

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRAULICOS**

**"EVALUACION Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ZACUALPA,
DEPARTAMENTO DEL QUICHE"**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure, likely a saint or scholar, seated and holding a book. The figure is surrounded by various symbols, including a cross, a crown, and a shield. The text "UNIVERSITAS CAROLINENSIS INTER-AMERICANA" is inscribed around the perimeter of the seal. The words "PLUS" and "ULTRA" are also visible on banners held by the central figure.

**ESTUDIO ESPECIAL PRESENTADO
POR EL SUSTENTANTE
ING. RUBEN RODOLFO PEREZ OLIVA**

**COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICA) EN INGENIERIA SANITARIA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1,996

08

(4000)

0.5

Dedicatoria

A mi esposa e hijos, a mi hermana y su familia, a mis tios Tonita, Victor y Carlos a doña María Magdalena Castro y familia Ramirez.

AGRADECIMIENTOS

- Al Ser Supremo
- A mis padres Q. E. D.
- Al asesor Ing. Msc. Adán Pocasangre Collazos, por su valiosa colaboración y orientación académica y personal para la consecución de este estudio especial.
- A todo el personal docente y administrativo de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, así como a mis compañeros de cursos.
- Al Instituto de Fomento Municipal especialmente a la sección de alcantarillados.

INDICE

Glosario.....	1-4
Resumen.....	5

Capítulo I: Aspectos Generales

1.1 Introducción.....	6
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Generales.....	7
1.2.2 Específicos.....	7
1.3 Alcances.....	7
1.4 Justificación.....	8
1.5 Limitaciones.....	8
1.6 El problema.....	8
1.7 Hipótesis.....	8

Capítulo II: Aspectos Teóricos

2.1 Tratamientos preliminares.....	9
2.1.1 Rejas.....	9-10
2.1.2 Desarenadores.....	10-11
2.2 Tratamiento primario.....	11
2.2.1 Tanque Imhoff.....	11-12
2.3 Tratamientos secundarios.....	13
2.3.1 Lagunas de estabilización.....	13
2.3.1.1 Aspectos generales.....	13
2.3.1.2 Tipos de lagunas de estabilización.....	13
2.3.1.2.1 Lagunas anaeróbicas.....	13
2.3.1.2.2 Lagunas facultativas.....	14-16
2.3.1.2.3 Lagunas de maduración.....	16-17
2.4 Tratamiento de lodos.....	17
2.4.1 Lechos de secado.....	17-18

Capítulo III: Universo del Trabajo

3.1 Antecedentes.....	19
3.2 Información general.....	20
3.2.1 Localización.....	20
3.2.2 Características físicas.....	20
3.2.3 Clima.....	20
3.2.4 Vías de acceso.....	20
3.2.5 Suelo.....	21
3.2.6 Datos de población.....	21
3.2.7 Principales 10 causas de defunciones.....	21-22
3.2.8 Principales enfermedades que atacan a niños..	22
3.3 Planta de tratamiento existente.....	22-25

6.4.1 Operación del lecho de secado.....	55
6.4.2 Mantenimiento del lecho de secado.....	56
VII Conclusiones.....	57-58
VIII Recomendaciones.....	58
IX Bibliografía.....	59

X Anexos:

- A) Listado de planos del proyecto
- B) Listado de materiales y presupuesto
- C) Gráfica de DBO
- D) Fotografías de la planta

GLOSARIO

Afluente: Agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

Aguas residuales: El agua luego de ser usada por una comunidad o industria, que contiene material disuelto y en suspensión.

Anaeróbico: Condición en la cual hay ausencia de aire u oxígeno libre.

Análisis: El examen de agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio.

Bacteria: Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos y carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento incluyendo: oxidación biológica, digestión, nitrificación y desnitrificación.

Bases de diseño: Conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias de diseño, que sirven para el dimensionamiento de los procesos de tratamiento.

By-pass: Conjunto de tuberías, canales, válvulas y compuertas que permiten el paso de un líquido alrededor de un proceso o planta de tratamiento. Conducto usado para desviar el agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia o de tratamiento correctivo.

Cámara: Compartimiento con paredes que se usa para un propósito específico.

Carga superficial: Caudal o masa de un parámetro por unidad de área, que se usa para dimensionar un proceso de tratamiento.

Caudal máximo horario: Caudal a la hora máxima de descarga.

Coliformes: Bacterias gram negativas, de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35°C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44.5°C se denominan coliformes fecales.

Criba gruesa: Artefacto generalmente de barras paralelas de separación uniforme (4-10 cm.), utilizado para remover sólidos flotantes de gran tamaño.

Criba media: Artefacto de barras paralelas de separación uniforme (2-4 cm.), utilizado para remover sólidos flotantes y en suspensión. Son las más empleadas en tratamiento preliminar.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente 5 días y 20 °C).

Demanda química de oxígeno (DQO): Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica (carbonácea) del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en una prueba que dura dos horas.

Desarenadores: Cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y permitir la separación de sólidos minerales (arena), por sedimentación.

Deshidratación de lodos: Proceso de remoción del agua de lodos.

Digestión: Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo, produciendo una mineralización, licuefacción y gasificación parcial.

Digestión Anaeróbica: Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo, en ausencia de oxígeno.

Disposición final: Disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados.

Eficiencia de tratamiento: Relación entre la masa de concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico. Puede expresarse en términos decimales y normalmente se expresa en porcentaje.

Efluente: Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Efluente final: Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Examen bacteriológico: Análisis para determinar la presencia y cuantificar el número de bacterias en aguas residuales.

Filtro percolador: Proceso de tratamiento secundario formado por un medio filtrante de piedra gruesa o de material sintético, sobre el cual se distribuye el agua residual que percola hacia abajo. La película de microorganismos que crece en el medio de contacto metaboliza la materia orgánica del desecho y se desprende, siendo removida en el proceso de sedimentación secundaria.

Laguna anaeróbica: Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en la ausencia de oxígeno. Este tipo de laguna requiere tratamiento posterior.

Laguna de estabilización: Término genérico para todos los tipos de lagunas que describe a un estanque en el cual se descargan aguas residuales y en donde se produce la estabilización de materia orgánica y la mortalidad bacteriana.

Laguna de maduración: Laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas.

Laguna facultativa: Laguna de coloración verdosa, cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe un comensalismo entre algas y bacterias en la presencia de oxígeno y en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaeróbica de los sólidos sedimentados.

Lechos de secado: Tanques de profundidad reducida con arena y grava sobre drenes, sobre los cuales se descarga lodo digerido para secado. El proceso de secado ocurre principalmente por evaporación.

Lodo crudo: Lodo retirado de tanques de sedimentación primaria o secundaria, que requiere tratamiento posterior (espesamiento y/o digestión).

Lodo digerido: Efluente del proceso de digestión aeróbica o anaeróbica que normalmente entra a procesos de deshidratación o secado de lodos.

Muestreo: Colección de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va analizar en el laboratorio.

Oxígeno disuelto: Concentración de oxígeno disuelto medida en un líquido, por debajo de la saturación, normalmente expresada en mg/L.

Parásito: Organismos protozoarios y helmintos que habitando en el intestino pueden causar enfermedades. Los helmintos pueden ser de forma plana y redonda (nematodos). Estos últimos son los de mayor significación en aguas residuales.

Período de retención nominal: En un proceso de tratamiento, la relación entre el volumen y el caudal. No debe confundirse con el período de retención real.

pH: Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

Planta de tratamiento: Conjunto de obras, facilidades y procesos en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Pretratamiento: Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario, y que puede incluir: igualación, cribado, desarenado, trituración, preaeración, ajuste del pH y remoción de grasas.

Reactor de Flujo Ascendente: Proceso continuo de tratamiento anaeróbico de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilización parcial de la materia orgánica. El desecho es retirado del proceso en la parte superior y normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.

Sedimentación primaria: Remoción de una significativa proporción de materia orgánica en suspensión, pero poco o nada de la materia orgánica en estado coloidal o

disuelto. Este proceso requiere de tratamiento posterior del lodo separado, normalmente por digestión anaeróbica.

Tratamiento anaeróbico: Estabilización de un desecho orgánico por la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento en los cuales se intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

Tratamiento de lodos: Proceso de estabilización, acondicionamiento y deshidratación de lodos.

Tratamiento primario: La remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión pero poco o nada de la materia en estado coloidal y disuelta.

Tratamiento secundario: Nivel de tratamiento por encima del tratamiento primario en donde se alcanzan eficiencias de remoción de DBO y sólidos del orden del 85%.

Tratamiento terciario: Término que implica tratamiento adicional al secundario y que está siendo reemplazado por tratamiento avanzado de aguas residuales.

RESUMEN

Este estudio comprende básicamente la evaluación y propuesta de rehabilitación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché.

Para ello se recolectaron muestras insitu evaluando la calidad del afluente, se propone incluir dentro del pretratamiento un desarenador, rehabilitar y rediseñar el canal de rejas, también se analizaron las unidades existentes como el Tanque Imhoff (se analizó la posibilidad de transformarlo en un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente), se propone el cambio de los filtros torre por lagunas de estabilización, las cuales nos dan una mejor eficiencia, se modifica la entrada del efluente a laguna de estabilización de forma elíptica existente, para mejorar el flujo del fluido y evitar zonas muertas en lo posible.

Para lograr ampliar la vida de las nuevas unidades y las modificaciones a las existentes, se ha preparado en el último capítulo, un manual de operación y mantenimiento, el cual servirá como una guía para la persona encargada de la planta, facilitándole las labores en la misma.

De la evaluación y propuesta de rehabilitación de la planta, se han deducido una serie de conclusiones y recomendaciones, cuyo fin es ampliar la información existente acerca del tratamiento de aguas residuales y así poder aplicarlos de manera adecuada a las condiciones existentes en nuestro país.

I. ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCION

La mayoría de las autoridades municipales de nuestros pueblos, buscan llevar agua potable a sus comunidades y así subsanar en parte las necesidades de las mismas, el hecho es muy relevante, pero muy pocos se preocupan por la reutilización del vital líquido o por no contaminar los cuerpos receptores, aduciendo que el mismo es contaminado por otras comunidades vecinas y que de nada sirve el tratamiento que podría realizarse en ese lugar.

La construcción, operación y mantenimiento de sistemas eficientes de recolección y disposición de aguas residuales, obliga a un desembolso muy oneroso y muchas veces la realidad económica de nuestros pueblos no permite enfrentar esta problemática. Por esta razón, se deben impulsar alternativas en donde los pocos recursos propios de cada país se deben aprovechar al máximo y al costo más bajo posible, ya que la opción tecnológica más adecuada, no siempre es la más económica de todas.

De las plantas de tratamiento construidas en el país, (las cuales son muy pocas), varias están en completo abandono y otras han alcanzado su período de diseño y muestran problemas de toda índole para mantenerlas funcionando. Una de ellas es la planta de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché; la cual actualmente se encuentra sin ser utilizada, debido a que sus unidades no cuentan con todos sus componentes o las mismas han sufrido deterioro a través del tiempo.

Las enfermedades gastrointestinales principalmente, y otras relacionadas con el saneamiento, atacan constantemente a este municipio del altiplano del país, causándole la pérdida de vidas humanas, principalmente niños, las cuales podrían disminuirse en un alto porcentaje eliminando los focos de contaminación, entre ellos la descarga cruda de aguas residuales. Con el tratamiento adecuado de esta descarga también se protegerá la vida de animales y plantas manteniendo el equilibrio ecológico, se mejorará el ornato y en general la vida de sus pobladores.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Generales

- a) Incentivar y promover la investigación de sistemas de tratamiento aguas residuales, con tecnología apropiada.
- b) Colaborar con el saneamiento de las comunidades, fortaleciendo el tratamiento de sus aguas servidas.

1.2.2 Específicos

- a) Evaluar las unidades constituyentes de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché.
- b) Apoyarse en el muestreo de la descarga mayor de aguas residuales de Zacualpa, con el fin de elegir el tratamiento más adecuado.
- c) Mejorar las estructuras existentes, ampliarlas, rehabilitarlas y cambiarlas, si el análisis técnico así lo determina.
- d) Correlacionar los estudios teóricos, con las experiencias adquiridas en la práctica.
- e) Desarrollar un manual de operación y mantenimiento, que sea una guía adecuada para la conservación de la planta de tratamiento de aguas residuales rehabilitada.

1.3 ALCANCES

1.3.1 Se analizó el material bibliográfico disponible referente a unidades importantes de tratamiento como: Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, Tanque Imhoff, Lagunas de Estabilización, Filtros Percoladores, patio de secado de lodos, canal de rejas, desarenador, medidores de caudal y reguladores del mismo.

1.3.2 La obtención de los parámetros necesarios para la evaluación de la descarga mayor de aguas residuales de Zacualpa, Quiché; se realizó gracias a la colaboración del laboratorio del Instituto de Fomento Municipal.

1.3.3 Los análisis de los parámetros físico-químicos se realizaron bajo los procedimientos y equipos estándares establecidos.

1.3.4 Se realizó un estudio que concluye con una propuesta de rehabilitación de la planta de tratamiento de aguas servidas del municipio de Zacualpa Quiché.

1.4 JUSTIFICACION

Al no estar en funcionamiento actualmente la planta de aguas residuales, las mismas son desviadas y descargadas en forma cruda hacia un zanjón, causando un impacto negativo en la ecología del lugar, siendo un foco de enfermedades gastrointestinales y de otros tipos, dando un mal aspecto estético al lugar, propiciando malos olores y depósito de desechos sólidos. Al mismo tiempo la inversión económica que propició el proyecto y la depreciación y daño que sufre la obra por no estar operando, son cuantiosos.

Por las razones anteriormente expuestas, la rehabilitación de la planta de tratamiento es de suma urgencia, la búsqueda del apoyo financiero será el siguiente paso a seguir luego de este estudio, el cual está siendo patrocinado por el Instituto de Fomento Municipal (INFOM), Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS).

1.5 LIMITACIONES

La evaluación del proyecto se realizó bajo las siguientes limitaciones:

1.5.1 La distancia de la ciudad capital a Zacualpa es de 205 kilómetros, lo que dificultó la realización de visitas al lugar bajo estudio (se realizaron 8 únicamente).

1.5.2 La escasez de terreno para la construcción de lagunas de estabilización, sistema más adecuado para el tratamiento de aguas residuales municipales en nuestro país.

1.5.3 La ubicación de las lagunas de estabilización en un terreno de topografía difícil, lo que hace elevar los costos del proyecto por movimiento de tierras.

1.5.4 La temperatura del agua del mes más frío, para Zacualpa, es baja (10 °C), de tal forma que este parámetro incrementó el área de tratamiento.

1.6 EL PROBLEMA

Cuáles son las causas por las que la planta de aguas residuales del municipio de Zacualpa, departamento del Quiché no está funcionando?

1.7 HIPOTESIS

La inadecuada operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché da como resultado que la misma no funcione.

II. ASPECTOS TEORICOS

En este capítulo se describen aspectos generales sobre los componentes de una planta de tratamiento de aguas servidas, tomando como ejemplo la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché; haciendo énfasis en los parámetros de diseño y en las normas técnicas de edificación de las mismas.

2.1 TRATAMIENTOS PRELIMINARES

Las unidades de tratamiento preliminar utilizadas en las plantas de aguas residuales en nuestro medio son las rejjas, los desarenadores, los medidores y repartidores de caudal.

2.1.1 REJAS

Las cribas tienen la finalidad de proteger otras unidades de la planta contra el asolvamiento por sólidos gruesos y material fibroso. Aún en los procesos de pretratamiento y de tratamiento más simples como las lagunas, son indispensables para impedir la obstrucción de vertederos, facilidades de división de flujo y la formación de natas, de modo que deben utilizarse en toda planta de tratamiento.

Se diseñarán preferiblemente cribas de limpieza manual, con las facilidades necesarias para una operación adecuada y segura, como:

- Almacenamiento temporal del material cribado durante por lo menos dos días.
- Disposición final del material cribado que debe ser enterrado y cubierto con una capa de tierra de por lo menos 0.2m.
- Las compuertas y/o vertederos que sean necesarios para poner fuera de funcionamiento (en seco) cualquiera de las unidades.

Para el diseño de las cribas de rejjas se tomarán en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) Se utilizarán barras de sección rectangular de 5 a 15 mm. de espesor por 30 a 75 mm. En general las cribas de rejjas gruesas tienen una sección mínima de 6 x 40 mm. y máxima de 13 x 60 mm. Las dimensiones a escogerse dependen de la longitud de las barras y del mecanismo de limpieza.
- b) El espaciamiento entre barras varía entre 25 y 50 mm. Para ciudades con un sistema inadecuado de recolección de basura se recomienda un espaciamiento no mayor a 25 mm. debido a que se arroja una gran cantidad de basura al sistema de alcantarillado.
- c) Las dimensiones y espaciamiento entre barras se escogerán de modo que la velocidad del canal antes de y a través de las barras sea adecuada. La velocidad a través de las barras limpias debe mantenerse entre 0.4 y 0.75 m/s (basado en el caudal medio). Las velocidades deben determinarse para los caudales mínimo, medio y máximo.

d) Determinadas las dimensiones se procederá a calcular la velocidad del canal antes de las barras, la misma que debe mantenerse entre 0.3 y 0.6 m/s, siendo 0.45 m/s un valor comúnmente utilizado.

e) Para la determinación del perfil hidráulico se calculará (usando una de las correlaciones comúnmente aceptadas) la pérdida de carga a través de las cribas, para condiciones de caudal medio y 50% del área obstruida. La profundidad de flujo en el canal antes de las cribas y el borde libre se comprobarán para condiciones de caudal máximo y 50% del área de cribas obstruida.

f) El ángulo de inclinación de las barras será entre 45 y 60 grados con respecto a la horizontal.

g) En general la cantidad de material retenido en las cribas con aberturas del orden de 25 mm. está comprendido entre 0.015 y 0.030 litros por metro cúbico de agua residual. Para otras aberturas se determinará la cantidad de material cribado de acuerdo con el cuadro que se indica a continuación:

CUADRO 1

Abertura, mm.	Cantidad, l/(m ³)
20	0.038
25	0.023
35	0.012
40	0.009

h) Para facilitar la instalación y el mantenimiento de las cribas de limpieza manual, las rejas serán instaladas en gulas laterales con perfiles metálicos en "U", descansando en el fondo sobre un perfil "L" o sobre un tope formado por una pequeña grada de concreto.

2.1.2 DESARENADORES

Se proyectarán desarenadores con la finalidad de proteger a las unidades que están aguas abajo contra la acumulación de arena, detritos y otros materiales. La inclusión de desarenadores es obligatoria en las plantas que tienen sedimentadores y digestores. Para sistemas de lagunas de estabilización el uso de desarenadores es opcional y podrán no ser empleados, dejando espacio adicional para la acumulación de arena en el fondo.

2.1.2.1 Los desarenadores serán preferiblemente de limpieza manual, sin incorporar mecanismos, excepto en el caso de desarenadores para instalaciones grandes. Según el mecanismo de remoción los desarenadores pueden ser a gravedad y de flujo helicoidal. Los primeros a su vez son de flujo horizontal y pueden ser diseñados como canales de forma alargada o de sección cuadrada.

2.1.2.2 Los desarenadores de flujo horizontal serán diseñados para remover partículas de diámetro medio igual o superior a 0.2 mm. Para el efecto se debe tratar de controlar y mantener la velocidad de flujo alrededor de 0.3 m/s con una tolerancia del (+/-) 20%. La tasa de aplicación puede estar entre 25 y 50 $m^3/(m^2.h)$, con un promedio recomendado de 40, basado en el caudal máximo horario. La relación entre el largo y altura de agua debe ser como mínimo 25. La altura de agua y borde libre debe comprobarse para el caudal máximo horario.

2.1.2.3 El control de la velocidad para diferentes tirantes de agua se efectuará con la instalación de un vertedero a la salida del desarenador. Este puede ser del tipo proporcional, trapezoidal o una canaleta para medición de flujo (Parshall o Palmer Bowlus).

2.1.2.4 Se deben proveer dos unidades como mínimo. La velocidad debe comprobarse para el caudal medio y diseñarse varias unidades según sea necesario.

2.1.2.5 Para desarenadores de limpieza manual se deben incluir las facilidades necesarias (compuertas) para poner fuera de funcionamiento cualquiera de las unidades. Las dimensiones de la parte destinada al depósito de arena deben ser determinadas en función de la cantidad prevista de material y la frecuencia de limpieza deseada (semanal, quincenal o mensual).

2.1.2.6 Los desarenadores de limpieza hidráulica no son recomendables a menos que se diseñen facilidades adicionales para el secado de la arena (estanques o lagunas).

2.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga del tratamiento biológico, en caso de ser necesario. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final, siendo los más usados los procesos de digestión anaeróbica y lechos de secado.

Los procesos de tratamiento primarios para las aguas residuales pueden ser: tanques Imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación. (En la planta de Zacualpa el existente es un tanque Imhoff).

2.2.1 TANQUES IMHOFF

2.2.1.1 Son tanques de sedimentación primaria en los cuales se incorpora la digestión de lodos en un compartimiento localizado en la parte inferior.

2.2.1.2 Para el diseño de la zona de sedimentación se considerará un volumen mínimo de 1500 litros, utilizando los siguientes criterios:

a) Se determinará el área requerida para el proceso con una carga superficial de $1 m^3/(m^2.h)$.

b) El período de retención nominal será entre 1 a 1.5 horas. Del producto de la carga superficial y el período de retención se obtendrá la profundidad.

c) El fondo del tanque será de sección transversal en forma de V y la pendiente de los lados, hacia la arista central será de 67% al 80%.

d) En la arista central se dejará una abertura para el paso de sólidos de 0.15 a 0.20 metros.

2.2.1.3 Para el diseño del compartimiento de almacenamiento y digestión de lodos (zona de digestión) se considerará un volumen mínimo de 3000 litros, utilizando los siguientes criterios:

a) El compartimiento será dimensionado para almacenar lodos durante un periodo de 60 días, al cabo del cual se considera completa la digestión. Para el efecto se determinará la cantidad de sólidos en suspensión removida, en forma similar que para un sedimentador primario. El volumen se determinará considerando la destrucción del 50% de sólidos volátiles, con una densidad de 1.05 kg/l y un contenido promedio de sólidos de 12.5% (al peso).

b) Alternativamente se determinará el volumen del compartimiento de lodos considerando un espacio de 60 litros por habitante.

c) El fondo del compartimiento tendrá la forma de un tronco de pirámide, cuyas paredes tendrán una inclinación de 30 a 45 grados respecto a la horizontal.

2.2.1.4 Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y las del sedimentador (zona de espumas) se considerará un volumen mínimo de 1500 litros, usando los siguientes criterios:

a) El espaciamiento libre será de 0.60m. como mínimo.

b) La superficie libre total será por lo menos 20% y preferiblemente 30% del área total del compartimiento de digestión.

c) Alternativamente se determinará el volumen de la zona de espumas usando una tasa de 30 litros por habitante.

2.2.1.5 Las facilidades para remoción de lodos digeridos deben ser diseñadas en forma similar que para sedimentadores primarios, considerando que los lodos son retirados para secado en forma intermitente. Para el efecto se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

a) El diámetro mínimo de las tuberías de remoción de lodos será de 20 cms.

b) La tubería de remoción de lodos debe estar 15 cms. por encima del fondo del tanque.

c) Para remoción hidráulica del lodo se requiere por lo menos una carga hidrostática de 1.80 metros.

2.3 TRATAMIENTOS SECUNDARIOS

Para aguas residuales domésticas se considerarán como tratamientos secundarios los procesos biológicos con una remoción de la DBO por encima del 80% por: Lagunas de estabilización, lodos activados (incluyendo la modalidad de zanjas de oxidación), filtros biológicos y módulos rotatorios de contacto. En el caso de zanjas de oxidación se considerará adicionalmente el proceso de desnitrificación, que puede llevarse a cabo en forma accesoria.

Entre los métodos de tratamiento biológico con biomasa en suspensión se preferirán aquellos que sean de fácil operación y mantenimiento y que reduzcan al mínimo la utilización de equipos mecánicos complicados o que puedan ser reparados localmente. Entre estos métodos están las lagunas de estabilización.

2.3.1 LAGUNAS DE ESTABILIZACION

2.3.1.1 ASPECTOS GENERALES

2.3.1.1.1 Se entiende por lagunas de estabilización a estanques construidos de tierra, de profundidad reducida (< 5m.), diseñados para el tratamiento de aguas residuales, por medio de la interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.), la materia orgánica del desecho y otros procesos naturales (submodelos hidráulicos y factores físicos, químicos y meteorológicos). La finalidad de este proceso es de entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, OD, SS, algas, nutrientes, parásitos, enterobacterias, coliformes, etc.).

2.3.1.1.2 El tratamiento por lagunas de estabilización es aplicable para casos en los cuales la biomasa de algas y los nutrientes se descargan en el efluente, pueden ser asimilados sin problemas por el cuerpo receptor. El uso de este tipo de tratamiento es recomendado especialmente en los casos en los cuales se requiere un alto grado de remoción de organismos patógenos. Para los casos en que el efluente descargue a un lago o embalse, estos procesos generalmente no son recomendables, debiendo evaluarse cuidadosamente la eutroficación del cuerpo receptor antes de su consideración como alternativa.

2.3.1.2 TIPOS DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Entre los tipos de lagunas más utilizadas como tratamiento de las aguas residuales están: anaeróbica, facultativa y de maduración. (Según publicación del Banco Mundial, fascículo 5.4)

2.3.1.2.1 Lagunas Anaeróbicas: se usan para sedimentar y descomponer la materia orgánica. Ellas siempre se colocan primero en una serie de lagunas de estabilización. En estas lagunas tienen lugar dos procesos:

a) Los sólidos de las aguas residuales que ingresan, sedimentan en el fondo de la laguna y forman una capa de lodo.

b) Las bacterias anaeróbicas (bacterias que no necesitan oxígeno) descomponen la materia orgánica contenida en el lodo. Esta descomposición produce gas (que se pierde en la atmósfera) y algunos productos solubles que pasan a otras lagunas. Este proceso causa poca acumulación de lodo en la laguna anaeróbica.

Alternativamente se pueden usar las siguientes recomendaciones para temperaturas de alrededor de 20 grados celcius.

- Carga orgánica volumétrica: 300g DBO/(m³.día) si el factor de olores no es de consideración se podrá incrementar a 400 g DBO/(m³. día).

- Período de retención nominal alrededor de 5 días.

- Profundidad entre 2.5 y 5 m

- Eficiencia de remoción de DBO: 50%.

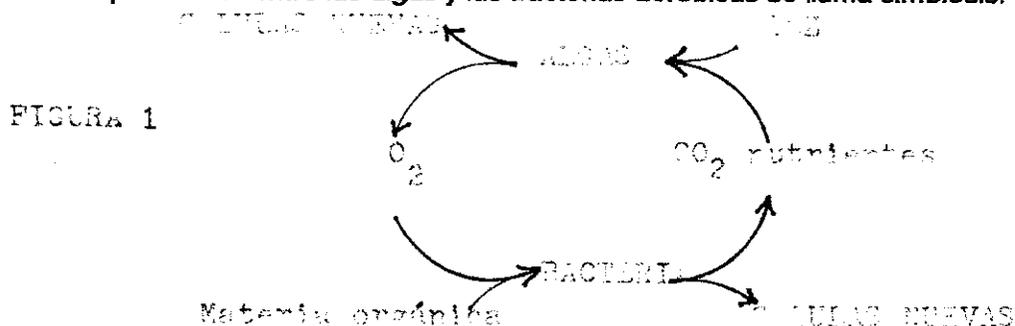
Se deberán diseñar un número mínimo de dos unidades en paralelo para permitir la operación en una de las unidades mientras se remueve el lodo de la otra.

La acumulación de lodo se calculará con un aporte de 40 V/(hab.año) determinándose el año de limpieza de las lagunas, al alcanzar el 50% del tirante del agua.

2.3.1.2.2 Lagunas Facultativas: Se usan para remover patógenos y DBO. Ellas pueden ser las primeras de una serie de lagunas de tratamiento o pueden recibir el efluente de una laguna anaeróbica. En estas lagunas ocurre lo siguiente:

a) Algunos de los sólidos suspendidos sedimentan, y en el fondo son digeridos anaeróbicamente. Esta capa del fondo se llama capa anaeróbica y en ella ocurre el 30% de la reducción de DBO.

b) La capa situada por encima de la capa anaeróbica contiene oxígeno. Las algas que crecen en esta capa producen oxígeno por fotosíntesis. Las algas obtienen los nutrientes necesarios a partir de los subproductos generados por las bacterias aeróbicas que también están presentes en esta capa. Las bacterias aeróbicas requieren oxígeno para sobrevivir y lo obtienen a su vez de las algas (como un subproducto). La interdependencia entre las algas y las bacterias aeróbicas se llama simbiosis. (Figura 1).



Alternativamente y en caso de no ser posible la experimentación, se podrán usar los siguientes criterios:

- La temperatura de diseño será la promedio del mes más frío (temperatura del agua), determinada a través de correlaciones de las temperaturas del aire-agua.
- En donde no exista ningún dato se usará para diseño la temperatura del aire del mes más frío.
- El coeficiente de mortalidad bacteriana (neto) será adoptado entre el intervalo de 0.8 a 1.6 (1/d) para 20 grados celcius. Se recomienda un valor alrededor de 1.0.

