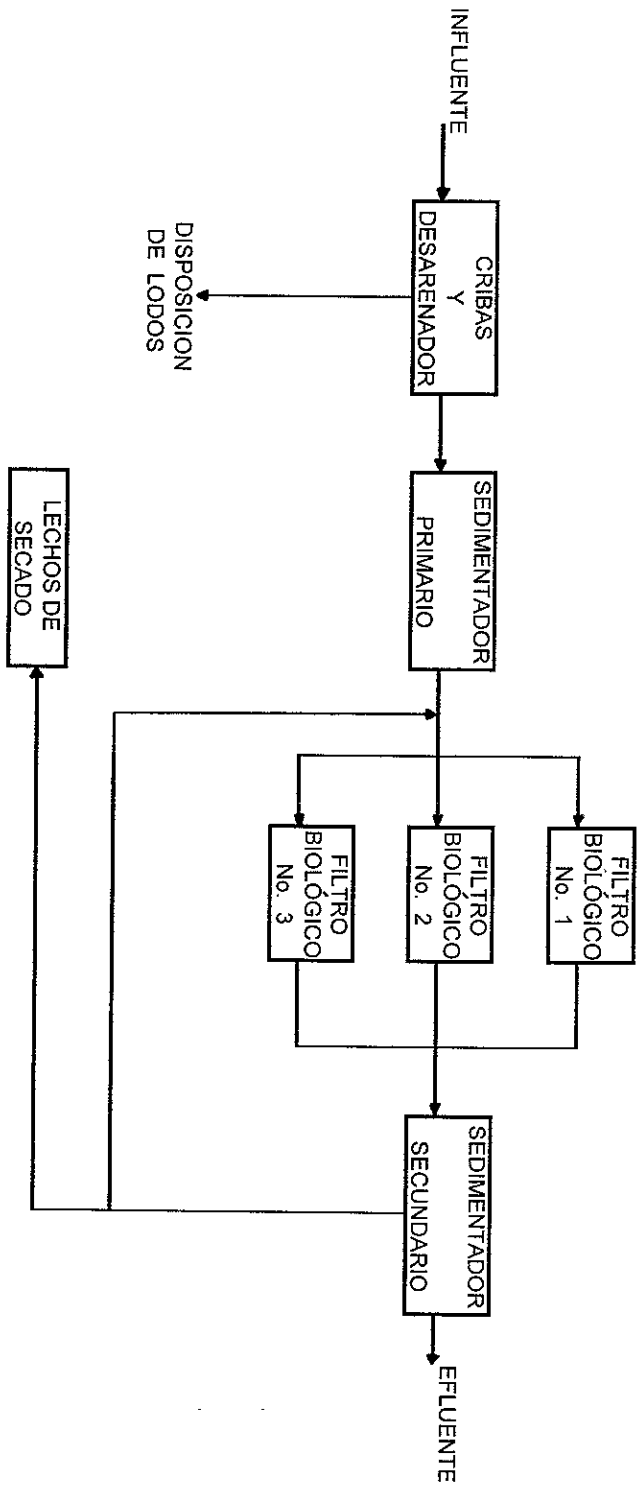
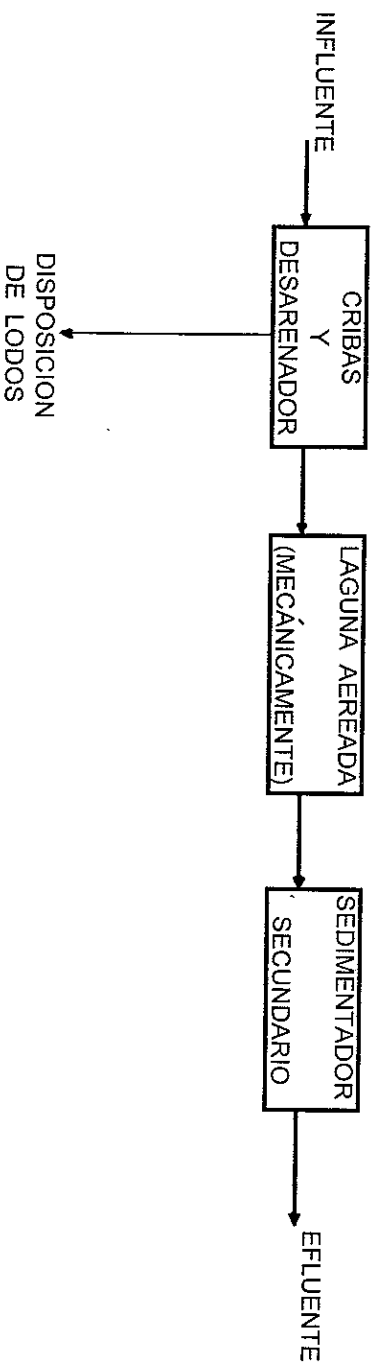


FIGURA. III.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE LAGUNAS AERADAS



FILTROS BIOLÓGICOS

- Pretratamiento: cribado, desarenación
- Tratamiento primario: sedimentación primaria
- Tratamiento secundario: filtros biológicos, sedimentación secundaria, tanque de contacto con cloro.
- Tratamiento de lodos: lechos de secado

LAGUNAS AERADAS MECÁNICAMENTE

- Laguna aireada, estanque facultativo y estanque de maduración

III.3 REQUERIMIENTOS DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

El diseño preliminar se hizo en base a un módulo de 75 l/s. Por lo cual, para satisfacer los requerimientos actuales se necesitan cuatro módulos. Los principales datos obtenidos del predimensionamiento se presentan en el cuadro III.2 donde se señalan los requerimientos aproximados de área, volúmenes, profundidades, diámetros y potencias demandadas.

El pretratamiento, como se observa, es común para los tres procesos, así como cloración. Se debe hacer notar que la producción de lodos y por lo tanto el área requerida para los lechos es similar en los casos de lodos activados y filtros biológicos, mientras que en las lagunas no se requiere de área para lechos de secado.

Evaluando el tratamiento secundario, ya que el pretratamiento y el tratamiento primario es el mismo para los tres procesos y el tratamiento de lodos es común para dos de los procesos y el otro no lo requiere, se tiene:

A.- LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL

- Considerando un proceso de tipo convencional, para un módulo de 75 l/s se propone un tiempo de retención hidráulico en el tanque de aireación, de acuerdo con los parámetros de diseño para el tratamiento de agua residual municipal por lodos activados que va de 4 a 8 horas.

El tiempo de retención propuesto $T_r = 19.6 \text{ hrs} = 70,560 \text{ s}$, por lo tanto:

$$V = (T_r) (Q_0)$$

$$V = (70560) (0.075) = 5292 \text{ m}^3$$

Proponiendo un tirante de $P = 3.5 \text{ m}$ se tiene:

$$A = V / P$$

$$A = (5292) / (3.5) = 1512 \text{ m}^2$$

CUADRO III. 2 CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO Y REQUERIMIENTOS DE POTENCIA DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO EVALUADOS

PROCESO	Lodos Activados					Filtros Biológicos					Lagunas Aereadas				
	A	P	V	D	HP	A	P	V	D	HP	A	P	V	D	HP
PRETRATAMIENTO															
CRIBADO	0.80	0.30	0.24	-	-	0.80	0.30	0.24	-	-	-	-	-	-	-
DESARENACION	3.365	0.45	1.65	-	-	3.365	0.45	1.65	-	-	-	-	-	-	-
TRATAMIENTO PRIMARIO (SEDIMENTACION)	221.7	2.7	598.59	16.8	1.5	221.7	2.7	598.59	16.8	1.5	-	-	-	-	-
TRATAMIENTO SECUNDARIO															
PROCESO BIOLÓGICO	1512	3.5	5292.7	-	40	1071.4	1.6	1714.3	38.10	32	13392	2.5	33480	-	80.0
SED. SECUNDARIA	462.86	3.5	1620	24.28	18	263.00	2.7	710.10	18.30	10.5	-	-	-	-	-
CLORACIÓN	227.00	2.17	493	-	1.50	227.00	2.17	493	-	1.50	-	-	-	-	-
TRATAMIENTO DE LODOS LECHOS DE SECADO	13250	0.25	3312.5	-	-	13250	0.25	3312.5	-	-	-	-	-	-	-

SIMBOLOGÍA

- A = ÁREA, m²
- P = PROFUNDIDAD EFECTIVA, m
- V = VOLUMEN, m³
- D = DIÁMETRO, m
- HP = POTENCIA, HP

NOTA. La potencia señalada en el sedimentador secundario incluye la potencia requerida para la recirculación de los lodos

Calculando el sedimentador secundario para un tiempo de retención de 6 hrs = 21600 s:

$$V = (Tr) (Qo)$$

$$V = (21600) (0.075) = 1,620 \text{ m}^3$$

Proponiendo una profundidad del tanque $P = 3.5 \text{ m}$ se tiene:

$$A = V / P$$

$$A = (1620) / (3.5) = 462.86 \text{ m}^2$$

Si se considera el área y el volumen del pretratamiento, tratamiento primario y cloración común para los procesos de filtros biológicos y lodos activados se tiene:

- El área para un modulo de 75 l/s es de 2427.73 m², además de la superficie que se requiere para el arreglo de las unidades e interconexión de las mismas, así como para el tratamiento de lodos.
- Volumen de dichas unidades, sin considerar el bordo libre de cada una de ellas, es 8,005.77m³.
- Los requerimientos aproximados de potencia son de 61 HP

B.- FILTROS BIOLÓGICOS

- Para un módulo de 75 l/s se propone un porcentaje inicial de remoción de DBO, con el cual se entra a la gráfica de la figura III. 4 que representa el % de remoción de DBO en función de la relación $D / L * 0.478$, siendo D el valor de la profundidad y L el valor de la carga hidráulica.

Se considera un porcentaje de remoción de DBO de 55 a 60 % y se obtiene el valor para la relación

Posteriormente se propone una profundidad efectiva $D = 1.6 \text{ m}$, para obtener el valor de la carga hidráulica. $L = 0.00007 \text{ m} / \text{s}$.

El valor de la carga hidráulica, se sustituye para obtener el área y posteriormente con ese valor se obtiene el volumen:

$$A = Qo / L$$

$$A = 0.075 / 0.00007 = 1071.42 \text{ m}^2$$

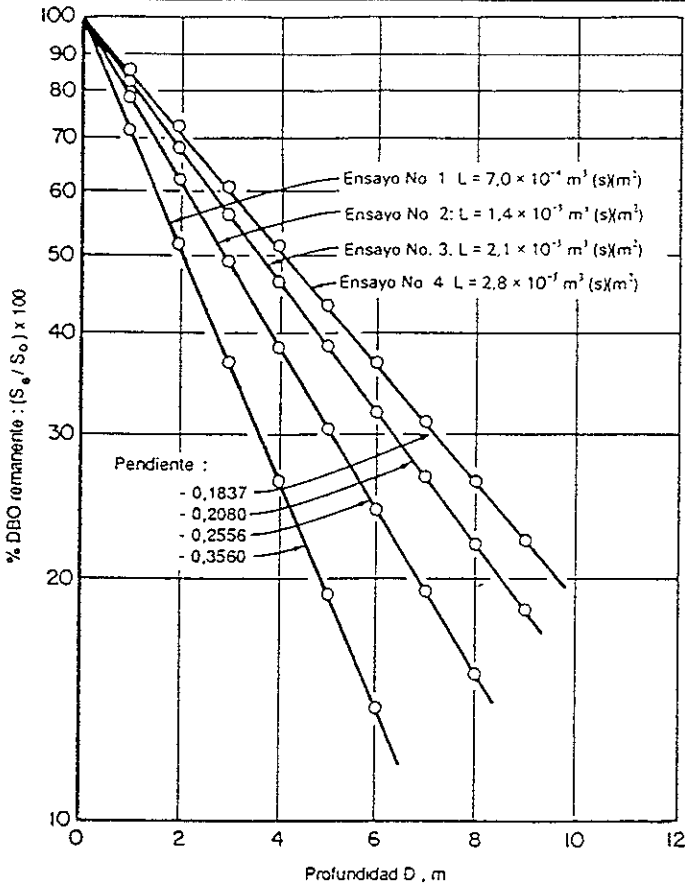


FIGURA III. 4 Representación del % de DBO remanente en función de la profundidad (FUENTE:TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Rubens Sette Ramalho, Editorial Reverté, S.A.)

$$V = (A)(D)$$

$$V = (1071.42)(1.6) = 1714.28 \text{ m}^3$$

Si se consideran las áreas y los volúmenes del pretratamiento (cribado y desarenación), tratamiento primario, sedimentación secundaria y cloración se tiene:

- El área para un modulo de 75 l/s es de 1,787.29 m², además de la superficie necesaria para el arreglo e interconexión de las unidades, así como para el tratamiento de lodos.
- El volumen de dichas unidades, también sin considerar el bordo libre, es de 3,517.45 m³
- Los requerimientos aproximados de potencia son de 45.5 HP

C.- LAGUNAS AEREADAS MECÁNICAMENTE

- Considerando un módulo de 75 l/s se propone un tiempo de retención.

El tiempo de retención propuesto $T_r = 124 \text{ hrs} = 446,400 \text{ s}$, por lo tanto:

$$V = (T_r) (Q_o)$$

$$V = (446400) (0.075) = 33,480 \text{ m}^3$$

Proponiendo un tirante de $P = 2.5 \text{ m}$ se tiene:

$$A = V / P$$

$$A = (33480) / (2.5) = 13,392 \text{ m}^2$$

Si se consideran las áreas y los volúmenes del pretratamiento (cribado y desarenación), tratamiento primario, sedimentación secundaria y cloración se tiene:

- El área para un módulo de 75 l/s es de 13,392 m² esto también, sin considerar la superficie requerida para el arreglo de las unidades y las interconexiones entre las mismas.
- El volumen de dichas unidades es de 33,480 m³, sin tomar en cuenta el bordo libre en cada una de ellas.

III.4 FACTORES GENERALES DE SELECCIÓN

Otros factores de carácter general considerados para la selección del sistema de tratamiento fueron:

- Aprovechar óptimamente la topografía del predio para evitar bombeos y aprovechar que el agua fluya por gravedad, minimizar excavaciones para las diversas estructuras.
- Obtener una distribución adecuada de la planta.
- Eficiencia de remoción: materia orgánica y otros materiales
- Requerimientos de reactivos
- Requerimientos de mano de obra
- Flexibilidad de operación y confiabilidad
- Producción y manejo de lodos
- Impacto ambiental

De los procesos evaluados, el proceso de filtros biológicos y el de lodos activados tienen un mejor aprovechamiento de las condiciones topográficas, por la pendiente que tiene el terreno y las cargas que son adecuadas de aprovecharse, en tanto que para

lagunas, se requiere mayor movimiento de tierras y excavaciones ó algún otro terreno mas plano que permita establecer las lagunas, por lo que lagunas aereadas es un proceso difícil de establecer con estas condiciones.

El proceso que requiere menor área para las instalaciones de la planta es el de filtros biológicos y se adapta perfectamente al terreno propuesto para la ubicación de la planta.

Con base en eficiencias prácticas que se han presentado con los tres procesos evaluados se puede fundamentar que proporcionan eficiencias de remoción en DBO similares.

Los requerimientos de reactivos son similares en todos los procesos analizados (cloro). No se considera el uso de cal o de algún otro reactivo adicional.

La producción de lodos es comparable en los procesos de lodos activados y filtros biológicos, así como el tipo de lodo a manejar en los lechos. Las lagunas tienen la ventaja de no necesitar un área para lechos de secado.

