

**INFORME SUPLEMENTARIO VIII**

**PRUEBA DE CONTROL DE  
CONTAMINACION**



# PRUEBA DE CONTROL DE CONTAMINACION

## CAPITULO I Situación Actual del Tratamiento de Aguas Residuales en la cuenca

1.1	Objetivo del Estudio .....	VIII-1
1.1.1	Situación Actual .....	VIII-1
1.1.2	Problemas de Tratamiento de Aguas Residuales .....	VIII-3
1.2	Dirección de Mejoramiento de Métodos de Tratamiento de Aguas Residuales en la Cuenca .....	VIII-5
1.2.1	Lineamiento Básico de las Medidas de Mejoramiento ....	VIII-5
1.2.2	Medidas contra Aguas Residuales Industriales .....	VIII-5
1.2.3	Medidas contra Aguas Residuales Domésticas .....	VIII-7

## CAPITULO II Pruebas de Control de Aguas Residuales

2.1	Objetivos .....	VIII-8
2.2	Métodos de Prueba .....	VIII-8
2.2.1	Selección de Métodos de Prueba .....	VIII-8
2.2.2	Selección de Puntos de Pruebas .....	VIII-9

## CAPITULO III Prueba de Tratamiento por Absorción del Suelo

3.1	Estructura de la Instalación .....	VIII-10
3.1.1	Estructura .....	VIII-10

3.1.2	Cálculo de Capacidad .....	VIII-10
3.2	Resultados de las Pruebas .....	VIII-11
3.3	Observaciones .....	VIII-12
3.3.1	Capacidad de Purificación de los Estratos de Suelo .....	VIII-12
3.3.2	Elaboración del Esquema de Capacidad de Purificación del Suelo .....	VIII-12
3.3.3	Aplicabilidad en la Cuenca .....	VIII-14

#### **CAPITULO IV Pruebas de Estanque de Oxidación**

4.1	Estructura de la Instalación .....	VIII-15
4.1.1	Estructura .....	VIII-15
4.1.2	Cálculo de Capacidad .....	VIII-15
4.2	Resultados de las Pruebas .....	VIII-18
4.2.1	Número de Extracciones de Muestras Realizadas .....	VIII-18
4.2.2	Clasificación de los Valores Obtenidos .....	VIII-18
4.3	Observación .....	VIII-19
4.3.1	Aplicabilidad en los Mataderos .....	VIII-19
4.3.2	Aplicabilidad de Sistema de Poza de Oxidación en la Cuenca .....	VIII-19

**CAPITULO V Otros Métodos de Tratamiento Aplicables en la Cuenca**

5.1	Medidas de Carga de Fuentes Puntuales de la Cuenca .....	VIII-21
5.1.1	Medidas de Alcantarillado .....	VIII-21
5.1.2	Medidas contra Efluentes Domésticos .....	VIII-22
5.1.3	Medidas contra Efluentes Industriales .....	VIII-26
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	.....	VIII-28
<b>ANEXO</b>	.....	VIII-29

## LISTA DE TABLAS

S8.1.1	Instalación de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas	VIII-42
S8.1.2	Instalaciones de Tratamiento de Aguas Industriales y Otras	VIII-43
S8.3.1	Tasa de Infiltración según Tipos de Suelo y Volumen de Tratamiento de Zanjales y Lecho de Filtro de Infiltración para Diseño .....	VIII-44
S8.3.2	Tasa de Eliminación .....	VIII-44
S8.3.3	Datos de CEC, PAC .....	VIII-13
S8.4.1	Resultados de Pruebas .....	VIII-45
S8.5.1	Características de cada Método de Tratamiento .....	VIII-46
S8.A.1	Tipos y Características de Lagunas .....	VIII-47
S8.A.2	Reacción de Eliminación de Glucosa en Sistema Simbiótico .	VIII-48
S8.A.3	Datos de Diseño de Estanques de Estabilización en Planta de Sunnyvale .....	VIII-49
S8.A.4	Normas de Diseño de Estanques de Estabilización en los Estados Unidos de América .....	VIII-49
S8.A.5	Rendimientos Medios de Estanques de Estabilización de Aguas Residuales Industriales .....	VIII-49

## LISTA DE FIGURAS

S8.1.1	Método de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas ...	VIII-51
S8.3.1	Tanque Séptico y Sistema de Absorción al Suelo .....	VIII-52
S8.3.2	Mapa de Suelos .....	VIII-53
S8.3.3	Mapa de CEC .....	VIII-54
S8.3.4	Mapa de PAC .....	VIII-55
S8.3.5	Mapa de pH .....	VIII-56
S8.3.6	Mapa de Aguas Subterráneas .....	VIII-57
S8.3.7	Mapa de Evaluación de Tratamiento de Suelos .....	VIII-58
S8.4.1	Plano General de Poza de Oxidación .....	VIII-59
S8.4.2	Plano de Tubería de Circulación .....	VIII-60
S8.4.3	Detalle de la Tubería .....	VIII-61
S8.4.4	Variación del DO con Respecto al Tiempo .....	VIII-62
S8.5.1	Purificación Combinada .....	VIII-63
S.8.5.2	Tratamiento para Mataderos .....	VIII-64
S8.5.3	Tratamiento para Fábricas de Alcohol .....	VIII-64