Según el Dr. Fabián Yáñez la carga máxima que se puede aplicar a una laguna facultativa sin que se torne anaeróbica ha sido determinada a través de mediciones de amoníaco y confirmada a través de mediciones de clorofila y puede estimarse mediante la siguiente correlación:

$$CS = 357.4 \times 1.085^{(t-20)}$$

En donde CS es la carga superficial máxima en Kg DBO/(Ha.d) y t es la temperatura del agua mínima mensual en grados celcius.

Alternativamente cuando no se pueda determinar la temperatura del agua, se podrá estimar la carga máxima, mediante la siguiente correlación:

$$CS = 400.6 \times 1.0993^{(tai - 20)}$$

En donde CS es la carga superficial máxima en Kg DBO/(Ha.d) y tai es la temperatura del aire del mes más frío en grados celcius.

El proyectista adoptará una carga de diseño menor a la determinada anteriormente, en consideración a factores como:

- La existencia de variaciones bruscas de temperatura.
- La forma de la laguna (las lagunas de forma alargada son sensibles a variaciones y deben tener menores cargas.
- La existencia de desechos industriales.
- El tipo de sistema de alcantarillado.

Para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo, la profundidad de las lagunas deben estar por encima de 1.2 m. La profundidad varía entre 1.5 y 2.5 m., la profundidad mínima recomendada es de 1.5m. Para el diseño de una laguna facultativa primaria, el proyectista deberá proveer una altura adicional para acumulación de lodos entre periodos de limpieza de alrededor de 10 años. Esta altura adicional es generalmente del orden de 0.3 m. y deberá ser determinada calculando la disminución del volumen por concepto de digestión anaeróbica en el fondo.

Para lagunas facultativas primarias se debe determinar los volúmenes de lodo acumulado teniendo en cuenta un 80% de remoción de sólidos en suspensión en el efluente, con una reducción del 50% de sólidos volátiles por digestión anaeróbica, una densidad del lodo de 1.05 Kg/l y un contenido de sólidos del 10% al peso. Con estos datos se determina la frecuencia de remoción de lodo en la instalación.

2.3.1.2.3 LAGUNAS DE MADURACION: Las lagunas de maduración son usadas para mejorar el efluente proveniente de la laguna facultativa o de otra laguna de maduración. No deben recibir aguas residuales sin tratar. Las lagunas de maduración son aeróbicas en toda su profundidad, porque tienen baja concentración de materia orgánica y una alta concentración de algas. Las lagunas se destinan principalmente para la remoción de patógenos, los cuales mueren conforme el agua residual se desplaza lentamente a través de la laguna de maduración. La cantidad de lagunas necesarias en un sistema de estabilización depende de la calidad del efluente requerido.

En relación con parásitos en aguas residuales, los nematodos intestinales son considerados como indicadores, de modo que su remoción implica la remoción de otros tipos de parásitos. Para una adecuada remoción de nematodos intestinales en un sistema de lagunas se requiere un periodo de retención nominal de 10 días como mínimo.

La reducción de bacterias en cualquier tipo de lagunas debe ser determinada en términos de coliformes fecales, como indicadores. Para el efecto el proyectista debe usar el modelo de flujo disperso, con los coeficientes de mortalidad netos que se han indicado para los diferentes tipos de unidades. El uso del modelo de mezcla completa con coeficientes globales de mortalidad no es aceptable para diseño de lagunas en serie, debido a los grandes fracasos que se han evidenciado en la práctica.

El factor de dispersión para uso en el modelo de flujo disperso, puede ser determinado según la forma de la laguna. Los siguientes valores son recomendados en función de la relación largo/ancho.

CUADRO 2

Relación largo/ancho	Factor de dispersión d
1	1.00
2	0.50
3	0.25
4	0.12

El coeficiente de mortalidad neto puede ser corregido con la siguiente relación de dependencia de la temperatura:

$$K_t = K_{20} \times 1.07^{(t-20)}$$

En donde:

K_t es el coeficiente de mortalidad neto a la temperatura T en grados celcius y K_{20} es el coeficiente de mortalidad neto a 20 grados celcius.

2.4 TRATAMIENTO DE LODOS

Para proceder al diseño de facilidades de tratamiento de lodos, se realizará un inventario de producción de lodos en los procesos de tratamiento de la planta, debiéndose tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El inventario se realizará para condiciones de caudales y concentraciones medias y temperaturas correspondientes al mes más caliente.
- Para lodos primarios se determinará el volumen y masa de sólidos en suspensión, totales y volátiles teniendo en consideración los porcentajes de remoción, contenido de sólidos y densidades.

2.4.1 LECHOS DE SECADO

Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratación de lodos estabilizados aeróbicamente (zanjas de oxidación) o anaeróbicamente (digestión anaeróbica). En el caso de los lodos digeridos anaeróbicamente, se determinará la masa de lodos considerando una reducción de sólidos volátiles entre el 50 y 55%. La gravedad específica de los lodos digeridos varía entre 1.03 y 1.04. Si bien el contenido de sólidos en el lodo digerido depende del tipo de lodo, los siguientes valores se dan como guía:

- Para lodo primario digerido: de 8 a 12% de sólidos.
- Para lodo de procesos biológicos incluido lodo primario: de 6 al 10% de sólidos.

Previo al dimensionamiento de los lechos de secado se determinan adoptando una profundidad de aplicación entre 20 y 30 cms. y calculando el número de aplicaciones por año. Para el efecto se deben tener en cuenta los siguientes periodos de operación:

- Período de aplicación: 4 a 6 horas.
- Período de secado: entre 3 y 4 semanas para climas cálido y entre 4 y 6 semanas para climas más fríos.
- Período de remoción del lodo seco: entre 1 y 2 semanas para instalaciones con limpieza manual (dependiendo de la forma de los lechos) y entre 1 y 2 días para instalaciones pavimentadas en las cuales se puede empujar el lodo seco, con tractor pequeño.
- Período de preparación y mantenimiento: de 1 a 2 días por aplicación para lechos de arena. Un día por aplicación para lechos con ladrillos (con juntas de arena) y una semana por año para lechos pavimentados con drenaje central. Se recomienda para un tipo de lodo primario de 120 a 200 kg de sólidos/(m².año).

En relación con detalles de diseño de lechos de secado, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los tanques pueden ser construídos de mampostería, de concreto o de tierra (con diques), de una profundidad total de 30 a 40 cms. El ancho de los lechos es generalmente entre 3 y 6 m. pero para instalaciones grandes puede sobrepasar los 10 m.

- El medio de drenaje no es de importancia en relación con secado, ya que el mecanismo de seca es casi exclusivamente por evaporación, sin embargo sirve para drenar agua de lluvia cuando los lechos están fuera de operación. Este medio generalmente es de 0.3 m. de espesor y debe tener los siguientes componentes:

- El medio de soporte recomendado está constituido por una capa de 15 cms. formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2-3 cm. llena de arena. La arena es el medio filtrante y debe tener un tamaño efectivo de 0.3 a 1.3 mm. y un coeficiente de uniformidad menor de 5.

- Debajo de la arena se debe colocar un estrato de grava graduada entre 1/16" y 2", de 0.20 m. de espesor.

- Los drenes deben estar constituidos por tubos de 100 mm. colocados debajo de la grava, en pequeñas zanjas.

- Alternativamente se pueden diseñar lechos pavimentados con losas de concreto o losetas prefabricadas, con una pendiente de 1.5% hacia un canal central de drenaje. La forma de estos lechos es de 5 a 15 m de ancho, por 20 a 45 m. de largo.

- Para cada lecho se debe proveer una tubería de descarga con su respectiva válvula de compuerta y loseta en el fondo para impedir la destrucción del lecho.

- La forma de los lechos no es relevante, lo importante es que cumpla con las necesidades de área prevista en el diseño.

III. UNIVERSO DEL TRABAJO

3.1 ANTECEDENTES

En enero de 1,980 el proyecto correspondiente a la segunda etapa de la red de alcantarillados del municipio de Zacualpa, El Quiché, no fue aprobado por la misión AID, la que solicitó al Instituto de Fomento Municipal la revisión de la planificación con relación a la descarga, en virtud de considerar que se deben tomar medidas sanitarias para no contaminar el Río Grande, afluente del Motagua, considerando éste último, posible fuente futura del abastecimiento de agua a la capital.

En marzo de 1,981 el Jefe de la sección de alcantarillados de INFOM dirige un oficio al alcalde municipal de Zacualpa en los siguientes términos: "Con la intención de no perder la ayuda del gobierno a la municipalidad de Zacualpa, ya que esta obra debió haberse iniciado según programa, en enero de este año; consideramos que conviene adquirir cualquier predio de aproximadamente una manzana y ubicado en el sector comprendido; al poniente; por la calle que sale a Santa Cruz. Al oriente; aproximadamente 400 metros de la actual descarga. Al sur; la orilla del río grande. El predio en mención debe estar lo más alejado posible de la población y consecuentemente lo más próximo al río Grande".

Ese mismo mes se nombra al Ing. Pablo Kong diseñador del proyecto de planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa. A finales del mes de marzo de ese año se da la promesa de venta a la municipalidad; de un predio destinado al tratamiento de aguas negras por la suma de Q4000.00; traspaso que se hará al efectuarse los trámites legales ante abogado y notario.

El 5 de enero de 1,982 el proyectista informa haber terminado el proyecto de tratamiento de aguas negras, habiéndole estimado un presupuesto de Q84,000.00. El director de AID en Guatemala en febrero de 1,982 aprueba planos, especificaciones, etc. del subproyecto de la 2a. etapa del alcantarillado, en virtud de haberse satisfecho el requisito de la planta de tratamiento de aguas negras.

En octubre de 1,986 se solicita por parte de la municipalidad la colaboración al departamento de Operación y mantenimiento de INFOM, a fin de solucionar los problemas que está ocasionando la planta de tratamiento de aguas residuales, según reporte del Centro de Salud del lugar.

En noviembre de 1,989 se presenta una serie de solicitudes por parte de la municipalidad de Zacualpa, debido a que la planta de tratamiento está ocasionando problemas por mal funcionamiento, tales solicitudes son dirigidas al departamento de operación y mantenimiento de INFOM.

En 1,995 el Ing. Msc. Adán Pocasangre Collazos en su estudio especial presenta la planta de tratamiento de Zacualpa, entre otras del interior, sin funcionamiento, abandonada, pero le da la caracterización de rehabilitable.

En 1,996 se presenta ante la comisión de otorgamiento de grado el presente estudio especial cuyo objetivo primordial es la evaluación y propuesta de rehabilitación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché.

3.2 INFORMACION GENERAL

3.2.1 Localización

Zacualpa es la cabecera del municipio del mismo nombre en el departamento de El Quiché.

El municipio colinda al norte con San Andrés Sajcabajá y Canillá; al este con Joyabaj; al sur con Joyabaj y Chiché; al oeste con Chinique, Chiché y San Andrés Sajcabajá; todos municipios del Quiché.

La Cabecera Municipal se encuentra a 15° 01' 35" latitud norte y 90° 52' 35" longitud oeste.

3.2.2 Características Físicas

La topografía del área donde se asienta la población es bastante regular, con pendiente suave hacia el sur-este, donde se encuentra la cuenca del Río Grande.

3.2.3 Clima

El clima es por naturaleza templado y agradable, presentando pocas variantes en la temperatura durante el año. La época de lluvia es benigna, siendo los meses de junio a octubre los de mayor precipitación pluvial. La temperatura medial anual es de 20.4 °C, y la precipitación pluvial de 1712 mm/año. La población se encuentra aproximadamente a 1500 m. SNM.

3.2.4 Vías de Acceso

Zacualpa se encuentra aproximadamente a 205 kms. de la capital, sobre carretera completamente asfaltada. Sobre esta ruta a 40 kms. se encuentra Santa Cruz del Quiché, cabecera del departamento y a 77 kms. el entronque con la carretera CA-1 en el lugar conocido como "Los Encuentros".

3.2.5 Suelo

Superficialmente el suelo es por lo general arcilloso y a poca profundidad es arcilloso-arenoso. En poca extensión se encuentra talpetate. Para la parte construida se han excavado zanjas hasta 7 m. y fracción. En resumen el suelo es consistente y fácilmente excavable con pico y pala.

3.2.6 Datos de población (Recabados por Centro de Salud del Municipio)

Población total de Zacualpa (1,996).....	25,027
Población Urbana de Zacualpa (1,996).....	2,639
Total de viviendas (1,996).....	546
Viviendas habitadas.....	441
Viviendas deshabitadas.....	105
Viviendas con agua domiciliar.....	394
Viviendas con inodoro y drenaje.....	334
Viviendas con letrina sin drenaje.....	80
Viviendas sin ningún servicio sanitario.....	27
Defunciones (1,995).....	150
Nacimientos (1,995).....	918

3.2.7 Principales 10 causas de defunciones

1) Bronconeumonía.....	35
2) GECA (Complicación por desnutrición).....	33
3) Desnutrición Crónica del Adulto	20
4) Senilidad.....	14
5) Intoxicación alcohólica.....	7
6) Shock Hipovolémico.....	5
7) Abdomen Agudo.....	4
8) Cirrosis.....	4

9) Accidente cerebro vascular.....	3
10) Cáncer gástrico.....	3

3.2.8 Principales enfermedades que atacan a niños (en orden de mayor incidencia).

- 1) Resfriado común
- 2) Amebiasis
- 3) Parasitismo intestinal
- 4) Síndrome diarreico

3.3 PLANTA DE TRATAMIENTO EXISTENTE

Tipo de planta : Canal de rejas + tanque Imhoff + 3 Filtros percoladores tipo torre + laguna de estabilización + Lechos de secado de lodos.

Ubicación de la planta: Lugar conocido como "La Obra".

En funcionamiento: No

Diseñador: INFOM- Ing. Pablo Kong.

Año de Construcción: 1,983

Cubrimiento: 90% de la población.

La población de diseño para 1,995 se estimó en 2,400 hab.

Administración: No existe tasa de administración ni de mantenimiento.

Características de la planta:

- **Canal de Rejas:** Tiene las dimensiones de 2.10 metros de largo por 1.0 metros de ancho, no cuenta con las rejas.

- **Tanque Imhoff:** Es una unidad de doble pantalla de concreto fundido con dimensiones de 6.25 x 10.0 metros, cuenta con 3 cámaras de ventilación y 2 dispositivos de entrada y salida por medio de canales. La retirada de los lodos digeridos se realiza por medio de dos tuberías en forma hidráulica, la estructura se encuentra en buen estado. El caudal a tratar por esta unidad es de 17.8 l/s, lo cual da una capacidad instalada de atender una 800 conexiones domiciliarias. Tiene una pasarela de 0.80 m. de ancho.

- **Filtro Percolador (Tipo Torre):** son 3 unidades circulares en serie de 2.25 metros de diámetro, con piedra volcánica entre 4" y 6" de diámetro. Dos unidades cuentan con sistema de ingreso por medio de tubería perforada y la otra unidad por medio de una pantalla difusora.

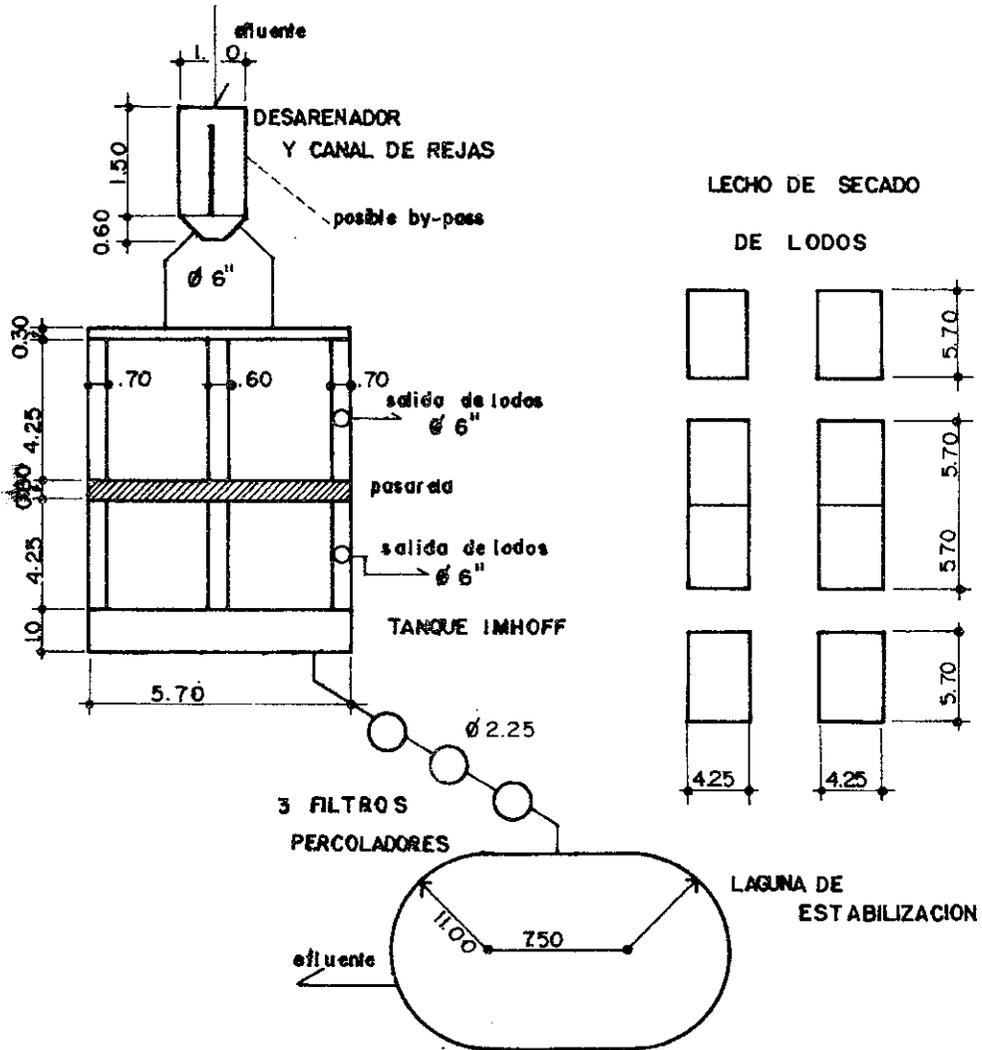
- **Laguna de estabilización:** Tiene forma elíptica con los focos de radio de 11.00 metros y la parte central 7.50 metros. El talud está recubierto de planchas de concreto. Cuenta únicamente con un solo ingreso del fluido (el cual ingresa hasta en la parte central).

- **Lecho de secado de lodos:** Son 8 unidades con dimensiones de 4.25 x 5.70 metros cada uno, lo que da un área superficial de 193 m² y un volumen de secamiento de lodos de 58 metros cúbicos.

- **Obras accesorias:** Caseta para guardar equipo de operación y mantenimiento, instalación de agua potable, graderíos, rampas y cercas de protección.

A continuación se presenta el esquema general y perspectiva de la planta de tratamiento de aguas residuales a rehabilitar (fuente: Estudio especial Ing. Msc. Adán Pocasangre Collazos)

PLANTA A REHABILITAR

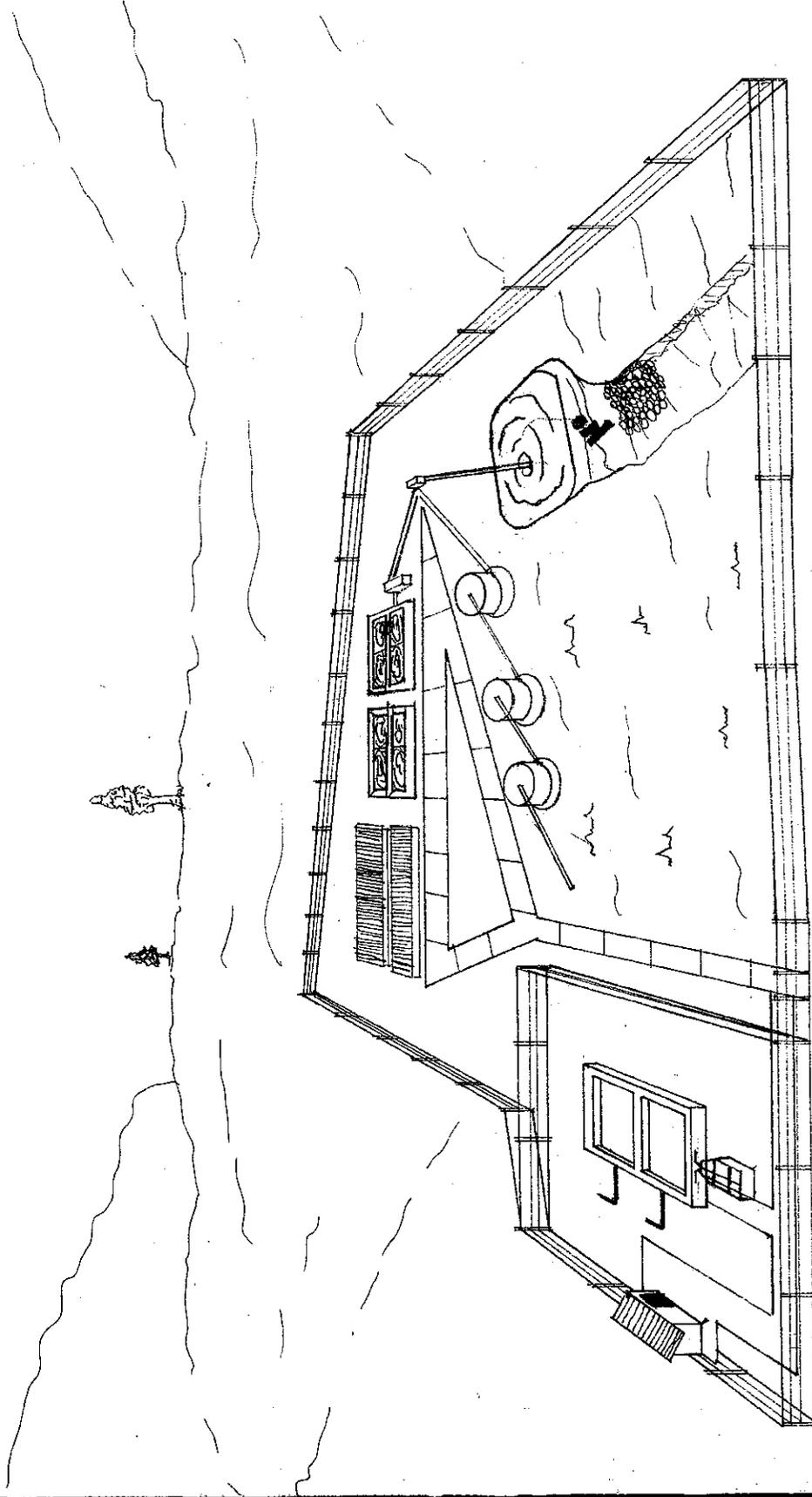


ESQUEMA GENERAL.

INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL.

CONVENIO INFOM— OPS— ERIIS

ESQUEMA GENERAL DE PLANTA ORIGINAL.



PERSPECTIVA PLANTA TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES
ZACUALPA, QUICHE.

IV. EVALUACION Y PROPUESTA DE REHABILITACION

A continuación se desarrolla el análisis de cada una de las unidades existentes en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché, al mismo tiempo se presenta la propuesta de nuevas unidades que vendrán a optimizar el tratamiento.

4.1 Modificación de la línea de descarga (Ver en anexos el plano 3/18)

El Tanque Imhoff será la unidad reguladora del perfil hidráulico inicial, ya que con el objeto de conservarlo se respetarán las cotas de entrada al mismo, para poder afrontar las pérdidas de carga en el canal de rejillas y desarenador es necesario modificar la pendiente desde el pozo de visita No. 2, la misma se disminuirá hasta un 0.1%, situación por la cual se deberá cambiar la tubería de cemento por PVC y así mantener velocidades adecuadas que no permitan socavación de la tubería, esta pendiente se mantendrá hasta el último pozo de visita existente.

4.2 Transformación del último pozo de visita en pozo de excedencias. (Ver en anexos el plano 6/18)

La incidencia de infiltración y lluvia ilícita en la planta de tratamiento, que elevan el caudal máximo a 28.58 l/s para el período de diseño (20 años) será desviado a través del último pozo de visita (a la entrada de la planta), a fin de considerar únicamente el caudal máximo negro (17.79 l/s) para el período de diseño, los datos de diseño son los siguientes:

Diámetro de tubería de entrada (combinado).....	16" PVC
Ancho del canal (diámetro del pozo).....	1.20 m.
Diámetro del tubo hacia la planta.....	16" PVC
Diámetro del tubo de exceso de agua.....	16" PVC
Caudal combinado.....	28.58 l/s
Caudal a tratar por la planta.....	17.79 l/s

4.3 Canal de Rejas (Ver en anexos los planos 7/18 y 8/18)

El canal existente será transformado a fin de poder integrar al sistema un desarenador y un medidor de caudal, se consideraron para su modificación los siguientes parámetros de diseño:

Caudal máximo.....	17.79 l/s
Caudal mínimo.....	1.77 l/s
No. de barras.....	14
Espaciamiento entre barras.....	1"
Ancho de barras.....	1/4"
Pérdida de carga.....	0.2 m.
Velocidad máxima.....	0.8 m/s
Inclinación de las rejillas.....	60°

4.3.1 By Pass (Ver en anexos el plano 7/18)

A fin de desviar las aguas por limpieza del canal de rejas, se construirá un canal que permitirá desviar el agua residual a fin de darle mantenimiento a las rejas. El mismo tendrá un ancho de 0.50 metros y un tirante máximo de 0.12 metros.

4.4 Desarenador (Ver en anexos los planos 7/18 y 8/18)

Esta unidad se incorpora a la planta de tratamiento a fin de remover partículas que causan daño a los procesos de sedimentación y digestión que se darán en el tanque Imhoff.

Parámetros de diseño:

Velocidad de sedimentación.....	2 cm/s
Carga de aplicación.....	1200 m ³ /m ² /día
Velocidad horizontal.....	0.3 m/s
Largo del canal.....	3 m.
Altura del canal.....	0.32 m.
Ancho del canal.....	0.50 m.
Relación largo:alto.....	25
Angulo de inclinación de la tolva.....	45°
Contribución de arena.....	46 l/día
Período de limpieza.....	c/3 días.

A esta unidad se le incorporará un dren de arenas a fin de poder desviarlas hacia una caja y eliminarlas.

4.5 Vertedero Proporcional (Ver en anexos el plano 7/18)

Su objetivo primordial será la medición del caudal de entrada a la planta de tratamiento, ya que las variaciones en el caudal podrían afectar el comportamiento del tratamiento, también servirá para lograr un control y un monitoreo constante. Su altura máxima será de 0.12 metros, su base tendrá 0.30 metros. La fórmula utilizada es:

$$x/b = 1 - 2/\pi \times \text{tg}^{-1} [(y/a)^{1/2}]$$

Donde (x,y) son abscisa y ordenada de la función respectivamente, a y b son los tirantes en el vertedero.

4.6 Tanque Imhoff (Ver en anexos plano 9/18)

Se estudió la posibilidad de transformarlo en un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, sin embargo, debido a la sensibilidad del mismo hacia los cambios de temperatura y los costos de modificación y a que el tanque Imhoff mostró un adecuado comportamiento, se desistió la transformación luego del siguiente análisis de sus componentes:

4.6.1 La pendiente del fondo de la cámara de sedimentación presenta la relación 1:1 (lo recomendable es una relación 1:1.5).

4.6.2 El ancho de la ranura de paso en la cámara de sedimentación es de 20 centímetros (adecuado entre 15 y 20 cms.).

4.6.3 La carga en los sedimentadores sugerida es de $24.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. Para el período de diseño los sedimentadores del tanque soportarán una carga de $25.62 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

4.6.4 El período de retención en cada sedimentador para el período de diseño (20 años) será de 0.81 horas, lo recomendado es de 1 a 2 horas.

4.6.5 La relación largo-ancho en los sedimentadores es 5:1, lo recomendable está entre las relaciones 5:1-6:1.

4.6.6 La capacidad de la cámara de digestión está entre 35 a 50 l/hab recomendable para un tanque Imhoff, según el análisis del actual muestra una capacidad de 38.5 l/hab.

4.6.7 Pendiente de fondo digestor 2:1, lo que coincide exactamente con lo sugerido.

4.6.8 Ancho de ventosas ocupan un 36% del ancho total, recomendable entre 20-30%.

4.6.9 Altura de la sección recta recomendable entre 0.9 y 1.5m., el tanque evaluado tiene 0.8 metros.

4.6.10 Borde libre 0.30 metros, adecuado entre 0.3 a 0.6 m.

4.6.11 La evacuación de lodos posee un diámetro de 4", se cambiará el mismo a 6" (recomendado de 6 a 8").

4.6.12 La carga hidráulica sobre el tubo de evacuación de lodos es similar a la recomendada (ver en este estudio el inciso 2.2.1.5.c)

4.7 Lagunas de estabilización (Ver en anexos los planos 10/18, 11/18, 12/18, 13/18 y 14/18)

A continuación del tanque Imhoff se ha propuesto la inclusión de un tratamiento secundario, el cual estará a cargo de dos lagunas de estabilización funcionando en paralelo y una tercera laguna (existente) funcionando en serie, las cuales cumplen con los siguientes parámetros de diseño:

Temperatura media del agua, del mes más frío.....	10°C
Dotación del agua potable.....	150 l/hab/día
Porcentaje de retorno.....	80%
Caudal a tratar en la primera laguna.....	10.36 l/seg
Profundidad de primera laguna (espejo de agua).....	2 metros
Período de retención en primera laguna.....	2 días
Caudal a tratar en la segunda laguna.....	7.43 l/seg
Profundidad de segunda laguna.(espejo de agua).....	2 metros
período de retención en segunda laguna.....	2 días
% de remoción de DBO en las dos lagunas.....	30%
Aporte per cápita de DBO (según monitoreo y cálculo por método de Thomas ver capítulo V, inciso d).....	47gDBO/Hab/día
Caudal a tratar en la tercera laguna.....	17.79 l/seg
Período de retención en la tercera laguna	0.5 días.
Profundidad de tercera laguna (espejo de agua).....	1.5 metros

4.8 Patio de secado de lodos (Ver en anexos el plano 15/18)

Son el método de secado más simple y económico de deshidratación, se encuentran a continuación del tanque Imhoff al cual purgan, los parámetros de diseño son los siguientes:

Area de secado.....	168 m ² , (14m x 12m)
Período de aplicación.....	4 a 6 Horas.
Período de secado.....	4 semanas.
Período de remoción de lodo seco.....	2 semanas.