La energía requerida para la operación de la planta en el proceso de filtros biológicos es menor que la necesaria para el proceso de lodos activados, lo cual puede representar un significativo ahorro en los gastos de operación.

El impacto ambiental que puedan causar los tres procesos es equiparable, ya que si la planta no se opera adecuadamente se presentarán problemas de malos olores, proliferación de insectos, daño al equipo y molestias a los operadores y habitantes de la zona.

III.5 SELECCIÓN TÉCNICA DE LOS PROCESOS EVALUADOS

En función de los datos obtenidos y de cada una de las características anteriormente señaladas, se puede concluir que el sistema de filtros biológicos es el que técnicamente presenta mayor número de ventajas. Este sistema es el que requiere menor área, por lo tanto el volumen de construcción se reduce, los requerimientos de potencia son mínimos, la topografía del predio se adecua a las necesidades del sistema de filtros biológicos, no se requiere mano de obra altamente calificada y, en sí, la eficiencia de remoción es apropiada por lo que la calidad del agua del efluente será propia para el uso que se le pretenda dar.

La selección definitiva del sistema debe ser apoyada por las autoridades municipales y por la gerencia estatal de Guerrero de la Comisión Nacional del Agua, en este trabajo analizaremos una alternativa que se considera puede ser la más conveniente.

A.- Gastos: medio 75, máximo 135, mínimo 37.5 l / s

B.- Calidad del agua
DBO₅ 20 225 mg/

DQO	459 mg/l
Sólidos suspendidos	340 mg/l
pH	7.5
Fosfatos	29 mg/l
Nitrógeno total	45 mg/l
Grasas y aceites	70 mg/l

C.- Vida útil 10 años

Un factor muy importante que se debe considerar son los costos índice, como son: construcción, excavación, losas de concreto, energía eléctrica, tuberías, válvulas, mano de obra y otros. Los costos de inversión de operación y mantenimiento que se obtengan para los tres sistemas se puede observar al proceso que presenta las mayores ventajas desde el punto de vista económico en función del costo de m³ de agua tratada. Posteriormente se calculan los costos de operación y mantenimiento como son: mano de obra de operación y mantenimiento, energía eléctrica, costos de material y reactivos químicos.

Por lo anteriormente mencionado, en los aspectos técnicos, el proceso que se selecciona para la ejecución del anteproyecto es el de filtros biológicos con recirculación y medio natural de empaque.

III. 6 PREDIMENSIONAMIENTO, PREDISEÑO DE OPERACIONES Y PROCESO DE TRATAMIENTO

La planta de tratamiento, con base en el sistema de filtros biológicos o rociadores, se proyectará con el gasto medio y máximo instantáneo de aguas residuales proyectado al año 2010 (375 y 800 l / s respectivamente). El comportamiento de los gastos medios y máximos futuros se muestran en el Cuadro III.1

En función de las variaciones de gastos medios futuros se proyectan cinco módulos de filtros rociadores (sedimentador primario - filtro rociador - sedimentador secundario y cloración), con capacidad de 75 l/s cada uno. Cuatro módulos se usarán para cubrir las necesidades actuales, y el quinto módulo para cubrir las demandas del año 2001 al 2010.

Las unidades de pretratamiento, como los cárcamos de bombeo, las cajas distribuidoras y tanque de contacto de cloro se diseñarán para gasto máximo, los sedimentadores y filtros rociadores se diseñarán para gasto medio, con las previsiones pertinentes para manejar gastos pico.

A. DATOS PARA EL PREDIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA

DOTACIÓN	200 l / hab / d
APORTACIÓN	150 l / hab / d
POBLACIÓN EN 1999	141,514 hab

POBLCIÓN SERVIDA

1ª ETAPA 2000	145,051 hab
2ª ETAPA 2010	176,835 hab

GASTOS

MÍNIMO (2010)	188.0 l/s
MEDIO (2010)	375.0 l/s
MÁXIMO (2010)	800.0 l/s

COEFICIENTE DE HARMON	2.17
CONC. DBO ₅ INFLUENTE	220 mg / l
CONC. SST INFLUENTE	210 mg / l

B. NIVEL DE TRATAMIENTO

El nivel de tratamiento será secundario, con filtros biológicos o percoladores, desinfección y tratamiento de lodos. El sistema en su conjunto para el horizonte del proyecto estará conformado por cinco módulos, con capacidad de 75 l.p.s., cada uno. Cada modulo estará conformado por:

- FASE LÍQUIDA

Pretratamiento, sedimentación primaria, tratamiento biológico sedimentación secundaria y desinfección.

- FASE SÓLIDA

Digestión de lodos y lechos de secado.

C. PREDISEÑO DE OPERACIONES Y PROCESOS DE TRATAMIENTO**III. 6. 1 CAJA REPARTIDORA**

La caja repartidora recibirá el total de las aguas residuales del sistema de captación de la ciudad. La caja se diseñará con capacidad para el gasto máximo de tratamiento 800 l/s) y para el desalojo de excedencias a través de un vertedor de demasías, esta tendrá cuatro tuberías: una interceptora de 33", dos alimentadoras de 26" y dos para excedencias de 14", con sus compuertas respectivas.

- GASTOS

$$Q \text{ Max} = (Q \text{ Med}) (C. \text{ Harmon})$$

$$Q \text{ Max} = (375) (2.17)$$

$$Q \text{ Max} = 800 \text{ l / s (Año 2010)}$$

$$Q \text{ Máx} = (375) (2.17)$$

$$Q \text{ Máx} = 800 \text{ l/s (Año 2010)}$$

- DIÁMETROS

Tubería Interceptora

$$d = 0.830 \text{ m, (33")}$$

Tubería de Alimentación

$$d = 0.664 \text{ m, (26")}$$

$$v = 1.1 \text{ m/s, (Q Máx} = 400 \text{ l/s, Por tubo)}$$

Tubería de Excedencia

$$d = 0.356 \text{ m, (14")}$$

- TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

$$Tr = 25 \text{ s.}$$

- DIMENSIONAMIENTO

Volúmenes

$$V = (Q \text{ Máx}) (Tr)$$

$$V = (Q \text{ Med}) (Tr)$$

$$V = (0.800) (25)$$

$$V = (0.375) (25)$$

$$V = 20 \text{ m}^3$$

$$V = 9.38 \text{ m}^3$$

Área superficial

Se propone una base cuadrada, (L = 3.8 m)

$$As = (3.8) (3.8) = 14.44 \text{ m}^2$$

- TIRANTE MÁXIMO H Máx

$$H \text{ Máx} = 20 / 14.44$$

$$H \text{ Máx} = 1.38 \simeq 1.40 \text{ m}$$

- TIRANTE MEDIO H Med

$$H \text{ Med} = 9.38 / 14.44$$

$$H \text{ Med} = 0.69 \simeq 0.70 \text{ m}$$

- ALTURA DE LA CAJA

Ht = 2.0 m, (Considerando 0.60 m de espacio libre por excedencia)

- PARED AMORTIGUADORA

$$H = 1.20 \text{ m (Altura)}$$

$$b = 1.50 \text{ m (Base)}$$

$$e = 0.30 \text{ m (Espesor)}$$

III. 6. 2 PRETRATAMIENTO

El pretratamiento comprenderá las operaciones de cribado (sólidos gruesos y basura) y desarenación (arenas), así como la medición de caudal. Estas operaciones unitarias constarán de cuatro módulos con capacidad de 800 l/s para satisfacer las demandas al año 2010.

La capacidad por módulo será de 200 l/s estará integrado por las siguientes estructuras: canal de rejas – rejilla - charola de escurrimiento - canal desarenador - vertedor proporcional. La limpieza de las cribas y del canal desarenador será manual.

A.- CRIBADO

a) DATOS Y CRITERIO DE PREDISEÑO

GASTO	Q = 200 l / s (17,280 m ³ / d)
VELOCIDAD EN EL CANAL DE APROXIMACION	0.6 – 0.9 m / s
ESPESOR DE LAS BARRAS	0.6 – 1.3 cm
PROFUNDIDAD DE LAS BARRAS	1.9 – 7.5 cm
ESPACIAMIENTO ENTRE BARRAS	2.5 – 5.1 cm
VELOCIDAD ENTRE BARRAS	< 0.75 m / s
PENDIENTE DE LA REJA CON LA HORIZONTAL	30° – 60°

PÉRDIDA DE CARGA PERMISIBLE EN LA REJA < 15 cm

CANTIDAD DE SÓLIDOS RETENIDOS 0.003 – 0.30 m³ / 1000 m³ de agua residual

b) DIMENSIONAMIENTO

b.1) CANAL DE REJAS

- Area transversal

$$A_t = Q / v$$

$$A_t = 0.200 / 0.60 = 0.333 \text{ m}^2$$

- Ancho del Canal

$$b = 0.333 / 0.40$$

$$b = 0.833 \approx 1.0 \text{ m}$$

- Longitud del Canal

$$L = (v) (t) , \text{ Considerando } t = 3 \text{ s}$$

$$L = (0.60) (3)$$

$$L = 1.8 \text{ m}$$

b.2) REJILLA

DATOS

- Espesor de las Barras

$$e = 0.95 \text{ cm}$$

- Espacio entre las Barras

$$E = 3.0 \text{ cm}$$

- Ancho del Canal

$$b = 1.00 \text{ m}$$

- Pendiente con la Horizontal 60 °

Barras de forma rectangular

- Determinación del Número de Barras

$$N = (1.0 - 0.0095) / (0.030 + 0.0095)$$

$$N = 25.075 = 25 \text{ Barras}$$

- Número de Espacios entre las Barras

$$n = 26 \text{ Espacios}$$

- Longitud de las Barras

$$Ht = 1.05 \text{ m}$$

$$LR = 1.05 / \text{Sen } 60^\circ \quad LR = 1.21 \text{ m}$$

- Distancia de la Reja con la Vertical

$$a = \left[(LR)^2 - (Ht)^2 \right]^{1/2}$$

$$a = \left[(1.21)^2 - (1.05)^2 \right]^{1/2}$$

$$a = 0.60 \text{ m}$$

c) REVISION DE DISEÑO

En función de la velocidad permisible entre las barras.

- Área Transversal

$$At = (1.0) (0.4) = 0.40 \text{ m}^2$$

- Área Ocupada por las Barras

$$AB = (25) (0.0095 \text{ m}) (0.40 \text{ m}) = 0.095 \text{ m}^2$$

- Área Libre

$$AL = 0.40 - 0.095 = 0.305 \text{ m}^2$$

- Velocidad entre Barras

$$v = 0.200 / 0.305$$

$$v = 0.656 \text{ m/s} \text{ (Límite Máximo Permisible, } 0.75 \text{ m/s)}$$

d) PÉRDIDA DE CARGA

$$hL = k \left(\frac{e}{E} \right)^{1.33} \frac{v^2 \text{ Sen } 60^\circ}{2g}$$

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Donde:

hL = Pérdida de Carga en Reja Limpia, m

k = Factor de forma de las Barras (Barras Rectangulares, 2.42)

e = Espesor de las Barras (0.0095 m)

E = Separación entre las Barras (0.03 m)

v = Velocidad de Llegada del Agua, (0.060 m/s)

g = Aceleración de la Gravedad, (9.81 m/s²)

$$hL = 2.42 \left(\frac{0.0095}{0.03} \right)^{1.33} \frac{0.6^2 \text{ Sen } 60^\circ}{2 (9.81)}$$

hL = 0.008 m (Límite Máximo Permisible 0.15 m, CUMPLE)

e) CHAROLA DE ESCURRIMIENTO

- Cantidad de Sólidos Retenidos

$$CS = 0.020 \text{ de Sólidos / (1000 de agua residual) (Q Med / 3)}$$

$$CS = (0.020 / 1000) (32400 / 3)$$

$$CS = 0.216 \text{ m}^3 \text{ de Sólidos / día}$$

- Dimensiones

Ancho 1.0 m

Longitud 1.0 m

TOLVA

Ancho 0.50 m

Longitud 0.50 m

Profundidad 0.20 m

B.- DESARENACIÓN

Se considerarán 4 módulos de 200 l / s

a) DATOS Y CRITERIOS DE DISEÑO

- GASTO Q = 200 l / s (17,280 m³ / d)
- CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS POR REMOVER TAMAÑO < 0.21 mm (MALLA No.65)
- DENSIDAD ESPECÍFICA 2.65 g / cm³
- VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN 16.42 m / d

CANAL DESARENADOR

- CARGA HIDRÁULICA SUPERFICIAL 19 - 26 L / m² . s
- VELOCIDAD DE CONTROL 0.25 – 0.38 m / s
- ANCHO DEL CANAL 1.0 m
- LONGITUD DEL CANAL a 50 % > Max a long. Teórica

b) DIMENSIONAMIENTO

- ÁREA SUPERFICIAL DEL CANAL

Para una $C_s = (22 \text{ l} / \text{m}^2 \times \text{s})$ (1901 m³ / m²x día)

$$A_s = 17,280 / 1901$$

$$A_s = 9.090 \text{ m}^2$$

- LONGITUD DEL CANAL

$$L = 9.090 / 1.0 = 9.090 \text{ m}$$

- LONGITUD REAL

$$L_r = (9.09) (1.35)$$

$$L_r = 12.27 = 13 \text{ m}$$

- ÁREA TRANSVERSAL DEL CANAL LIMPIO

$$A_1 = 0.200 / 0.30 = 0.66 \text{ m}^2$$

- ÁREA TRANSVERSAL DEL CANAL CON ARENA

$$A_2 = 0.200 / 0.35 = 0.57 \text{ m}^2$$

- TIRANTE DEL CANAL LIMPIO

$$h_1 = 0.66 / 1.0 = 0.66 \text{ m}$$

- TIRANTE DEL CANAL CON ARENA

$$h_2 = 0.57 / 1.0 = 0.57 \text{ m}$$

- VOLÚMEN PARA DEPOSITO DE ARENA

$$V = (13.0 \times 1.0) (0.66 - 0.57)$$

$$V = 1.17 \text{ m}^3$$

c) CANTIDAD DE SÓLIDOS RETENIDOS

Ámbito 0.007 – 0.09 m³ de arena / 1000 m³ de agua residual

Valor considerado, 0.20 m³ de arena / 1000 m³

$$C_s = (0.20 / 1000) (10800)$$

$$C_s = 0.216 \text{ m}^3 / \text{día}$$

FRECUENCIA DE LIMPIEZA

f = Volúmen del depósito de arena / acumulación diaria de arena

$$f = 1.40 / 0.216$$

f = 6.45 d (Extracción de arena, cinco veces por mes)

C.- CONTROL DE VELOCIDAD**- VERTEDOR PROPORCIONAL**

Los vertedores proporcionales también llamados "suro" se utilizarán para control de velocidad y para la medición de caudal por descarga directa, su geometría comprende una sección recta en la parte inferior y un desarrollo parabólico en la parte superior. Las características geométricas hacen que el gasto de vertido sea proporcional a la carga h, lo cual proporciona una velocidad constante de flujo en el canal desarenador, en función del tirante de la sección con las variaciones de caudal, permitiendo así, la operación eficiente del desarenador y el registro de fluctuaciones de gasto para el control del tratamiento. Esta geometría se puede ver en la figura III.4 :

a) ECUACIONES DE DISEÑO

Trazo de la sección parabólica

$$X = b - \left(\frac{2}{\pi} \text{ARCTAN} \left(\frac{Y}{a} \right) \right)^{0.5}$$