S8.5.4	Tratamiento para Fábricas de Almidón .....	VIII-65
S8.5.5	Tratamiento para Fábricas de Jabones .....	VIII-65
S.8.A.1	Esquema General de Tanque Séptico y Sistema de Absorción al Suelo .....	VIII-66
S8.A.2	Estructura Típica de Tanque Séptico .....	VIII-66
S8.A.3	Sección Típica de Zanja de Infiltración .....	VIII-67
S.8.A.4	Curva de Lyon (1 galón/purga <sup>2</sup> . H = 40.81/m <sup>2</sup> día) .....	VIII-68
S.8.A.5	Curva de Lyon Revisada .....	VIII-68
S.8.A.6	Flujo de Materias en Tanque de Estabilización (Poza de Oxidación) .....	VIII-69
S.8.A.7	COD Teórico en cada Fase de Poza de Oxidación .....	VIII-69
S.8.A.8	Estanque de Estabilización de Planta de Tratamiento en Sunnyvale .....	VIII-70
S.8.A.9	Relación entre Taza de Eliminación de BOD y Tiempo de Retención de Aguas Residuales de Planta de Conservas .....	VIII-71
S.8.A.10	Disposición de Estanques Múltiples .....	VIII-72

## CAPITULO 1

### Situación Actual del Tratamiento de Aguas Residuales en la Cuenca

#### 1.1 Objetivo del Estudio

Las fuentes de descarga de la cuenca se clasifican, a grosso modo en fuentes puntuales y no puntuales; las puntuales se dividen, a su vez, en fuentes domésticas, turísticas, sociales e industriales, mientras que las no puntuales se clasifican en áreas forestales, tierras cultivadas, pastizales, etc. En el presente estudio se ha examinado solamente la situación actual del tratamiento de aguas residuales generadas de las fuentes puntuales en base a diversas pruebas de control de contaminación de agua, sin considerar fuentes no puntuales ya que las últimas comprenden zonas de gran extensión, lo cual implica gran costo de instalaciones para las pruebas.

#### 1.1.1 Situación Actual

Las fuentes de descarga de contaminantes y las plantas de tratamiento pueden ser clasificadas como se indican en las tablas S8-1-1 y S8-1-2.

##### 1) Fuentes domésticas

Para las descargas domésticas sólo en San Lorenzo se tienen instalados los alcantarillados, no habiendo tales servicios en otras municipalidades.

En las zonas donde no cuentan con el servicio de alcantarillados, las aguas residuales son tratadas en sistema combinado de tanques sépticos y de infiltración, o solamente en tanques de infiltración.

##### ① Alcantarillados

Los alcantarillados de San Lorenzo son acueductos subterráneos que, actualmente no se encuentran en buenas condiciones por los problemas de pendiente inversa, etc. La planta de tratamiento consiste en tres lagunas: la primera es anaeróbica, y las otras dos son aeróbicas.

## ② Tratamiento en cada vivienda

El método de tratamiento más difundido es la combinación del tanque séptico y poza de absorción, existiendo también muchas viviendas que, debido a la diferencia de estilo de vida, sólo adoptan el sistema de poza de absorción.

### 2) Fuentes turísticas

Las aguas residuales son conducidas a los tanques sépticos y luego a pozas de absorción o pozas de almacenamiento, para que al final sean infiltradas en el suelo o regadas al pasto.

### 3) Fuentes de instalaciones públicas

El hospital tiene facilidades de tratamiento instaladas.

La planta de purificación de agua no tiene instalación de tratamiento de desagües.

### 4) Fuentes industriales

CAPSA y ACEITERA ITAUGUA que son las fuentes industriales más grandes con mayor influencia al lago, tienen plantas de tratamiento de aguas residuales (por procesos químicos), cuyas operaciones fueron suspendidas al cabo de un tiempo de haber sido instaladas. Por ello, los efluentes son descargados a los cuerpos de aguas públicas sin ningún tratamiento.

En cuanto a las demás fábricas medianas y pequeñas, la mayoría no tienen planta de tratamiento, por lo que los efluentes son descargados directamente a los cuerpos de agua públicos. Las fábricas que tienen planta de tratamiento, utilizan el sistema de proceso de laguna.