4.9 Cajas distribuidoras con vertedero (Ver en anexos los planos 12/18 y 13/18)

De ellas hay unidades que permitirán la medición del caudal; la primera a la salida del tanque Imhoff que permitirá además de la medición la distribución equitativa del caudal, de acuerdo al área de cada laguna, de tal forma que el ángulo del vertedero para la laguna de mayor área será de 90° y para el vertedero que distribuye para la laguna de menor área será de 73°, luego las otras cajas con vertederos están situadas a la entrada y salida de cada una de las lagunas facultativas (El ángulo para cada vertedero triangular en estas cajas será de 90°).

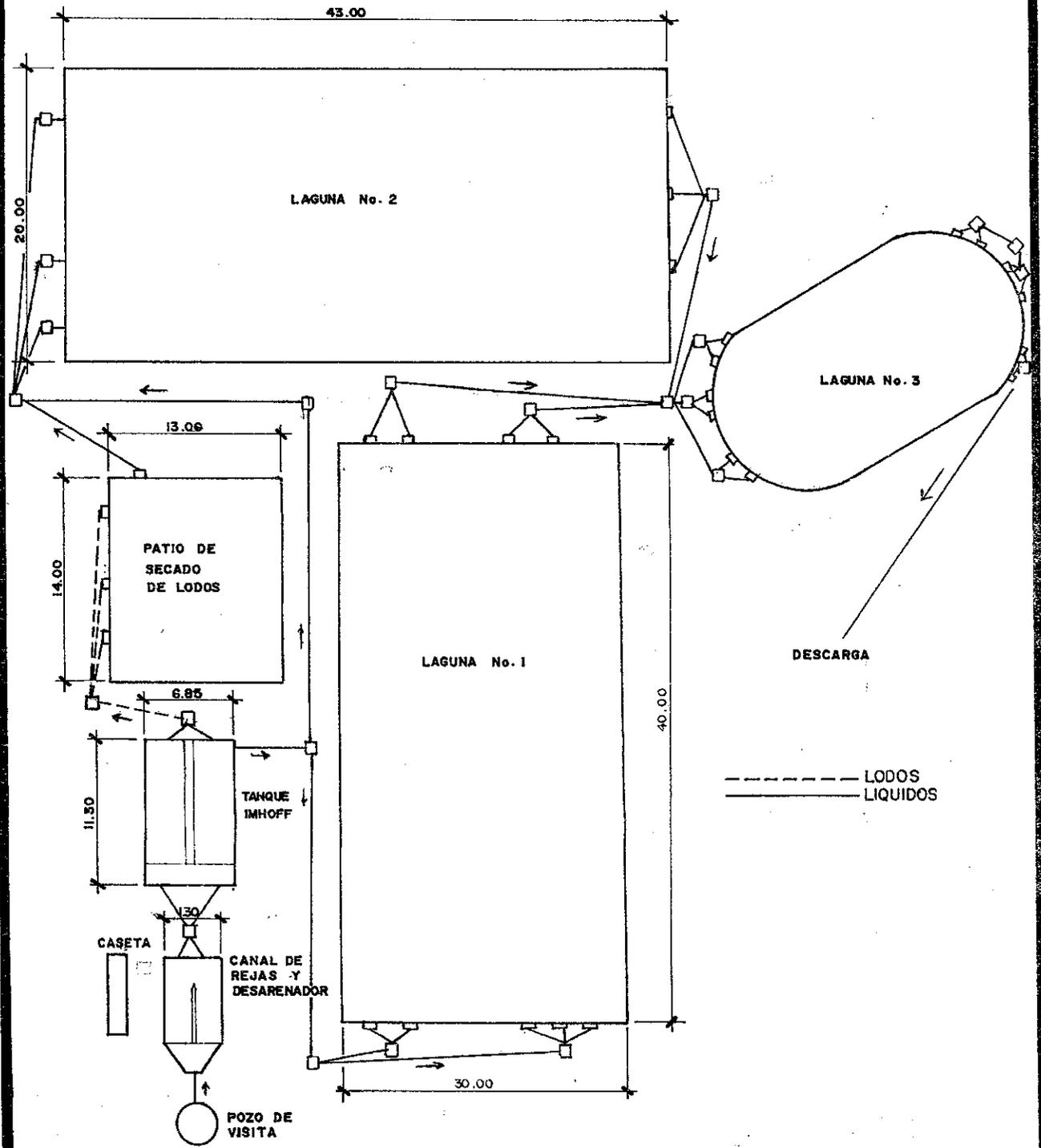
4.10 Listado de Materiales y Presupuesto (ver anexo B)

Para todas las modificaciones a realizar en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché y poder rehabilitar la misma, se presentan en este estudio los componentes materiales y económicos a implementar, entre los que sobresalen: modificación de línea de descarga, demolición de algunas unidades existentes, reparación de tanque Imhoff y transformación de tubería de extracción de lodos del mismo, movimiento de tierras para construcción de lagunas, construcción de cajas y tubería de interconexión, modificación de laguna existente, y construcción de cabezales de descarga.

4.11 Manual de Operación y Mantenimiento (ver capítulo VI de este estudio).

Al evaluar las unidades existentes en la planta de Zacualpa, es de apreciar que las mismas tienen serios daños ocasionados por la mala operación del sistema y la falta de mantenimiento (azolvamiento del canal de entrada, crecimiento de maleza en forma extrema, falta de tubería interconectora y válvulas, etc.), para que la rehabilitación de la planta sea todo un éxito, se ha propuesto en este estudio, un manual de operación y mantenimiento, el cual deberá ponerse en práctica inmediatamente al conectarse todo el sistema.

Ver a continuación el esquema general de la planta de aguas residuales de Zacualpa, completamente rehabilitada.



INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL

CONVENIO INFOM - OPS - ERIS

ESQUEMA GENERAL DE PLANTA REHABILITADA

V. PARAMETROS DE CONTROL

Para la evaluación práctica de la descarga de aguas residuales para la planta de Zacualpa, Quiché, se analizaron principalmente los siguientes parámetros:

a) Temperatura:

Factor decisivo a considerar en el diseño y evaluación de procesos biológicos de tratamiento, ya que las eficiencias, cargas operacionales, tiempos de retención, etc., dependen de la temperatura de operación.

b) pH:

Mide el grado de acidez, neutralidad o alcalinidad del agua evaluada. Cobra vital importancia en los tratamientos anaeróbicos, ya que permite medir el equilibrio o desequilibrio existente entre los grupos metanogénico y acidogénico.

c) Sólidos Sedimentables:

Permitirán por un lado medir la eficiencia en remoción de sólidos del Tanque Imhoff y por otro evaluar la eficiencia de los procesos biológicos sin considerar eficiencia física debido a sedimentación.

d) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO): (ver en anexos gráfica de DBO)

Ambos parámetros permitirán evaluar las concentraciones de materia orgánica a la entrada y salida de el Tanque Imhoff y de las lagunas secundarias.

A continuación se muestra el método utilizado para la determinación de DBO. (Método de Thomas).

d.1 De los resultados experimentales $y-t$ (y es la demanda bioquímica de oxígeno 5 días y t es el tiempo respectivo), se calcula $(t/y)^{1/3}$ para cada día.

d.2 Se grafica $(t/y)^{1/3}$ contra " t " en papel milimetrado y se dibuja la recta lo más ajustada posible a los puntos. (recta de mínimos cuadrados).

d.3 De la gráfica se mide la intersección " a " y la pendiente " b " (ecuación de la recta $y = b \cdot x + a$).

d.4 Se calcula " k " y " L " de las ecuaciones 1 y 2, y se sustituye en la ecuación general 3 para cada día.

$$\text{Ecuación 1: } L = 1/(k \cdot a^3)$$

$$\text{Ecuación 2: } k' = 6 \cdot b/a$$

$$\text{Ecuación 3: } y = L \cdot (1 - \exp(-k' \cdot t))$$

Al aplicar el método anterior a la descarga de aguas residuales de Zacualpa, se determinó una Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días, equivalente a 117.33 mg/L, que determina un aporte per cápita igual a 47 g DBO/hab/día.

e) Conductividad:

Su importancia en aguas residuales consiste en conocer rápidamente las variaciones de los residuos disueltos en las muestras de agua cruda o de desecho.

f) Oxígeno Disuelto: Nos permite conocer el impacto de la carga orgánica en el agua residual, si es menor de 4 mg/L ningún ser vivo podrá sobrevivir en dicho líquido.

g) Número más probable de coliformes fecales y totales por cien centímetros cúbicos:

Este parámetro nos permitirá evaluar el impacto microbiológico de las aguas residuales analizadas, el grado de contaminación de las mismas, la incidencia manifestada principalmente a través de estos microorganismos.

A continuación se muestran las gráficas de los parámetros brevemente analizados anteriormente y otros que fue posible medir en la descarga de las aguas residuales de la planta de Zacualpa, Quiché:

**RESULTADOS DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, MUNICIPIO DE
ZACUALPA, DEPARTAMENTO DEL QUICHE.**

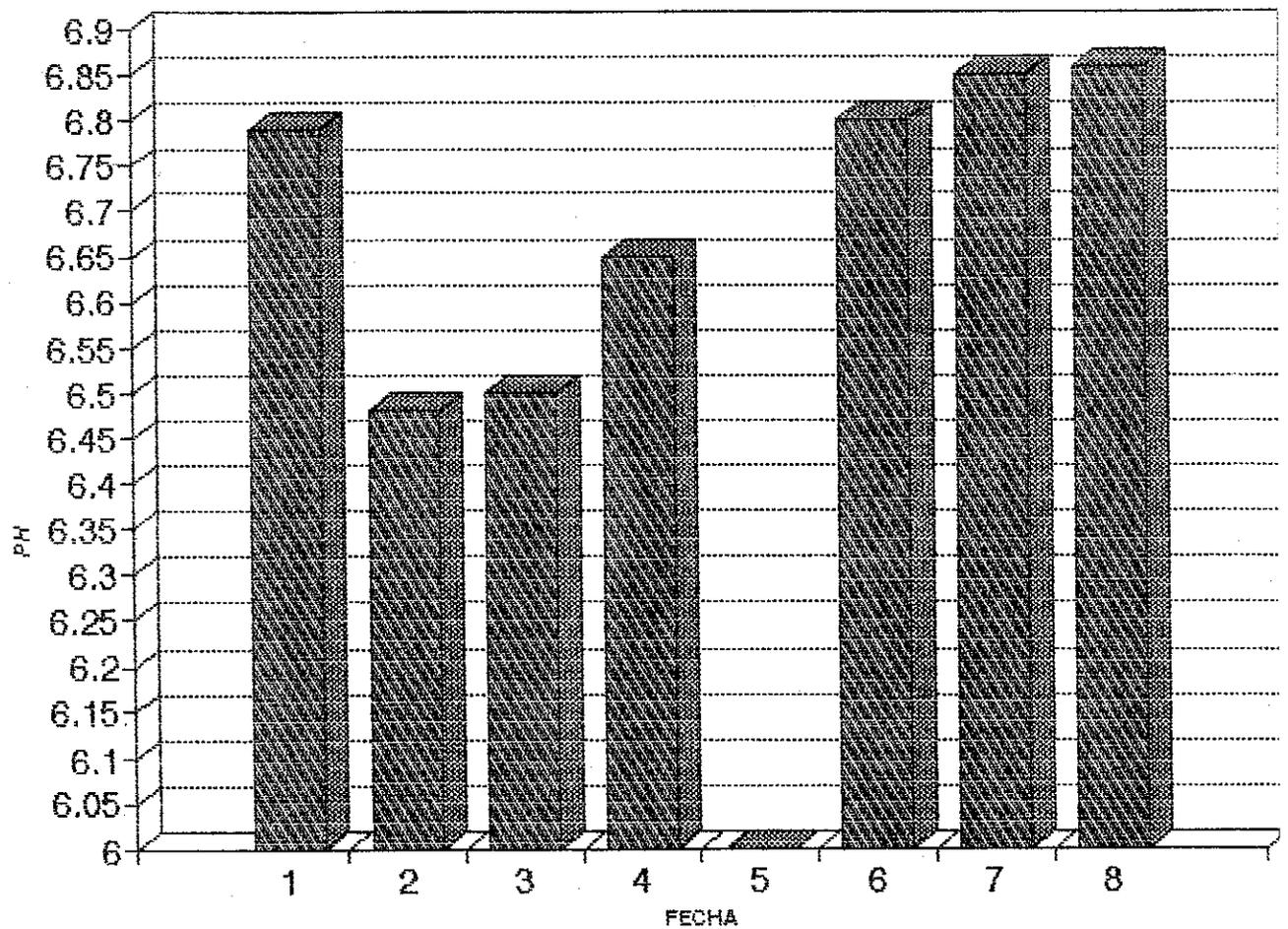
PUNTO DE MUESTREO: DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES.

Fecha	Hora	Tempe- ratura (°C)	Conducti- tividad	Sólidos Disueltos (mg/l)	Sólidos Sedimen. 1 hora	Sólidos Sedimen. 2 hora
27-03-96	13:55	22	-	-	-	-
15-04-96	10:50	20	187	194.6	1.3	2.0
09-05-96	-	20	226	-	2.0	2.3
11-06-96	9:40	21	583	310	1.0	1.5
02-07-96	11:00	20	189	66.3	1.5	2.0
11-07-96	16:35	20	-	109.6	1.0	2.0
16-07-96	10:30	19	-	101.1	2.5	2.5
02-08-96	11:50	18	298	157	-	-

OD (mg/l)	DB5 (mg/l)	DBO (mg/l)	Coliform. Total (NMP/100cm ³)	Coliform. Fecal (NMP/100cm ³)
7.0	-	-	-	-
6.8	76	340	-	-
3.0	188	64	-	-
2.0	132	298	-	-
2.3	-	388	>2.4E7	>2.4E7
-	19	290	>1.4E12	3.6E11
6.0	100	298	>2.4E14	2.4E14
1.0	116	415	1.5E11	9.1E9

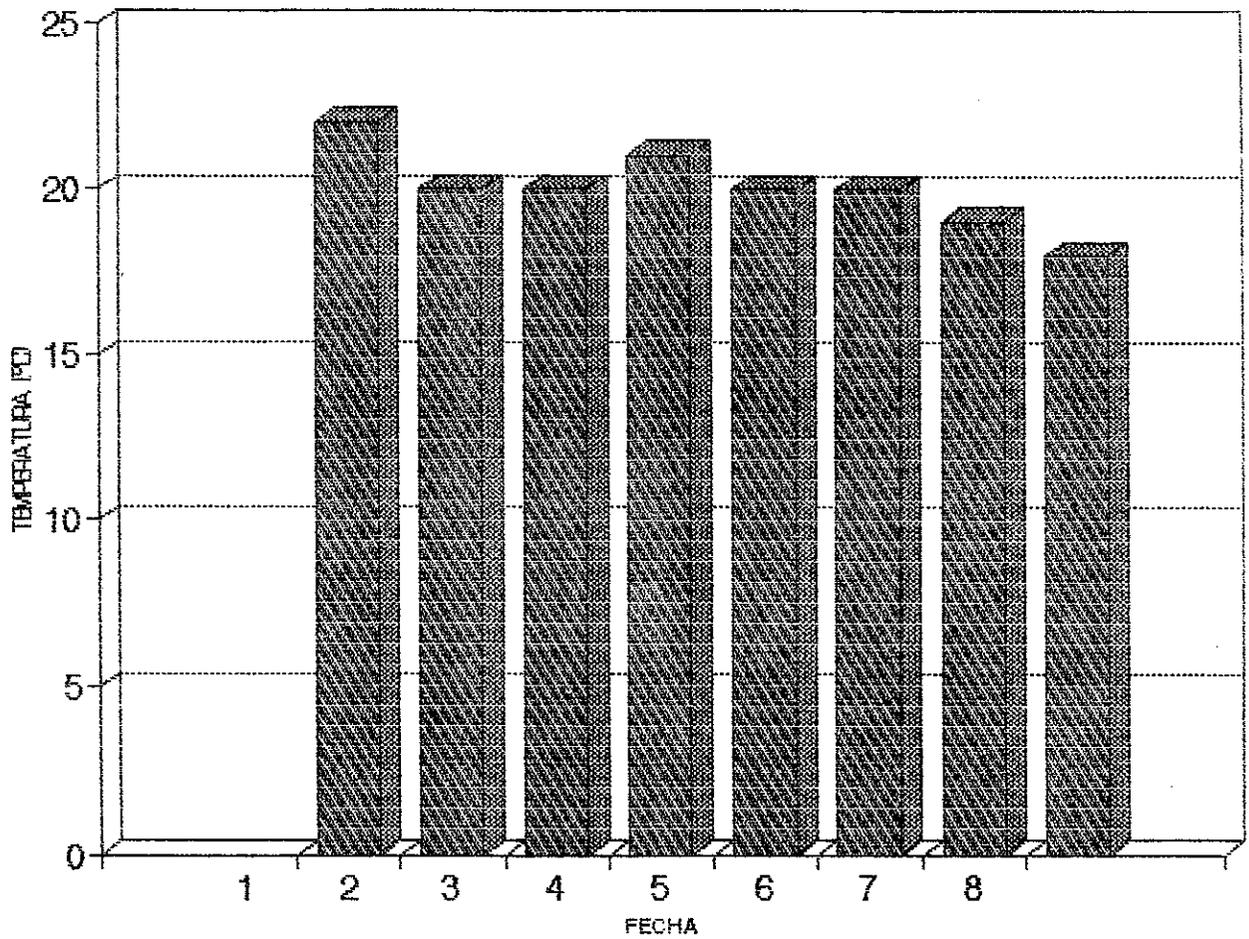
RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE: ZACUALPA,
QUICHE.

pH



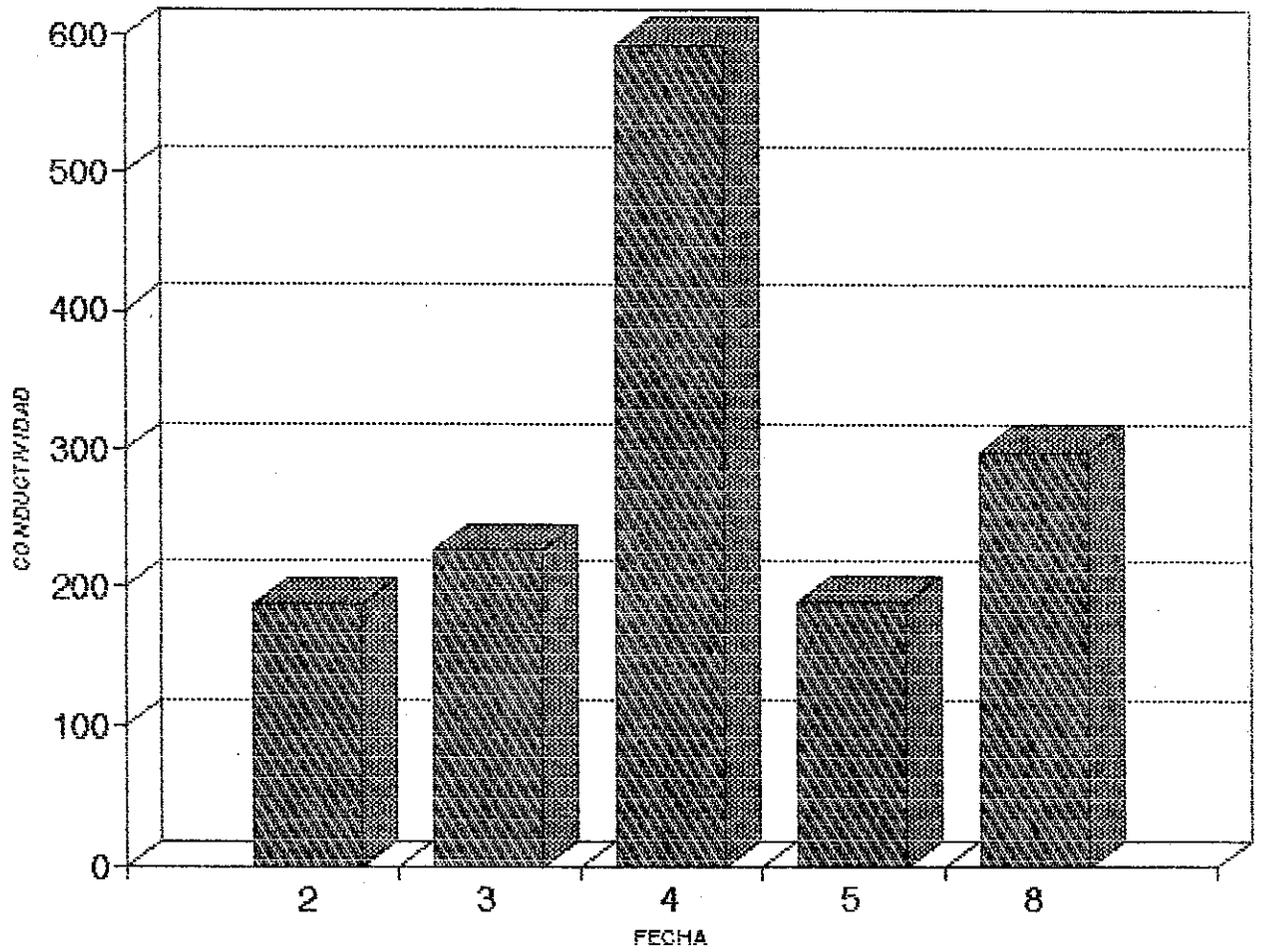
RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE: ZACUALPA,
QUICHE.

TEMPERATURA



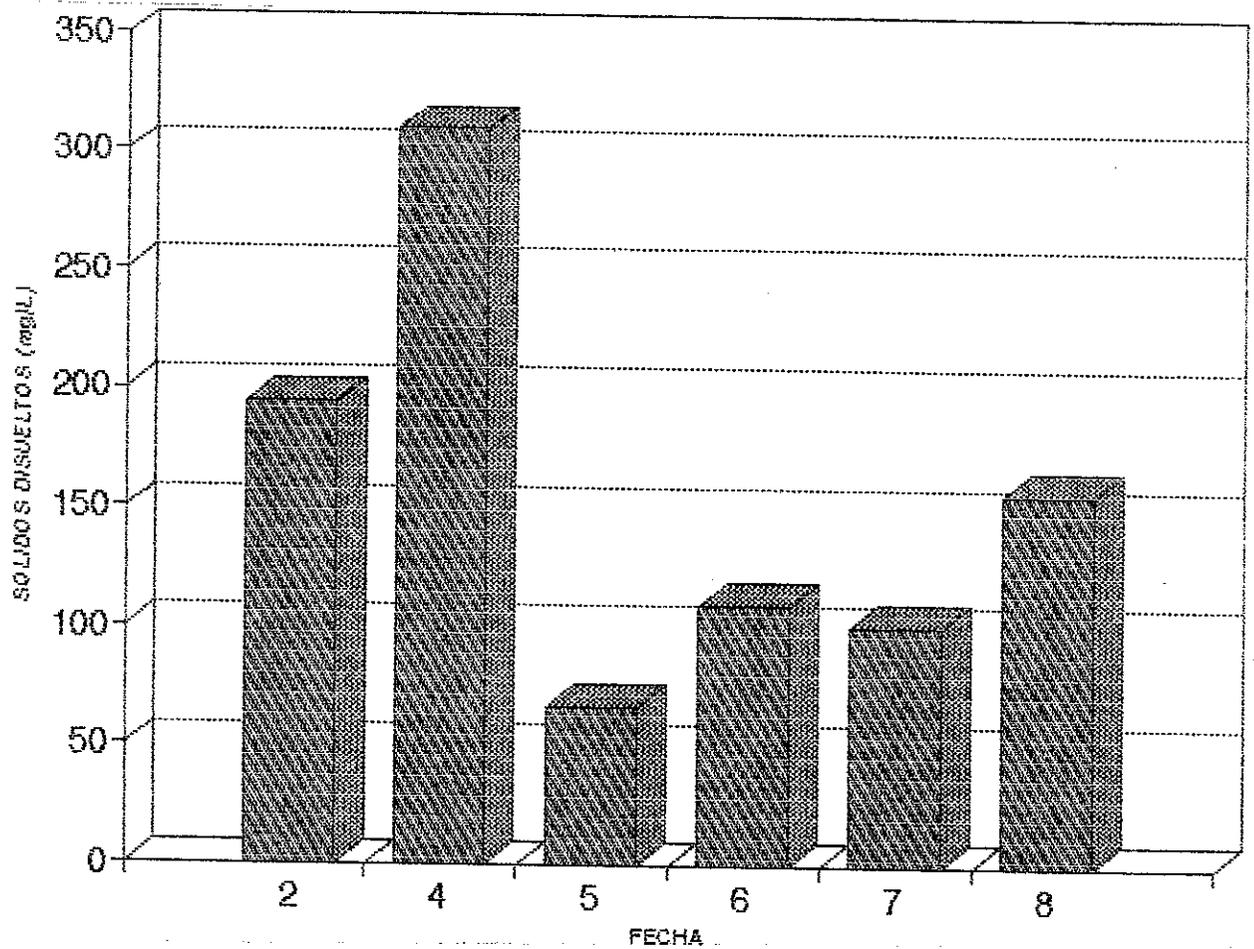
RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE: ZACUALPA,
QUICHE.

CONDUCTIVIDAD



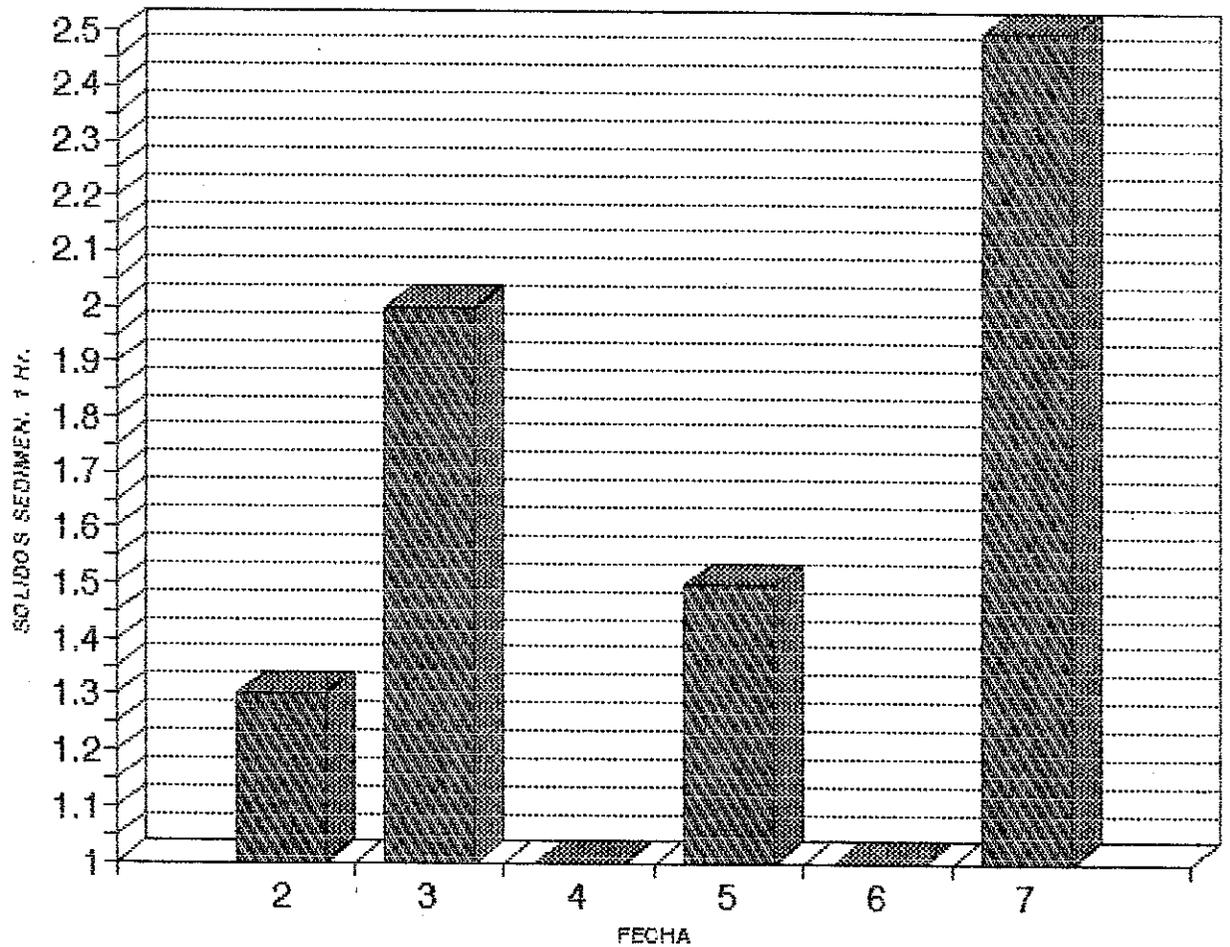
RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE: ZACUALPA,
QUICHE.