Relación tirante – gasto

$$Q = 2.74 \left((b)(a) \right)^{0.5} \left(H - \frac{a}{3} \right)$$

En Donde:

X, Y = Variables de la sección parabólica, (ancho y altura, respectivamente)

b = Ancho de la base del vertedor, m

a = Altura de la sección recta

Q = Gasto, m³ / s

H = Tirante del agua, m

DATOS

Q = 200 l / s (17,280 m³ / d)

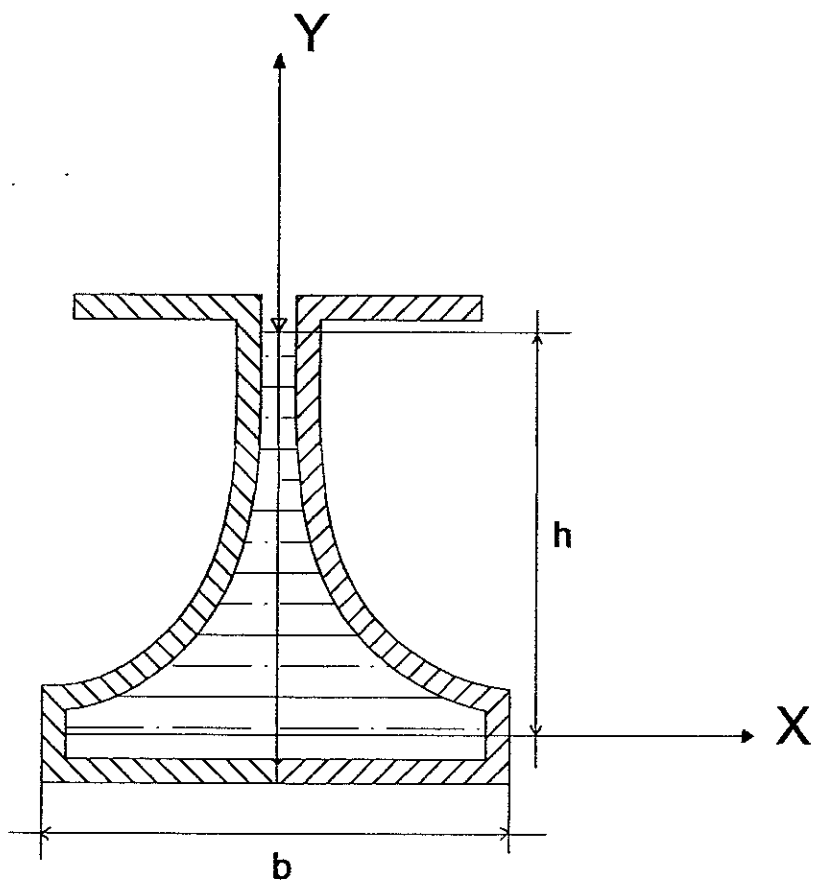
H = 0.57 m (Tirante del canal con arena)

a = 0.02 m

b) DIMENSIONAMIENTO

- Ancho de la base

FIGURA. III.4 VERTEDOR PROPORCIONAL



$$b = \left(\left(\frac{Q}{2.74} \right) \left(\frac{1}{H - a/3} \right) \right)^2 \frac{1}{a}$$

$$b = \left(\frac{0.200}{2.74} \frac{1}{0.57 - 0.02/3} \right)^2 \frac{1}{0.02}$$

$$b = 0.8394 \text{ m} = 0.84 \text{ m}$$

- Tirante para gasto medio en el vertedor

$$H \text{ med} = \frac{Q}{2.74(b)(a)} + 0.02$$

$$H \text{ med} = \frac{0.200}{2.74(0.84)(0.02)} + 0.02$$

$$H \text{ med} = 0.5832 \text{ m} = 0.60 \text{ m}$$

- Tirante de la sección parabólica

$$Y = 0.60 - 0.02 \quad Y \text{ med} = 0.58 \text{ m}$$

- Tirante para gasto máximo en el vertedor

Considerando para cada módulo un gasto máximo de $Q \text{ max} / 3 = 800 / 3$

$$Q \text{ max mod} = 267 \text{ l/s}$$

$$H \text{ max} = \frac{Q}{2.74(b)(a)} + 0.02$$

$$H \text{ max} = \frac{0.267}{2.74(0.84)(0.02)} + 0.02$$

$H_{\max} = 0.7718 \text{ m}$, (Se adicionaran 0.25 m por seguridad)

- Tirante de la sección parabólica

$$Y_{\max} = 0.77 - 0.02$$

$$Y_{\max} = 0.75 \text{ m}$$

- Tirante medio en el desarenador

$$H_{\text{med}} = 0.60 + 0.10$$

$$H_{\text{med}} = 0.70 \text{ m}$$

- Tirante máximo en el desarenador

$$H_{\max} = 0.77 + 0.10$$

$$H_{\max} = 0.87 \text{ m}$$

- Altura total del canal desarenador

$$H_t = 0.87 + 0.30 = 1.17 \text{ m}$$

$$H_t = 1.20 \text{ m} \quad (\text{Bordo libre} = 0.33 \text{ m})$$

- Trazo de la sección parabólica

Determinación de las coordenadas, X, Y

$$X = b \left(1 - \frac{2}{\pi} \text{ARCTAN} \left(\frac{Y}{a} \right)^{0.5} \right)$$

Determinación de gastos a través del vertedor

$$Q = 2.74 \left((b)(a) \right)^{0.5} \left(H - \frac{a}{3} \right)$$

Datos: $b = 0.84 \text{ m}$, $a = 0.02 \text{ m}$

X (m)	Y (m)	H (m)	Q (m ³ / s)	
0.820	0.000	0.200	0.0047	
0.660	0.002	0.022	0.0054	
0.600	0.004	0.024	0.0061	
0.558	0.006	0.026	0.0068	
0.526	0.008	0.028	0.0075	
0.499	0.010	0.030	0.0082	
0.410	0.020	0.040	0.0117	
0.321	0.040	0.060	0.0187	
0.273	0.060	0.080	0.0257	
0.242	0.080	0.100	0.0328	
0.220	0.100	0.120	0.0398	
0.202	0.120	0.140	0.0468	
0.189	0.140	0.160	0.0538	
0.177	0.160	0.180	0.0608	
0.160	0.200	0.220	0.0749	
0.144	0.250	0.270	0.0924	
0.132	0.300	0.320	0.1100	
0.123	0.350	0.370	0.1274	
0.115	0.400	0.420	0.1450	
0.108	0.450	0.470	0.1626	
0.103	0.500	0.520	0.1801	
0.098	0.550	0.570	0.1977	
0.096	0.580	0.600	0.2082	NIVEL MEDIO
0.094	0.600	0.620	0.2152	
0.092	0.630	0.650	0.2257	
0.087	0.700	0.720	0.2503	
0.085	0.750	0.770	0.2679	NIVEL MÁXIMO
0.082	0.800	0.820	0.2854	
0.079	0.850	0.870	0.3029	
0.077	0.900	0.920	0.3205	
0.075	0.950	0.970	0.3380	
0.073	1.000	1.020	0.3556	
0.071	1.050	1.070	0.3731	
0.070	1.100	1.120	0.3906	NIVEL DE SEGURIDAD

III. 6. 3 SEDIMENTACIÓN PRIMARIA

La sedimentación primaria es una operación unitaria que se emplea en el tratamiento de agua residuales, para remover partículas orgánicas que se encuentran en suspensión, usando la fuerza de la gravedad. Esta sedimentación es del tipo fluctuante, caracterizada por la interacción de las partículas en el transcurso del asentamiento, dando lugar a cambios de forma, tamaño, densidad y formación de flóculos. La eficiencia de la sedimentación es función de la carga hidráulica superficial y del tiempo de retención hidráulica en el sedimentador.

a) DATOS	
• Gasto medio (Año 2010), l/s	375
• DBO total del influente, mg/l	220
• SST en el influente, mg/l	210
b) CRITERIOS DE DISEÑO	
• Tiempo de retención hidráulica, h	1.5 – 3.0
• Carga hidráulica superficial, m ³ / m ² d	30 – 50
• Eficiencia en remoción de DBO, %	25 – 35
• Eficiencia en remoción de SST, %	50 – 70
c) CARACTERÍSTICAS	
• Forma del sedimentador	Circular
• Recolección de lodos	Mecánica
• Tipo de alimentación	Central
• Eficiencia en remoción de DBO, %	25 – 35
• Eficiencia en remoción de SST, %	50 – 65
d) RESÚMEN	
• No. De sedimentadores, Módulos	5
• Area superficial, m ²	1,108.5
• Volúmen, m ³	2,993.0
• Producción de sólidos totales, Kg / d	4,287.0
• Volumen de lodos producidos, m ³ / d	143.0
• SST en el efluente, mg / l (para 63%)	78.0
• DBO en el efluente, mg / l (para 30%)	154.0

CARACTERÍSTICAS POR MÓDULO:

• Area superficial, m ²	222
• Diámetro, m	16.8
• Tirante del agua, m	2.7
• Bordo libre, m	0.3
• Volumen de lodos producidos, m ³ / d	28.6
• Frecuencia de purga de lodos, veces / d	6
• Volumen de lodos por purga, m ³	4.8
• Pendiente del fondo, relación	12:1
• Tolva de lodo	
Diámetro, m	2.475
Area superficial, m ²	4.8
Altura, m	1.0
• Diámetro de la tubería de alimentación, m	0.356
• Vertedores "V" de 90°	
Perímetro = (3.1416)(16.8)	52.8
Longitud de vertedores, m	264
Gasto, l / s	0.29
Carga mínima, cm	3.4
Carga máxima, cm	4.2
Altura máxima, cm	6.0
Ancho, cm	12
• Canal del efluente	
Numero de ramales	2

Longitud por ramal, m	26.4
Ancho, cm	0.5
Tirante en el canal, m	0.13
Tirante disponible, m	0.40
• Diámetro de la tubería del efluente, m	0.356

e) DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

e.1) Datos

- $Q = 75 \text{ l/s}$ ($6,480 \text{ m}^3 / \text{d}$)
- DBO Influyente = 220 mg/l ($1,426 \text{ Kg/d}$)
- SST Influyente = 210 mg/l ($1,361 \text{ Kg/d}$)
- $T_r = 1.75 \text{ h}$, (105 min)
- $q_o = 30 \text{ m}^3 / \text{m}^2 - \text{día}$
- Remoción de DBO = 30% (66 mg/l , (428 Kg/d))
- Remoción de SST = 63% (132 mg/l , (857 Kg/d))
- $q \text{ max en vertedores} = 248 \text{ m}^3 / \text{m} - \text{día}$ ($2.87 \text{ l/m} - \text{d}$)

e.2) Dimensionamiento

- Área Superficial

$$A_s = 6,480 / 30 = 216 \text{ m}^2$$

- Diámetro

$$d = \frac{(4) (216)^{0.5}}{\pi}$$

$$d = 16.58 \text{ m}, \text{ (Ajustado a } 16.8 \text{ m)}$$

- Corrección del Área Superficial

$$A_s = (3.1416) (16.8)^2$$

$$A_s = 221.7 \text{ m}^2$$

$$\therefore q_o = 29.2 \text{ m}^3 / \text{m}^2 - \text{día}$$

- Volúmen

$$V = (1.75) (6,480) (1/24) = 472.5 \text{ m}^3$$

- Altura

$$H = 472.5 \text{ m}^3 / 221.7 \text{ m}^2 = 2.12 \text{ m}$$

- Incremento por Pendiente del Fondo

$$\text{Pendiente } 12:1 \quad (m = 0.0833)$$

$$\text{Diámetro de tolva de lodos} = 3.00 \text{ m}$$

$$H_i = (0.0833) (16.8 - 3/2) = 0.574 \text{ m} = 0.58 \text{ m}$$

- Altura Total

$$H_t = 2.12 + 0.58 + 0.30 = 3.00 \text{ m}$$

- Tolva de Lodos

Volúmen de Lodos Producidos

Producción de Sólidos = Kg SST / d X Eficiencia

$$P_s = (1,361) (0.63)$$

$$P_s = 857.4 \text{ Kg / d}$$

Considerando densidad de Lodos del 3%, para un mes calendario.

$$V_s = 857.4 / 30$$

$$V_s = 28.6 \text{ m}^3 / \text{d}$$

Frecuencia de Purga de lodos 6 veces / día

$$\text{Volúmen por Purga} = 28.6 \text{ m}^3 / 6$$

$$V_p = 4.76 \text{ m}^3 = 5.0 \text{ m}^3$$

- Tubería de Alimentación

Diámetro de la Tubería de Alimentación

$$A = 0.075 / 0.90 = 0.0833 \text{ m}^2$$

$$d = 0.328 \text{ m}$$

e.3) Tolva de Lodos

- Datos

$$D = 3.0 \text{ m} \text{ (Diámetro de la tolva)}$$

$$s = 1 : 0.5, \text{ (Pendiente de la pared inclinada)}$$

$$v = 4.8 \text{ m}^3 \text{ (Volumen de lodos por purga)}$$

$$d = 0.90 \text{ m}, \text{ (Diámetro de la columna central)}$$

- Dimensionamiento

Volúmen

Considerando una profundidad de 1.0 m ($X = 0.50 \text{ m}$)

$$V_1 = 7.07 \text{ m}^3, \text{ (Volumen total de la tolva, } d = 3.0 \text{ m)}$$

$$V_2 = 0.636 \text{ m}^3, \text{ (Volumen de la columna central, } d = 0.90 \text{ m)}$$

$$V_3 = 6.43 \text{ m}^3, \text{ (Volumen de la tolva, paredes verticales)}$$

$$V_4 = 6.43 \times 0.75 \text{ (Volumen de la tolva, pared exterior inclinada)}$$

$$V_4 = 4.82 \text{ m}^3, \text{ (Volumen de lodos = } 4.8 \text{ m}^3 \text{ / purga)}$$

e.4) Vertedores en "V" de 90°

- Longitud de vertedores

$$L_v = (3.1416) (16.8 \text{ m}) = 52.78 \text{ m}$$

- Carga hidráulica en vertedores

$$C_v = 6480 / 52.78$$

$$C_v = 123 \text{ m}^3 / \text{m} - d, \text{ (Límite máximo permisible } 248 \text{ m}^3 / \text{m} - d)$$

- Número de vertedores

$$N_v = 52.78 \times 5 = 264, \text{ (Espaciamiento entre vertedores} = 0.20 \text{ m)}$$

- Gasto por vertedor

$$q = 123 / 5 = 24.6 \text{ m}^3 / \text{d}, \text{ (0.285 l / s)}$$

- Carga hidráulica mínima en cada vertedor

$$h = (q / 0.01381)^{0.4} \quad (q = 0.01381 \text{ h}^{2.5})$$

$$h = (0.29 / 0.01381)^{0.4} = 3.4 \text{ cm}$$

- Carga hidráulica máxima en cada vertedor

$$h = (q / 0.01381)^{0.4}$$

$$(q = 0.510 \text{ l / s}, \text{ Coef. De Harmon} = 2.17)$$

$$h = (0.5 / 0.01381)^{0.4} = 4.23 \text{ cm}$$

Se considera, $h = 6.0 \text{ cm}$ con longitud de la parte superior horizontal igual a 12.0 cm .