### 1.1.2 Problemas de Tratamiento de Aguas Residuales

Bajo la circunstancia en que se encuentra la cuenca actualmente, la mayor prioridad está, no en discutir sobre los problemas de tratamiento de aguas residuales, sino en ponerlo en práctica.

#### 1) La administración regional y el tratamiento de aguas residuales

La administración regional de Paraguay se caracteriza por no haber casi ninguna obra pública que la municipalidad planifica y realiza en forma independiente. Tampoco tiene poder suficiente para la regulación de uso de tierras, control y operación de los ríos, lo cual quiere decir que no existe un plan maestro de la municipalidad. Por lo tanto, actualmente no existe una orientación administrativa para regular la descarga de aguas residuales, y sumado a este hecho, el problema más serio consiste en la ausencia de una legislación de regulación de control de calidad de agua a nivel nacional.

#### 2) Fuentes industriales

Existen muchas empresas que tienen instalaciones de tratamiento de aguas residuales, pero que no las ponen en funcionamiento por el alto costo de operación.

Por otro lado, la mayoría de las empresas que realizan tratamiento de aguas residuales utilizan el sistema de proceso de laguna, lo cual elimina la concentración del BOD pero no muestra efectividad suficiente para la eliminación del COD. El tratamiento de lagunas es el más difundido en Paraguay, y se considera difícil pretender difundir un método de tratamiento más sofisticado tanto por el costo inicial como de mantenimiento y operación.

#### 3) Fuentes turísticas

La mayor parte de los hoteles y clubes recreacionales de la cuenca se concentran en San Bernardino, y muchos de ellos descargan directamente las aguas tratadas al lago. El problema más grave en este caso consiste no en la calidad de efluentes, sino en el método de tratamiento de lodos. Es necesario estudiar la forma de tratar y disponer los lodos precipitados en los tanques sépticos.

#### 4) Fuentes de instalaciones públicas

Las fuentes sociales son el hospital estatal y la planta de purificación de agua. En este caso el problema está en la última, que es deseable no descargar directamente al lago el agua del lavado a contracorriente del filtro.

#### 5) Fuentes domésticas

Existen problemas en las áreas donde no hay servicio de alcantarillados.

En la municipalidad de Ypacaraí donde no se han instalado aún el sistema de agua potable, la contaminación de aguas freáticas causada por la proximidad de las pozas de absorción de desagües domésticos a los pozos de agua potable (de 5 m a 10 m) constituye una situación muy grave. Pese a que según la orientación del organismo administrativo, los dos pozos deben estar por lo menos unos 15 m distanciados, se observa muy pocas veces esta regla.

El problema común que tienen las pozas de absorción es la adhesión de grasa a la pared interior de la poza, debido a la dieta de los habitantes basada principalmente en carne, y al cabo de algún tiempo la poza pierde su capacidad de absorción por la formación de una capa de grasa. El promedio de duración de una poza de absorción es de 4 a 5 años, y después de que ésta queda fuera de uso, se excavan sucesivamente nuevas pozas en los jardines de la vivienda. Por lo que se observan algunos casos de pozas construídas hacia la calle, por falta de terreno del jardín.

## 1.2 Dirección de Mejoramiento de Métodos de Tratamiento de Aguas Residuales en la Cuenca

Las medidas fundamentales del tratamiento de aguas de la cuenca fueron expuestas dentro del Plan de Conservación de Calidad de Agua. En el presente apartado sólo se especificará sobre las medidas de mejoramiento realizables (incluye las provisionales).

### 1.2.1 Lineamiento Básico de las Medidas de Mejoramiento.

Dado que el sistema de tratamiento de aguas residuales se requiere una gran inversión, debe escoger alguna medida provisional cuyos costos de construcción, mantenimiento y operación sean bajos, teniendo en cuenta el poder financiero de la región de la cuenca del lago Ypacaraí. Con respecto a las medidas que no requieren obras de construcción, es deseable buscar algunas que puedan esperar mejoras radicales en práctica.

### 1.2.2 Medidas contra Aguas Residuales Industriales

#### 1) Normas de calidad de aguas residuales

Se necesita tomar algunas medidas legislativas al mismo tiempo que se establezcan normas de aguas residuales. Para ponerlas bien en práctica, es preciso formar un organismo que sea capaz de hacer orientaciones técnicas. Para que este sistema sea efectivo, debe establecer sistema de administrador responsable de instalaciones de desagües, y obligarles a las empresas, cuya descarga es mayor que 50 m<sup>3</sup>/día, a inscribirse en el registro.

Al mismo tiempo, todas las obras de construcción y reparación de las instalaciones de desagües indiferentemente de su tamaño, deben ser ejecutadas por las "compañías asignadas a la obras de instalaciones de aguas residuales".