SOLIDOS DISUELTOS.



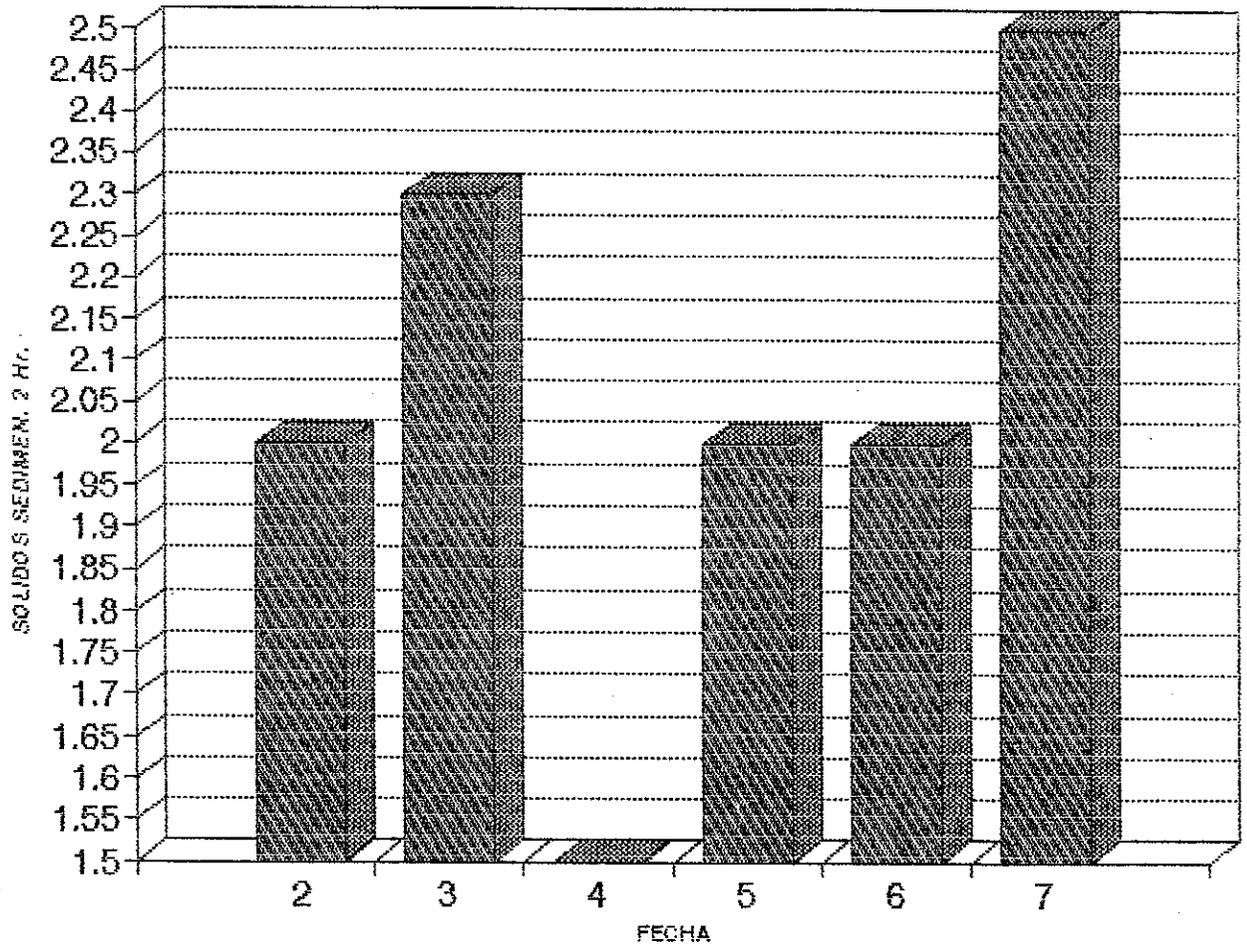
RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE: ZACUALPA,
QUICHE.

SOLIDOS SEDIMENTABLES (1 HORA)



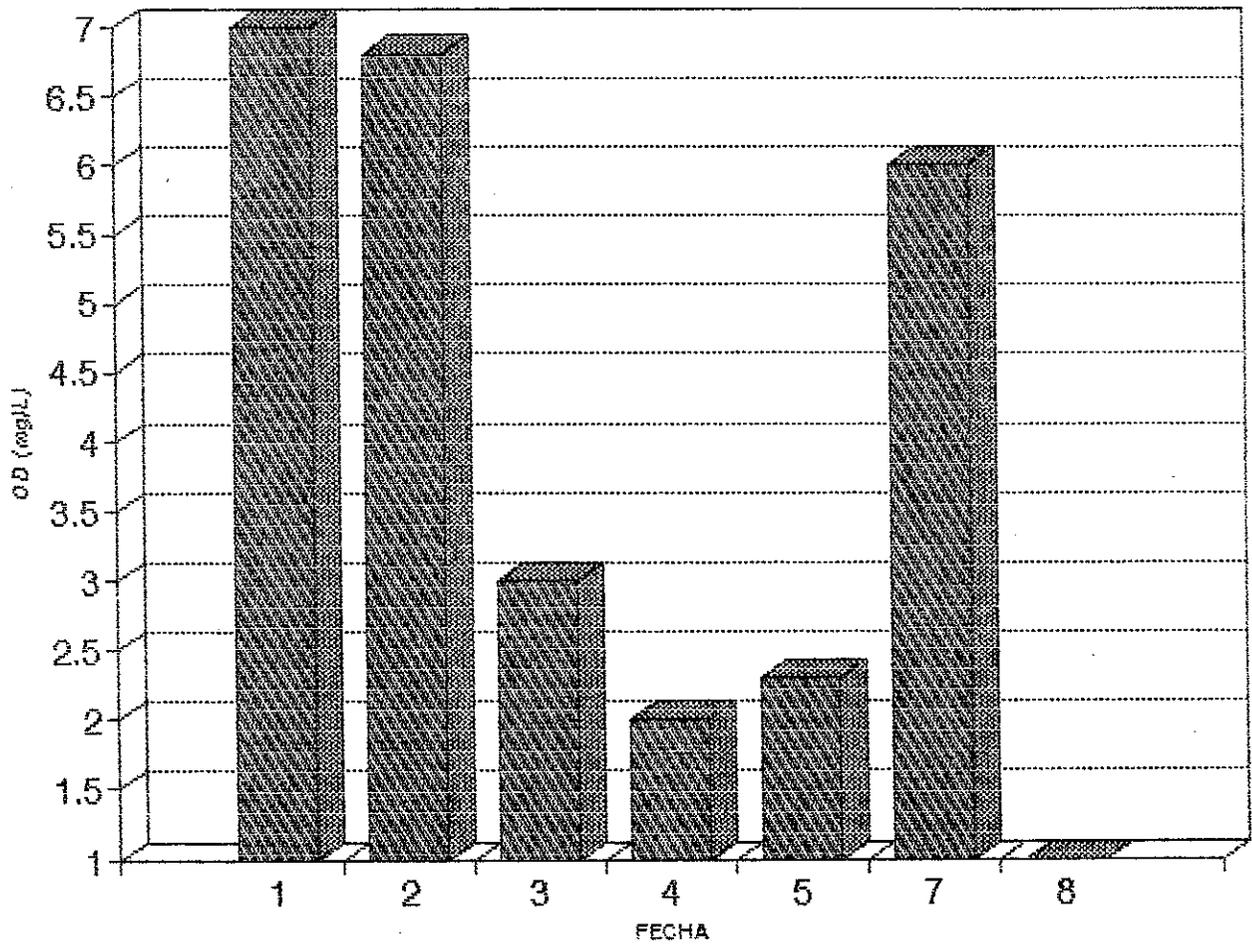
RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE: ZACUALPA,
QUICHE.

SOLIDOS SEDIMENTABLES (2 HORAS)



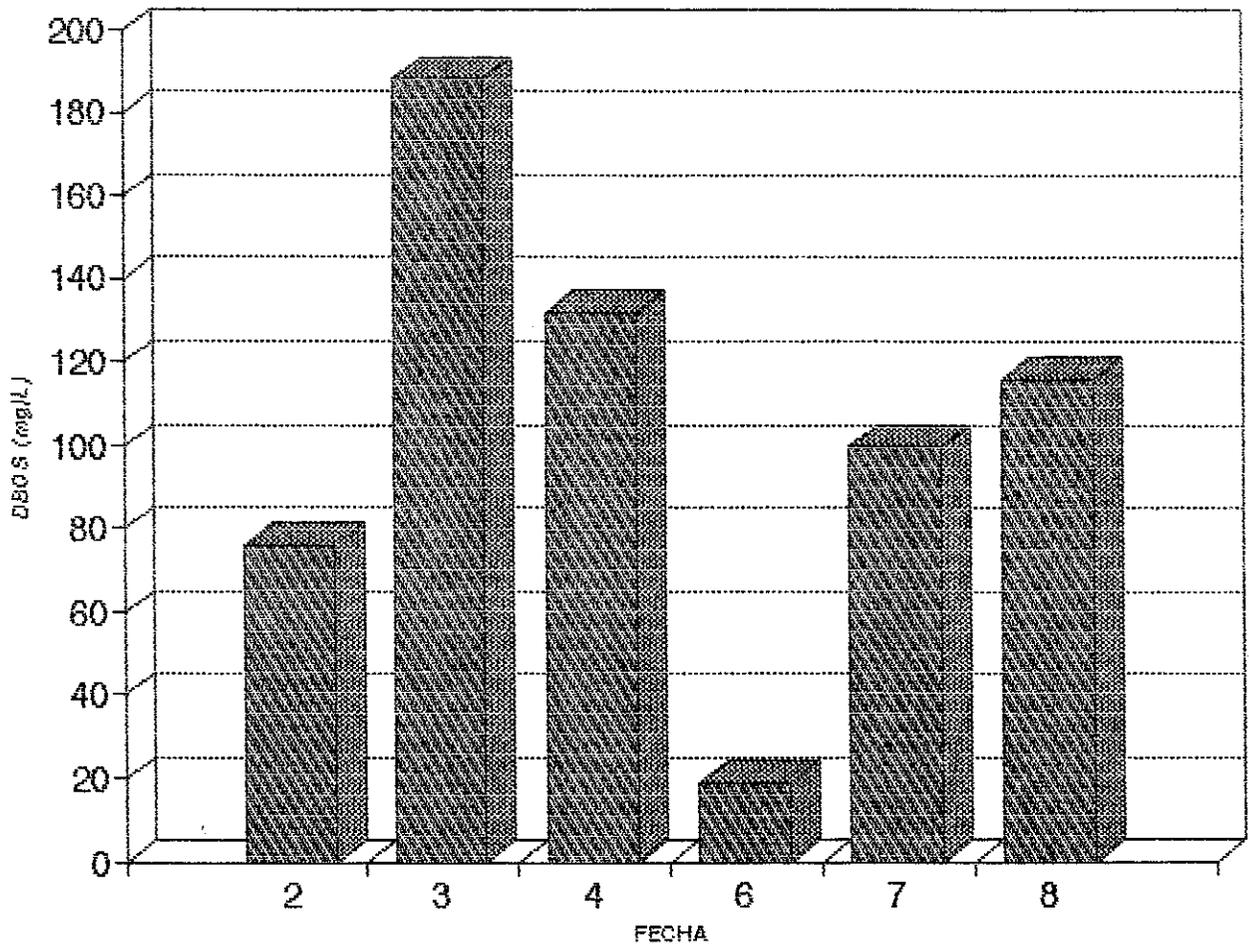
RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE: ZACUALPA,
QUICHE.

OXIGENO DISUELTO



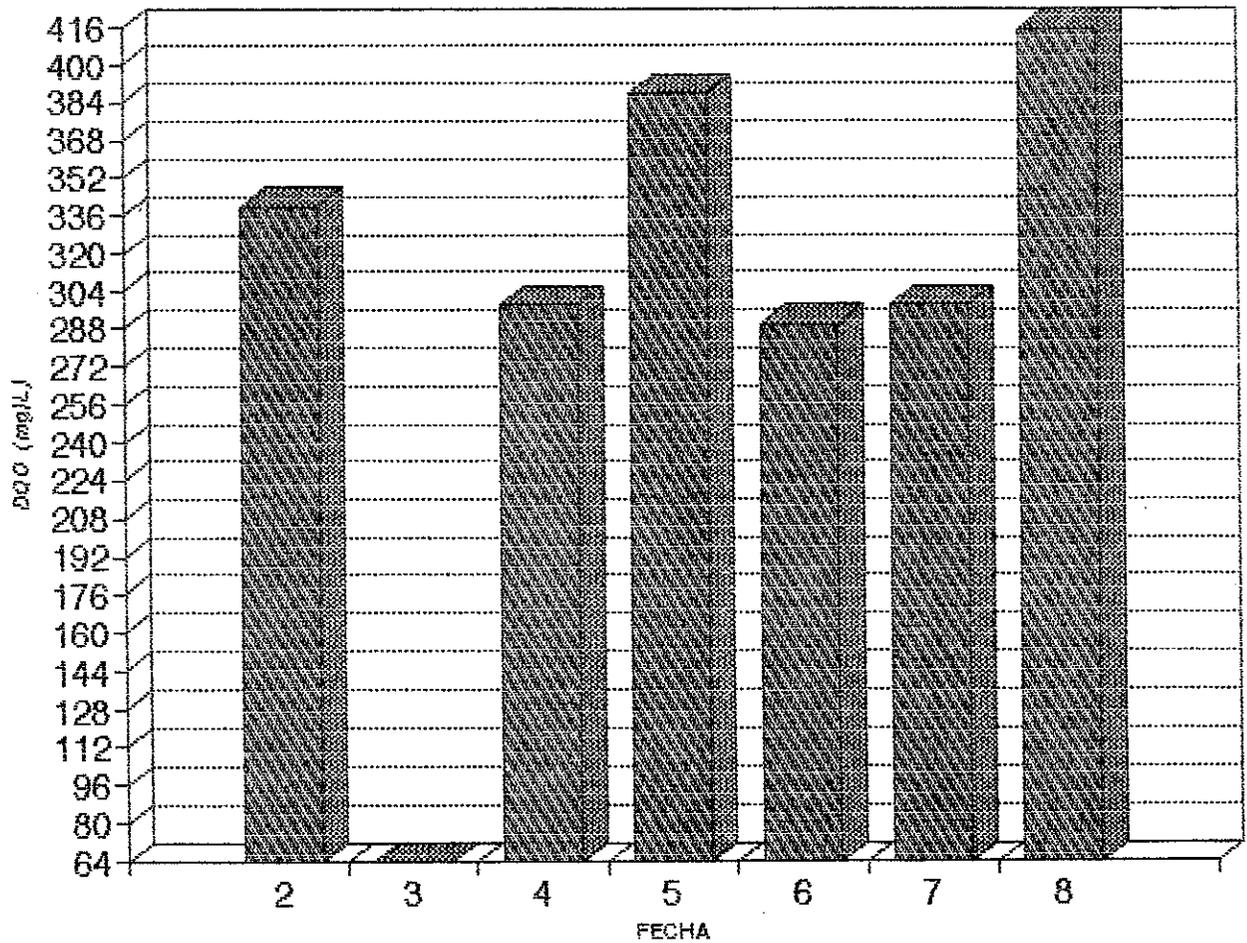
RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE: ZACUALPA,
QUICHE.

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO.



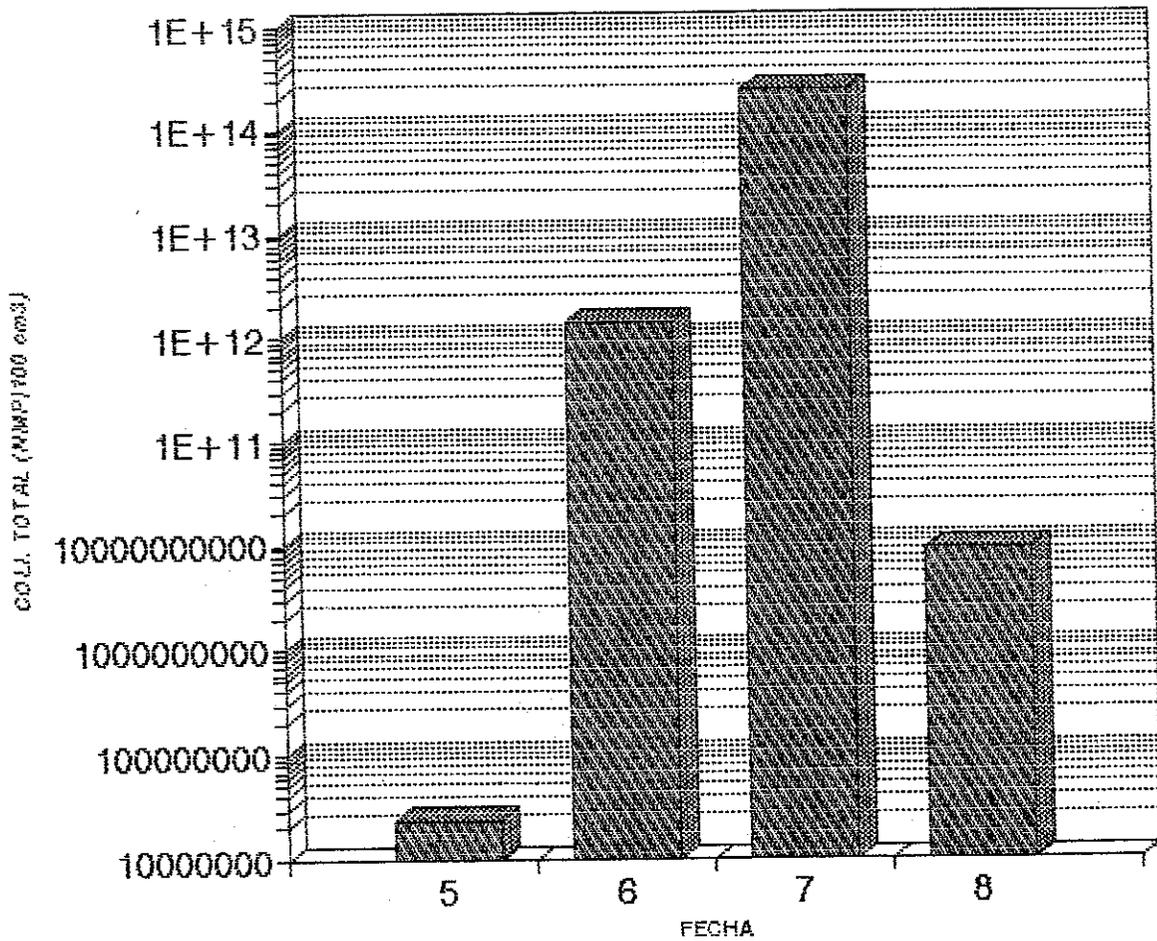
RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE ZACUALPA,
QUICHE.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO.



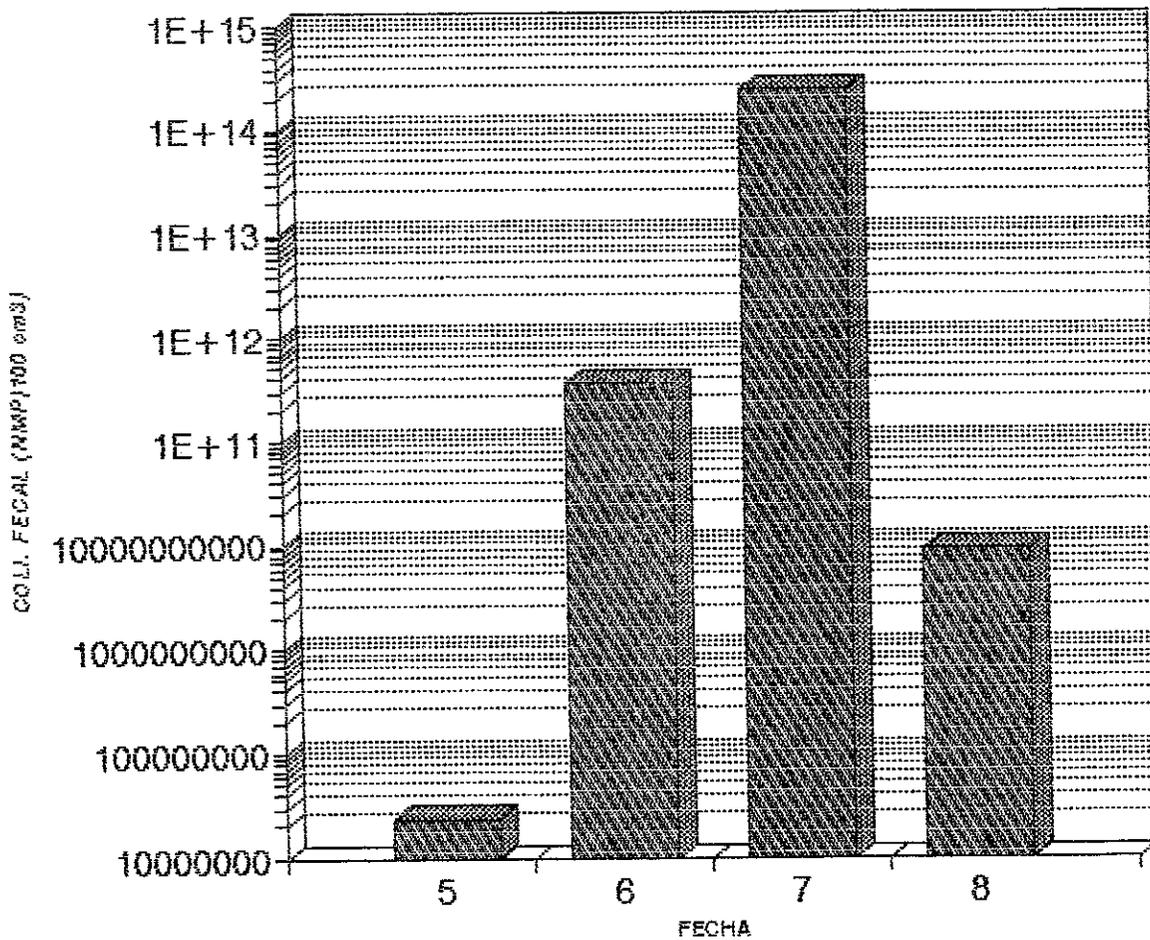
RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE: ZACUALPA,
QUICHE.

COLIFORMES TOTALES



RESULTADO DEL MONITOREO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE: ZACUALPA,
QUICHE.

COLIFORMES FECALES.



**VI. MANUAL DE OPERACION Y MANTENIMIENTO
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ZACUALPA,
DEPARTAMENTO DEL QUICHE.**

El manual de operación y mantenimiento para la planta de Zacualpa describe los procedimientos para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de aquel municipio.

Objetivos:

- a) Dar información sobre el mantenimiento y operación mínimos para el buen funcionamiento de las unidades que constituyen el sistema de tratamiento.
- b) Capacitar al operador en la administración de la planta de tratamiento, de modo que requieran sólo de instrucciones específicas sobre el funcionamiento de las unidades.

Descripción de la planta: Está conformada por las siguientes unidades de proceso:

- i) Sistema de pretratamiento constituido por una cámara de rejas y desarenador.
- ii) Un Tanque Imhoff.
- iii) Lagunas de estabilización facultativas (secundaria y terciaria, ésta última antes construída y ahora mejorada).
- iv) Lechos de secado de lodos.

Personal de la planta:

Este aspecto es de los más importantes, ya que sobre el mismo descansa la responsabilidad de mantener funcionando adecuadamente las unidades, se sugiere un mínimo de dos personas: 1 operador y un guardián, a fin de mantener la inspección de la planta 24 horas, el operador deberá recibir un curso sobre la misma y deberán ser constantemente supervisados y evaluados.

6.1 SISTEMA PRELIMINAR DE TRATAMIENTO

6.1.1 CAMARA DE REJAS

Las aguas residuales contienen materias tales como trapos, desperdicios, pedazos de madera, arena, etc., las que deben ser removidas antes de ingresar a las unidades de tratamiento debido a que pueden obstruir tuberías, canaletas, orificios, etc. Además una vez que ingresan a la planta resulta difícil remover estas materias. Para evitar su ingreso la planta de Zacualpa contará con un sistema de rejas.

Su ubicación es a la entrada de la planta de tratamiento de las aguas servidas. Como se señaló anteriormente, esta unidad tiene como finalidad retener los sólidos gruesos. Los residuos atrapados en las rejas deben extraerse tantas veces al día como sea necesario, para permitir el libre escurrimiento del líquido. Inicialmente debe limpiarse cada doce horas (mañana y tarde).

Esta frecuencia podrá aumentar o disminuir, según los resultados que se obtengan durante el período de arranque de la planta. A pesar que se requerirá como mínimo una limpieza por día, esta labor se efectuará preferentemente por la mañana, al inicio de la jornada. Se debe evitar a toda costa el rebalse de las aguas residuales fuera de la canalización.

Los residuos retenidos en la reja serán removidos con rastrillos. Algunas veces el operador, al efectuar el rastrilleo, fuerza el paso de los residuos a través de los espacios entre barras hacia el líquido. Esto anula el propósito de las rejas. La correcta forma de hacerlo es rastrillar cuidadosamente el material, hacia la plataforma de desagüe (donde escurre el líquido sobrante por el desagüe).

El material retenido en las rejas deberá transportarse a un sitio dentro de la planta. En tal sentido se recomendará la construcción de un pozo de 2m por 2m y una profundidad de 3m. Este no tendrá ningún tipo de recubrimiento y se localizará en lo posible cerca de las unidades de cámara de rejas y desarenador.

El operador será responsable de depositar diariamente los residuos y de recubrirlos al menos una vez con una pequeña capa de cal y posteriormente agregar una capa de material disponible en el recinto. Se prevé un espesor de recubrimiento de un centímetro de cal y de unos dos a tres centímetros de material del lugar. De esta manera se evitará que el material esté expuesto al ambiente, los malos olores (por la descomposición de la materia orgánica) y la proliferación de insectos.

En la eventualidad de que el pozo haya alcanzado su colmatación, el operador deberá construir un nuevo pozo, de iguales características.

6.1.2 DESARENADOR

Esta instalación se ubica inmediatamente aguas abajo de la cámara de rejillas y permite retener los sólidos suspendidos de menor tamaño factibles de decantar, como por ejemplo: material fino, arena u otro elemento inerte no retenido en la cámara de rejillas y que pueda ingresar al tanque Imhoff.

La frecuencia de limpieza será semanal, a fin de prevenir que los estanques de acumulación se colmaten y que el material pueda ser removido de los estanques hacia las unidades de tratamiento. Esta labor también será controlada durante la puesta en marcha de la planta, a fin de determinar con más precisión la frecuencia óptima de limpieza.

La limpieza se hará en forma manual, para lo cual el operador deberá contar con los elementos adecuados (pala, carretilla para transportar los sedimentos, guantes, etc.). El material extraído del desarenador deberá disponerse junto con los residuos provenientes de las rejillas, evitando así los malos olores y proliferación de insectos por la descomposición de la materia orgánica retenida.

Además, se recomienda disponer de una manguera que inyecte agua potable a presión para desprender todo el material retenido y dejar limpio el fondo del desarenador.

6.2 OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE IMHOFF

Durante la operación del tanque, se debe garantizar el funcionamiento continuo y adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico respectivo. El control operativo debe centrarse en dos puntos:

- a) Distribución uniforme del afluente en el fondo del reactor.
- b) Lodo anaeróbico con buena capacidad de sedimentación.

La operación deberá contemplar un trabajo rutinario diario o semanal, y trabajos ocasionales. En general el trabajo diario consistirá en:

- 1) Limpieza de las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico de la planta y la determinación de parámetros control operativo).
- 2) Observaciones al afluente y efluente para la correcta evaluación del funcionamiento biológico del tanque.

El trabajo ocasional se referirá más a la evaluación del comportamiento del lodo.

6.2.1 OPERACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

6.2.1.1 Tuberías de alimentación:

El dispositivo de entrada o alimentación al Tanque Imhoff está constituido por tuberías de PVC de 10" que descargan en dos cámaras repartidoras. Estas están diseñadas para repartir en forma equitativa el caudal afluente y provocar una mejor distribución de la masa de agua en el tanque.

El buen funcionamiento del tanque dependerá de la adecuada distribución del líquido sobre el tanque. Por tal razón, se deberán mantener limpios los vertederos en la caja de repartición de caudales. Esta limpieza se hará por lo menos una vez al día.

6.2.1.2 Sistema de muestreo y purga de lodo

En estos sistemas de muestreo y purga de lodos, la tubería tiende a taparse cuando no se usa frecuentemente, sobre todo en el punto más bajo en donde se puede formar un tapón. Esto puede ser producto de la longitud de la tubería y de la densidad que tenga el lodo. Ante esta situación, se debe limpiar la tubería con una manguera.