- Canal recolector en el efluente

Datos

Ancho del canal = 0.5 m , (supuesto)

Dos ramales de descarga

Gasto por ramal = 67.50 l / s

Diámetro tubería del efluente = 0.355 m , (14")

Tirante en el punto de salida

$$h = \frac{Q^2}{b^{2.033} g}$$

Donde:

h = Tirante, m

Q = Gasto por ramal, m³ / s

b = Ancho del canal, m

g = Aceleración de la gravedad, m / s²

$$h = \frac{0.0675^2}{0.5 \cdot 9.81^{0.33}}$$

h = 4.23 m, (h = 0.13 m)

Tirante en el punto mas distante de la salida

$$H = h + \left(\frac{2 (q^2) (L^2)}{(g) (h) (b^2)} \right)^{0.5}$$

Donde:

H = Tirante, m

q = 0.0025 m³ / s / m, (Gasto unitario)

L = 26.39 m, (longitud por ramal)

$$H = 0.1211 + \left(\frac{2 (0.0025^2) (26.39^2)}{(9.81) (0.1211) (0.5^2)} \right)^{0.5}$$

H = 0.2096 m, (H = 0.21 m)

III. 6. 4 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

A) FILTROS ROCIADORES

Los filtros rociadores corresponden a los sistemas de tratamiento biológico aerobio con biopelícula fija y donde el contacto de los microorganismos se da al fluir el agua, a través de lecho empacado contenido en un tanque, normalmente circular. El oxígeno se suministra en forma natural aprovechando los gradientes de temperatura y se difunde entre los espacios vacíos del medio de empaque. La eficiencia del proceso es función directa de las características del empaque, la temperatura, profundidad del lecho y de la carga orgánica volumétrica. Las partes representativas de este tratamiento comprenden: tanque contenedor del empaque, distribuidor rotatorio del agua residual, sistema de alimentación, medio de empaque, canales recolectores de fondo, canal y tubería de ventilación. El proceso requiere del auxilio de sedimentación primaria y secundaria, para reducir carga de sólidos y remover sólidos desprendidos, respectivamente.

- Datos

Gasto medio (año 2010), l / s	375.0
DBO total del influente, mg / l	154.0
Carga orgánica aplicada, Kg / d	4,990.0
Temperatura media del agua, °C	26.0

- Criterios de diseño

Carga hidráulica superficial, m ³ / m ² x día	3.45 – 9.5
Constante cinética de Bio – Oxidación _{0.5}	
a 20° C, (l/m ² - s)	0.003 - 0.004
Área Esp. del medio de empaque, m ² / m ³	50 – 55
Eficiencia en remoción de DBO, %	70 – 80
Carga orgánica volumétrica, Kg / m ³ – d	0.2 – 0.5

- Características

Clasificación en función de cargas

Hidráulica y orgánica Tasa media

Impulso del distribuidor	Carga Hidráulica
Medio de empaque	Natural
Ventilación	Natural
• Resumen	
Número de filtros, Módulos	5
Area superficial, m2	5,700.0
Volumen m3	9,260.0
• Resultados por Módulo	
Area superficial, m2	1,140.0
Diámetro, m	38.10
Volumen, m3	1,852.0
Profundidad efectiva, m	1.60
Carga Hidráulica superficial m3 / m2 x día	5.70
Carga orgánica volumétrica, Kg DBO / m3 x día	

El diseño de los filtros se desarrollará con la ecuación cinética siguiente:

$$\frac{Se}{So} = \frac{\exp \left((-kt) \frac{(As)(D)}{qo} \right)^n}{(1 + R) - R \exp \left((-kt) \frac{(As)(D)}{qo} \right)^n}$$

1

En donde:

Se = Concentración de DBO en el efluente, mg / l

So = Concentración de DBO en el influente, mg / l

Kt = cte. De Bio – Oxidación a la T del agua, (l / m2 x día) 0.5

Kt = K20 x 1.035 (τ - 20), (Corrección de K20 por temperatura)

As = Área específica del empaque, m2 /m3

D = Profundidad del lecho, m

qo = Carga hidráulica superficial, (Se propone 7 m3 / m2 x día)

2 - 5

q_r = Carga hidráulica superficial, considerando la recirculación, l / m

$$q_r = q_o (1 + R)$$

n = cte. en función del medio, (medio natural, $n = 0.5$)

R = Relación de recirculación, %

Debido a que no se considera recirculación en los filtros, la ecuación 1 adopta la siguiente forma:

$$\frac{S_e}{S_o} = \exp \left(- (kt) (As) (D) / q_r \right)^n \quad \boxed{2}$$

Alternativa No. 1

Datos

$$Q = 75 \text{ l / s, (6,480 m}^3 \text{ / d)}$$

$$S_o = 154 \text{ mg / l, (998 Kg DBO / d)}$$

$$T_{med} = 26 \text{ }^\circ\text{C} \quad 0.5$$

$$K_{20} = 0.0030 \text{ (l / m}^2 \text{-s)}$$

$$q_o = 7.0 \text{ m}^3 \text{ / m}^2 \text{ x día (0.081 l / m}^2 \text{ x s)}$$

$$As = 52 \text{ m}^2 \text{ / m}^3$$

Remoción en DBO = 75 %

- Dimensionamiento

Profundidad del lecho

De la ecuación 2 se tiene,

$$D = \frac{\ln (S_e/S_o) q_o}{(Kt) (As)} \quad \boxed{3}$$

Corrección de K_{20} por temperatura

$$K t = (0.0030) (1.035)^{(26 - 20)}$$

$$K t = 0.0037 \text{ (l / m}^2 \times \text{s)}^{0.5}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 3 se tiene:

$$D = \frac{\text{Ln} (38.5/154) 0.081}{(0.0037) (52)^{0.5}}$$

$$D = 2.00 \text{ m}$$

Area superficial

$$A = Q / q_0$$

$$A = 6480 / 7.0 = 925.71 \text{ m}^2 = 926 \text{ m}^2$$

Diámetro del filtro

$$d = ((4) (926) / \pi)^{0.5} = 34.33 \text{ m}$$

Volumen del tanque

$$V = (926) (2.0) = 1,852 \text{ m}^3 \text{ (Volumen definitivo)}$$

Revisión por carga orgánica volumétrica

$$\text{C.O.V.} = (998) / (1,852)$$

$$\text{C.O.V.} = 0.54 \text{ Kg DBO / m}^3 \text{ - día (ligeramente excedida del limite 0.5)}$$

DIMENSIONAMIENTO DEFINITIVO

En función de sistema de distribución estándar se establecerá un diámetro de 38.1 m, modificándose el área superficial y la profundidad del medio de empaque, en la forma siguiente:

$$d = 38.1 \text{ m (Diámetro para distribuidor estándar)}$$

$$A = \pi (38.1)^2 / 4$$

$$A = 1140 \text{ m}^2 \text{ (Definitiva)}$$

$$D = 1852 / 1140$$

$$D = 1.62 \text{ m (Se ajusta a 1.60 m Definitiva)}$$

En estas condiciones la carga hidráulica superficial de 7.0 m³ / m²-d se modifica por el cambio de área superficial, con el siguiente valor:

$$q_0 = 6480 / 1140$$

$$q_0 = 5.68 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{día} \quad (0.066 \text{ l} / \text{m}^2 \times \text{s})$$

Alternativa No. 2

Condiciones de diseño

$$q_0 = 8.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{día} \quad (0.0925 \text{ l} / \text{m}^2 \times \text{s})$$

$$E = 75 \% \text{ (Remoción de DBO)}_{0.5}$$

$$K_{20} = 0.0035 \text{ (l} / \text{m}^2 \cdot \text{s)}$$

$$A_s = 5 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

- Dimensionamiento

Profundidad del Filtro_{0.5}

$$D = \frac{\text{Ln}(S_e/S_o) q_0}{(K_t) (A_s)}$$

Corrección de Kt por temperatura_(26 - 20)

$$K_t = (0.0035) (1.035)_{0.5}$$

$$K_t = 0.0043 \text{ (l} / \text{m}^2 \times \text{s)}$$

$$D = \frac{\text{Ln} (38.5/154) 0.092}{(0.0043) (52)}_{0.5}$$

$$D = 1.85 \text{ (Dentro del ámbito: 1.8 – 2.4 m)}$$

Área superficial

$$A = 6480 / 8 = 810 \text{ m}^2$$

Diámetro del filtro

$$d = (4 \times 810 / \pi)^{0.5} = 32.11 \text{ m}$$

Volúmen del tanque

$$V = (810) (1.85) = 1498.5 \text{ m}^3$$

Revisión por carga orgánica volumétrica

$$\text{C.O.V.} = (998) / (1498.5)$$

$$\text{C.O.V.} = 0.67 \text{ Kg / m}^3 - \text{día} \text{ (Excedida del lim. Max. Permissible, } 0.5 \text{ Kg/m}^3 - \text{día)}$$

Alternativa No. 3

Condiciones de diseño

$$q_0 = 9.0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{día} \text{ (} 0.104 \text{ l / m}^2 \times \text{s)}$$

$$E = 75 \% \text{ (Remoción de DBO)}_{0.5}$$

$$K_{20} = 0.0040 \text{ (l / m}^2 \cdot \text{s)}$$

$$A_s = 52 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

$$R = 0$$

- Dimensionamiento

Profundidad del Lecho

$$D = \frac{\text{Ln}(S_e/S_o) q_0}{(K_t) (A_s)}_{0.5}$$

Corrección de Kt por temperatura

$$K_t = (0.0040) (1.035)^{(26 - 20)_{0.5}}$$

$$K_t = 0.0049 \text{ (l / m}^2 \times \text{s)}$$

$$D = \frac{\text{Ln} (38.5/154) 0.104}{(0.0049) (52)}_{0.5}$$

$$D = 1.72 \text{ m}$$

Área superficial

$$A = 6480 / 9 = 720 \text{ m}^2$$

Diámetro del filtro

$$d = \left(4 \times 720 / \pi \right)^{0.5} = 30.27 \text{ m}$$

Volúmen del tanque

$$V = (720) (1.72) = 1238.4 \text{ m}^3$$

Revisión por carga orgánica volumétrica

$$\text{C.O.V.} = (998) / (1238.4)$$

$$\text{C.O.V.} = 0.81 \text{ Kg} / \text{m}^3 - \text{día} \text{ (Excedida del lím. Max. Permisible, } 0.5 \text{ Kg} / \text{m}^3 - \text{día)}$$

B) ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

	DETERMINACIONES		
	No. 1	No. 2	No. 3
• CONDICIONES DE DISEÑO			
Eficiencia	75	75	75
Carga Hidráulica	5.6	8	9
Constante Cinética a 20° C, (l/m ² x día) * 0.5	0.003	0.003	0.003
Area Esp. del Medio, m ² /m ³	53	53	53
recirculación, %	0	0	0
• RESULTADOS			
Diámetro del Tanque, m	38.10	32.11	30.30
Area Superficial, m ²	1,140.0	810.0	720.0
Profundidad del Lecho, m	1.60	1.85	1.72
Volumen del tanque, m ³	1,852.0	1,498.5	1,238.4

- REVISIÓN

Carga orgánica volumétrica Kg DBO/m ³ x día	0.54	0.67	0.81
---	------	------	------

Para determinar el equilibrio óptimo entre la eficiencia condicionada de 75% y la económica del filtro, se procedió a evaluar la carga orgánica volumétrica más próxima o ligeramente superior al nivel máximo permisible de 0.5 kg. DBO/m³ x día en función de la carga hidráulica aplicada, en esta forma, la alternativa No. 1 resulta el diseño óptimo, debido a que en las evaluación se consideran las condiciones de máximo rendimiento del proceso, no se puede dar margen al manejo de mayores cargas orgánicas volumétricas, sin comprometer la eficiencia.

Sistema de Bajo Dren

Datos

Diámetro del Filtro = 38.10 m

Área Superficial = 1140 m²

RECOLECCIÓN DEL EFLUENTE

Las aguas del efluente se recolectarán por medio de canales construidos en la losa del fondo. Los canales descargan en un canal central rectangular, construido a lo largo del diámetro del tanque.

ÁREA DE LAS CANALETAS

$$A = (1140) (0.15) = 171 \text{ m}^2 \quad (\text{Considerando el 15 \% del área del tanque})$$

LONGITUD PROMEDIO DE LAS CANALETAS

$$L = 1140 / 38.10 = 29.92 \text{ m}$$

NÚMERO DE CANALETAS

Considerando un ancho de las canaletas de 4 cm = 0.04 m

$$N = 171 / (29.92) (0.04)$$

$$N = 142.88 \quad (N = 143 \text{ Canaletas})$$

SEPARACIÓN ENTRE VERTEDORES

$$l = 38.10 / 143 \text{ Canales}$$

$$l = 0.266 \text{ m / Canal, } (l = 28 \text{ cm})$$

CORRECCIÓN DEL No. DE CANALETAS

$$N = 38.10 / 28$$

$$N = 136 \text{ Canales (14.3 \% del área total)}$$

DIMENSIONAMIENTO DE CANALETAS

Forma trapezoidal

Ancho Superior = 4.0 cm (Dimensión menor del medio de empaque
6.35 cm)

Ancho del Fondo = 2.5 cm

Profundidad = 10 cm

Tirante Máximo del Agua = 400 cm

Separación Entre Vertedores = 28.0 cm

Pendiente de las Paredes = 0.075 %

Pendiente de los canales hacia el recolector central = 1 %

Espacio de Ventilación = 50 %

CANAL RECOLECTOR CENTRAL

Datos

- CANAL RECTANGULAR

$$Q_{\max} = 0.135 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$S = 0.005$$

- TIRANTE EN EL CANAL

$$h_c = Q / (b) \quad (g)$$

DONDE:

h_c = Tirante, m

b = Ancho del Canal, m ($b = 0.50$ m)

$g = \text{Aceleración de la Gravedad, m/s}^2$

$$h_c = 0.135 / (0.5)^{0.33} (9.81)$$

$$h_c = 0.1983 \text{ m, (} h_c = 0.20 \text{ m)}$$

Tirante a la plantilla de los canales recolectores, (punto de salida)

$$H = 0.40 \text{ m}$$

Losas para cubrir el canal central

$$\text{Longitud} = 1.00 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 0.70 \text{ m}$$

$$\text{Espesor} = 0.10 \text{ m}$$

- VENTILACIÓN

Área de ventilación, por gradiente de temperatura

$$A_v = \text{Área del tanque} \times 0.1 \%$$

$$A_v = 1,140 \text{ m}^2 \times 0.001 = 1.14 \text{ m}^2$$

Número de tubos de ventilación

Tubos de PVC con diámetro de 20 cm

$$\text{Diámetro nominal} = 20.32 \text{ cm}$$

$$A = (\pi) (0.2032)^2 / 4 = 0.03243 \text{ m}^2$$

$$N = 1.14 / 0.03243$$

$$N = 35.15 \quad 36 \text{ Tubos}$$

Espaciamiento entre tubos

$$P = (\pi) (37.90) = 119.07$$

$$E = 119.07 / 36$$

$$E = 3.31 \text{ m, (Considerando } E = 3.0 \text{ m)}$$

$$N = 119.07 / 3 = 39.7 \text{ Tubos}$$

$N = 40$ Tubos (Área de ventilación = 0.13 %)

Dimensiones del canal periférico de ventilación

$L = 119.07$ m

$b = 0.20$ m

$h = 0.10$ m

III. 6. 5 SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA

- Datos

Gasto medio (Año 2010) l/s	375
DBO total del influente mg/l	38.5
Carga de DBO, Kg/d	349.5
SST del influente, mg/l	148
Carga de sólidos, Kg/d	959

- Criterios de Diseño

Tiempo de retención hidráulica, h	1.5 – 2.0
Carga hidráulica superficial m ³ /m ² x día	16 – 25
Eficiencia en Remoción de DBO, %	20 - 30
Eficiencia en Remoción de SST, %	60 – 80