#### ① Administrador de instalaciones de aguas residuales.

El estado debe plantear cursillos sobre métodos de tratamiento de aguas residuales y hacerles inscribir a los "administradores de instalaciones de aguas residuales".

Para el registro se puede aplicar exámenes, pero, de momento se les puede conceder a los participantes de cursillos las facultades para

la inscripción. Los cursillos serán de pago y se recauda la inscripción.

A continuación, se muestra un ejemplo de asignaturas de cursillo.

- Legislación sobre normas de aguas residuales.
- Calidad de agua en general
- Métodos de análisis de calidad de agua
- Características de aguas residuales de distintos sectores industriales y tratamiento de aguas residuales y de lodos.

② Compañías asignadas para obras de instalaciones de aguas residuales

Como igual que los administradores de instalaciones de aguas residuales, se celebra cursillo para inscribirse posteriormente como firmas constructoras asignadas. Uno de los requisitos para ser compañía asignada es la disposición del "técnico de instalaciones de aguas residuales". Por lo tanto, los cursillos serán para los técnicos de dichas cualidades.

③ Técnico de instalaciones de aguas residuales.

Para la inscripción de los técnicos, tienen que ser para aquellos que sean aprobados en exámenes, sin embargo, de momento se puede aceptar a los participantes del cursillo.

A continuación, se presenta algunas asignaturas como referencias.

- Legislación sobre normas de aguas residuales
- Calidad de aguas en general
- Sistema de desagüe y alcantarillado
- Tratamiento de aguas residuales

2) Obligación de tratamiento de aguas residuales

Como medida provisional, debe reglamentar cuanto antes el tratamiento de aguas residuales para obligar a todas aquellas empresas

que descargan más de 5m<sup>3</sup>/día. En este caso, debe poner énfasis en la instalación de lagunas y no en la calidad de desagües.

3) Impuestos preferenciales

Se reducen impuestos a las empresas cuyas aguas residuales están conformes con las normas y aquellas que hacen ciertos efectos tras realizar tratamiento.

4) Establecimiento del régimen de supervisión

Obligar a los administradores de instalaciones de aguas residuales a informar periódicamente tanto la calidad como el volumen de descarga de su propia empresa a fin de recopilar datos de las últimas situaciones de descarga. Asimismo, se realizan inspecciones periódicas en situ y análisis de calidad de aguas en los puntos de observación fijos para comprender la evolución de la calidad de aguas en la cuenca al objeto de establecer bases de administración de control de calidad de aguas.

### 1.2.3 Medidas contra Aguas Residuales Domésticas

1) Instalación de sistema de tratamiento

Realizar tratamiento de suelos en cada familia o cada población. En este caso, hay que estudiar la posibilidad de cargarsela a los habitantes una parte del costo de construcción.

2) Introducción de camiones colectores de residuos humanos

Se recogen los residuos humanos de las familias. En este caso, se necesita separar los residuos humanos de los desagües generales y colocar de poza de residuos humanos en cada familia.

## CAPITULO II

### Pruebas de Control de Aguas Residuales

#### 2.1 Objetivos

Como se describió anteriormente, la mayoría de las aguas residuales de las fuentes domésticas e industriales son descargadas directamente o a través de los canales fluviales al lago sin ningún tratamiento. Estas aguas residuales constituyen una de las principales causas de la contaminación del lago, por lo que es necesario establecer una medida para su tratamiento con el fin de aligerar la carga de contaminación que cae al lago. En este capítulo se seleccionarán los métodos relativamente adecuados al área para realizar pruebas de purificación, a fin de estudiar y evaluar su aplicabilidad en la cuenca.

#### 2.2 Métodos de Prueba

##### 2.2.1 Selección de Métodos de Prueba

Se realizan pruebas de control de desagües tanto para fuentes domésticas como para industriales. Se recomienda tomar en cuenta los siguientes factores para la selección de métodos de prueba, es decir, sistemas de tratamiento.

- Fácil instalación y desmontaje
- Bajo costo de instalación
- Fácil mantenimiento y operación
- Bajo costo de mantenimiento y operación
- Cierta duración de la capacidad de tratamiento

De acuerdo a lo anterior, para la presente prueba se aplican los siguientes métodos para cada fuente:

- Tanque séptico y sistema de absorción al suelo - para efluentes domésticos
- Poza de oxidación - para efluentes industriales

## 2.2.2 Selección de Puntos de Pruebas

Para realizar la prueba de purificación de aguas residuales domésticos es necesario satisfacer los siguientes requisitos:

- Aseguramiento de un nivel constante de consumo de agua.
- El terreno de la planta de absorción del suelo debe estar libre, sin ninguna actividad.
- Bajo nivel de aguas freáticas

Después de investigar los diferentes sitios que llenaban los requisitos descritos dentro de la cuenca, se decidió montar el punto de prueba en la comisaría de policía de Areguá.