Dado que la planta operará a caudal constante, un resultado confiable del funcionamiento del reactor se puede obtener a partir de una muestra puntual. Sin embargo se deja abierta la posibilidad de prever esporádicamente un análisis de muestra compuesta cada 4 horas durante un día. Debido al problema económico de la comunidad de Zacualpa y la ausencia de laboratorio de calidad del agua en el lugar, se recomienda en lo posible realizar lo siguiente:

En cuanto a los muestreos del afluente (aguas residuales), los parámetros a controlar serán:

Temperatura, pH, caudal, los cuales deberán medirse diariamente.

DQO, DBO se deberán controlar semanalmente.

Nitrógeno total y amoniacal, fosfatos, sulfatos se harán por lo menos una vez por mes.

6.2.1.3 Observación del Efluente:

La observación visual de la calidad del efluente debe ser una labor de rutina diaria, ya que nos dará una indicación del funcionamiento de la planta. En condiciones normales de operación, el efluente debe tener aspecto claro, con bajo contenido de lodo. Una sobrecarga del reactor se manifiesta en una alta turbiedad del efluente y la presencia de sólidos sin digerir (gris), producto del arrastre de lodos. Esta última situación se presenta generalmente durante el período de arranque del tanque.

Cuando se observan síntomas de sobrecarga se debe buscar la causa en, aforos de caudal y muestreos de efluente y afluente.

Cuando exista una alta concentración de lodos en el efluente, es posible también que el tanque Imhoff contenga demasiado lodo, en cuyo caso se debe purgar o extraer el lodo hacia el lecho de secado.

6.2.1.4 Muestreo y extracción del lodo.

El muestreo de lodos se debe realizar para estimar la cantidad de lodo en el tanque y para evaluar su calidad. Esto se expresa como actividad metanogénica, estabilidad y sedimentabilidad, representados por la determinación de ácidos volátiles, alcalinidad, potencial redox, sólidos totales y volátiles, nitrógeno total y amoniacal, DQO, DBO, pH y temperatura, cuyas pruebas de laboratorio deben ser consideradas rutinariamente una vez por mes.

Además, se debe observar la forma o distribución del lecho de lodo dentro del reactor, a través de muestreos en distintos niveles. Para tal efecto, se sugiere muestrear a 1 y 2m, medidos desde el fondo del reactor, esperar 2 minutos a fin de eliminar los lodos depositados dentro de las tuberías y poder medir efectivamente el lodo proveniente del reactor. Luego de este período de purga, tomar una muestra y medir el pH.

Como referencia, se puede establecer que en condiciones normales la forma del lodo en cuanto a concentración será de 100 mg/L en el fondo del lecho. En la mitad del comportamiento de digestión ésta será de 50 mg/L y justamente cerca de la parte superior es muy baja. Si la concentración de lodo es parecida en los distintos niveles del reactor, el lodo es de mala calidad.

La extracción se debe efectuar cuando el lodo alcance el nivel de 3 metros medidos desde el fondo del reactor. Se recomienda hacer perfiles de lodos en altura con una rutina semanal o quincenal, de tal forma que se mantenga constante la cantidad de lodo en el reactor. De todas formas, se espera que la cantidad de lodo producido en este tipo de tratamiento sea pequeña.

6.2.2 MANTENIMIENTO DEL TANQUE IMHOFF.

El mantenimiento se define como la actividad que permite el sostenimiento de las estructuras (obras civiles) y equipos de la planta. Incluye la limpieza de las instalaciones, lubricación de equipos, revisión de piezas especiales (válvulas de corte), sustitución total o parcial o reparación de piezas deterioradas. Todo lo anterior debe quedar registrado ya sea en el libro o bitácora del operador, como en tarjetas de control donde se registre el mantenimiento realizado, la fecha, y quién ejecutó el trabajo. En lo que respecta a las estructuras, el mantenimiento está orientado a maximizar la vida de servicio de éstas.

En el caso del mantenimiento del tanque Imhoff, éste se reduce a vaciarlo parcialmente y remover el material sólido del fondo del tanque cuando se obstruyen las tuberías. Se estima que esta labor debe hacerse una vez cada cinco años, dependiendo de la eficiencia del desarenador. En ningún caso se puede producir el vaciado total, ya que de ser así se requeriría una puesta en marcha o arranque del sistema, lo cual involucraría mayor tiempo de lo requerido.

En cuanto a la limpieza misma del fondo del tanque Imhoff, el procedimiento es el siguiente:

- a) Cortar el suministro de agua residual afluente.
- b) Al vaciar el lodo se deberá tener cuidado en hacerlo con la cantidad estrictamente necesaria, a fin de no afectar las condiciones de biomasa del digesor. Para tal efecto, se prevé una remoción de 0.5 m de lodos del fondo.
- c) Finalizada la extracción de lodos, se procede a reiniciar la alimentación del caudal de aguas residuales a la planta. Si es necesario remover una mayor cantidad de lodos, la frecuencia de limpieza en el fondo del reactor dependerá básicamente del tiempo que demore el lecho en deshidratar el lodo.

6.3 OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS

6.3.1 OPERACION DE LAS LAGUNAS.

Durante la operación de las lagunas, el operador debe garantizar el funcionamiento continuo y adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico de las lagunas.

La operación de las lagunas deberá contemplar un trabajo rutinario semanal y trabajos ocasionales. En general, el trabajo semanal consistirá en:

- a) Limpieza de las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico de las lagunas (canalizaciones y vertederos de entrada y salida);
- b) Determinación de parámetros de control; y
- c) Observaciones al afluente y efluente para la correcta evaluación del funcionamiento biológico de las lagunas.

El trabajo ocasional, al igual que en el caso del Tanque Imhoff, se referirá más bien a la evaluación del comportamiento de las lagunas, según se expone más adelante.

6.3.1.1 Operación y funcionamiento hidráulico:

Tanto las tuberías de alimentación de la laguna secundaria como la interconexión entre lagunas se realiza a través de tuberías de PVC ubicadas en los extremos y centro de la laguna. Estas interconexiones se localizan en el mismo nivel, a fin de permitir un mismo caudal vertido hacia la laguna terciaria.

Todas estas interconexiones (tuberías y cajas) deben ser controlados para asegurar una buena distribución, tanto en los afluentes como efluentes de las lagunas.

Como parte de la operación rutinaria, se debe prevenir la proliferación de vectores (zancudos, mosquitos, etc.) que pueden desarrollarse en los bordes del agua.

Para removerlos, se sube el nivel del agua en las lagunas unos 20 cms o hasta el nivel de aguas máximas por cortos períodos (dos días) y se vuelve al nivel inicial. Las larvas perecen por efecto de la inundación provocada. Por consiguiente, la oscilación periódica del nivel del agua en la laguna, contribuye a mantener el control de los mosquitos. Este aumento de nivel se puede conseguir con la colocación de compuertas manuales en las cámaras y arquetas de salida de las lagunas. Por ningún motivo se emplearán elementos químicos (plaguicidas o insecticidas) que pueden causar efectos nocivos en la biomasa de las lagunas. Esta operación se hará cada vez que se requiera, pero por lo menos debe realizarse una vez al mes en verano, y cada dos meses en invierno.

6.3.1.2 Operación del proceso biológico

En este tipo de lagunas, la materia orgánica disuelta o suspendida proveniente del efluente del Tanque Imhoff, será metabolizada por bacterias heterotróficas que consumen el oxígeno producido por las algas fotosintéticas (cuya proliferación está directamente ligada con la temperatura y la radiación solar), las cuales a su vez captan el dióxido de carbono liberado por las bacterias, en tanto que el lodo sedimenta en el fondo, donde se produce su digestión natural. La permanencia de éste es aproximadamente dos años.

Sin embargo, el objetivo principal de las lagunas (secundaria y terciaria) es la remoción de patógenos para un efluente de la calidad compatible con no seguir dañando la flora, fauna del zanjón al cual descarga como hasta ahora. Esto se consigue con los períodos de retención que se han propuesto en el diseño. Durante el período de operación de éstas, se prevé la verificación de dichos tiempos a través de la prueba de trazadores.

En cuanto a la masa de agua de las lagunas, la superficie del líquido debe mantenerse libre de sólidos flotantes que no fueron removidos en el tratamiento preliminar ni en el Imhoff. Estos podrán corresponder a natas, grasas o aceites, papel, sólidos flotantes de menor tamaño, etc.

Estos materiales deben removerse utilizando una especie de cuchara o paleta grande de malla metálica con una asa metálica larga. El material removido debe enterrarse en igual forma que los sólidos atrapados en las rejillas y desarenador, para evitar su contacto con insectos.

Por otro lado, en las lagunas existe a veces crecimiento excesivo de algas. Muchas flotan en la superficie y forman una nata gruesa que perjudica el normal funcionamiento de la unidad, debido a que interfiere en el paso de la luz solar. Esta nata es empujada por el viento a las orillas, produciendo olores desagradables. Por lo tanto, deben ser removidas tan frecuentemente como sea necesario.

En otros casos, especialmente cuando la profundidad es baja y la temperatura del agua es elevada, las capas de lodo pueden desprenderse del fondo y ascender a la superficie; estas masas de residuos se acumulan y deben ser disgregadas para que se sedimenten en el fondo. También pueden ser extraídas con la cuchara y depositadas

superficie; estas masas de residuos se acumulan y deben ser disgregadas para que se sedimenten en el fondo. También pueden ser extraídas con la cuchara y depositadas en el lecho de secado. Si se optara por la dispersión, ésta se puede llevar a cabo agitando con rastrillo o aplicando chorros de agua con manguera.

6.3.1.3 Prevención de olores

Durante el proceso biológico producido en el interior de las lagunas, es posible que se presenten efectos ambientales desfavorables ante una falta de equilibrio de las condiciones de la laguna, es decir, simbiosis que debe producirse entre las bacterias y las algas. Dentro de los efectos negativos más importantes está la proliferación de malos olores. Las causas de estos olores pueden ser producto de:

- 1) sobrecargas orgánicas (mayores a las previstas en el diseño);
- 2) escasa población de algas por falta de nutrientes;
- 3) cargas violentas o cambio en el tipo de agua servida, como por ejemplo la presencia de una alta concentración de sulfatos, cloruros, etc.

Por otro lado, a consecuencia de una mala operación y mantenimiento, usualmente es posible que provengan olores desagradables de depósitos de lodo flotante y vegetación en putrefacción en algunos casos. Por lo tanto, se deberán tomar las medidas necesarias para evitar tales situaciones.

El problema de malos olores se puede solucionar agregando los nutrientes que faltan, los cuales pueden conocerse haciendo un análisis químico del agua. Los nutrientes principales que deben estar presentes en la laguna son los nitratos y fosfatos.

El procedimiento para prevenir los malos olores será como se señala a continuación:

- i) El tratamiento con nitrato de sodio eliminará el olor con buenos resultados en dosis del orden de 20-25% del oxígeno requerido para satisfacer la DBO del agua residual.

Los efectos del nitrato de sodio, llamado también "salitre", son:

- a) Proporciona oxígeno para que exista descomposición aerobia.
- b) Estimula el crecimiento de algas y otros organismos que mediante fotosíntesis proporcionan el oxígeno adicional.
- c) Mantiene en la laguna una reacción alcalina.

- ii) El tratamiento con cal permite controlar la acidez en una laguna.

Las aguas residuales con altos contenidos de compuestos de azufre, pueden causar efectos negativos en la biomasa de algas del agua de las lagunas, como toxicidad y proliferación de ambientes con pH ácidos por la reducción de los componentes oxigenados (sulfatos) con la consiguiente producción de ácido sulfúrico. Para evitar esta situación, se debe mantener en la laguna un pH entre 7.5 y 9, agregando dosis adecuadas de cal. De esta forma, se evitará un incremento en la producción de sulfuros y consecuentemente mal olor.

6.3.2 MANTENIMIENTO DE LAS LAGUNAS

Las lagunas de estabilización son las unidades menos problemáticas y de menor costo en lo que se refiere a mantenimiento. Por lo tanto, no amerita que se efectúe un programa de mantenimiento preventivo detallado.

El mantenimiento preventivo y correctivo estará orientado a las obras civiles, siendo las principales:

- a) Limpieza de las cajas y tuberías de entrada y salida de las lagunas a fin de remover las películas biológicas formadas en las paredes.
- b) Eliminación de vegetación no deseable. En una laguna de estabilización se presentan dos tipos de vegetación: acuática y terrestre.

La vegetación terrestre se elimina por corte y representa un problema de mantenimiento diario. Si esta vegetación ha invadido los taludes, se puede aplicar algún plaguicida, como arsenito de sodio: en proporción 20 g por metro cuadrado, lo cual elimina todo crecimiento por 3 a 4 años. En ningún caso se debe suministrar el plaguicida en la masa de agua.

La vegetación acuática, crece en el fondo o a lo largo de los taludes interiores de los diques y, en general, presenta un crecimiento exagerado que puede provocar malos olores. El crecimiento de este tipo de malezas debe evitarse a toda costa, lo cual es factible manteniendo el máximo nivel de agua posible (mayor a 1.2 m).

En la eventualidad de que la maleza de fondo se presente, existen dos formas de control: por remoción mecánica (o manual como se recomienda en Zacualpa) o por medio de elementos químicos.

6.3.2.1 Remoción Mecánica O Manual: se drena la laguna completamente a través del desagüe y se deja secar la vegetación hasta que pueda quemarse o removerse mecánicamente o a mano.

6.3.2.2 Uso de elementos químicos (como última opción): Se drena el líquido de la laguna y se cortan los tallos de maleza tan cerca del fondo como sea posible, luego de llenar la laguna a una profundidad de 30 cm o lo suficiente para cubrir los extremos de los tallos. Se introduce "Benoclor" bajo la superficie del agua por medio del rociador a presión, de modo que se cubra toda el área. Se aplica 140-470 litros de Benoclor por hectárea. Después de varios días la laguna se pone nuevamente en servicio. El tratamiento es efectivo por un período de 1-3 años.

- c) La erosión por acción del viento es difícil de controlar con la laguna en operación. Una medida efectiva de controlarla es recubrir los taludes interiores, poniendo previamente fuera de funcionamiento la laguna.

- d) Limpieza y control de las cámaras de repartición de caudales afluentes y efluentes a las lagunas.

6.3.3 REMOCION DE LODOS DE LAS LAGUNAS

Una actividad que se debe contemplar en las lagunas de estabilización es la remoción de sus lodos de fondo, debido a que la acumulación de lodos representa una pérdida o rebaja de volumen útil de la laguna. Sin embargo, dada la secuencia de tratamiento prevista en la planta, estas unidades tendrán un bajo contenido de lodos en el tiempo, con lo cual la remoción será ocasional. Por tal razón, se prevé que la limpieza de la laguna secundaria se hará cada dos a 3 años y probablemente para el caso de la laguna terciaria cada 5 años.

No obstante, el operador deberá medir la altura de los lodos al menos una vez al año, a fin de que este nivel no supere 50% del volumen de la laguna. La forma de medir la acumulación de lodos es sumergir una vara pintada de blanco en la extremidad inferior y medir el nivel de lodos.

Para realizar la remoción de lodos, es necesario proceder previamente al drenaje del volumen de agua mediante uso de las arquetas de desagüe que dispone cada laguna. Para tal efecto, se deberá extraer gradualmente las compuertas (placas móviles). Esta operación de drenaje implica bajar, en promedio, unos 15 cms por día a una tasa aproximadamente 10 l/s con lo cual el vaciado debe durar entre una y dos semanas.

El drenaje debe efectuarse hasta alcanzar el nivel mínimo, de forma que no se produzca arrastre de lodo por efluente y que éste pueda quedar expuesto al ambiente. Posteriormente, se debe esperar a que el secado se produzca por evaporación, hasta alcanzar un contenido de sólidos del orden del 33% hasta el momento en que el lodo pueda ser manejado en forma fácil con pala u horqueta. Es aconsejable que la operación de secado se realice en verano, período en que se dispone de mayores temperaturas. Se prevé que para estas condiciones, el secado durará uno o dos meses.

Finalmente, la extracción de lodo de la laguna será manual o con ayuda de equipo pesado, para finalmente ser almacenado en el lugar destinado al acopio de lodos provenientes de los lechos de secado. El lodo podrá utilizarse posteriormente como acondicionador de suelos para fines agrícolas.

Después de removerse todos los lodos, se llenará nuevamente la laguna para recuperar la capacidad de tratamiento. El procedimiento de llenado será igual al considerado durante el arranque inicial de la planta.

Sólo debe efectuarse la limpieza de una de las lagunas, a fin de que la otra pueda seguir operando normalmente, sin afectar considerablemente la calidad del efluente.

6.4 OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL LECHO DE SECADO

En general, el lecho de secado al aire corresponde a un proceso natural, en que el agua contenida intersticialmente entre las partículas de los lodos es removida por evaporación y filtración a través del medio de drenaje de fondo. En este sistema no es necesario adicionar reactivos ni elementos mecánicos ya que está previsto un secado lento.

En el caso de la presente planta, el objetivo de esta unidad será disponer los lodos extraídos del Tanque Imhoff parcial o totalmente digeridos y proveer su deshidratación para reducir su volumen a niveles de concentración adecuados para el posterior manejo de su disposición final. En ningún caso se podrá aplicar sobre el lecho, lodo crudo o fresco debido a que éstos pueden presentar serios problemas, como malos olores y proliferación de insectos.

6.4.1 Operación del lecho de secado

La operación de deshidratación o secado comienza con la descarga del lodo proveniente del digestor del Imhoff hasta 25 cm de espesor dentro del lecho. Este es distribuido sobre toda la superficie del lecho permeable (arena). Una vez depositado, la camada de agua que queda debajo del lodo comienza a drenar, hasta que la parte concentrada de sólidos se deposita sobre el lecho. No deberá esparcir lodo en el lecho cuando éste ya contenga una carga anterior en fase de secado.

El operador deberá controlar que a través de la tubería de desagüe fluya el efluente percolado del drén, debido a que la mayor parte del agua libre puede removerse en menos de un día. Pasado este primer período de drenaje, el secado seguirá básicamente por medio de la evaporación. Se formará una camada cada vez más pobre en agua, con lo cual se observará una reducción del volumen, tanto en la dirección vertical como horizontal.

A partir de este momento, en la superficie se comenzará a formar grietas. Este proceso, sumado a la remoción manual con arqueta o rastrillo, permitirá acelerar el proceso de evaporación porque aumenta la superficie expuesta al aire.

El tiempo para el secado completo del lodo variará con las condiciones climáticas y meteorológicas imperantes al momento de llevar a cabo la extracción de lodos desde el Imhoff. Por tal razón, es aconsejable programar la extracción en época de altas temperaturas. Se prevé para dicho período, el tiempo de secado puede considerarse entre 20 y 30 días. Se estima que el secado de lodo permitirá reducir la humedad de 90 a 95% (contenida en el lodo proveniente del Tanque Imhoff) a valores entre 55 y 65%.

Por lo expuesto anteriormente, el control operativo a llevar a cabo en el lecho de secado se centra en las siguientes actividades:

- a) Control de drenaje del fondo del lecho, consistente en una verificación visual del escurrimiento del líquido percolado hacia la red de desagüe de la planta de tratamiento. En caso de que el escurrimiento sea mínimo o no se produzca, se

concluirá que el medio filtrante, básicamente la camada de arena, se ha colmatado. Por consiguiente, el proceso de deshidratación se llevará a cabo sólo por evaporación, en cuyo caso el tiempo de secado será mayor.

- b) Control de seguimiento y medida de la capa de lodo. El operador llevará un registro diario del nivel de descenso, a fin de determinar posteriormente el tiempo que demora el lodo en deshidratarse. Simultáneamente, se llevará un control de su composición en cuanto al contenido de humedad, concentración de sólidos volátiles y calidad bacteriológica.

La frecuencia de muestreo será la siguiente:

- a) Cada dos días durante los primeros 10 días. Posteriormente, se aumentará la frecuencia a una vez por semana, hasta que se establezca el porcentaje de humedad.
- b) Una vez por semana.

Con los resultados obtenidos de estos seguimientos, se podrá determinar la frecuencia mínima de extracción de lodos del reactor para su posterior deshidratación.

Finalmente, cuando el lodo haya alcanzado el porcentaje de humedad establecido por las pruebas de seguimiento, se retirará del lecho y se depositará en algún lugar de acopio o disposición final previamente asignado. Se reitera que el apilamiento de los lodos no deberá alcanzar una altura mayor de 2 m.

6.4.2 Mantenimiento del Lecho de Secado

En cuanto al mantenimiento del lecho, éste consistirá en reemplazar la arena perdida durante la remoción de lodo seco, por arena nueva de igual calidad. Igualmente, se debe prevenir el crecimiento de vegetales de todo tipo.

En el caso eventual de que el lecho muestre una tendencia a colmatarse, toda la capa de arena debe reemplazarse por arena de una granulometría mayor en cuanto a la gradación y tamaño efectivo.

VII. CONCLUSIONES:

- 1- La planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché, quedó fuera de operación debido a la falta de mantenimiento de las unidades componentes de la misma (se acepta la hipótesis).
- 2- Para mejorar la eficiencia del tanque Imhoff (mejorar la sedimentación y digestión) y poder conservar el mismo, se implementó un desarenador como un sistema de pretratamiento.
- 3- Para rehabilitar la planta de aguas residuales de Zacualpa, Quiché, se hace necesario mejorar la remoción de DBO y disminuir el número de patógenos, por lo tanto se hace necesario implementar un sistema secundario de lagunas facultativas.
- 4- La planta rehabilitada constará de un pozo de excedencias (para derivar el agua de lluvia ilícita), un pretratamiento (canal de rejas, desarenador y vertedero proporcional), un tanque Imhoff (tratamiento primario), lechos de secado de lodos, lagunas de estabilización facultativas (tratamiento secundario), laguna existente (laguna facultativa que complementará el tratamiento secundario y nos ayudará a remover patógenos).
- 5- Debido a que estructuralmente las unidades: tanque Imhoff, caseta de materiales, laguna de estabilización (de forma elíptica), se encuentran en buen estado, las mismas serán utilizadas y se le harán reparaciones menores para mantenerlas.
- 6- La remoción de sólidos en sus diferentes formas se hará con una eficiencia del 90%.
- 7- La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), será reducida en un 60% a través de las diferentes unidades (específicamente tanque Imhoff y las tres lagunas).
- 8- Se disminuirá el número de coliformes fecales y totales de un orden de 1×10^{11} a 1×10^7 en el periodo de diseño.
- 9- Con la rehabilitación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché, se mejorará la calidad de vida de sus habitantes, al mejorar las condiciones ambientales y el impacto positivo hacia la flora y la fauna circundante, al mismo tiempo se disminuirán las enfermedades gastrointestinales.
- 10- El mayor renglón de costos de la rehabilitación de la planta, consiste en el movimiento de tierras que se realizará en las unidades a implementar.

11- Al poner en marcha el manual de operación y mantenimiento de la planta de aguas residuales, se podrá lograr que la misma funcione adecuadamente y que su vida útil sea la esperada según los parámetros de diseño.

VIII. RECOMENDACIONES:

- 1- Seguir las instrucciones específicas en el manual de operación y mantenimiento que contiene este estudio, a fin de prolongar la vida útil de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zacualpa, Quiché.
- 2- Preparar al operador y guardián de la planta de tratamiento de aguas residuales de Zacualpa, con el propósito de que la operación y mantenimiento se optimicen.
- 3- Llevar un monitoreo continuo de la planta de Zacualpa y una evaluación constante de las unidades componentes.
- 4- Rehabilitar a la brevedad posible la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta en el presente estudio, y así mejorar las condiciones de vida de los habitantes del municipio de Zacualpa.
- 5- Eliminar los desechos sólidos circundantes a la planta y crear un sistema de recolección de los mismos, a fin de no interferir con la estética y funcionamiento de la planta rehabilitada.
- 6- Realizar un estudio de la calidad de agua potable consumida por los habitantes de Zacualpa, ya que los mismos se quejan del servicio actual.
- 7- Reparar el cerco perimetral existente.
- 8- Supervisar constantemente la planta rehabilitada, a fin de exigir la operación y mantenimiento adecuado.
- 9- Se recomienda la implementación de agua potable en la planta (por lo menos 3 conexiones).

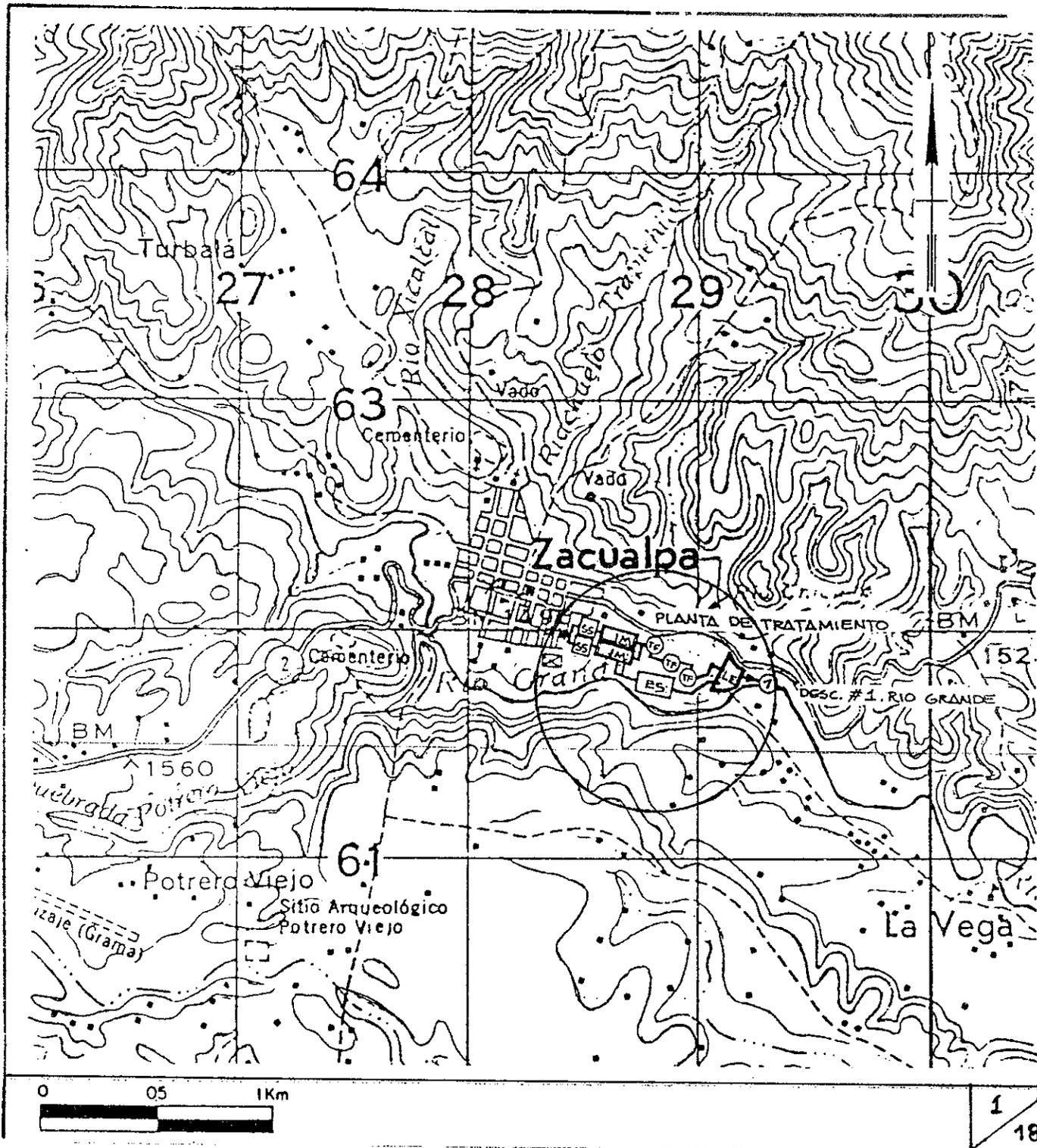
IX. BIBLIOGRAFIA

- Amén Funk, Francisco, ANALISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN TANQUE IMHOFF TRANSFORMADO EN UN REACTOR ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE, ERIS. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1,990.
- Banco Mundial, TRATAMIENTO DE DESECHOS Y RECUPERACION DE RECURSOS, tomo 5.4, Washington, D.C., EUA, Julio de 1,988.
- Barboza Ramírez, María, TRANSFORMACION DE UN TANQUE IMHOFF EN UN REACTOR ANAEROBICO DE FLUJO ASCENDENTE Y SU EVALUACION SANITARIA, ERIS, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1,995.
- CEPIS, OPS/OMS, MANUAL DE ARRANQUE, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA (UNI), Perú, mayo 1,995.
- Pelczar, Michael J. MICROBIOLOGIA, Editorial McGraw-Hill, cuarta edición, México, 1,995.
- Pocasangre Collazos, Adán Ernesto, INVENTARIO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN GUATEMALA, ERIS, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1,995.
- SENCICO, PROYECTO DE NORMA TECNICA DE EDIFICACION S.010 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Publicaciones de CEPIS, Perú, agosto de 1,996.
- Yáñez Cossío, Fabián, LAGUNAS DE ESTABILIZACION, Imprenta Monsalve, Cuenca, Junio de 1,993.
- Yáñez Cossío, Fabián, NORMAS DE DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, Borrador de discusión, OPS, Guatemala septiembre de 1,993.