- Características

Forma	Circular
Recolección de lodos y natas	Mecánica
Alimentación	Central
Eficiencia en Remoción de DBO, %	30
Eficiencia en Remoción de SST, %	80

- Resumen

Número de Sedimentadores, módulos	5
Área superficial, m ²	1,315.0
Volúmen, m ³	2,700.0
Producción de sólidos totales, Kg/d	3,811.0
Volúmen de los lodos producidos, m ³ /d	128
SST en el efluente, mg/l	29.6
DBO en el efluente, mg/l	27.0

- Resultado por módulo

Área superficial, m ²	263.0
Diámetro, m	18.3
Tirante del agua, m	2.7
Bordo libre, m	0.3
Volúmen de lodos producidos, m ³	25.40
Frecuencia de purga de lodos, veces/d	6
Volúmen de lodos por purga, m ³	4.23
Pendiente del fondo del tanque, relación	12:1

- Tolva de lodos

Diámetro, m	3.0
Área superficial, m ²	4.82
Altura, m	0.90
Diámetro de la tubería de alimentación m	0.355

- Vertedores en "V" de 90°

Longitud de vertedores, m	57.5
---------------------------	------

Número de vertedores, No	287
Gasto por vertedor, l/s	0.26
Carga mínima, cm	3.24
Carga máxima, cm	4.10
Altura máxima, cm	6
Ancho, cm	12
• Canal del efluente	
Número de ramales, No	2
Longitud por ramal, m	28.75
Ancho, m	0.5
Tirante de agua, m	0.13
Tirante disponible, m	0.40
Diámetro de la tubería del efluente, m	0.355
• Diseño del Sedimentador	
Datos	
$Q = 75 \text{ l/s, (6,480 m}^3\text{/d)}$	
DBO Influyente = 38.5 mg/ (249.5 Kg/d)	
SST Influyente = 148.0 mg/ (959 Kg/d)	
$Tr = 2.0 \text{ h (120 min)}$	
$q_0 = 25 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{-d (0.29 L / m}^2 \text{ x s)}$	
Remoción de DBO = 30 % (11.55 mg/l, 75 Kg/d)	
Remoción de SST = 80 % (132 mg/l, 857 Kg/d)	
$q \text{ máx en vertedores} = 248 \text{ m}^3\text{/m}^*\text{d, (2.87 l/m - s)}$	

- Dimensionamiento

Área superficial

$$A_s = 6480 / 25 = 259.2 \text{ m}^2$$

Diámetro

$$d = ((4 \times A) / \pi)^{0.5}$$

$$d = ((4 \times 259.2) / 3.1416)^{0.5}$$

$$d = 18.2 \text{ m (Ajustado a 18.29 m, rastra estándar)}$$

Volúmen

$$V = (Tr) (6480) (1 / 24)$$

$$V = (2.0) (6480) (1 / 24) = 540 \text{ m}^3$$

Altura

$$H = 540 / 262.73 = 2.06 \text{ m}$$

Incremento por pendiente del fondo

$$S = 0.0833 \text{ (12:1)}$$

Diámetro de tolva de lodos = 3.0 m

$$H_1 = (0.0833) (7.644) = 0.64 \text{ m}$$

Altura total

$$H_t = 2.06 + 0.64 + 0.30 = 3.0 \text{ m}$$

Tolva de lodos

Volúmen de lodos producidos

$$P_s = \text{Kg SST} / d \times \text{Eficiencia}$$

$$P_s = (959) (0.80) = 767.2 \text{ Kg/d}$$

Considerando densidad de lodos del 3%

$$V_s = P_s / \text{Densidad}$$

$$V_s = 767.2 / 30 = 25.6 \text{ m}^3 / \text{d}$$

Considerando frecuencia de purga de lodos 6 veces / día

Volúmen por purga

$$V_p = 25.6 / 6 = 4.26 \text{ m}^3$$

Tubería de alimentación

Diámetro de la tubería de alimentación

$$A = 0.0833 \text{ m}^2$$

$$d = 0.326 \text{ m} \quad (\text{se utilizara tubo de 14"})$$

Tolva de lodos

Datos

$$D = 3.0 \text{ m} \text{ (Diámetro de la tolva)}$$

$$s = 1 : 0.5 \text{ (Pendiente de la pared inclinada)}$$

$$V = 4.3 \text{ m}^3 \text{ (Volúmen de lodos por purga)}$$

$$d = 0.90 \text{ m} \text{ (Diámetro de la columna central)}$$

Dimensionamiento

Considerando un profundidad de 0.90 m

$$V = 0.572 \text{ m}^3 \text{ (Volúmen con paredes verticales)}$$

$$V = (0.572) (0.75) \text{ (Volúmen con pared exterior con pendiente)}$$

$$V = 4.29 \text{ m}^3 \text{ (Volúmen de lodos = 4.26 m}^3\text{)}$$

Vertedores "V" de 90°

Longitud de vertedores

$$L_v = (3.1416) (18.29) = 57.45 \text{ m}$$

Carga hidráulica en vertedores

$$C_v = 6450 / 57.45$$

$C_v = 112.8 \text{ m}^3 / \text{m} \cdot \text{d}$, (Límite máx. Permisible $248 \text{ m}^3 / \text{m} \cdot \text{d}$)

Número de vertedores

$N = L_v \times \# \text{ de vertedores} / \text{m}$ (se consideran 5 vertedores / m)

$N = (57.45) (5) \text{ vertedores} / \text{m}$

$N = 287 \text{ Vertedores}$, (Espacio entre vertedores, 0.20 m)

Gasto por vertedor

$q = 112.815 \text{ m}$

$q = 22.56 \text{ m}^3 / \text{d}$, (0.26 l/s)

Carga hidráulica mínima en cada vertedor

$$h = (q / 0.01381)^{0.4}$$

$$h = (0.26 / 0.01381)^{0.4} = 3.24 \text{ cm}$$

Carga hidráulica máxima en cada vertedor

$q_{\text{max}} = 0.47 \text{ l/s}$, (Coef. De Harmon = 2.17)

$$h = (0.47 / 0.01381)^{0.4} = 4.1 \text{ cm}$$

Se considera $h = 6 \text{ cm}$, con longitud de la parte superior horizontal igual a 12 cm

Canal recolector del efluente

Datos

Ancho del canal = 0.50 m (Supuesto)

Dos ramales de descarga

Gasto por ramal = 67.5 l/s

Diámetro de la tubería del efluente = 0.355 m ($14''$)

Tirante del agua en el punto de salida

$$h = Q^2 / (b^2 (g))^{0.33}$$

Donde:

$h = \text{Tirante, m}$

Q = Gasto por ramal, m³/s

b = Ancho del canal, m

g = Aceleración de la gravedad, m/s²

$$h = 0.0675 / (0.5)^{0.33} \quad (9.81)$$

$$h = 0.125 \text{ m} \quad (h = 0.13 \text{ m})$$

Tirante en el punto mas alejado de la salida

$$H = h + \left(\frac{2 (q)^2 (L)^2}{(g) (h) (b)^2} \right)^{0.5}$$

En donde

H = Tirante, m

q = 0.00234 m³ / s-m, (Gasto unitario)

L = 28.72 m

$$H = 0.125 + \left(\frac{2 (0.00234)^2 (28.72)^2}{(9.81) (0.125) (0.5)^2} \right)^{0.5}$$

$$H = 0.21 \text{ m}$$

III. 6. 6 CLORACIÓN

La cloración es un proceso químico de desinfección de las aguas residuales consistente en la destrucción de los organismos patógenos por la acción oxidante del cloro que se ejerce sobre la materia celular. La desinfección requiere la dosificación suficiente de cloro para cubrir la demanda primaria para la oxidación del amoníaco, ácido sulfhídrico y formas reducidas de metales (fe y mn, entre otros), de manera que cubierta esta demanda se disponga de cloro libre para la oxidación de la materia celular y, resulte en el efluente una concentración de cloro residual, preestablecida. En estas condiciones, la eficiencia de la desinfección es función de la dosificación de cloro y del tiempo de contacto del medio agua - cloro.

A. DEMANDA DE CLORO

- GASTOS MEDIOS

$$Q = 302 \text{ l/s (Primera etapa, año 2000)}$$

$$Q = 375 \text{ l/s (Segunda etapa, año 2010)}$$

- DEMANDA PRIMERA ETAPA

$$D_1 = (8.0) (302) (86,400) / 10$$

$$D_1 = 209.0 \text{ Kg/d}$$

- DEMANDA SEGUNDA ETAPA

$$D_2 = (8.0) (375) (86,400) / 10$$

$$D_2 = 259.0 \text{ Kg/d}$$

B. MANEJO DEL GAS CLORO

Suministro en tanques de 1.0 Ton (908 Kg de cloro)

Capacidad de extracción / cilindro = 165 Kg/d (a 2.4 Kg/cm² y 21°)

Duración de cilindros en operación

- Primera etapa

$$D = (2 \times 908) / 209$$

$$D = 8.70 \text{ Días}$$

- Segunda etapa

$$D = (2 \times 908) / 259$$

$$D = 7 \text{ Días}$$

Almacenamiento para 20 días de operación (No. de cilindros)

- Primera etapa

$$N = 20 / 8.70$$

$$N = 2.3 \text{ (Módulos de los cilindros)}$$

$N = 5$ cilindros

$N = 2$ en operación + 5 de almacenamiento $N = 7$

- Segunda etapa

$N = 20 / 7$

$N = 2.85$ (Módulos de los cilindros)

$N = 6$ cilindros

$N = 2$ en operación + 6 de almacenamiento $N = 8$

Espacios

Se requerirán nueve espacios: ocho espacios para alojamiento de los cilindros en operación (2) y almacenamiento (6), y un espacio para maniobras de reposición.

- Longitud

$$L = (20) (4.5) = 90 \text{ m}$$

- Conformación del tanque

Considerando un tanque de cuatro ramales

Longitud por ramal

$$L_r = 90 / 4 = 22.5 \text{ m}$$

- Revisión

Relación largo – ancho

$$R = L_r / b \times 4$$

$$R = 22.5 / 2.3 \times 4$$

$$R = 2.44 \text{ (Relación 2.5: 1)}$$

- Tiempo de retención para Q med, actual 225 l/s

$$V = 0.225 / 5 = 0.045 \text{ m/s (2.7 m/min)}$$

$$T_r = 90 / 2.7 = 33.3 \text{ min (Excede al máximo recomendado)}$$

- Altura del tanque
 $H = 2.17 + 0.43 = 2.60 \text{ m}$
- Muros de ramales
 $L = 20.5 \text{ m}$
 $h = 2.37 \text{ m}$
 $e = 0.30 \text{ m}$ (e = espesor)
- Área superficial del tanque
 $A_s = (22.5) (10.1) = 227.0 \text{ m}^2$
- Volumen del tanque
 $V = (227.0) (2.6) = 590.2 \text{ m}^3$

C. TANQUE DE CONTACTO DE CLORO

- Datos

Gasto medio (año 2010), l/s	375
Gasto máximo (año 2010), l/s	800
- Criterios de diseño

Tiempo de retención hidráulica, min	15 – 30
Velocidad de flujo, m/s	0.075 – 1.5
- Características

Forma	Rectangular
Configuración	Ramales múltiples
Régimen de flujo	Turbulento – Laminar
- Resumen

Número de tanques, unidades	1
Área superficial, m ²	227

Volúmen, m ³	590
• Resultados	
Largo, m	22.5
Ancho, m	2.30
Tirante máximo del agua, m	2.17
Altura del tanque, m	2.60
• Ramales	
Número de ramales, No.	4
Área transversal, m ²	5.0
Ancho, m	2.3
• Dimensionamiento	
Área transversal	
$At = (0.375) / (0.075) = 5.0 \text{ m}^2$	
• Tirante del agua	
$h = 5.0 / 2.3 = 2.17 \text{ m}$	

III. 6. 7 TRATAMIENTO DE LODOS

A. DIGESTION AEROBIA

La digestión aerobia es un método alternativo para el tratamiento de lodos producidos por los diferentes procesos de tratamiento biológico, conforme la materia orgánica disponible se termina, los microorganismos comienzan a consumir su propio protoplasma para obtener energía para el mantenimiento de las células (fase endógena). Solamente del 75 al 80% de las células de los tejidos pueden ser oxidadas, el resto está formado de componentes inertes y orgánicos no biodegradables. Cuando se digieren aerobiamente lodos activados o lodos de filtros biológicos mezclados con lodos primarios, tomo lugar la oxidación directa de la materia orgánica en el lodo primario y la oxidación endógena de las células de los tejidos

a) Datos

- Producción de lodo primario (año 2010), Kg/d	4,287.0
- Gasto de lodo primario (año 2010), m3/d	143.0
- Producción de lodo secundario (año 2010), Kg/d	3,836.0
- Gasto de lodo secundario (año 2010), m3/s	128.0
- Gasto de lodo total (año 2010), m3/s	271.0

b) Criterios de diseño

- Tiempo de retención hidráulico, día	18 –22
- Carga de sólidos, Kg ssv /m3 x día	0.32 – 6.41
- Requerimientos de oxígeno, Kg o ₂ /Kg DBO rem	2.0
- Requerimientos de energía para la mezcla, HP/ 1000 m3	30.0
- Concentración de oxígeno disuelto mínimo, mg /l	1 – 2

c) Características

- Forma del digestor	Rectangular
- Tipo de alimentación	Lateral
- Eficiencia de oxidación, %	65

d) Resumen

- Número de digestores, módulos	5
- Volúmen, m3	975.6
- Carga de sólidos Kg/m3 x día	1.66
- Profundidad, m	4.0
- Área, m2	243.9
- Largo, m	22.1
- Ancho, m	11.05

- Requerimientos de oxígeno, Kg/h	88
- Potencia total, HP	80
- Número de aereadores	2

e) Diseño del digestor

e.1) Datos

- $Q = 54.2 \text{ m}^3/\text{d}$ (Por módulo de 75 lps)
- $T_r = 18 \text{ d}$
- $q_o = 3.4 \text{ Kg ssv} / \text{m}^3 \times \text{día}$
- Eficiencia = 75 %

e.2) Dimensionamiento

- Volúmen del digestor

$$V = (54.2) (18) = 975.6 \text{ m}^3$$

- Verificando la carga de sólidos

$$C_s = 1,624.6 / 975.6 = 1.66 \text{ Kg} / \text{m}^3 \times \text{día}$$

- Profundidad efectiva

$$P = 4.0 \text{ m}$$

- Área total

$$A = 975.6 / 4 = 243.9 \text{ m}^2$$

- Largo y ancho

$$\text{Para } L = 2^{\frac{A}{P}}$$

$$A = (243.9) / 2 = 11.04 \quad 11.05$$

$$L = 2 (11.05) = 22.10 \text{ m}$$

e.3) Requerimiento de oxígeno

Considerando que el 0.675 de las células son oxidadas completamente y que los requerimientos de oxígeno son de 2 Kg O₂ / Kg ssv.

$$RO_2 = (1,624 \text{ 6}) (0.675) (2) = 2111.98 \quad 2112 \text{ Kg / día}$$

$$RO_2 = 88 \text{ Kg / h}$$

e.4) Requerimiento de potencia

$$N = (1.25) (0.90) \frac{(8.8 - 1)}{9.1} (1.024)^{(26 - 20)}$$

$$N = 1.25 (0.8894) = 1.112 \text{ Kg } O_2 / \text{HP} \times \text{h}$$

$$\text{Pot} = 88 / 1.112 = 79.13 \quad 80 \text{ HP}$$

Se seleccionaran dos aeradores superficiales de 40 HP cada uno. Con dicha potencia se satisfacen los requerimientos por mezclado.