Para la prueba de purificación de efluentes industriales se seleccionó el sitio de prueba considerando los siguientes puntos:

- Un establecimiento cuya carga generada constituye una de las causas de la contaminación de la cuenca
- Un establecimiento que permita construir las facilidades de tratamiento de desagüe

De acuerdo a lo anterior y a los estudios en campo, se decidió utilizar las instalaciones del matadero de Areguá como sitio de prueba.

## CAPITULO III

### Prueba de Tratamiento por Absorción del Suelo

En la planta de tratamiento de aguas residuales por sistema de absorción del suelo instalada en la comisaría de policía de Areguá en septiembre de 1988, se le agregó un sistema de recolección de aguas, con lo cual se realizaron pruebas con el fin de comprender la capacidad de purificación del suelo.

#### 3.1 Estructura de la Instalación

##### 3.1.1 Estructura

La instalación consiste en un tanque séptico y dos zanjas de 10 metros de longitud, como se indica en la figura S8.3.1

Delante del tanque séptico se instaló un recipiente interceptor para eliminar las materias sólidas y grasa, y delante de las zanjas se colocó un recipiente que distribuye el agua a cada zanja. A 130 cm de la superficie del suelo se instaló una lámina de vinilo que se extiende sobre una de las zanjas para conducir el agua recolectada al recipiente de desagües por una tubería de cloruro de polivinilo.

##### 3.1.2 Cálculo de Capacidad

###### Requisitos de diseño

Número de personas de tratamiento: 20

Volumen de agua consumida: 30 lit/día/persona

Permeabilidad :  $7,8 = \times 10^{-3}$  cm/s

La longitud de las zanjas fueron calculadas en base al estándar de  $0,034 \text{ m}^3/\text{día}\cdot\text{m}^2$ , utilizando los valores indicados en la Tabla S8-3-1 ("Permeabilidad y disposición de las zanjas y del lecho percolador") establecido por la EPA (Agencia de Protección Ambiental) de los Estados Unidos.

$$600 \text{ lit/día} : 0,034 \text{ m}^3/\text{día}\cdot\text{m}^2 = 17,6 \text{ m}^2 \approx 20 \text{ m}^2$$

Por consiguiente, se determinó utilizar alternativamente dos zanjas de 10 m cada uno.

El tanque séptico fue diseñado con capacidad de retención mayor de dos días.

Condiciones del suelo:

C.E.C. 9,4

P.A.C. 270

### 3.2 Resultados de las Pruebas

En un principio se había planeado realizar estas pruebas durante cinco meses que comprendía el período de octubre de 1988 hasta febrero de 1989. Sin embargo, inesperadamente se cortó el agua después de la primera extracción de muestra de agua, y pese a las repetidas reclamaciones no se llegó a reparar hasta febrero de 1989. Durante este período sólo fue suministrada la cantidad mínima de agua, por lo que el desagüe que entró a las zanjas no llegó a llenar lo suficiente en el recipiente de infiltración, impidiendo otras extracciones de muestra durante cuatro meses y, como consecuencia, no se pudieron recopilar los datos que se habían previsto en un principio.

Es difícil juzgar la capacidad de purificación del suelo en base a los datos obtenidos por una sola muestra de agua, por lo que en este caso se expondrá a grandes rasgos la tendencia de la capacidad de purificación del suelo en la cuenca.

En la tabla S8.3.2 se han ordenado los valores medidos de la capacidad de purificación del suelo.

$$\text{Tasa de eliminación} = 1 - \left( \frac{\text{Calidad promedio de agua tratada}}{\text{Calidad promedio de agua original}} \right) \times 100$$

### 3.3 Observaciones

#### 3.3.1 Capacidad de Purificación de los Estratos de Suelo

De acuerdo a los resultados obtenidos por la prueba, se resume lo siguiente:

- (1) La tasa media de eliminación del BOD fue de 86,7%, del COD de 93% y del Cl- de 94,1%, que indican alta efectividad de eliminación.
- (2) El N casi no ha sido eliminado.

Esto será debido a que la tasa de carga de N está extremadamente alta en comparación con la carga de materias orgánicas.

El suelo de la cuenca muestra una tendencia de bajos valores de CEC y PAC, por lo que el sistema de absorción del suelo no se considera apto para ser aplicado en la cuenca. Pese a que el suelo es efectivo para la purificación como estrato, no tiene capacidad de eliminación de N ni de P. En conclusión, si no se incluyen índices de N y P en las normas de calidad de agua, la fanja del suelo se considera suficientemente apta para la purificación.

#### 3.3.2 Elaboración del Esquema de Capacidad de Purificación del Suelo

Se resume la capacidad de purificación del suelo en distintos puntos de la cuenca.