ANEXO A: LISTADO DE PLANOS DEL PROYECTO

PLANOS DEL PROYECTO

- 1- LOCALIZACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
- 2- PLANO TOPOGRAFICO Y UBICACION DE UNIDADES
- 3- PERFIL HIDRAULICO 1
- 4- PERFIL HIDRAULICO 2
- 5- PERFIL HIDRAULICO DE REMOCION DE LODOS
- 6- POZO DE VISITA Y VERTEDERO DE EXCEDENCIAS
- 7- CANAL DE REJAS Y DESARENADOR
- 8- DETALLES DE CANAL DE REJAS Y DESARENADOR
- 9- TANQUE IMHOFF EXISTENTE
- 10- SECCIONES TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES DE LAGUNAS
- 11- CRESTAS DE TERRAPLENES
- 12- CAJA DISTRIBUIDORA #1 Y CAJA UNIFICADORA DE CAUDALES
- 13- CAJA DISTRIBUIDORA DE CAUDALES #2 Y #3
- 14- DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA DE LAGUNA SECUNDARIA Y TERCARIA.
- 15- PATIO DE SECADO DE LODOS Y DETALLES
- 16- CAJA TIPICA
- 17- CABEZAL DE DESCARGA
- 18- EQUIPO DE MANTENIMIENTO.



LOCALIZACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Capítulo IV: Evaluación y propuesta de rehabilitación

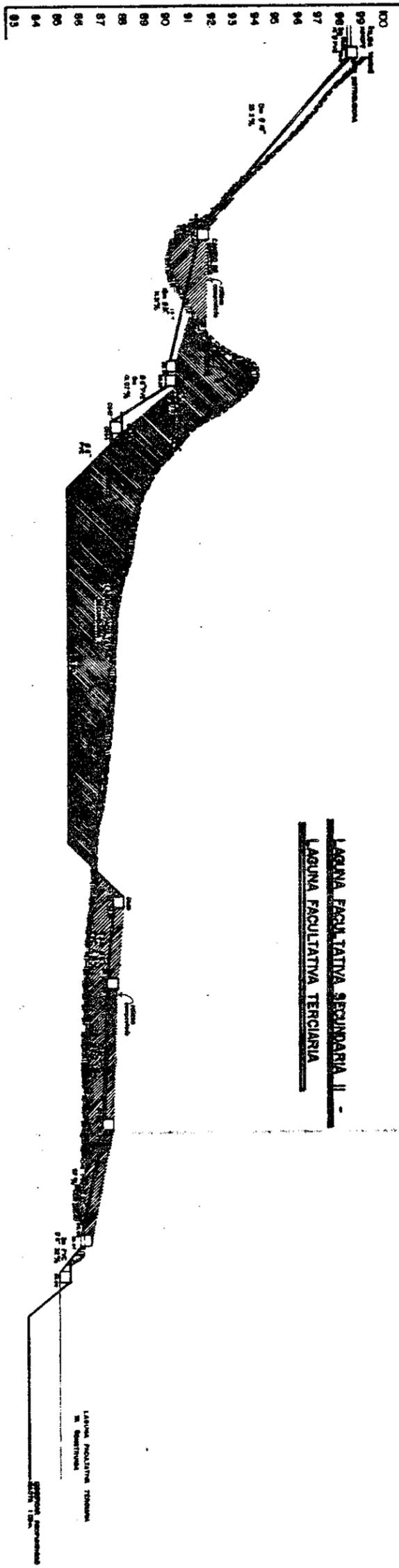
4.1 Modificación de la línea de descarga.....	26
4.2 Transformación del último pozo de visita.....	26
4.3 Canal de rejillas.....	26
4.3.1 By pass.....	27
4.4 Desarenador.....	27
4.5 Vertedero proporcional.....	27
4.6 Tanque Imhoff.....	27-28
4.7 Lagunas de estabilización.....	28-29
4.8 Patio de secado de lodos.....	29
4.9 Cajas distribuidoras con vertedero.....	29
4.10 Listado de materiales y presupuesto.....	29
4.11 Manual de operación y mantenimiento.....	29-30

Capítulo V: Parámetros de control

a) Temperatura.....	31
b) pH.....	31
c) Sólidos sedimentables.....	31
d) DBO y DQO.....	31-32
e) Conductividad.....	32
f) Oxígeno disuelto.....	32
g) Número más probable.....	32
Cuadro de resultados del monitoreo de la planta	33
Gráficas.....	34-44

Capítulo VI: Manual de Operación y Mantenimiento

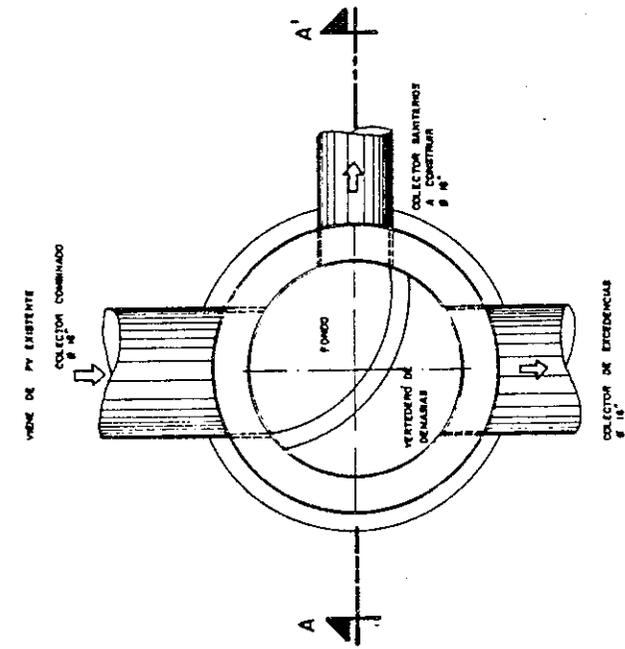
6.1 Sistema preliminar de tratamiento.....	46
6.1.1 Cámara de rejillas.....	46
6.1.2 Desarenador.....	47
6.2 Operación y mantenimiento del Tanque Imhoff	47
6.2.1 Operación del funcionamiento hidráulico	48
6.2.1.1 Tuberías de alimentación.....	48
6.2.1.2 Sistema de muestreo y purga de lodo.....	48
6.2.1.3 Observación del efluente.....	48
6.2.1.4 Muestreo y extracción del lodo.....	49
6.2.2 Mantenimiento del tanque Imhoff.....	49
6.3 Operación y mantenimiento de las lagunas facultativas.....	50
6.3.1 Operación de las lagunas.....	50
6.3.1.1 Operación y funcionamiento hidráulico.....	50
6.3.1.2 Operación del proceso biológico.....	51
6.3.1.3 Prevención de olores.....	52
6.3.2 Mantenimiento de las lagunas.....	53
6.3.3 Remoción de lodos de las lagunas.....	54
6.4 Operación y mantenimiento del lecho de secado.....	55



LAGUNA FACULTATIVA SECUNDARIA II -
LAGUNA FACULTATIVA TERCIANRIA

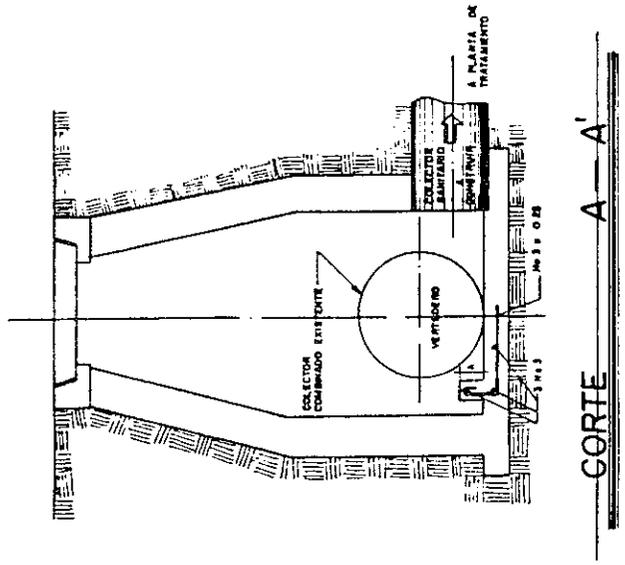
LAGUNA FACULTATIVA TERCIANRIA
M. SUPERFICIALES

INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL		CONVENIO	AFOM-OPS - SIBS
PROYECTO DE EVALUACION Y REHABILITACION BIALA		ESTADO	OPERA
PERFIL HIDRAULICO		FECHA DE ELABORACION	1988
AUTOR		INGENIERO	ALVARO
REVISOR		INGENIERO	ALVARO
APROBADO		INGENIERO	ALVARO
FECHA DE APROBACION		FECHA DE APROBACION	FECHA DE APROBACION
LUGAR DE APROBACION		LUGAR DE APROBACION	LUGAR DE APROBACION
Escala: 1/100		4/18	



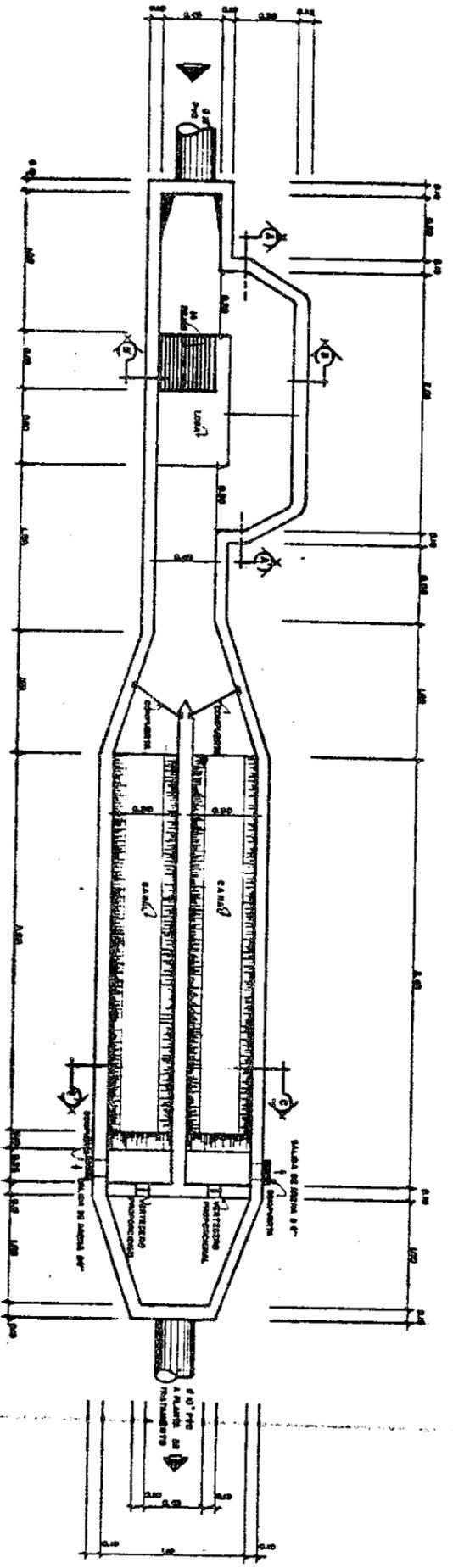
PLANTA PV A MODIFICAR

DIAMETRO (Ø) DE COLECTOR SANITARIO QUE SALE DE PV	W"
ALTIMETRIA DE CANAL EN (m)	0.12m

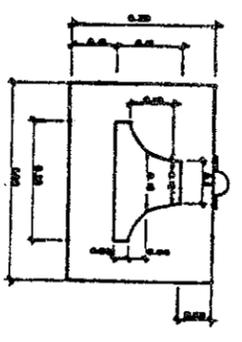


CORTE A-A'

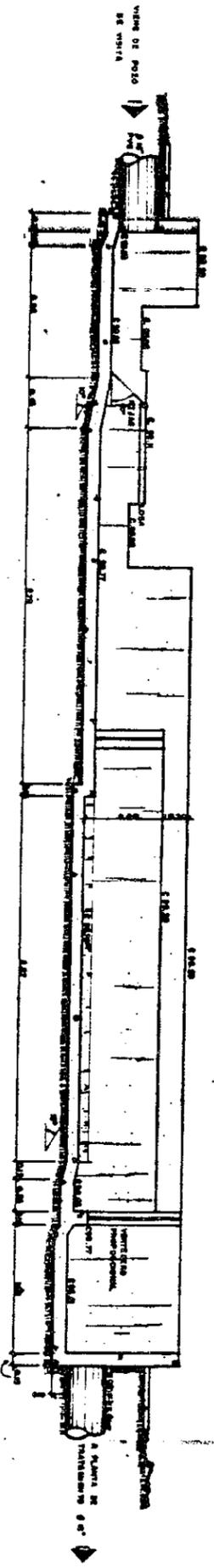
LIBRERIA TS N°		INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL	
PLANO N° 3026		CONVENIO INFON-OPS-ERS	
ESCALA 1:50		ZACUALPA QUICHE	
DIBAJOS DIBUJADO P. SANTISTEBAN		EVALUACION Y REHABILITACION P.T.A.R.	
REVISADO DISEÑO		POZO DE VISITA Y VERTEDERO PARA EXCEDENCIAS	
FECHA: OCTUBRE 1995		LEVANTAMIENTO: CIRILO TORRESALVA	
HOJA N°		CALCULADO POR: URS R. PEREZ	
6		JEFE DE DIVISION: JEFER DE DEMAYOMON	
10		DISEÑADO POR: FELIX AMALIA	
		DIBAJADO POR: URS R. PEREZ	
		JEFE DE DIVISION: FELIX AMALIA	
		DISEÑADO POR: URS R. PEREZ	



PLANTA
ESCALA 1/20



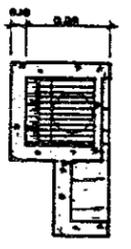
VERTEDERO PROPORCIONAL
VISTA FRONTAL
ESCALA 1/20



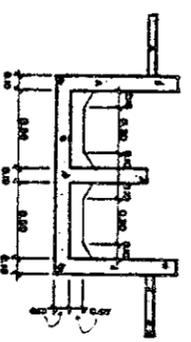
SECCION LONGITUDINAL
ESCALA 1/20



CORTE A-A
ESCALA 1/20

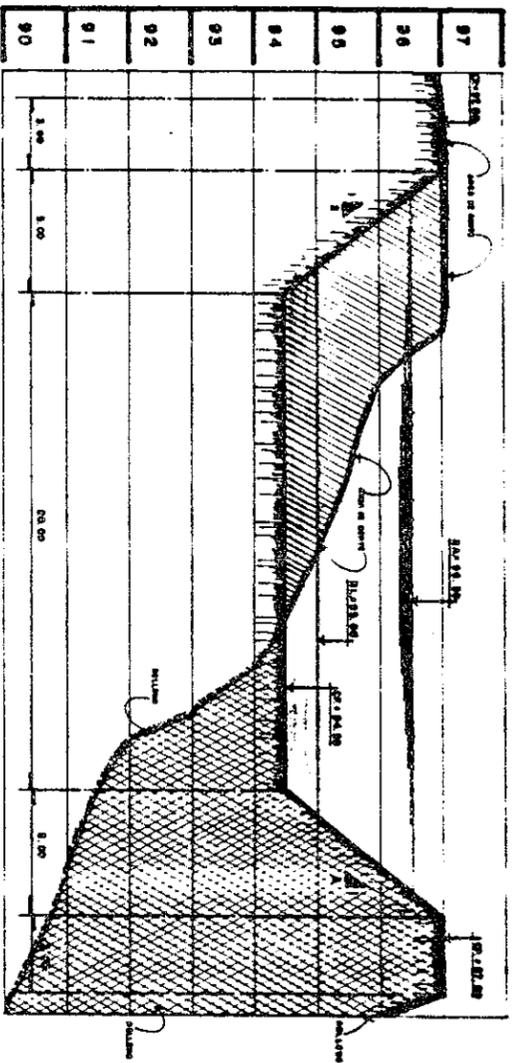


CORTE B-B
ESCALA 1/20

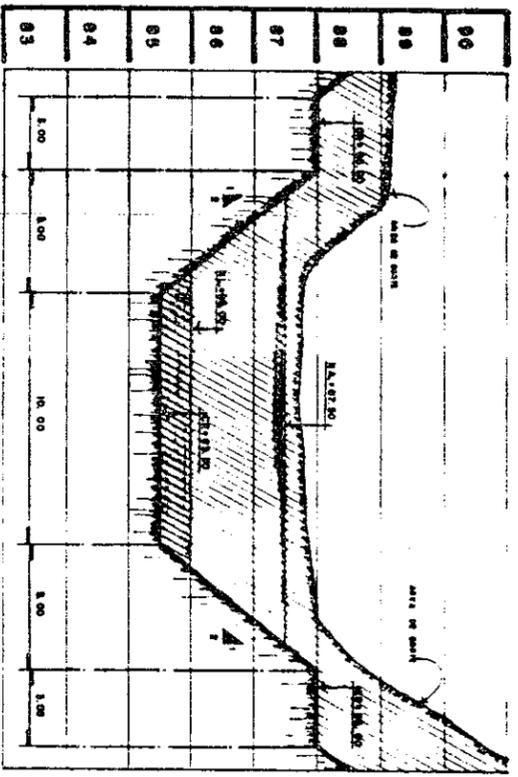


CORTE C-C
ESCALA 1/20

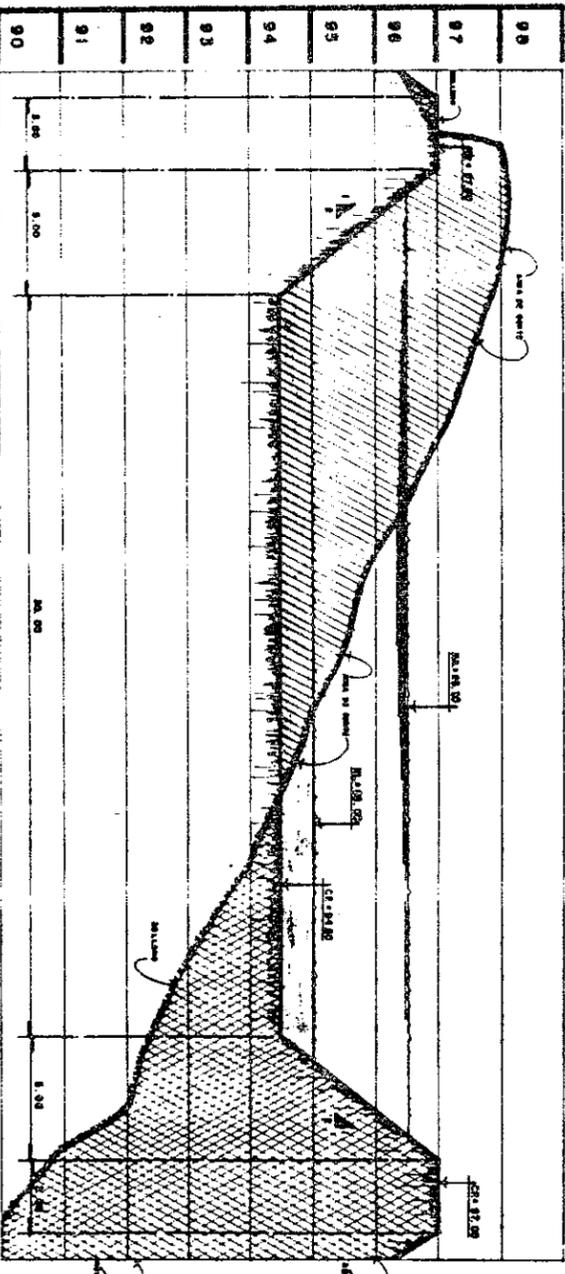
INSTITUTO DE FOMENTO RURAL CONVENIO SPOK - 003 - 1918		PLANO No.	18
PROYECTO DE REGULACION Y RECONSTRUCCION DEL A.A.		FECHA	1918
CANAL DE REJAS DESARENADOR		ESCALA	1/20
ELABORADO POR	ING. E. GONZALEZ	REVISADO POR	ING. E. GONZALEZ
APROBADO POR	ING. E. GONZALEZ	FECHA	1918