B. LECHO DE SECADO

Los lechos de secado se usan para deshidratar los lodos digeridos. El lodo se dispone sobre los lechos, en capas de 20 a 30 cm, para su secado. La deshidratación del lodo ocurre por filtración del agua a través del medio filtrante y por la evaporación del agua de la superficie del lodo, con la luz solar. La filtración se lleva a cabo, generalmente, entre 1 a 2 días, dependiendo de las características del lodo y de la profundidad a la cual este expuesto en los lechos. El tiempo de deshidratación, por evaporación, dependerá de las condiciones climatológicas. Los lodos resultantes tienen un contenido de humedad del 20 al 30 % y se pondrán remover manual o mecánicamente.

a) Datos

- Densidad del lodo, Kg/l	1.03
- Concentración de sólidos, %	3 – 5
- Gasto, Kg / día	4,874

b) Criterios de diseño

- Concentración de sólidos antes de la percolacion, %	5
- Concentración de sólidos después de la percolacion, %	20
- Concentración de sólidos después de la evaporación, %	25
- Tasa de aplicación por unidad, m	0.3

c) Resumen

- Cantidad de agua percolada, Kg/m2	77.25
-------------------------------------	-------

- Cantidad de agua después de la evaporación, Kg/m ²	61.80
- Cantidad de agua evaporada, Kg/m ²	15.45
- Lámina de agua evaporada, mm	15
- Tiempo de secado, días	42
- Área requerida, Ha	1.325
- Área por módulo, m ²	530
- Largo por módulo, m	39.90
- Ancho por módulo, m	13.30

d) Diseño

- Cantidad de lodo aplicado por unidad de área

$$C1 = (0.30) (1,030) = 309 \text{ Kg/m}^2$$

- Cantidad de lodo seco antes de la percolacion

$$Lap = (309) (0.50) = 15.45 \text{ Kg/m}^2$$

- Peso de lodo seco después de la percolacion

$$Pdp = (15.45) / (0.20) = 77.25 \text{ Kg/m}^2$$

- Peso de lodo seco después de la evaporación

$$Pde = (15.45) / (0.25) = 61.8 \text{ Kg/m}^2$$

- Cantidad de agua evaporada

$$Cac = 77.25 - 61.8 = 15.45 \text{ Kg/m}^2 \text{ lecho } \quad \delta$$

$$Cac = (15.45) / (1,030) = 0.015 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

- Lamina de agua a evaporar por unidad de área

$$La = (15.45 / 1,030) (1 / 10) = 1.5 \text{ cm} = 15 \text{ mm}$$

- Tiempo de secado

De acuerdo con los registros climatológicos de la localidad, el tiempo de secado será:

$$t_s = 41.9714 = 42$$

- Área requerida

$$A = (4874)(42) / 15.45 = 13249.71 \text{ m}^2 = 1325 \text{ Ha}$$

- Número de módulos

El número de módulos será de 25

- Área por modulo

$$A = (13250) / 25 = 530 \text{ m}^2 / \text{módulo}$$

- Largo y ancho

$$\text{Para } L = 3a$$

$$a = (530) / 3 = 13.29 \quad 13.30 \text{ m}$$

$$L = 3 (13.30) = 39.90 \text{ m}$$

B. CÁRCAMO DE BOMBEO DE LODOS

El cárcamo de bombeo recibirá los lodos de los sedimentadores primarios y secundarios para elevarlos a los digestores aerobios, para su estabilización y posteriormente disponer de carga hidráulica suficiente para que el lodo fluya por gravedad a los lechos de secado.

a) Datos

$$Q_1 = (\text{Lodos del primario}) = 28.6 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{módulo}$$

$$Q_2 = (\text{Lodos del secundario}) = 25.6 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{módulo}$$

$$Q_t = (28.6 + 25.6) 3 = 162.6 \text{ m}^3/\text{día} (1.9 \text{ l/s})$$

$$Q_r = (28.6 + 25.6) = 271.0 \text{ m}^3/\text{día} (3.14 \text{ l/s})$$

$$T_r \text{ max} = 30 \text{ min}$$

$$T_{rb} = 15 \text{ min}$$

b) Dimensionamiento

- Volúmen

$$V = (162.6) (30) / 1,440 = 3.3875 = 3.4 \text{ m}^3$$

- Área

Para un tirante útil de 1.10 m

$$A = 3.4 / 1.1 = 3.091 = 3.10 \text{ m}^2$$

- Largo y ancho

Para $L = A$

$$L = 1.76 = 1.80 \text{ m}$$

$$A = 1.80 \text{ m}$$

c) Niveles de operación

$$N \text{ máx} = 1.40$$

$$N \text{ med} = 1.10$$

$$N \text{ mín} = 0.15$$

Determinados en función de las capacidades de bombeo y regulados por medio de electroniveles.

d) Sistema de bombas

En función de los gastos de diseño y de proyecto o futuro, se podrá optar por alguna de las alternativas siguientes:

Alternativas

- 3 bombas en operación + una en reserva para 10 L /s
- 2 bombas en operación + una en reserva para 20 L /s
- 1 bomba en operación + una en reserva para 30 L /s

La segunda alternativa será la más conveniente ya que la primera implica ampliar el cárcamo y en la tercera se tendrá de inmediato capacidad de sobra.

Especificaciones

- Bomba sumergible inatascable
- Diámetro de impulsor 200 mm
- Paso de esfera 64 mm
- Motor de 5 HP jaula de ardilla 3 fases, 60 HZ 440/220 V

D. CÁRCAMO DE BOMBEO DE LIXIVIADOS

Este cárcamo de bombeo recibirá los lixiviados o percolado de los lechos de secado para enviarlos al cárcamo de bombeo o al canal de eliminación de los sedimentadores primarios.

a) Datos

$$Q_m = 85 \text{ m}^3 / \text{día} \text{ (1.0 ms)}$$

$$Q_{\max} = 153 \text{ m}^3 / \text{día} \text{ (1.8ms)}$$

$$T_r \text{ max} = 60 \text{ min}$$

$$T_{rb} = 10 \text{ min}$$

b) Dimensionamiento

- Volúmen

$$V = (0.0018) (60) (60) = 6.48 = 6.5 \text{ m}^3$$

- Área

Para un tirante útil de 1.30 m

$$A = 6.5 / 1.3 = 5.0 \text{ m}^2$$

- Largo y ancho

Para $L = a$

$$L = 2.236 = 2.25 \text{ m}$$

$$a = 2.25 \text{ m}$$

c) Niveles de operación

$$N_{\max} = 1.50$$

$$N_{\text{med}} = 1.30$$

$$N_{\min} = 0.15$$

Determinados en función de las capacidades de bombeo y regulados por medio de electroniveles.

$$Q = (77.25 \text{ Kg}) (1 / 1002 \text{ m}^3 / \text{Kg}) (13,250 \text{ m}^2) (1 / 12 \text{ día}) = 85.13 \text{ m}^3 / \text{día}$$

d) Sistema de bombas

En función de los gastos de diseño y de proyecto o futuro, se podrá optar por alguna de las alternativas siguientes:

Alternativas

- 2 bombas en operación + una en reserva para 1 L /s
- 1 bomba en operación + una en reserva para 2 L /s

La segunda alternativa será la más conveniente ya que la primera implicara mayor numero de equipo de bombeo y para los periodos de operación, no se justifica.

Especificaciones

- Bomba sumergible inatascable
- Diámetro de la descarga 51 mm
- Paso de esfera 6 mm
- Motor de 1 HP jaula de ardilla, 3 fases, 44/220 Volts

$$\text{hp} = \frac{(2) (18) (1.002)}{(76) (0.65)} = 0.73 = 0.75 \text{ HP}$$

CAPITULO IV. APROVECHAMIENTO DEL AGUA TRATADA

El control de la contaminación de los cuerpos de agua, se debe dar a través de una política técnica y económicamente viable que comprenda el ordenamiento y la promoción del aprovechamiento de las aguas residuales.

Esa política involucra el uso eficiente del agua sustituyendo los volúmenes de agua de buena calidad utilizada en el riego y en otras actividades por aguas residuales tratadas de origen municipal, para disponer del agua de primer uso en el abastecimiento a las poblaciones.

México sufre de serios problemas de escasez de agua con la calidad requerida, a pesar de disponer de 5125 m³/hab al año. Esta escasez se debe a las variaciones temporales y espaciales del recurso, al derroche y a la contaminación. El problema podrá aliviarse en buena medida si se le diera un valor adecuado al reúso del agua residual.

Por otra parte la tendencia internacional esta siguiendo este camino como lo demuestra el hecho de que a pesar de la aparente disponibilidad de agua en diversos países, la World Federation of Scientists ha considerado el problema de la escasez y la necesidad de desarrollar prácticas de reúso, en especial el agrícola, como una de las 13 emergencias mundiales. Para afrontar este reto es indispensable que los profesionales del agua conozcan los diferentes enfoques para proponer un proyecto de reúso, así como acceder a la información más reciente.

En el ámbito nacional, la experiencia de aprovechar las aguas residuales en riego agrícola data de principios de siglo. Actualmente, su aprovechamiento se presenta dentro de un marco de escasez y conflicto por el uso del agua, en ciertas regiones donde el recurso es limitado. En algunas zonas, los agricultores prefieren el uso de aguas residuales Municipales por los efectos positivos que estas ejercen sobre los suelos y cultivos.

El reúso de las aguas residuales en el País se ha convertido en una práctica desordenada e incontrolada, que ha limitado la variedad de los cultivos que se pueden cosechar con aguas residuales, este problema se soluciona con el tratamiento de aguas residuales.

IV.I LEGISLACIÓN RELATIVA A LA DISPOSICIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En el año de 1955, en el Código Sanitario de los Estados Unidos Mexicanos, ya se contemplaba el problema de la contaminación de las aguas e indicaba acciones para proteger la salud de los habitantes de nuestro País.

Posteriormente la Secretaría de Salubridad y Asistencia logró en 1972 que se promulgara la Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación, basado en esta

Ley se expidió el "Reglamento para prevenir y controlar la contaminación de las aguas", finalmente el 1° de Diciembre de 1992 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, el que actualmente sigue vigente.

Jerarquía De Las Leyes

En nuestro país, la normatividad tiene su origen en nuestra Carta Magna, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la que en sus artículos 4º. (protección de la salud), 27 (Propiedad, ciudad y conservación de las aguas y recursos nacional) y 73, fracc. XVI (consejo de Salubridad General) norma la política ambiental a seguir para proteger la salud y el ambiente, además en su artículo 115 da la responsabilidad a los Municipios del manejo de las aguas residuales en las poblaciones, ya que según los juristas, las aguas que maneja el municipio (agua potable en los sistemas y las aguas residuales en el Alcantarillado) son las únicas que nos son de jurisdicción federal.

De los anteriores Artículos de la Constitución se deriva la Ley de Aguas Nacionales considerando al agua como propiedad de la Nación, y las Leyes de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y de Salud, en lo que respecta a la salud y al ambiente, donde además de la Federación, participan los Estados y los Municipios.

De las leyes se derivan los reglamentos, así tenemos el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, donde se regula la preservación y control de la calidad del agua, la administración del agua, los derechos de uso o aprovechamiento de aguas nacionales, los usos del agua, la prevención y control de la contaminación de las aguas, así como las infracciones y sanciones en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y el Reglamento de la Ley General de Salud en relación al uso del agua en productos, establecimientos y servicios.

De los reglamentos se derivan las Normas Oficiales Mexicanas como son en este caso las que establecen las características de las descargas a los cuerpos receptores y otras que determinan las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua potable. Además se tienen los criterios ecológicos de calidad del agua que tienen el carácter de recomendación ó guía. En el cuadro IV. 1 se presenta un resumen de la jerarquía de las leyes.

En relación al reúso de las aguas residuales tratadas, actualmente se encuentra regulada por las Normas Oficiales Mexicanas 001 y 003, así como por criterios de calidad ecológica, que a continuación se analizarán.

- **Norma Oficial Mexicana NOM – 001 – ECOL - 1996**

Fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el lunes 24 de junio de 1996, su objetivo es el de proteger la calidad de las aguas y bienes nacionales tomando en consideración el uso de los cuerpos receptores, es de carácter obligatorio para los responsables de las descargas. Cabe señalar que esta norma no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

Cuadro IV. 1 JERARQUÍA DE LAS LEYES

CONSTITUCIÓN POLITICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS		<ul style="list-style-type: none"> -ART. 4° Toda persona tiene derecho a la protección de la salud -ART. 27° Las propiedades de las tierras y aguas comprendida dentro de los límites del territorio nacional corresponde originalmente a la nación -ART. 73° Consejo de salubridad -ART. 115° Los municipios tendrán a su cargo los servicios públicos
LEYES	- DE AGUAS NACIONALES	<p>ART. 16 al 32 Derechos de uso de las aguas nacionales</p> <p>ART. 44 al 84 Usos del agua</p> <p>ART. 85 al 96 Prevención y control de la contaminación</p>
	- DE EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE	<p>ART. 117 AL 128 Se refieren a la prevención y el control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos</p>
GENERALES	- DE SALUD	<p>ART. 116 Las autoridades sanitarias son las encargadas de la protección de la salud humana</p> <p>ART. 118 Funciones de la Secretaría de Salud</p> <p>ART. 122 Prohíbe las descargas de aguas residuales en cualquier cuerpo de agua, cuyas aguas se destinan para uso o consumo humano.</p>
REGLAMENTOS	- DE LA LEY DE AGUAS NACIONALES	<p>Tiene por objeto reglamentar la Ley de Aguas Nacionales, así como puntualizar y ampliar algunos conceptos.</p>
	- DE LA LEY GENERAL DE SALUD	<p>Tiene por objeto reglamentar la Ley General de Salud, así como puntualizar y ampliar algunos conceptos</p>
NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM)	<ul style="list-style-type: none"> -001 Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales -002 Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado. -003 Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. -127 Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización 	
CRITERIOS	- ECOLOGICOS DE CALIDAD DEL AGUA	

Esta norma sintetiza y simplifica a un grupo de 18 normas mexicanas y se abrogan 42 normas oficiales mexicanas del años de 1993 que datan desde 1973, en las que se regulan diferentes parámetros tanto físicos, químicos y biológicos.

Definiciones

1. 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.

2. Aguas residuales.

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos y similares, así como la mezcla de ellas.

3. Bienes naciones

Son los bienes cuya administración están a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

4. Cuerpo receptor

La corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes naciones donde se descargan aguas residuales.

5. Descarga

La acción de verter, infiltrar o depositar aguas residuales a un cuerpo receptor.

6. Límite máximo permisible

Valor o intervalo que no debe ser excedido por el responsable de la descarga de aguas residuales que se define en términos de la concentración de contaminantes básicos y tóxicos, exceptuando el parámetro potencial Hidrógeno (pH), que se establece en sus propias unidades.

7. Riego Irrestringido

La utilización de agua destinada a la actividad de siembra cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.