Los criterios de evaluación son los siguientes 5 puntos:

1. Composición granulométrica de las partículas de suelo  
..... Criterio para evaluar la función de filtración del suelo.
2. CEC ..... Criterio para evaluar la función de absorción del N del suelo.
3. Índice de absorción del ácido fosfórico  
..... Criterio de absorción del ácido fosfórico del suelo.

4. pH ..... Criterio para evaluar la función de descomposición del suelo.

5. Diferencia entre la cota del terreno y el nivel de aguas freáticas ..... Criterio para evaluar el volumen del suelo que retiene o purifica.

Para los puntos 1, 4 y 5 se aplican los valores del suelo y la calidad del mismo que se han analizado en este estudio, y para los 2 y 3 se hicieron mediciones tras haber escogido los puntos representativos de muestreo.

**Tabla S8.3.3 Datos de CEC y PAC**

Muestras Análisis	Unidad	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Método de análisis
(CEC) Capacidad de intercambio de cationes	meq/100 g por tierra seca	16.3	2.6	9.4	Análisis del suelo, calidad de agua y cultivos
(PAC) Coeficiente de absorción de ácido fosfórico	mg/100 g por tierra seca	500	90	270	Análisis del suelo, calidad de agua y cultivos.
Contenido de agua	%	1.9	0.5	1.3	Prueba de suelo

\* Muestras Nº 1: 6 de julio, 1988  
Río Pirayú, puente de hormigón (Planosol)

Nº 2: 7 de julio, 1988  
Orilla izquierda del río Pirayú (Regosol)

Nº 3: 22 de julio, 1988  
Comisaría de Areguá (Acrisol)

Según los resultados, se considera que los suelos de Planosol que se encuentran a lo largo del río Yuquyry y el Pirayú son los que tienen mayor capacidad de purificación en la cuenca (ver Fig. S 8.3.2 - S 8.3.7). Sin embargo, faltan todavía datos del nivel freático para determinar la aptitud del tratamiento por absorción del suelo en dichas zonas.

Por consiguiente, se puede considerar que los lugares de bajo nivel freático dentro de las zonas de mayor capacidad de purificación sean los sitios más apropiados para el tratamiento por absorción del suelo en la cuenca.

### 3.3.3 Aplicabilidad en la Cuenca

Como se expuso anteriormente, el suelo de la cuenca se caracteriza por sus valores bajos de CEC y PAC, y sumado a este factor, el pH muestra tendencia alcalina y los microorganismos que habitan en el suelo son pocos.

Los resultados de las pruebas realizados bajo condiciones tan desfavorables no fueron necesariamente malos, pudiéndose observar cierta efectividad de purificación y aptitud para el tratamiento de suelo. Sin embargo, se debe considerar que los lugares aptos para el tratamiento de suelo se hallan en la zona de Planosol, como se ha mencionado en el apartado anterior.

En conclusión, el sistema de purificación de aguas residuales por infiltración al suelo es aplicable en la cuenca, habiendo, no obstante, necesidad de estudiar con precaución los lugares en donde se instalarán los sistemas para que estos tengan suficiente rendimiento en su función.

## CAPITULO IV

### Pruebas de Estanque de Oxidación

En octubre de 1988 se instaló un estanque de oxidación con aspersor de agua en el matadero de Areguá con el fin de estudiar la aplicabilidad de la capacidad autopurificadora del agua residual de alta concentración de BOD y otras materias.

#### 4.1 Estructura de la Instalación

##### 4.1.1 Estructura

Como se indica en las Figuras S8.4.1, 2 y 3, la instalación consta de tres pozas, un conducto para aspersor de agua y tres bombas.

Antes del primer estanque se construyó una poza preliminar de sedimentación y un filtro; y después del tercer estanque se construyó un conducto de descarga, a través del cual el agua tratado es descargado al Arroyo Yuquyry. Las aguas se toman en el conducto de descarga.

##### 4.1.2 Cálculo de Capacidad

###### 1) Requisitos del diseño

Capacidad de tratamiento	6 m <sup>3</sup> /día
Calidad de agua efluente	BOD > 10.000 mg/lit
Calidad meta	BOD 5.000 mg/lit

###### 2) Determinación de la escala de la instalación

Tiempo de retención (Rt)

$$Rt = \frac{1}{Kt} \ln \frac{L_e}{L_o}$$

Donde:

$L_o$  = BOD<sub>5</sub> del agua efluente (mg/lit)

$L_p$  = BOD<sub>5</sub> del agua del tanque y efluente (mg/lit)

$K_t$  = Velocidad de descomposición

$$K_t = 60 \times 10^{-3} \times 1,065^{(T-20)}$$

$$R_t = \frac{1}{60 \times 10^{-3} \times 1,065} \ln \frac{1}{2} = 10,8 \text{ días}$$

$$R_t = 11 \text{ días}$$

$$V = 11 \text{ días} \times 6 \text{ m}^3/\text{días} = 66 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, tomando en consideración la situación actual del terreno, la capacidad de los estanques de oxidación será de las siguientes medidas:

Primer estanque : 29,74 m<sup>3</sup>

Segundo estanque: 24,13 m<sup>3</sup>

Tercer estanque : 54,00 m<sup>3</sup>

Potencia de bomba:

$T = 18^\circ\text{C}$  (Temperatura media del agua en el mes más frío)

$C = 0,9 \text{ mg/lit}$  (Nivel de oxígeno disuelto en el tanque, Fig. S8.4.4)

$C_{sw} = 4,2 \text{ mg/lit}$  (Nivel de saturación a  $19^\circ\text{C}$ )

$C_s = 4,0 \text{ mg/lit}$  (Nivel de saturación a  $20^\circ\text{C}$ )

Flujo: 6 m<sup>3</sup>/día

BOD<sub>5</sub> reducido;  $5.000 \text{ mg/lit} \times 6.000 \text{ lit/día} = 30 \text{ kg BOD/día}$

Demanda de oxígeno

$OD = a \text{ "Lr}$  (Según el Ing. Gloyna en su libro "Estanques de estabilización de aguas residuales")

Donde : 0,7 a "1,4 en este caso a" .1

$L_r = \text{BOD reducido (kg/día)}$

$$OD = 1 \times 30 \text{ kg BOD/día} = 1,25 \text{ kg BOD/h}$$

Requisito de aeración ( $O_s$ )

$$O_s = OTE \frac{C_{sw} - C}{C_s} \theta^{T-20} \quad (\text{Según el Ing. Gloyna en su libro "Estanques de estabilización de aguas residuales"})$$

Donde :  $OTE =$  Eficiencia de transferencia de oxígeno.  $OTE = 1,2 \text{ Kg. } O_2/\text{h.HP}$ , en vez de  $1,435 \text{ kg. } O_2/\text{h.HP}$ , que fué la eficiencia calculada en las pruebas, puesto que no hay suficiente experiencia para asegurar que este valor es representativo.

$$OTE = 0,8 \text{ fue tomado}$$

$$= \text{Coeficiente de reacción de temperatura} = 1,02$$

$$O_s = \frac{1,2 \times (4,2 - 0,9) \times 0,8}{4,2} \times 1,02^{19-20} = 0,74 \text{ Kg } O_2/\text{kwh}$$

P:Potencia de bomba

$$P = \frac{OD}{O_s} = \frac{1,25 \text{ kg BOD/h}}{0,74 \text{ kg } O_2/\text{kwh}} = 1,69 \text{ Ka}$$

$$\approx 2,3 \text{ HP}$$

Se tomó la demanda de potencia de 3 Hp (Potencia suministrada al sistema)

Se utilizaron tres bombas centrífugas eléctricas de 1 Hp cada uno.

La estimación para el equipo :

$$n = 0,80 \text{ (rendimiento del motor)}$$

$$n' = 0,60 \text{ (rendimiento de la bomba)}$$

$$\text{Potencia requerida} = \frac{1\text{HP}}{n n'} = 2,08 \text{ HP}$$

## 4.2 Resultados de las pruebas

### 4.2.1 Número de Extracciones de Muestras Realizadas

La construcción del presente sistema comenzó en los primeros días de julio de 1988 terminando ésta a mediados de agosto del mismo año, salvo el equipo de aspersión de agua. Al probar el escurriente de agua del dique y su resistencia llenando el agua en el sistema, se descubrieron grietas parciales ocasionadas por la presión del agua, y las reparaciones duraron un mes desde los fines de agosto. A principios del mes de octubre se iniciaron las pruebas, tras haber confirmado su seguridad.

En un principio el sistema fué operado sin el equipo de aspersión de agua; sin embargo, debido a la generación de fuerte hedor, se desaguó el para instalar el aspersor de agua. El sistema fué puesto nuevamente en marcha a mediados de diciembre, y se realizaron pruebas hasta marzo de 1989. La extracción de muestras de agua fué realizada en enero y febrero de 1989.

### 4.2.2 Clasificación de los Valores Obtenidos

La tabla S8.4.1 indica los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas con la misma muestra en SENASA e INTN, donde se puede observar la diferencia entre los datos de las dos instituciones. El objetivo no es estudiar las razones que han producido esta diferencia, sino el ordenar los resultados obtenidos desde un punto de vista global. Es decir, por cuanto el objetivo de las pruebas de purificación de agua mediante estanque de oxidación era eliminar el 50% de BOD de las aguas efluentes con una concentración de 10.000 ppm, se estudiará la efectividad purificadora, en base a la tasa de eliminación tanto para BOD como para otros parámetros.