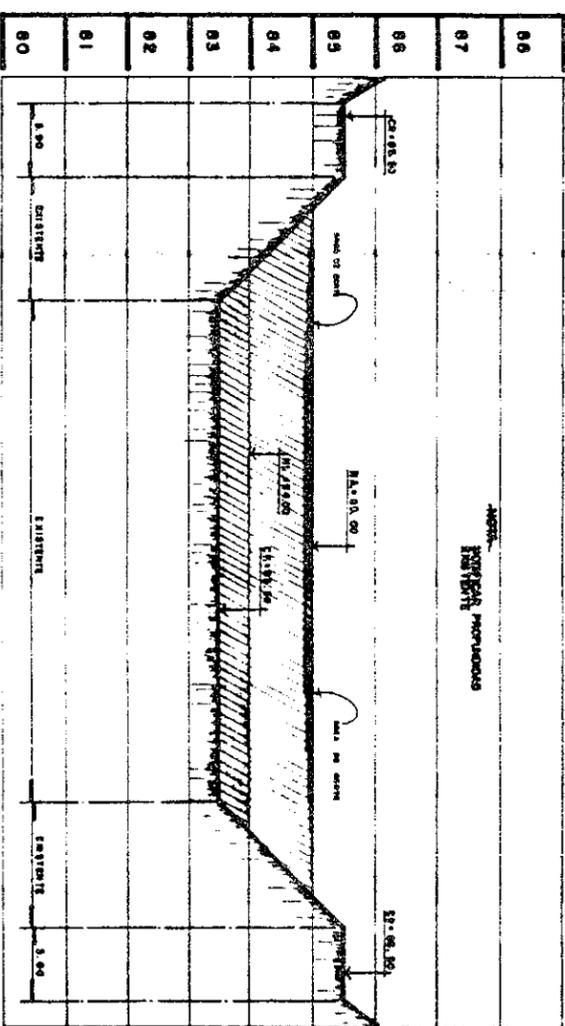
LAGUNA SECUNDARIA 1
SECCION TRANSVERSAL



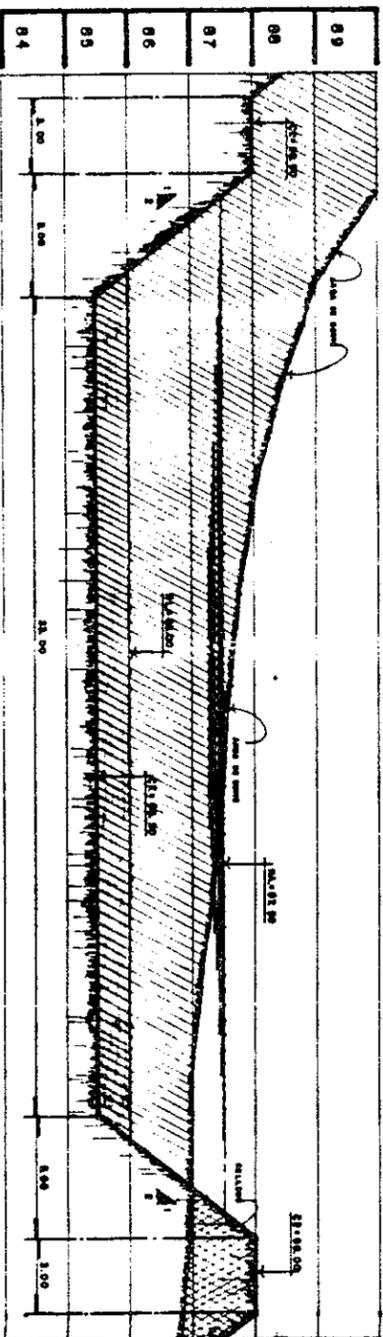
LAGUNA SECUNDARIA 2
SECCION TRANSVERSAL



LAGUNA SECUNDARIA 1
SECCION LONGITUDINAL



LAGUNA TERCIANA EXISTENTE

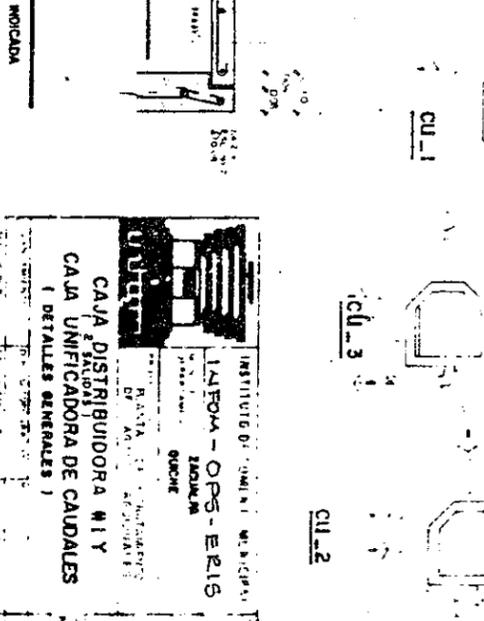
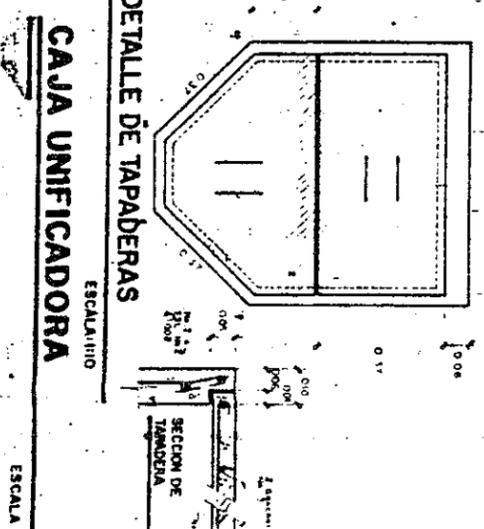
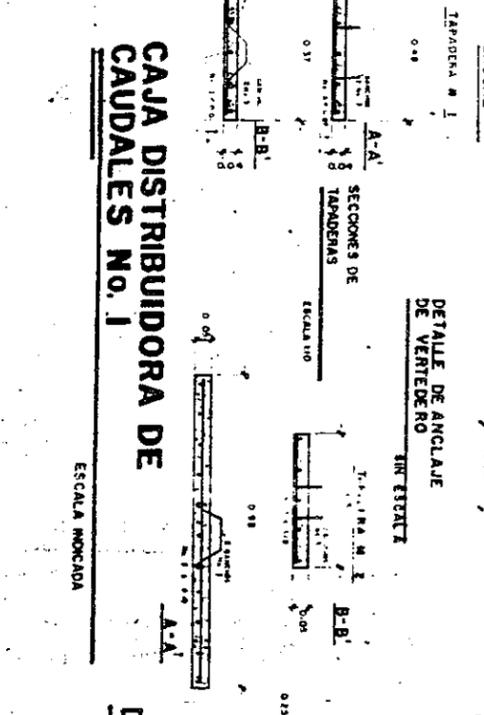
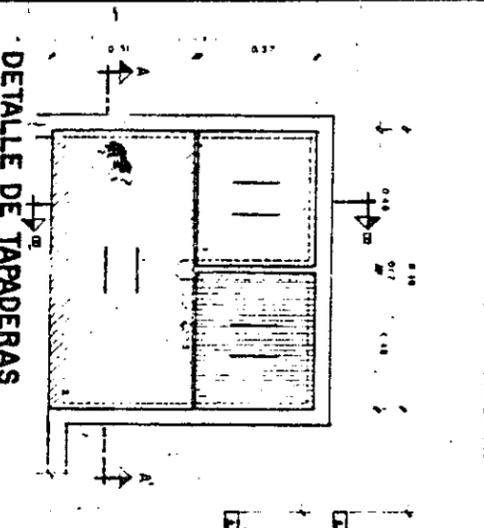
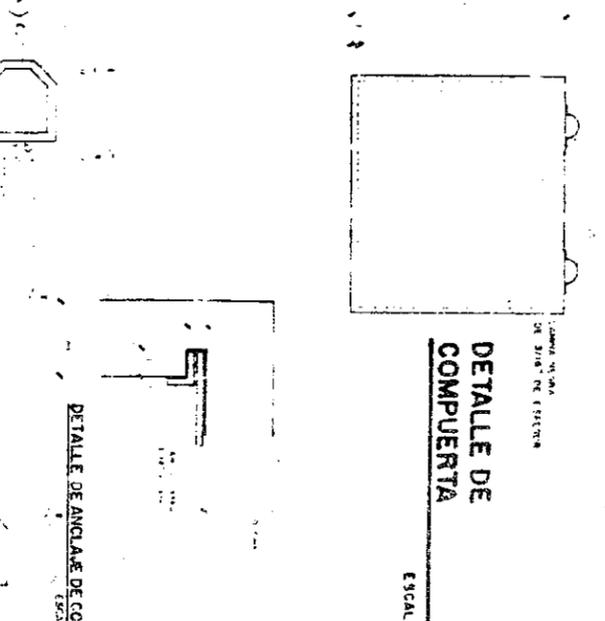
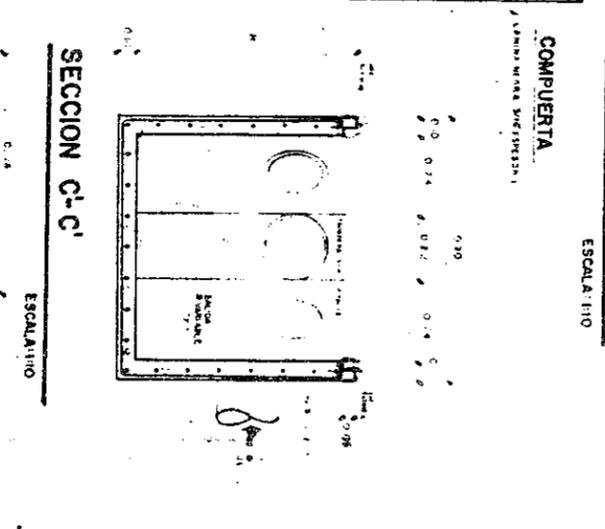
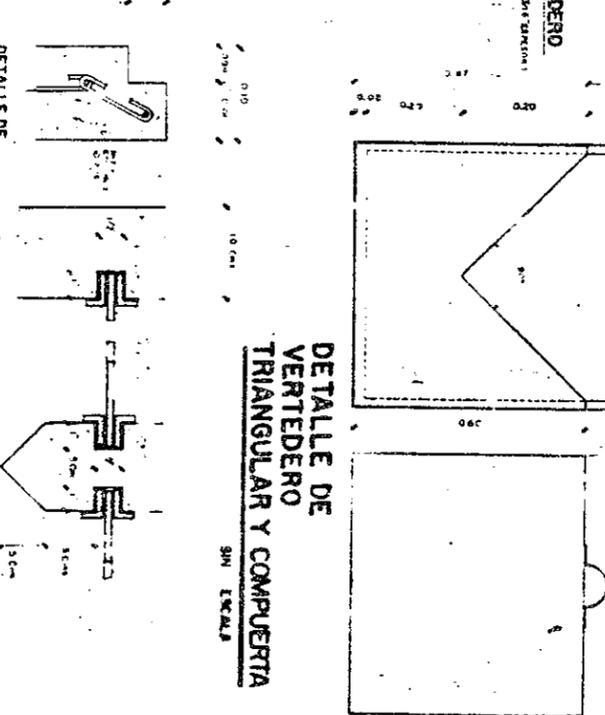
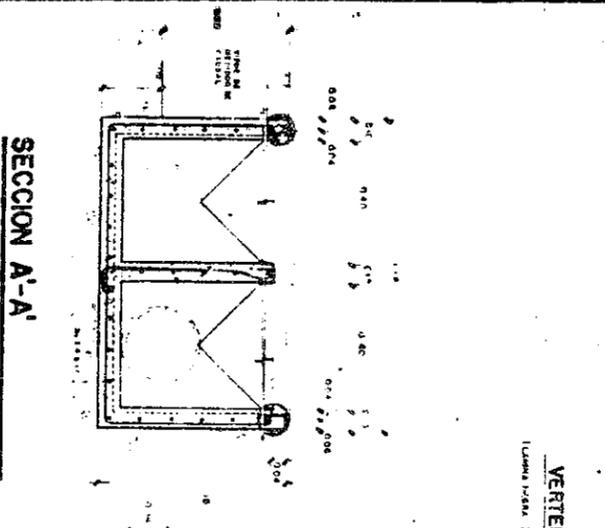
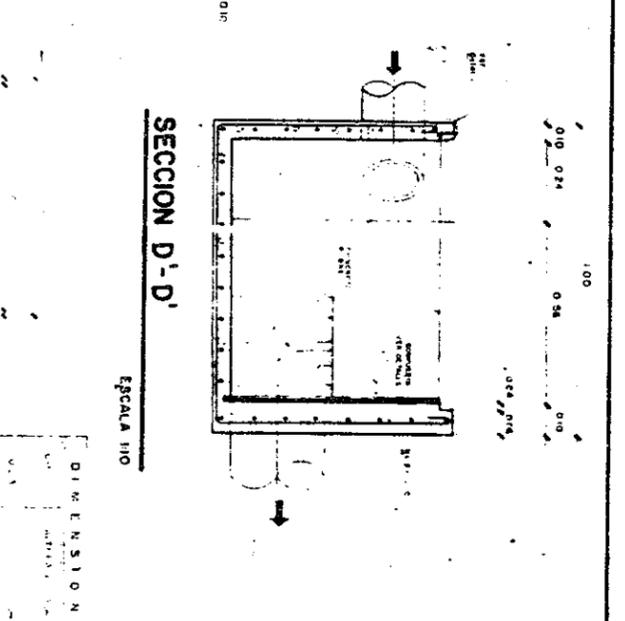
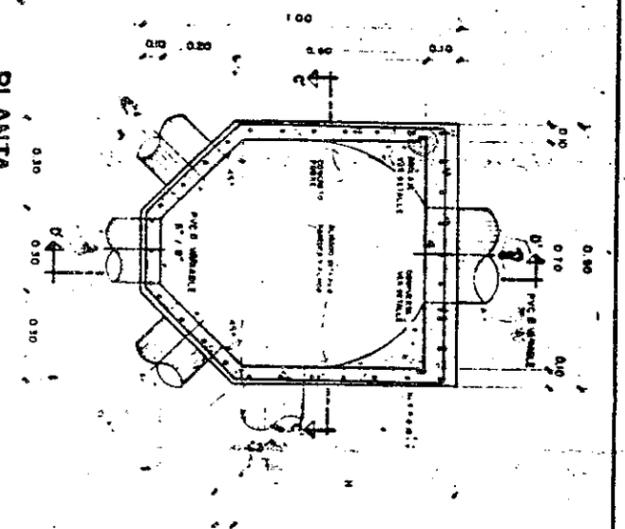
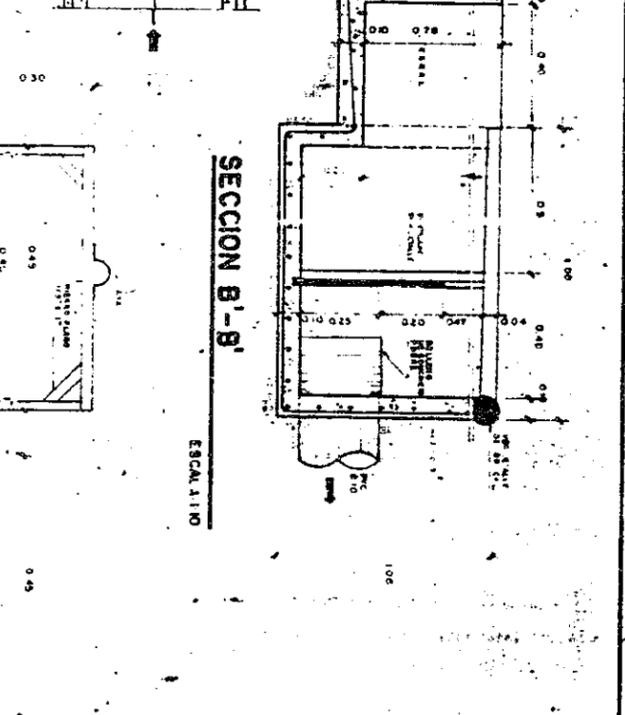
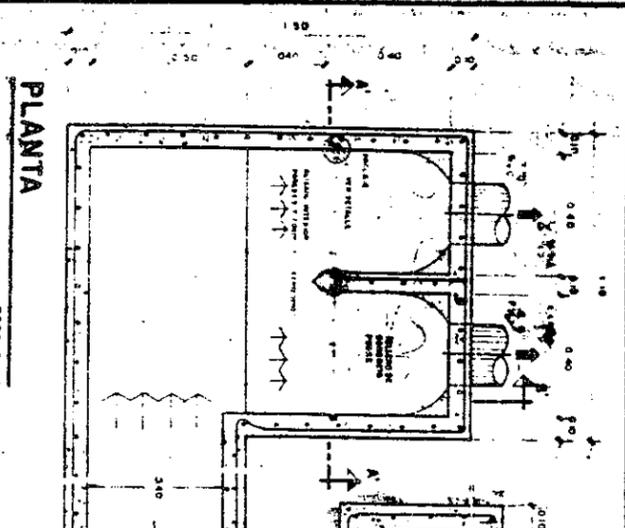


LAGUNA SECUNDARIA 2
SECCION LONGITUDINAL

REFERENCIAS:	
1	PLAN DE DISEÑO
2	PLAN DE OBRAS
3	PLAN DE COSTOS
4	PLAN DE MATERIALES

INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL
CONVENIO INJON - OPS - EMS
ZACUALPA
PROYECTO DE
EVALUACION Y REHABILITACION
P.T.A.R.
SECCIONES TRANSVERSALES Y
LONGITUDINALES DE LAGUNAS

FECHA DE ELABORACION	FECHA DE APROBACION
FECHA DE REVISION	FECHA DE REVISION
FECHA DE REVISION	FECHA DE REVISION
FECHA DE REVISION	FECHA DE REVISION



DIMENSIONES

1	0.10
2	0.10
3	0.10
4	0.10
5	0.10
6	0.10
7	0.10
8	0.10
9	0.10
10	0.10

UNITEC

CAJA DISTRIBUIDORA N.º 1 Y CAJA UNIFICADORA DE CAUDALES (DETALLES GENERALES)

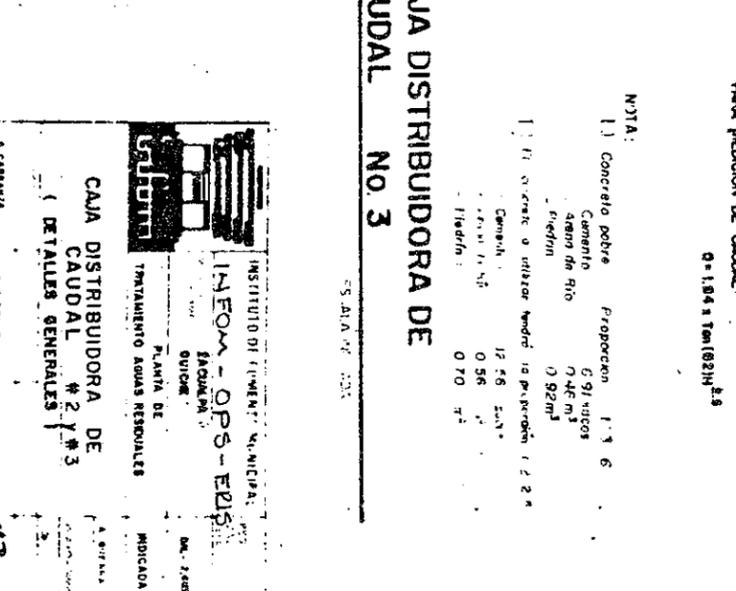
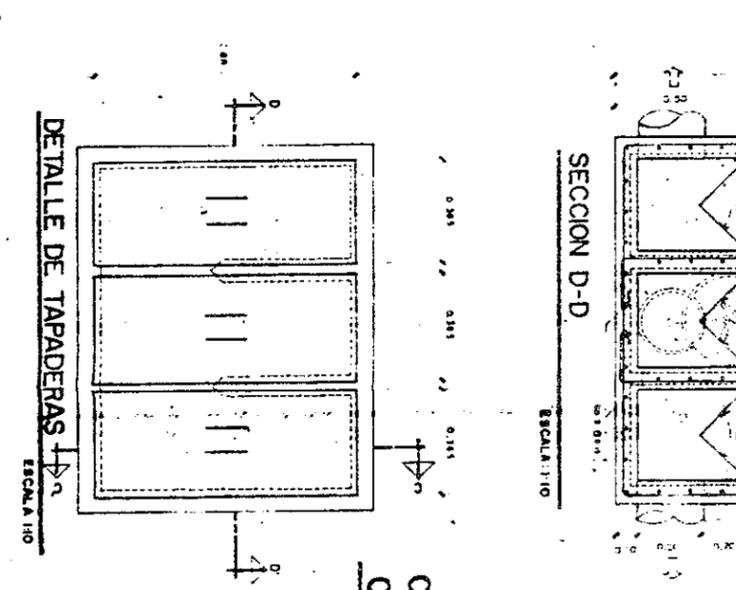
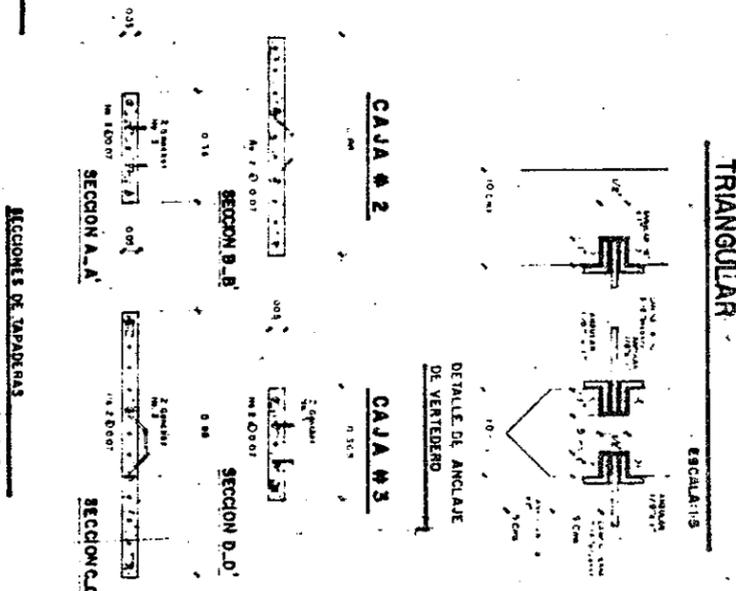
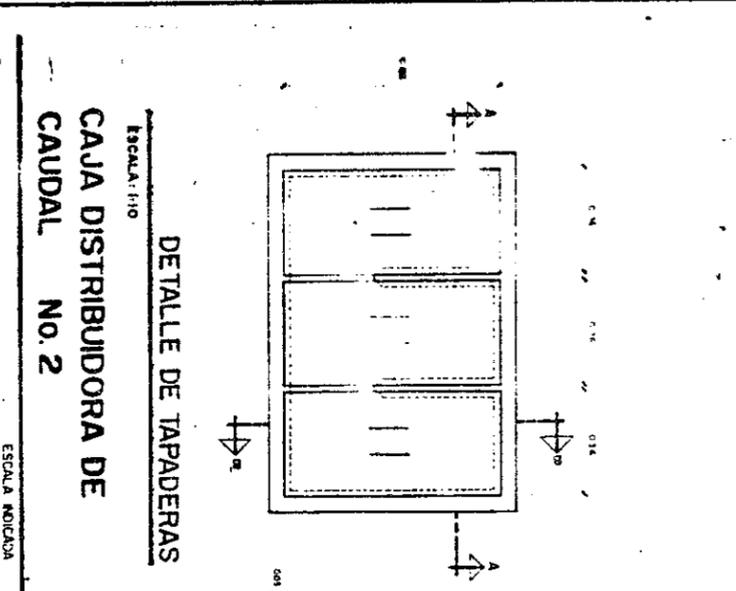
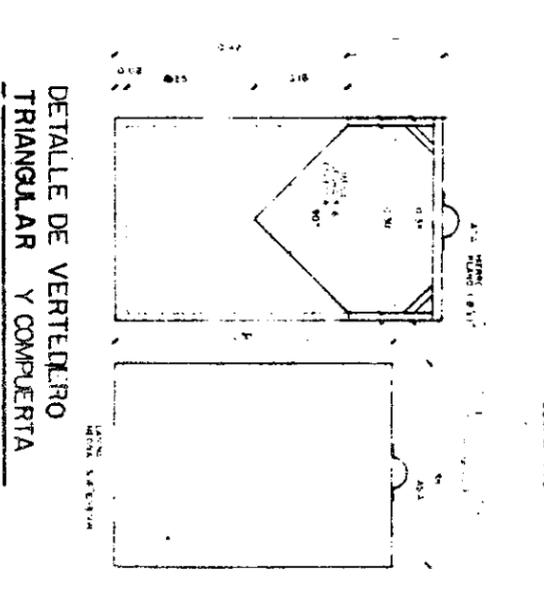
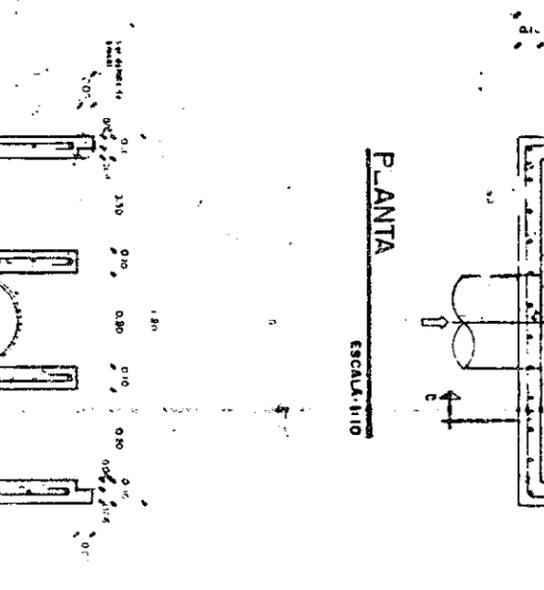
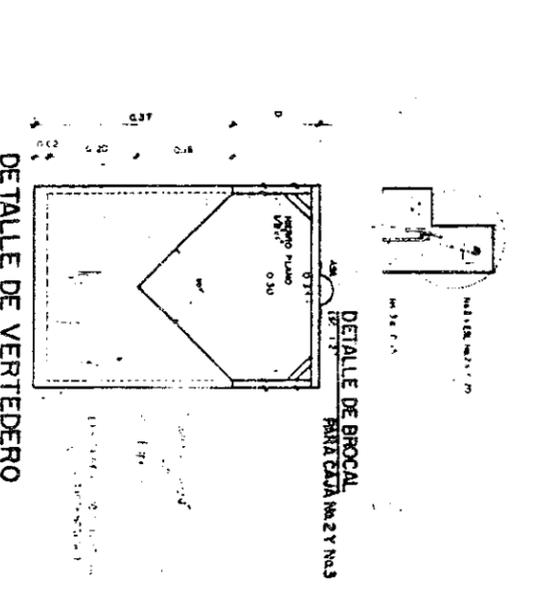
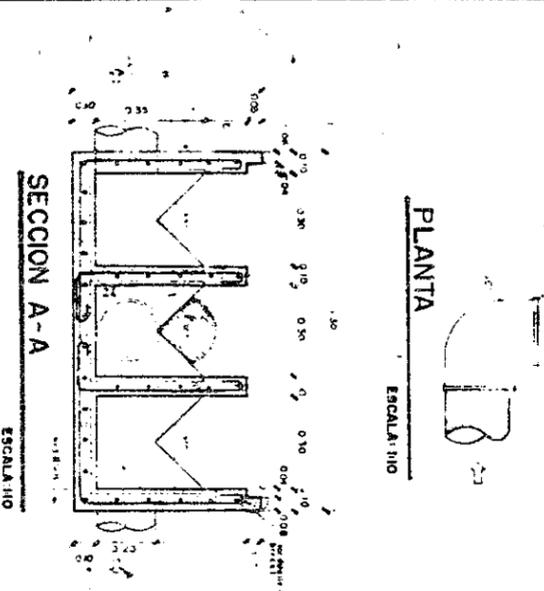
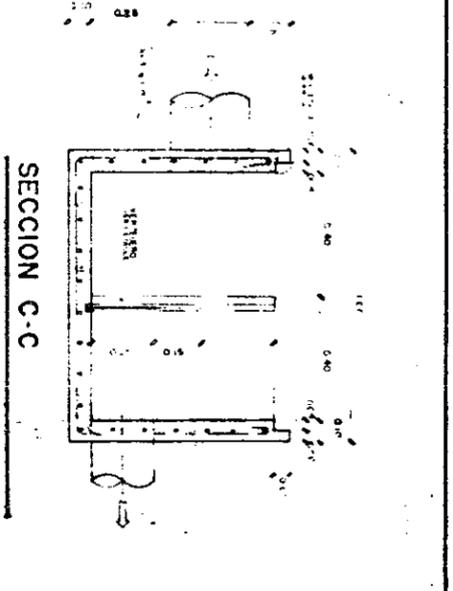
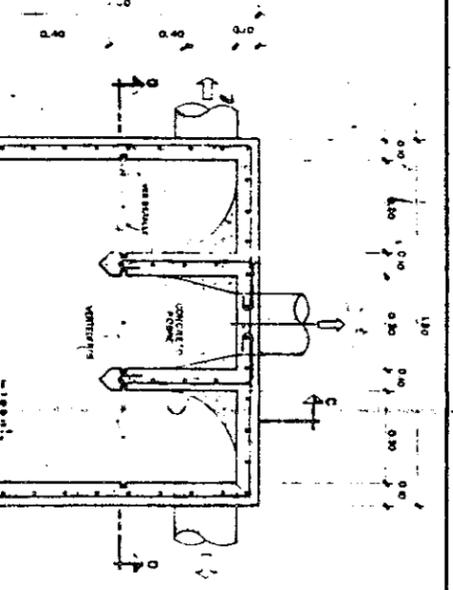
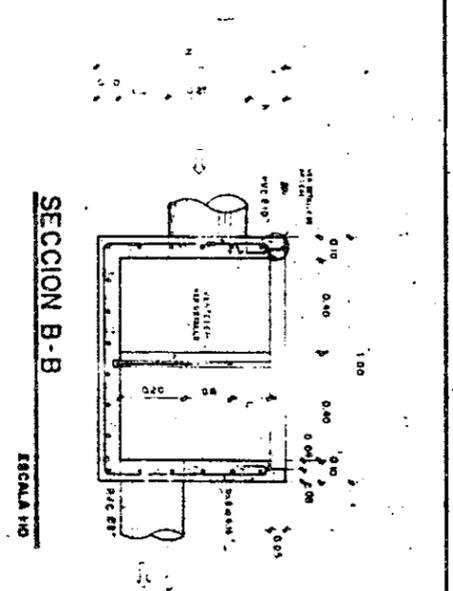
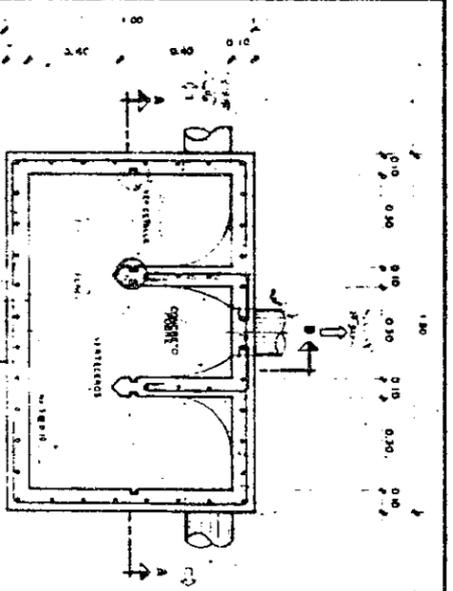
INSTITUTO DE COMINI. MEXICANA

LATINA - OPS - ERLIS

2000 MM

QUINCE

12 18



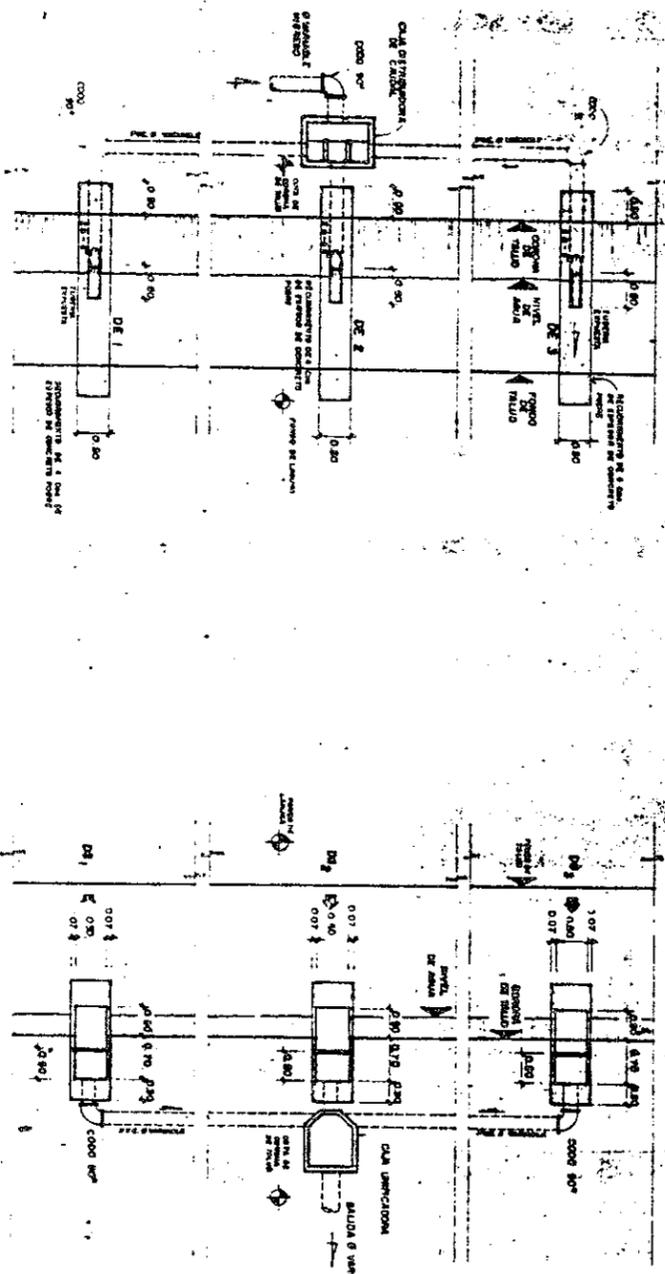
NOTA:
1) Concreto pobre Proporción 1:3:6
Cemento 6.91 sacos
arena de río 0.46 m³
pedregón 0.92 m³
2) El concreto a utilizar tendrá la permeación 1.2 2 m

CAJA DISTRIBUIDORA DE
CAUDAL No. 3
ESCALA 1/10

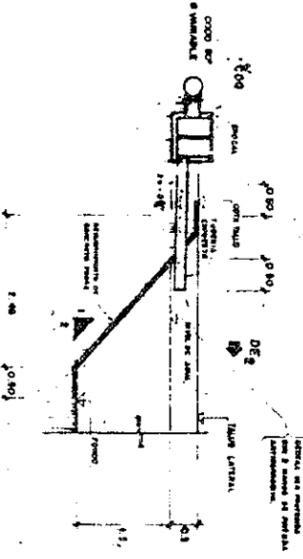
INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL
FACULTAD DE INGENIERIA
QUIMICA
PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES
INDICADA
No. 248

CAJA DISTRIBUIDORA DE CAUDAL #2 Y #3
DETALLES GENERALES

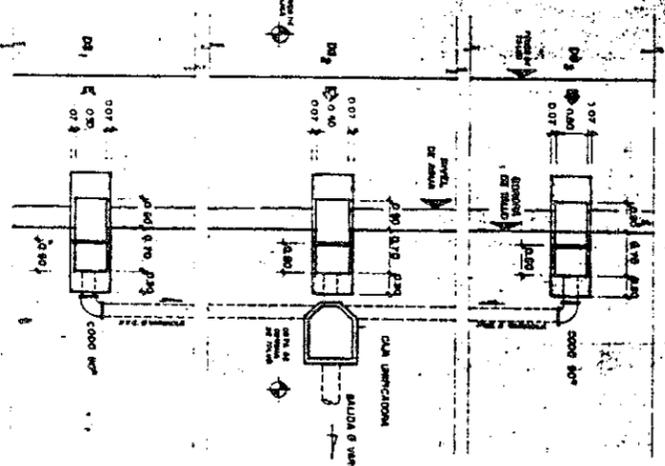
43
18



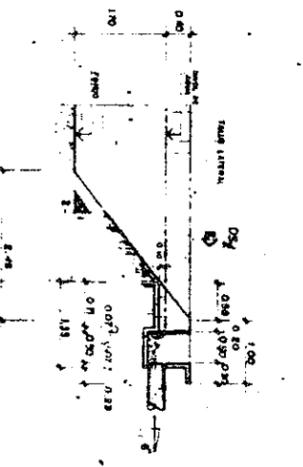
PLANTA 1/50



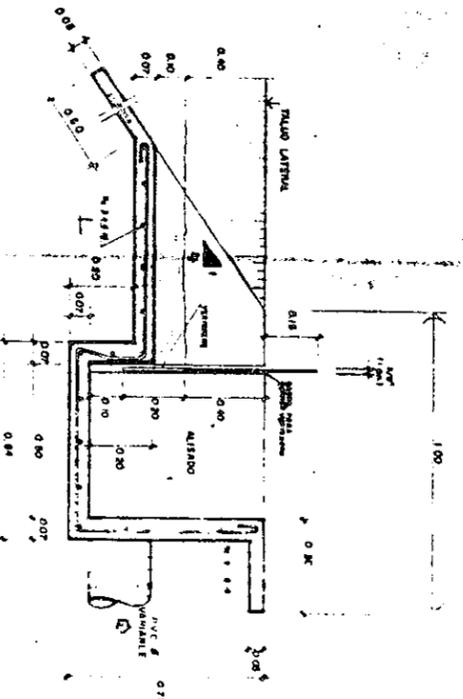
PERFIL LONGITUDINAL 1/50



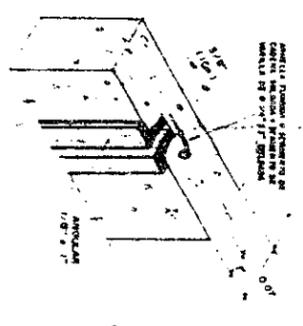
PLANTA 1/50



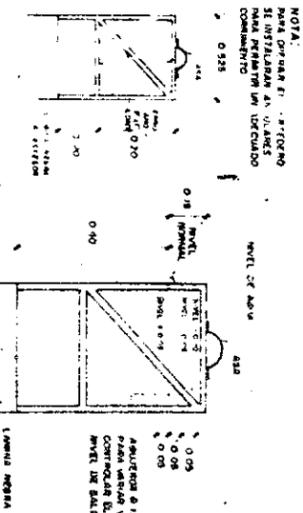
PERFIL LONGITUDINAL 1/50



ARMADO DE DISPOSITIVO DE SALIDA 1/10



DETALLE DE CARRIL 1/50



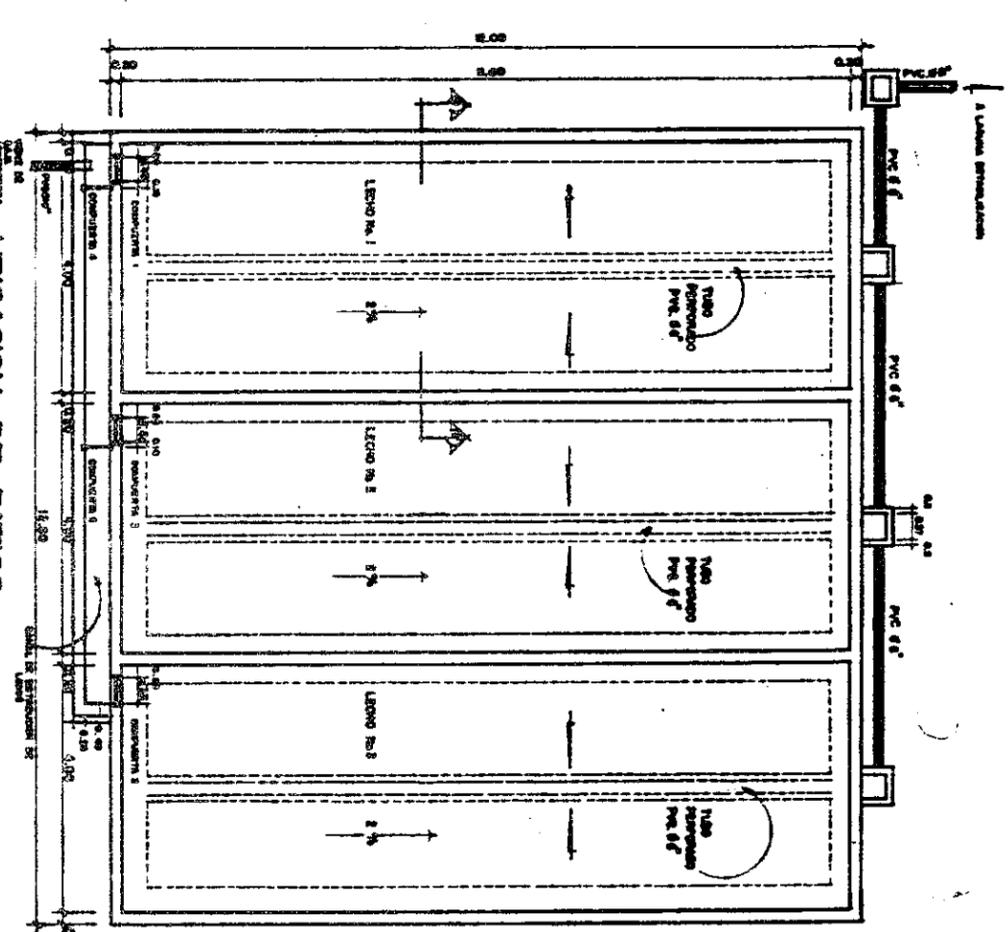
DETALLE DE VERTEDERO 1/50

NOTAS:
 1. TODAS LAS PAREDES DE INTERNO DEBEN AMARILLAR Y LANTERNA MARRON, SERAN PROTEGIDAS CON 2 MANOS DE PINTURA ANTICORROSION.
 2. LA RUBIENA EXTERIOR, DEBERA PROTECTARSE CON 2 MANOS DE PINTURA ANTICORROSION.
 3. EL DISPOSITIVO DE DESBIDE (D.S.) INSTALADO EN LA LAGUNA SECUNDARIA DEBERA CONSTITUIRSE COMO LOS MENOS PESADO Y CON MENOS MANOS DE PINTURA ANTICORROSION EN EL 1/22.