8. Riego restringido

La utilización del agua destinada a la actividad de siembra cultivo y cosecha de productos agrícolas, excepto legumbres y verduras que se consumen crudas

9. Uso en riego agrícola

La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industria

CUADRO IV. 2 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS

PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RIOS				EMBALSE NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES	
	USO PUBLICO URBANO		USO EN RIEGO AGRICOLA		USO PUBLICO URBANO		USO EN RIEGO AGRICOLA		RECREACION		EXPLOTACION PESQUERA Y OTROS		ESTUARIOS		USO EN RIEGO AGRICOLA		HUMEDALES NATURALES	
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Temperatura (° C)	40	40	NA	NA	40	40	NA	NA	40	40	40	40	40	40	NA	NA	40	40
Grasas y aceites	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Sólidos suspendidos totales	75	125	100	175	40	60	75	125	75	125	100	175	75	125	NA	NA	75	125
Demanda bioquímica de oxígeno 1	75	150	100	200	30	60	75	150	75	150	100	200	75	150	NA	NA	75	150
Nitrogeno total Kjeldahl	15	25	15	25	5	10	15	25	NA	NA	NA	NA	15	25	NA	NA	NA	NA
Fosforo total	10	20	10	20	5	10	10	20	NA	NA	NA	NA	10	20	NA	NA	NA	NA

P.M = Promedio Mensual

P.D = Promedio Diario

NA. = No es aplicable

FUENTE Norma Oficial Mexicana NOM - 001 - ECOL - 1996, SEMARNAP. Diario Oficial del 24 de junio de 1996 México

CUADRO IV. 3 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES TÓXICOS

PARAMETROS (*) (miligramos por litro)	RIOS				EMBALSE NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES	
	USO PUBLICO URBANO		USO EN RIEGO AGRICOLA		USO PUBLICO URBANO		USO EN RIEGO AGRICOLA		RECREACION		EXPLOTACION PESQUERA Y OTROS		ESTUARIOS		USO EN RIEGO AGRICOLA		HUMEDALES NATURALES	
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsenico	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cianuro	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
Cromo	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	1.0	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Niquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Ptomo	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.5	1	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

P.M = Promedio Mensual

P.D = Promedio Diario

NA. = No es aplicable

(*) Medidos de manera total

FUENTE Norma Oficial Mexicana NOM - 001 - ECOL - 1996, SEMARNAP. Diario Oficial del 24 de junio de 1996 México

10 Uso público urbano

La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano.

Especificaciones

La concentración de contaminantes para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe ser superior a los valores indicados como: límite máximo permisible en los cuadros IV. 2 y 3 que corresponden a esta norma.

Las unidades del potencial de hidrógeno (pH) no deben ser mayores de 10 ni menores de 5.

El límite máximo permisible para la concentración de contaminantes patógenos para las descargas de aguas residuales vertidas a cuerpos receptores es de 1,000 y 2000 el número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario respectivamente.

Para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), el límite máximo permisible de huevos de helmintos para riego restringido es de cinco por litro, para riego irrestricto es de uno por litro.

Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales vertidas a cuerpos receptores deberán cumplir con la presente norma dentro del plazo establecido en el cuadro IV. 4 correspondiente a esta Norma Oficial Mexicana. De esta manera, el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los intervalos de población y la inversión para la construcción de la infraestructura adecuada.

CUADRO. IV. 4

FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	INTERVALO DE POBLACION
1 ENERO 2000	Mayor o igual a 50,000 habitantes
1 ENERO 2005	Mayor o igual a 20,000 habitantes
1 ENERO 2010	Mayor o igual a 2,500 habitantes

FUENTE: Norma Oficial Mexicana NOM - 001 - ECOL - 1996. SEMARNAP. Diario Oficial del 24 de junio de 1996, México

Los responsables de las descargas de manejar estabilizar y disponer de manera según los lodos primarios, biológicos y químicos, así como las basuras, arenas, grasas y aceites del tratamiento de las aguas residuales. En caso de realizar cambios en los procesos productivos y que estos modifiquen de parámetros en las descargas, los responsables deberán comunicarlos a la Comisión Nacional del Agua, y finalmente tendrán la obligación de realizar el monitoreo de las descargas de agua residuales para determinar con promedio diario y/o el mensual.

• **Norma Oficial Mexicana NOM – 003 – ECOL - 1997**

El lunes 21 de septiembre de 1998, se publicó en el Diario Oficial de la Federación esta norma, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente, así como la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente norma desde la producción del agua tratada hasta su reúso o entrega, incluyendo la conducción de la misma.

Definiciones

1. Aguas residuales tratadas

Son aquéllas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físico, químico, biológico u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reúso en servicios al público.

2. Reúso en servicios al público con contacto directo

Es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reúsos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

3. Reúso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional

Es el que se destina a actividades donde el público en general está expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguientes reúsos: riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

Especificaciones

Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas, con los establecidos en el cuadro IV. 5 que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana.

- La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006.

El agua residual tratada que se reúsa en servicios al público deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros menores a los límites máximos permisibles, establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola, del cuadro IV. 3 Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

CUADRO IV. 5 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES

TIPO DE REÚSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h / l)	Grasas y aceites (mg / l)	DBO5 (mg / l)	SST (mg / l)
Servicios al público con contacto directo	240	< 1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1,000	< 5	15	30	30

FUENTE: Norma Oficial Mexicana NOM - 003 - ECOL - 1997. SEMARNAP. Diario Oficial del 21 de septiembre de 1997, México.

Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que se reúsen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos de la presente Norma Oficial Mexicana y de conservar, por lo menos durante los últimos tres años, los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.

Observancia de estas normas

La vigilancia del cumplimiento de estas Normas Oficiales Mexicanas corresponde a la Secretaría de Medio ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través de la Comisión Nacional del Agua, y la Secretaría de Salud, en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sena necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley General de Salud y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

Esta Norma Oficial Mexicana entró en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación. Las plantas de tratamiento de aguas residuales referidas en esta Norma que antes de su entrada en vigor ya estuvieran en servicio y que no cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en ella, tendrán un plazo de un año para cumplir con los lineamientos establecidos en la presente Norma.

**IV.2 ANÁLISIS DE LA DISPOSICIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL
AGUA RESIDUAL TRATADA EN LA PLANTA.**

Después de analizar la legislación relativa al aprovechamiento de aguas residuales tratadas, y considerando la calidad que tendrá el agua tratada en la planta que ha recibido un tratamiento secundario, estudiaremos el reúso más adecuado para esta agua.

El agua residual de la ciudad de Chilpancingo, actualmente es vertida sin ningún tratamiento previo al Río Huacapa, que es el drenaje natural de esta Ciudad. Estas aguas residuales son utilizadas aguas abajo del Río para regar algunos cultivos de poblaciones como Mochitlán y Tepechicotlán, esto ha limitado la variedad de cultivos que se pueden tener en esta región.

Partiendo de esta problemática, así como de las condiciones topográficas, hidrológicas, del suelo y la facilidad para disponer del agua, sin tener que transportarla a grandes distancias, por la cercanía de la zona de riego con la planta de tratamiento se considera viable el aprovechamiento del agua residual tratada, en la región agrícola de Chilpancingo, Mochitlán y Tepechicolan.

A partir del reúso para riego agrícola surgen dos alternativas de distribución del agua después del tratamiento en la planta, la primera alternativa es reincorporar las aguas residuales tratadas previamente al Río Huacapa, logrando así un saneamiento del cauce, que repercute en una mejor calidad de agua para riego en las poblaciones que se encuentran aguas abajo del Río.

La otra alternativa de aprovechamiento de las aguas tratadas es realizar diferentes estructuras para el riego de la región de estudio como son canales, tubería, etc. Esta opción permite tener un mejor aprovechamiento de agua tratada y un mayor rendimiento de los cultivos, debido a la sustitución de cultivos tradicionales por otros de mayor productividad, pero implica una mayor inversión en dichas estructuras.

Estas alternativas están enfocadas principalmente al aprovechamiento del agua tratada para el riego de diferentes cultivos beneficiando, en primera instancia a los agricultores de la zona, al poder diversificar sus cultivos y en segunda, la posibilidad de liberar volúmenes de agua potable, destinada a riego de vegetales comestibles, para ser usada en otras actividades.

Calidad Del Agua Para Riego

Cada vez se enfrentan más dificultades para utilizar agua de buena calidad para riego por la creciente contaminación de los cuerpos de agua, provocada por las descargas de aguas residuales urbanas, industriales o de retorno agrícola, que generan la presencia de altos contenidos de nutrientes, sales, metales pesados, agroquímicos y organismos patógenos.

En general, los criterios e índices, de clasificación del agua para determinar la conveniencia o limitación de su uso con fines de riego, toman como base el contenido de sales solubles, el efecto probable del sodio sobre las características físicas de los suelos y el contenido de elementos tóxicos para las plantas.

De acuerdo a datos del mes de abril de 1991, en el país se riegan 350 mil hectáreas con aguas residuales crudas o mezcladas, de las que 24 mil 100 ha correspondían a productos hortícolas que se consumen crudos. En la mayoría de los casos las aguas residuales se emplean sin tratamiento y sin un marco normativo que regule su uso,

aprovechamiento y manejo, lo que implica serios riesgos a la salud pública de los consumidores y los trabajadores del campo. Este hecho motivó la instrumentación de un programa para cancelar el riego o dar en tratamiento previo al agua antes de ser usada para riego.

Por lo anterior es definitivo un tratamiento previo al agua antes de ser usada para riego. La calidad de tratamiento que ha recibido el agua residual en la planta, permite la diversidad y calidad de los cultivos de la zona.

Calidad Físico - Química De Las Aguas Para Riego

Por lo que toca a la normatividad establecida en México, relativa a la calidad físico - química del agua para riego, en el (Cuadro IV. 6) se muestran los límites máximos permisibles de diversos parámetros, basados en los criterios Ecológicos de Calidad del Agua emitidos por la SEDUE ² y complementados internamente por la Comisión Nacional del Agua ³.

En estos criterios, adicionalmente a la salinidad y toxicidad por iones específicos, principalmente en lo que se refiere a plaguicidas como el aldrin, endrin, heptacloro, clordano, DDE y toxafeno, los dos primeros prohibidos en México ⁴. Atlas concentraciones de estos productos implican serios riesgos a la salud e impactos severos al ambiente.

Calidad Bacteriológica Del Agua Para Riego

En el aspecto bacteriológico, las aguas residuales tratadas empleadas para riego deben cumplir en general con las características de calidad demandadas para una adecuada protección de la salud pública, principalmente en lo que se refiere a la concentración de bacterias, virus, helmintos y otros organismos patógenos.

Por su supervivencia en el ambiente, los patógenos que transmiten más frecuentemente por el riego con aguas residuales tratadas son los helmintos.

Estos son endémicos en las áreas tropicales y subtropicales. No hay inmunidad contra ellos y largos tiempos de exposición y reinfección producen serios efectos en la salud, particularmente en la de los niños.

De acuerdo con lo anterior, el tratamiento de las aguas residuales y el reúso del efluente se analizan en un marco económico, en la cual la relación costo - beneficio evalúa la factibilidad del proyecto. La economía del proyecto depende de muchos factores los cuales son específicos a cada caso, e incluye: tipo de suelos, condiciones climáticas, calidad del agua, patrón de cultivos, tratamiento y método de irrigación.

Todos los proyectos de reúsos, integran en un solo esquema tres elementos; tratamientos, almacenamiento e irrigación.

**Cuadro IV. 6 LÍMITES MÁXIMOS DE LA CALIDAD
DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA EL RIEGO
AGRÍCOLA**

Niveles máximos en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad

Acroelina	0.1
Aldrin	0.02
Aluminio	5.0
Antimonio	0.1
Arsénico	0.1
Bicarbonatos *	100.0
Berilio	0.1 - 0.5
Boro	0.7 - 3.0
Cadmio	0.01
Carbonato de sodio residual (meq/l) *	2.5
Cianuro	0.02
Clordano	0.003
Cloruros	147.5
Cobre	0.2
Conductividad eléctrica (umhos/cm)	1000.0
Cromo hexavalente	1.0
DDE	0.04
Dieldrin	0.02
Fierro	5.0
Fluoruro (como F)	1.0
Fosfato total *	5.0
Heptacloro	0.02
Níquel	0.2
Nitratos *	30.0
Nitrogeno total *	30.0
Plomo	5.0
Potasio	250.0
Potencial de hidrógeno	4.5 - 9.0
Relación de adsorción de sodio (meq/l) *	18.0
Salinidad efectiva (meq/l) *	15.0
Salinidad potencial (meq/l) *	15.0
Selenio (como selenato)	0.02
Sodio *	250.0
Sólidos disueltos	500.0
Sólidos suspendidos	50.0
Sulfatos	130.0
Toxafeno	0.005
Zinc	2
Radioactividad:	
Alfa total (Bq/l)	0.1
Beta total (Bq/l)	1.0

FUENTE Criterios Ecológicos de Calidad del Agua SEDUE. Diario Oficial del 13 de diciembre de 1989, México. Manual Técnico para el Uso, Manejo y Aprovechamiento de las Aguas Residuales en Riego. C.N.A. Documento Interno. México 1990

Otra pieza en los esquemas de reúsos es la instalación de un tanque de almacenamiento, el cual recibe los volúmenes constantes de aguas residuales que se generan durante todo el año y los distribuye en función de las demandas variables para la irrigación, que se requiere principalmente durante la época de estiaje.

De acuerdo con el tratamiento secundario que recibe el agua en la planta, se cumple con el propósito de remover las sustancias contaminantes y con dos objetivos principales:

- El control de la contaminación del agua para cumplir con la legislación y evitar los efectos negativos en la calidad de los cuerpos receptores. (Río Huacapa)
- El posible reúso del agua tratada en aplicaciones como la industria, la acuacultura y principalmente en la agricultura, por ser la principal actividad económica de la región.

La calidad del efluente cumple con los parámetros fijados por la Comisión Nacional del Agua (CNA), establecidas para las descargas en los cuerpos receptores, así como con los parámetros sugeridos por los Criterios Ecológicos De Calidad Del Agua, para el riego de terrenos agrícolas, forestales y de pastoreo.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se pretende mostrar la importancia del análisis y la difusión del tratamiento de las aguas residuales, tema que no obstante su importancia en el desarrollo del país no ha sido desarrollado lo suficiente, a pesar de que en los últimos años se le ha dado un gran impulso, pero que aún resulta insuficiente por la necesidad que se tiene de tratar las aguas residuales para su posterior utilización y así liberar volúmenes de agua de primer uso para las actividades humanas.

En la ciudad de Chilpancingo se generan volúmenes considerables de aguas residuales que son aprovechadas en el riego, sin ningún tratamiento previo. Estas aguas, en su mayoría son de origen doméstico, por consiguiente, contienen bajas concentraciones de sustancias tóxicas, sin embargo, los agricultores y los consumidores de los productos irrigados con esas aguas pueden tener graves problemas epidemiológicos, por lo tanto es necesario dar un tratamiento adecuado a las aguas residuales para poder ser usadas.

La región de estudio se encuentra localizada en los límites de los municipios de Chilpancingo y Mochitlán, cuenta con diversos recursos hidrológicos como son los ríos Huacapa, Ocotito, Zayatepec y otros de menor importancia, la topografía de la zona permite la conducción por gravedad desde el colector principal del drenaje sanitario, hasta la planta de tratamiento. El área de estudio se encuentra en las inmediaciones de la Sierra Madre del Sur y cuenta con un clima subhúmedo, cálido y semicálido con una temperatura media anual de 25°C.

En términos generales, los suelos predominantes son el chernozem o negro y amarillo bosque, estos presentan una mayor aptitud para la producción agrícola, en cuanto a la flora dominante es la selva baja caducifolia y bosques de montaña; la fauna predominante es muy variada.

Existen dos alternativas de localización de la planta de tratamiento, una de ellas a las afueras de la Ciudad de Chilpancingo con una línea de conducción de 540 m a partir del colector de las aguas residuales y contando con la gran desventaja, en cuanto a los costos del equipo y los costos de operación, de tener que bombear dichas aguas al predio de la planta, que se encuentra 34 m arriba del colector principal. La opción seleccionada para la planta, se encuentra afuera de la mancha urbana, aguas abajo del río Huacapa, cerca de la zona agrícola, lo cual facilita el reuso en esta actividad, la línea de conducción tiene una longitud de 3171 m y durante todo el trayecto es conducida por gravedad, teniendo un gran ahorro en la operación y mantenimiento.

La actividad agropecuaria muestra cierto rezago, puesto que la producción actual satisface únicamente las necesidades de maíz y frijol en el área del proyecto, pero es insuficiente para la satisfacción de alimentos e insumos agroindustriales en los principales centros de consumo como Chilpancingo y Acapulco, razón por la que es prioritario estimular la producción de cultivos más rentables que permitan tener un mayor ingreso económico a la región.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La infraestructura industrial y de servicios tanto en la zona de estudio como en Chilpancingo esta orientada a la producción de bienes de consumo y la prestación de servicios que demandan los centros de consumo. Puesto que la región no presenta una vocación a la gran industria de transformación.

En relación a los servicios sociales, los de educación y salud son suficientes en las ciudades de Chilpancingo y Mochitlán, pero deficitarios en las pequeñas localidades rurales. En cuanto a la vivienda, se observa un buen avance tanto en la ciudad de Chilpancingo como en las localidades de Tepechicotlán y Mochitlán, pero aún son insuficientes en particular en términos de calidad. En las áreas rurales falta mucho por hacer en beneficio de esa población.

Se tiene la proliferación de los asentamientos humanos anárquicos, aislados y en áreas con topografía accidentada, lo cual origina incrementos en el costo por la dotación de servicios.

Por otro lado, se observa que, en su mayoría la corriente migratoria del campo a la ciudad de Chilpancingo, trae consigo volúmenes de mano de obra no calificada y con bajo nivel cultural, siendo sus únicas posibilidades de ocupación, las que ofrece la industria de la construcción, el comercio informal en pequeña escala y la participación en cierto tipo de servicios como ; lavacoches y vendedores de lo que sea en las calles de la ciudad de Chilpancingo. Es decir, se genera marginación social, subempleo y desempleo.

En lo referente a los suelos del área de estudio, la estratigrafía de los 3 pozos a cielo abierto, son muy parecidas, lo que indica que se trata de un suelo cohesivo-friccionante, con una capacidad de carga admisible de 15 ton / m² y una permeabilidad de 6.7 x 10⁻⁶ cm / s.

La calidad de las aguas residuales de la ciudad de Chilpancingo, corresponden a aguas de calidad media, ya que la mayoría de las aguas de desecho son de tipo doméstico y mínimamente de tipo industrial, por lo que los efectos en los suelos agrícolas donde están siendo utilizadas no son notorios, pero si está limitando el número de cultivos y sobre todo el de hortalizas.

Se propone la reutilización de aguas residuales tratadas, a nivel secundario por medio de filtros biológicos. Este proceso se recomienda por generar efluentes de calidad adecuada para uso agrícola; tienen un mejor aprovechamiento de las condiciones topográficas del terreno; los requerimientos de pocos reactivos(cloro); requiere menor área para las instalaciones de la planta y se adapta perfectamente al terreno propuesto para la ubicación de la planta. El impacto ambiental que puedan causar el proceso es mínimo, pero si la planta no se opera adecuadamente se presentarán problemas de malos olores, proliferación de insectos, daño al equipo y molestias a los operadores y habitantes de la zona

Considerando las características de calidad de las aguas residuales y la calidad esperada del agua tratada, así como las particularidades del predio para la ubicación de la planta, condiciones climatológicas y reúso de las aguas tratadas, y los requerimientos

de los procesos de tratamiento analizados, se concluyó que el sistema de filtros biológicos es el que técnicamente presenta las mayores y mejores ventajas. Este sistema es el que requiere menor área, por lo tanto el volumen de construcción se reduce, los requerimientos de potencia son mínimos, la topografía del predio se adecua a las necesidades del sistema, no se requiere mano de obra altamente calificada, el proceso es flexible y, en sí, la eficiencia de remoción es apropiada y la calidad del agua del efluente será adecuada para un posible reúso.

El tren de procesos consiste en las siguientes unidades.

- Caja repartidora
- Pretratamiento: Cribado y desarenación
- Tratamiento primario: Sedimentación primaria
- Tratamiento secundario: Filtros biológicos, sedimentación secundaria, tanque de contacto con cloro.
- Tratamiento de lodos: Lechos de secado

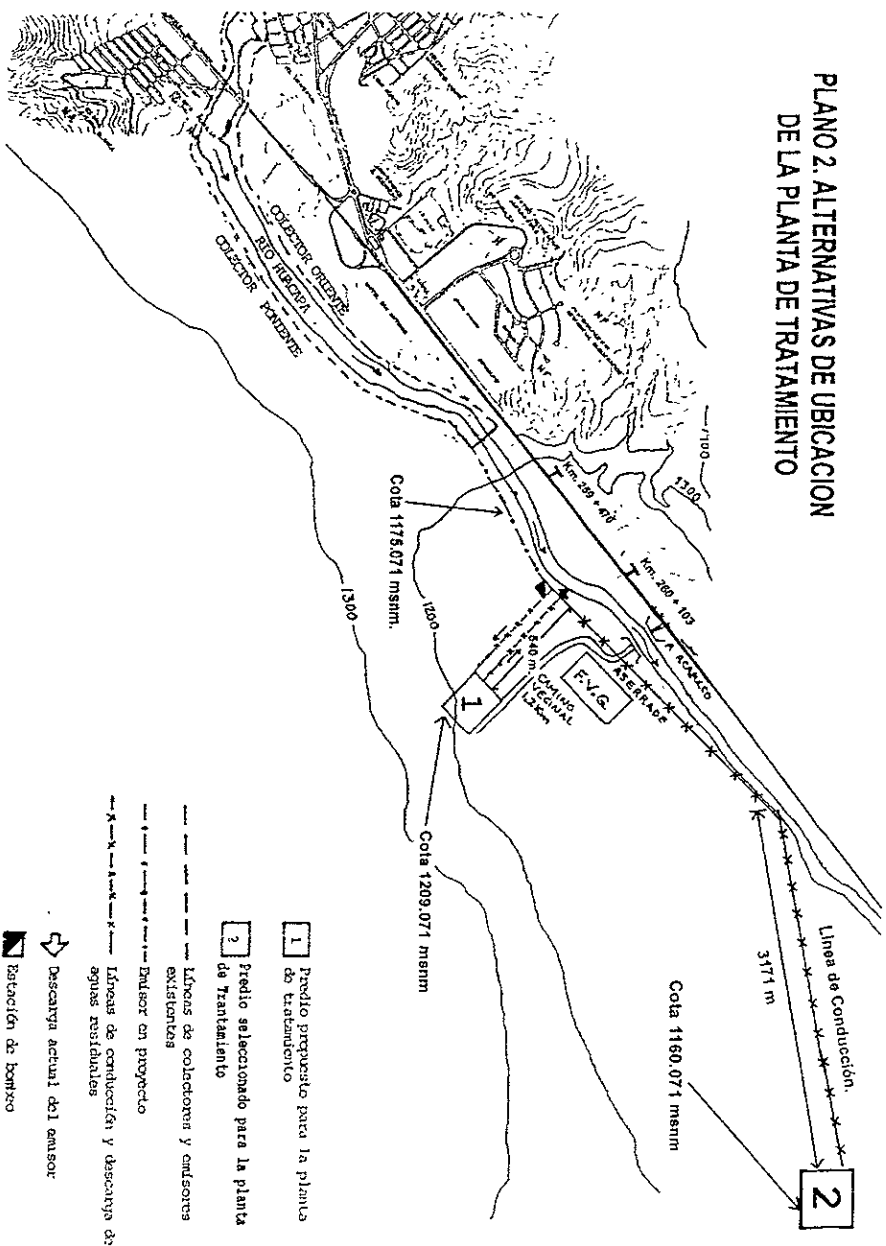
Otro aspecto importante que se atenderá con el estudio es el saneamiento del río Huacapa, lo cual ayudará a mantener limpia la naturaleza y preservar las características del ecosistema, así como para el desarrollo de la actividad agrícola de la zona y el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales y humanos, además de preservar el equilibrio entre los asentamientos humanos y las condiciones ambientales.

Los criterios e índices tradicionales de clasificación del agua, para juzgar la conveniencia de su uso con fines agrícolas, debe ampliarse considerando, la calidad bacteriológica del agua y la presencia de otros contaminantes que afectan la calidad de los suelos, los cultivos, a los usuarios y a los consumidores de los productos agrícolas.

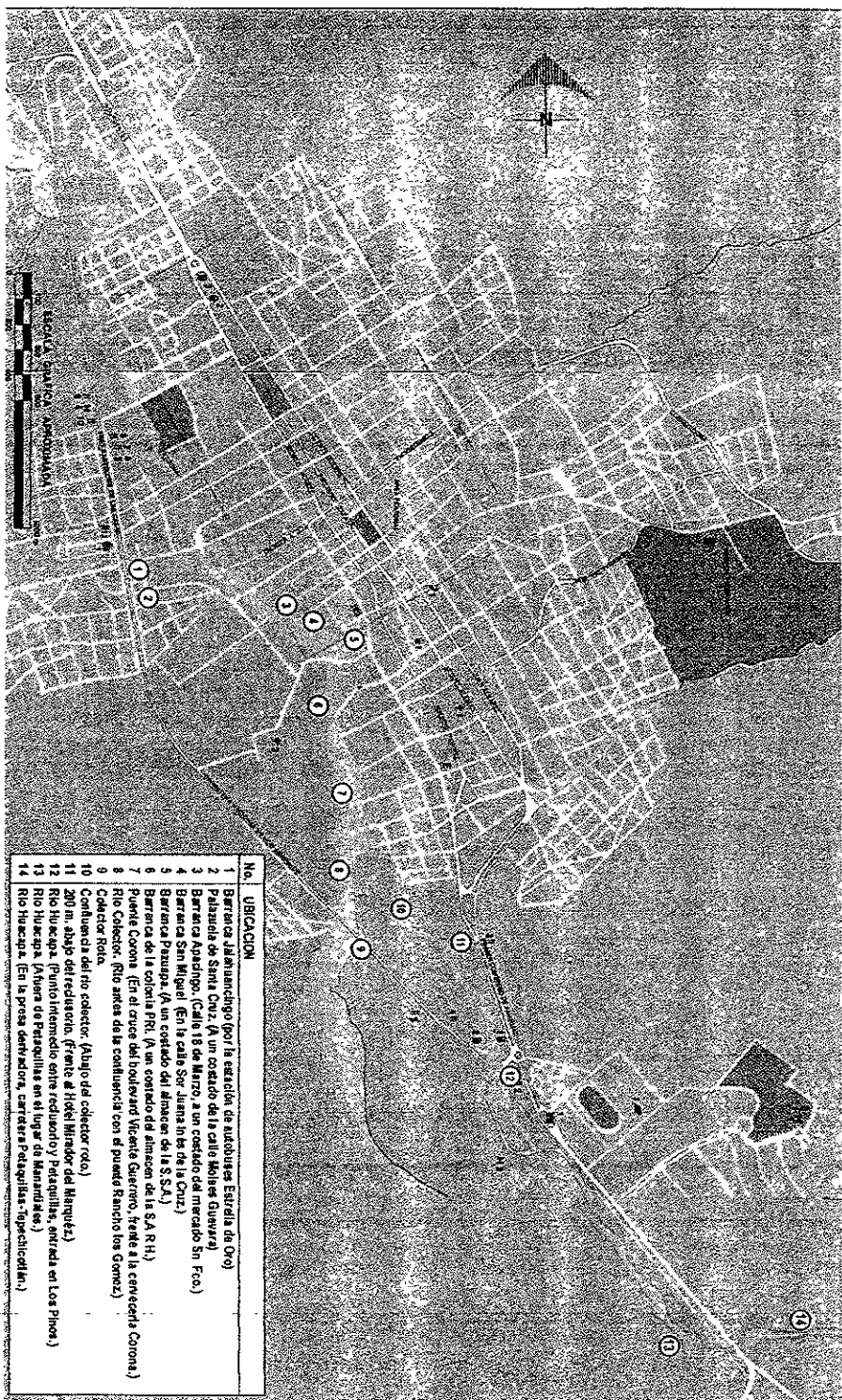
Existe la preocupación, no sólo a nivel nacional sino mundial, para reducir la creciente contaminación del agua generada por las descargas de aguas residuales municipales e industriales sin tratar, así como de los riesgos a la salud pública y el deterioro del ambiente por el uso de aguas contaminadas en riego agrícola.

A N E X O 1

PLANO 2. ALTERNATIVAS DE UBICACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO



PLANO 3. ESTACIONES DE AFORO Y MUESTREO.



BIBLIOGRAFIA

- APHA, AWWA, WPFC.
"Métodos Estándar para el examen de Aguas y Aguas de Desecho".
Editorial Interamericana, S.A. 11ª Edición, 1963.
- Asano Takashi.
"Reúso y recuperación del agua residual".
1ª Edición 1999
- Babbitt E. Harold y Baumann E. Robert
"Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Negras".
Editorial Continental, S.A. (1980)
- Comisión Nacional del Agua
"Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado".
(1989)
- Comisión Nacional del Agua
"Ley de Aguas Nacionales".
(1992)
- Cuellar, Ch. R.
"Criterios de Calidad de Aguas Residuales en Riego Agrícola".
Memorias del II Congreso de Ingeniería Sanitaria Ambiental (1980)
- Eskel Nordel.
"Tratamiento de aguas para la industria y otros usos".
Editorial CECSA. 2ª edición, 1980.
- Gobierno del Estado de Guerrero. Secretaria de Planeación y Presupuesto.
"Información para la Planeación del Municipio de Chilpancingo de los Bravo".
(1997)

- Gordon Maskew, John Charles y Daniel Alexander Okun.
"Abastecimiento de Aguas y Remoción de Aguas Residuales".
 (Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Vol. II). Editorial Limusa 2ª
 Reimpresión, 1976

- Gordon Maskew Fair, John Charles Geyer y Daniel Alexander Okun.
"Purificación de Aguas y Tratamiento. Remoción de Aguas Residuales".
 Editorial Limusa 6ª Reimpresión, 1989.

- Gordon Maskew, John Charles y Daniel Alexander Okun.
"Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales".
 Editorial Ciencia y Técnica, S.A. (Vol. III y IV) 2ª Reimpresión, 1988.

- López Ruiz Rafael.
"Apuntes de Tratamiento de Aguas Residuales".
 Facultad de Ingeniería U.N.A.M.

- Rubens Sette Ramalho.
"Tratamiento de Aguas Residuales".
 Editorial Reverté, S.A. (1993)

- Metcalf & Eddy. INC.
"Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales".
 Editorial Labor, S.A. (1985)

- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
"Norma Oficial Mexicana NOM – 001 – ECOL – 1996".
 Diario Oficial de la Federación (1996)

- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
"Norma Oficial Mexicana NOM – 003 – ECOL – 1997".
 Diario Oficial de la Federación (1997)