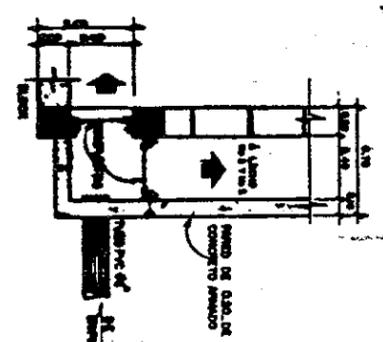
INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL
 JAFEMA-OPS-EDIS
 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
 DISPOSITIVOS DE ENTRADA Y SALIDA
 LAGUNA SECUNDARIA & TERCIARIA

UNION

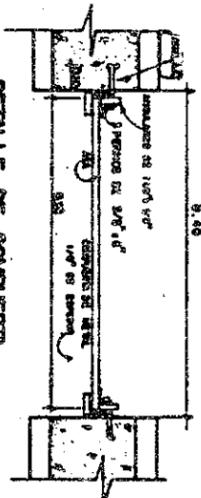
14 18



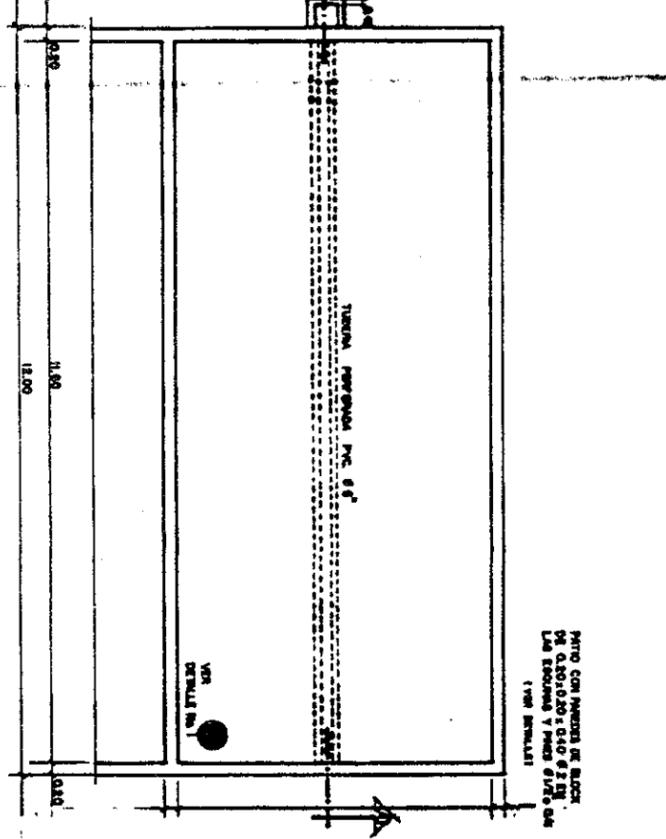
LIBRACION DE PATOS



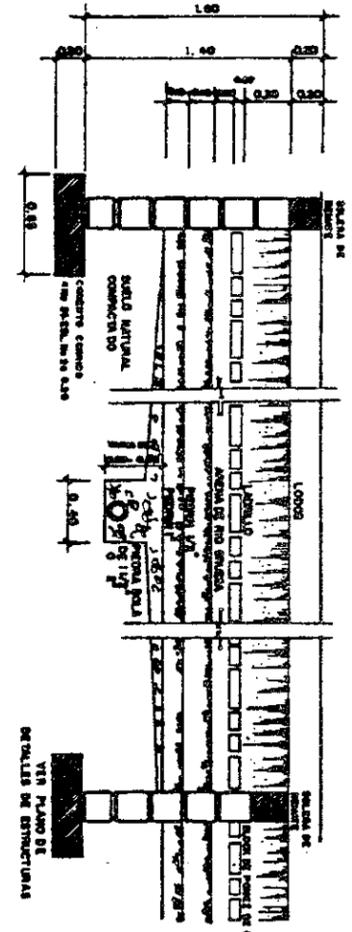
DETALLE DE CONCRETO



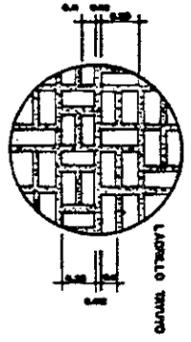
DETALLE DE CONCRETO



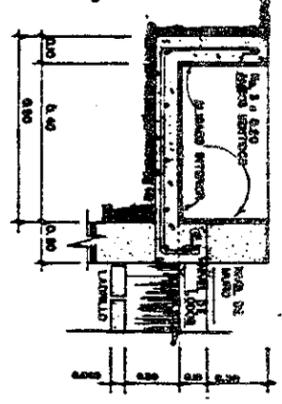
PLANTA



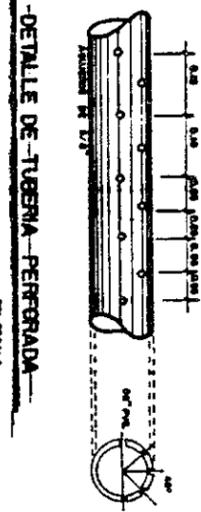
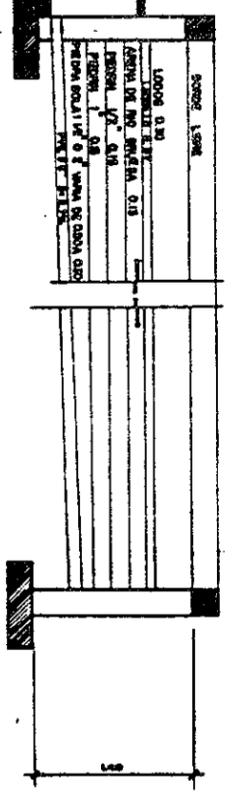
CORTE B-B



DETALLE DE CANAL



CORTE A-A



DETALLE DE TUBERIA PERFORADA

INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL CONVENIO Nº 001-010-004 ZASAJILLA QUICHE		PROYECTO DE EVALUACION Y REHABILITACION RÍAR PATIO DE SECADO DE LODOS + DETALLES	FECHA: 15/18
AUTOR: [] DISEÑO: [] VERIFICACIÓN: [] APROBACIÓN: []	FECHA: [] FECHA: [] FECHA: [] FECHA: []	INGENIERO: [] ARQUITECTO: [] DISEÑADOR: [] VERIFICADOR: []	FECHA: [] FECHA: [] FECHA: [] FECHA: []

ANEXO B: LISTADO DE MATERIALES Y PRESUPUESTO.

LISTADO DE MATERIALES
 RESUMEN

Hoja 1/1

No.	REGLON/DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
I.	MATERIALES LOCALES				
	Árena de río	62.29	m3	50.00	3,114.50
	Árena Amarilla	1.25	m3	50.00	62.50
	Árena de río gruesa	23.50	m3	50.00	1,175.00
	Piedrin	50.04	m3	75.00	3,753.00
	Piedrin 1/2"	24.00	m3	75.00	1,800.00
	Piedrin 1"	24.00	m3	75.00	1,800.00
	Piedra bola 1 1/2" a 2"	16.05	m3	75.00	1,203.75
	Ladrillo taguayo	2,073	Millar	600.00	1,243.80
	Block Pomez 20x20x40 cms	2,260	Millar	2,700.00	6,102.00
	Madera	2,893	p-t	3.50	10,125.50
(=)	TOTAL MATERIALES LOCALES				30,380.05
II.	MATERIALES NO LOCALES				
	Cemento gris	1,085	saco	30.05	32,604.25
	Cal hidratada	3.25	qq	40.10	130.33
	Hierro ø 1/4" * 20' Grado 40	319	varilla	4.47	1,425.93
	Hierro ø 3/8" * 20' Grado 40	1,035	varilla	8.45	8,730.75
	Hierro ø 1/2" * 20' Grado 40	58	varilla	16.80	974.40
	Hierro ø 3/4" * 20' Grado 40	1	varilla	37.83	37.83
	Hierro Angular ø1/2" x 1/8" x 20'	2	u	33.20	66.40
	Hierro plano ø1/4" x 1" x 20'	3	U	8.55	25.65
	Hierro Angular ø1/8" x 1/2" x 20'	26	U	22.50	585.00
	Hierro Plano 1/8" * 1" * 20'	24	U	13.95	334.80
	Lamina negra 1/8"	30.58	Pie²	60.00	1,835.40
	Lamina negra de 4' x 8' x 3/16"	13.30	m2	197.58	2,494.81
	Tubería PVC ø6" * 20' norma 3034	27	Tubo	230.35	6,219.45
	Tubería PVC ø8" * 20' norma 3034	16	Tubo	353.15	5,650.40
	Tubería PVC ø10" * 20' norma 3034	31	Tubo	551.00	17,081.00
	Tubería PVC ø15" * 20' norma 3034	36	Tubo	1,175.65	42,323.40
	Clavo	355	lb.	3.00	1,065.00
	Alambre de Amarre C-16	409	lb.	3.00	1,227.00
	Pintura Anticorrosiva	4.77	Galón	47.84	228.20
	Codo 90° 6x6 ø6"	2	u	49.66	99.32
	Yee 6x6 ø6"	2	u	70.07	140.14
	Perno 3/8" x 6"	10	u	21.50	215.00
	Tubo H. S. ø1"	4	Tubo	62.86	251.44
	Plancha hierro ø 3/16"	0.10	m2	540.00	54.00
	Tor. cabeza exagonal c/ tuerca ø1/4" * 3/4"	3	u	14.90	44.70
	Tor. cabeza exagonal c/ tuerca ø1/4" * 1/8"	2	u	14.90	29.80
	Tor. cabeza exagonal c/ tuerca ø1/4" * 1 1/2"	3	u	10.75	32.25
	Tor. cabeza exagonal c/ tuerca ø3/8" * 1/2"	15	u	23.00	345.00
	Malla con abertura 1/8"	0.10	m2	80.00	8.00
	Cadena 7 lbs/pie	0.45	ml	15.00	6.75
	Equipo adicional		Global		2,000.00
	Valvula de compuerta ø6"	5	U	1,750.61	8,753.05
(=)	TOTAL MATERIALES NO LOCALES				136,069.45
(=)	TOTAL MATERIALES				166,449.50

DIVISION DE OBRAS MUNICIPALES
 Departamento de Proyectos Sanitarios
 Sección de Alcantarillados
 INFOP-DPS-FRCS

MUNICIPIO : ZACUALPA
 DEPARTAMENTO : EL GUICHÉ
 DISEÑADO : Ing. R. PEREZ
 PRESUPUESTO: LUIS OTAZ

INTEGRACION DE COSTOS
 Programa : P. R. B.

Hoja 12

No.	REGLON	CANTIDAD	UNIDAD	MANO DE OBRA		COSTO TOTAL DEL PROYECTO :			TRANSPORTE	COSTO TOTAL
				COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	LOCALES	NO LOCALES	TOTAL		
1.	ADQUISICION DE TIERRAS	5637	m2		97,464					97,464
11.	RELLENO COMPACTADO	926.62	m3		6,727					6,727
111.	RETIRO DE MATERIAL SOBRAANTE	7046.00	m3		42,628					42,628
111.	DEMOLICIONES	510.00	m2		1,556					1,556
1	CANAL DE REJES + DESARENADOR	1.00	U		1,012			3,718	190	4,920
2	REHABILITACION TAMBQUE INADPT	0.00	U		105			1,657	13	1,775
3	PATIO SECADO DE LINDOS	28.00	U		10,494			28,837	1,292	40,623
4	DEPOSITIVO DE ENTRADA (D.E.I.)	28.00	U		47			724	53	824
5	DISPOSITIVOS DE SALIDA (D.S.I.)	28.00	U		3,817			9,194	392	13,403
6	CARA DISBURRIDORA DE FANONALES	11.00	U		3,066			11,856	654	15,516
7	CARA BRUFICA DE CAUDAL (C.B.C.)	11.00	U		2,720			9,724	433	12,877
8	CARA DE REJISTRO (C.R.)	31.00	U		1,774			10,638	568	12,980
9	CARA DE VALVULAS	5.00	U		1,208			14,310	291	15,809
10	TUBERIA DE INTERCONEXION	624.00	M		12,885			68,510	772	82,167
11	POZO U Y VERTED EXCEMETAS	1.00	U		141			1,070	56	1,267
12	CABEZAL DE DESCARGA	2.00	U		390			3,404	261	4,055
13	EQUIPO DE MANTENIMIENTO				130			3,807	60	2,997
(=)	TOTAL DE REGLONES				186,104			166,449	5,035	357,588

INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL
 DIVISION DE OBRAS MUNICIPALES
 Departamento de Proyectos Sanitarios
 Seccion de Alcantarillados

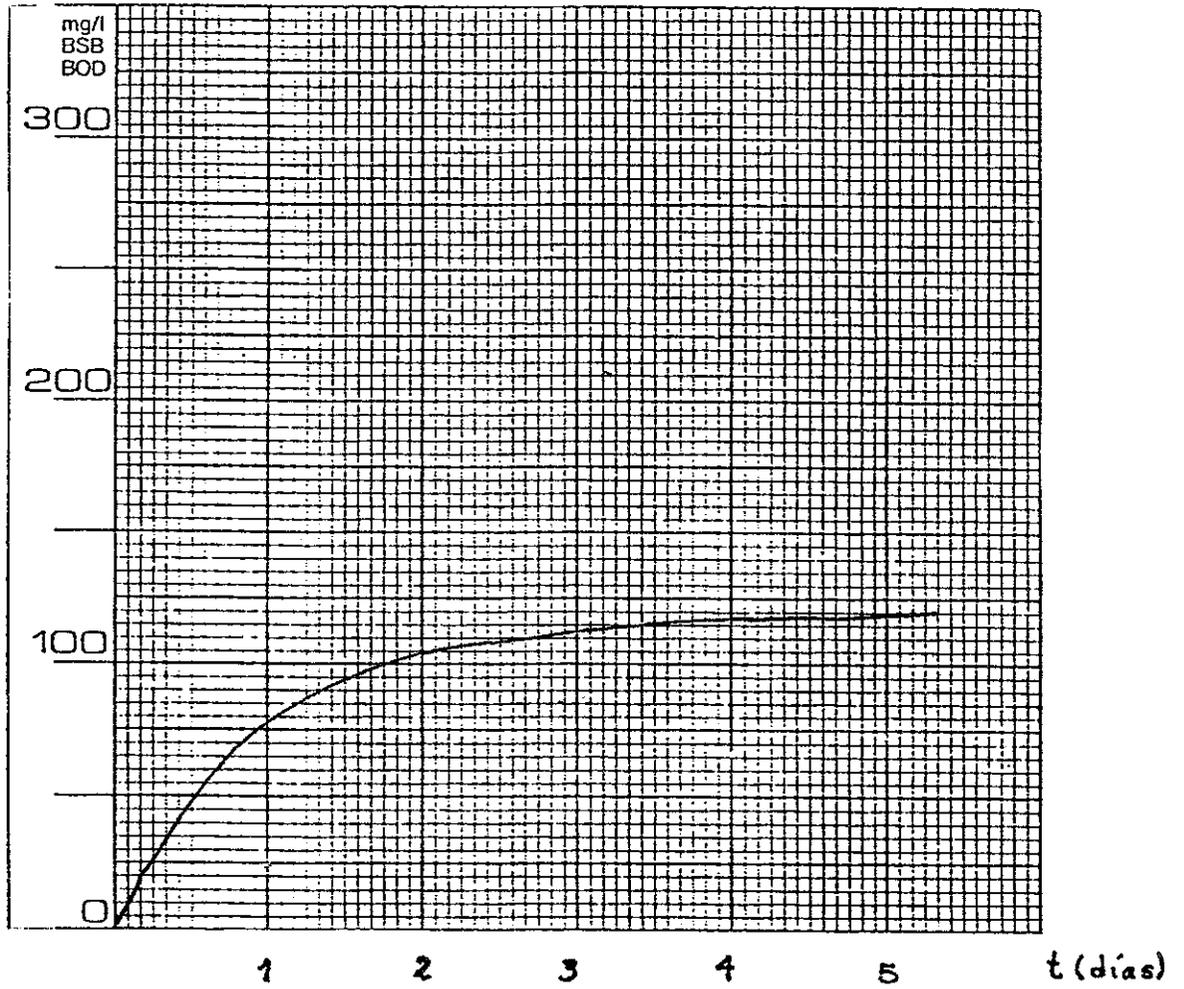
PROYECTO : PLANTA DE TRATAMIENTO
 MUNICIPIO : ZACUALPA
 DEPARTAMENTO : EL GUICHE
 DISEÑADO : Ing. RUBEN PEREZ
 PRESUPUESTO : L. DIAZ-M. POMBAI

CIERRE DE PRESUPUESTO
 Programa : P. A. B.
 575,444

No.	DESCRIPCION DEL ÍTEM	APLICADO %	COSTO TOTAL MANO DE OBRA	COSTO TOTAL DE MATERIALES	COSTO TOTAL DE TRANSPORTE	COSTO TOTAL	COSTO TOTAL
(-)	Obrero		186,104	166,449	5,035	357,588	2,375
(-)	EQUIPO Y HERRAMIENTA						359,963
(-)	COSTOS INDIRECTOS						
	MAESTRO DE OBRAS	55					
	B. P.	20					
	GUARDIAN	20					
	TIEMPO EJECUCION	B					
(-)	MANUTENCION DE CAMPO						22,800
(-)	INVESTACIONES LABORALES	0.2877					60,102
(-)	CUOTA PATRONAL I. B. S. S.	0.10					20,830
(-)	IMPREVISTOS	0.10					46,376
(-)	COSTO INDIRECTO						150,188
(-)	COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO						510,131
(-)	IVA 5% MATER. TRANSP. EQUIPO Y HERRAM.	0.10					17,306
	GASTOS TECNICOS						27,507
	POR PLANIFICACION						20,905
	POR SUPERVISION						4,841
(-)	RESERVO PREVISIONAL 10%						12,571
(-)	GASTOS TECNICOS (-) DESGASTO						4,287
(-)	10% DE IVA SOBRE GASTOS TECNICOS						47,938
(-)	TOTAL GASTOS TECNICOS						75,496
(-)	COSTO TOTAL DEL PROYECTO						575,444

ANEXO C: GRAFICA DE DBO₅

GRAFICA DE DBO₅

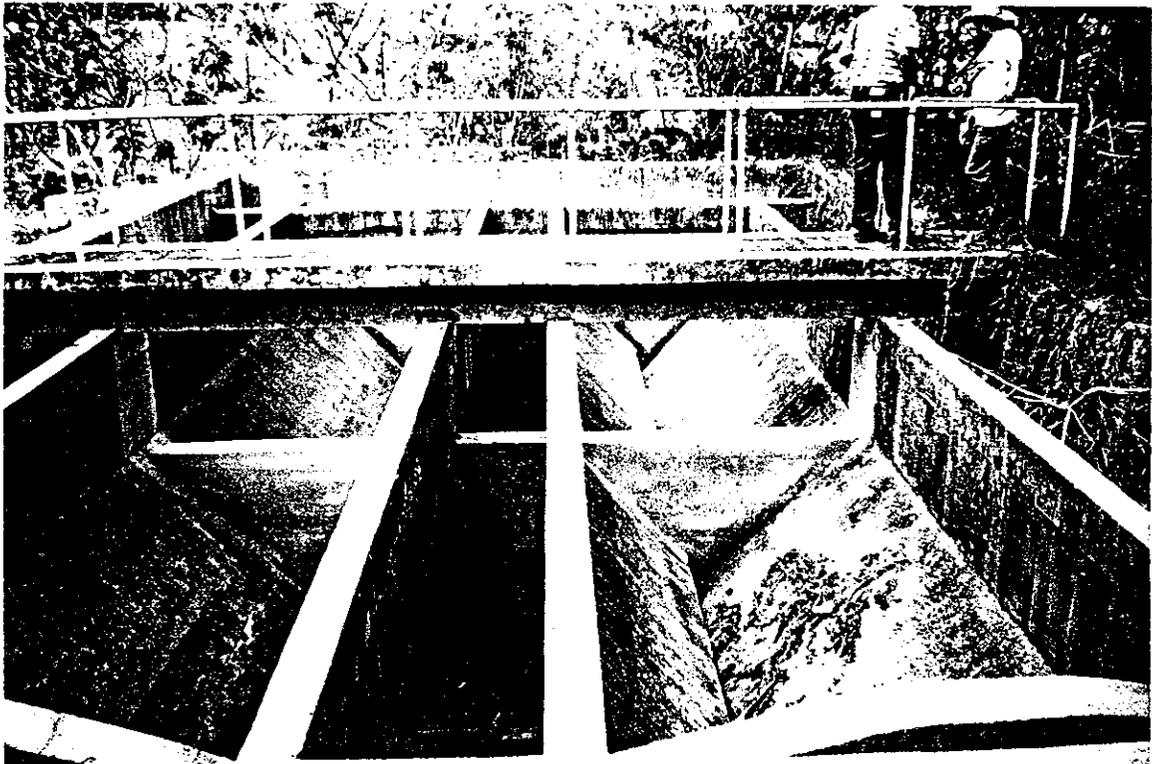


**ANEXO D: FOTOGRAFIAS DE LA PLANTA A
REHABILITAR.**

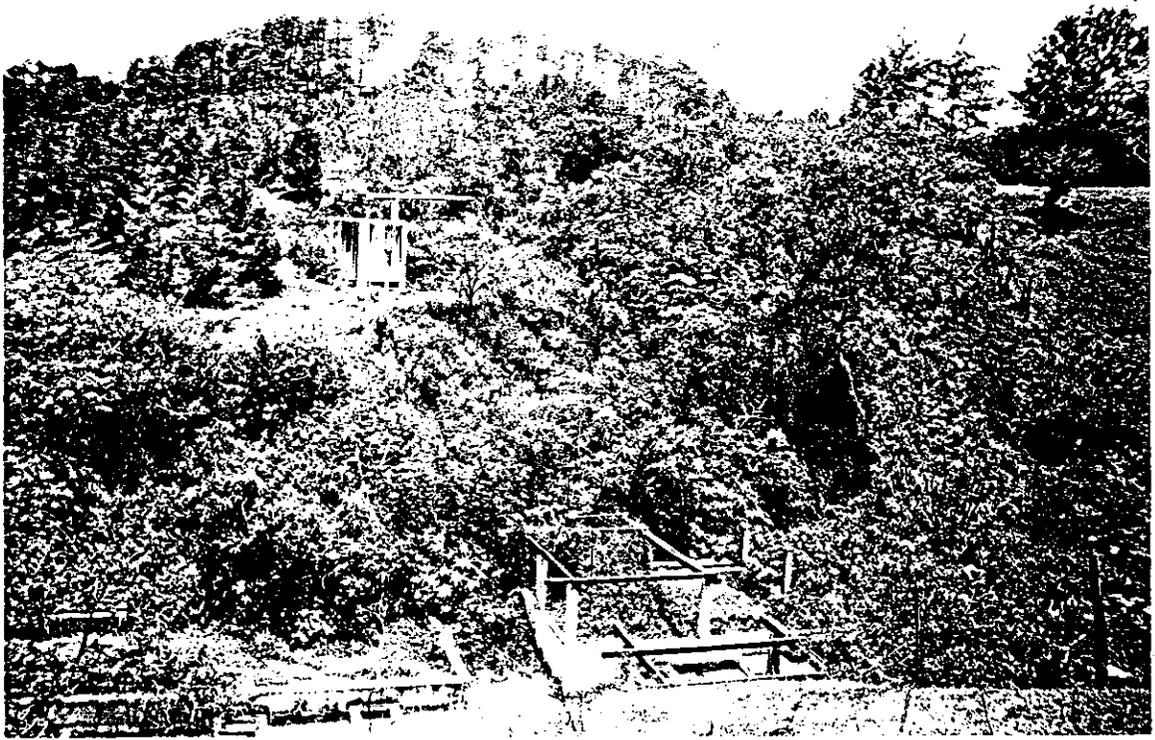
FOTOGRAFIA #1
CANAL DE ENTRADA A LA PLANTA



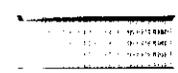
FOTOGRAFIA #2
TANQUE IMHOFF



FOTOGRAFIA #3
PATIO DE SECADO DE LODOS Y FILTRO TORRE



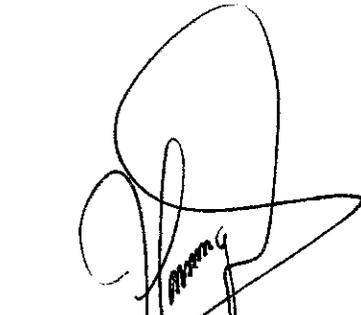
FOTOGRAFIA #4
LAGUNA DE ESTABILIZACION DE FORMA ELIPTICA.





Handwritten signature of Rubén Redolfo Pérez Oliva, consisting of stylized initials and a surname.

Ing. Rubén Redolfo Pérez Oliva
Sustentante



Handwritten signature of Adán Ernesto Podasangre Collazos, featuring a large, looping initial 'A' and a more detailed surname.

Ing. Msc. Adán Ernesto Podasangre Collazos
Asesor