### 4.3 Observación

#### 4.3.1 Aplicabilidad en los Mataderos

Para tratar las aguas residuales generadas en los mataderos utilizando la estanque de oxidación, que es el sistema más difundido en Paraguay, es necesario separar primero la sangre de los efluentes.

Como se puede deducir por la relación entre la concentración del OD y el tiempo transcurrido, no se pudo mantener el medio aeróbico en las pruebas, debido a la alta concentración del efluente, no pudiendo, por lo tanto, obtener buenos resultados de tasa de eliminación. Se considera que la alta concentración del efluente se debe a la mezcla de gran cantidad de sangre, por lo que en caso de aplicar este sistema de tratamiento en los mataderos, es conveniente separar la sangre de los ganados. La sangre separada se puede vender transformándola en alimentos.

En conclusión, para instalar este tipo de sistema de tratamiento en los mataderos de la cuenca, es deseable adoptar, a la vez, nuevos procesos de matadero que permita separar la sangre. Como una medida provisional, se ha pensado colocar platos debajo de los ganados con el fin de prevenir la mezcla de la sangre en las aguas.

Los mataderos se hallan ubicados uno en cada municipalidad, siendo su descarga una cantidad que no se puede ignorar. Por lo tanto, para conservar la calidad de las aguas del lago Ypacaraí, sería recomendable estudiar la posibilidad de reunir estos mataderos en un sólo bloque con el fin de administrar en forma colectiva una planta comunal de tratamiento físico de las aguas residuales.

#### 4.3.2 Aplicabilidad de Sistema de Estanque de Oxidación en la Cuenca

El estanque de oxidación consiste en un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizando el poder autopurificador natural de las aguas, y en su operación normal alcanza a eliminar más de 90% de la concentración del BOD. Por ello, en caso de que se quiera reducir el parámetro del BOD de los efluentes descargados de la cuenca, la instalación de estanques de oxidación en todas las industrias medianas y

pequeñas que actualmente descargan sus efluentes en los canales fluviales contribuiría a reducir la carga de entrada en los ríos.

Por otro lado, pese a que aún no se ha formulado la correlación entre las concentraciones del BOD y COD, la reducción del BOD trae como consecuencia la reducción del COD. De ello, el uso de estanques de oxidación para el tratamiento de aguas residuales de la cuenca se considera efectivo.

## CAPITULO V

### Otros Métodos de Tratamiento Aplicables en la Cuenca

#### 5.1 Medidas de Carga de Fuentes Puntuales de la Cuenca

Las medidas contra las cargas generadas de las fuentes puntuales se clasifican en las siguientes tres categorías:

- Medidas para el sistema de alcantarillados
- Medidas contra efluentes domésticas
- Medidas contra efluentes industriales

##### 5.1.1 Medidas para el sistema de alcantarillados

Existen tratamientos bioquímicos, químicos y físicos pudiendo combinarlos según sea conveniente.

Para la cuenca del lago Ypacarai, es preferible aplicar un sistema en que no se haga uso de los productos químicos puesto que las aguas del lago serán utilizadas posteriormente como fuentes de agua potable. De ello, se recomienda adoptar un sistema de tratamiento bioquímico. Al considerar las experiencias obtenidas en Paraguay en el pasado, costo de instalación y otros factores, se proponen los siguientes dos sistemas, sobre los cuales se expondrán con más detalle en el presente capítulo:

- Fosa de oxidación
- Proceso de laguna de aeración

##### 1) Estudio comparativo de los sistemas de tratamiento

En la Tabla S8.5.1 se resume el estudio comparativo de las características de los sistemas de fosa de oxidación, del proceso de laguna de aeración y del estanque de oxidación cuya prueba se ha efectuado en el presente estudio.

Para el sistema de tratamiento por alcantarillado, se recomienda renovar las actuales instalaciones de proceso de laguna a las de lagunas

de aeración. Se lograría mejorar provisionalmente el sistema simplemente al instalar el equipo de aeración a las lagunas existentes.

En el Anexo II se resumen las características de las lagunas de aeración.

### 5.1.2 Medidas contra Efluentes Domésticos

Es una medida para combatir todas y cada una de las fuentes de generación de efluentes domésticos (por domicilio). Esta medida debe ser simple y de bajo costo por cuanto se realiza en cada familia. Consiste en los siguientes métodos:

#### ① Eliminación por filtro

Este método consiste en recolectar los restos de carne, verdura, etc. que se descargan directamente utilizando filtros. Este método permite reducir la carga de contaminación que entra al lago eliminando una parte de las materias orgánicas, nitrógeno, fósforo y otros elementos.

#### ② Tratamiento por depósito de sedimentación

El depósito de sedimentación es un sistema de eliminación de grasa y partículas diminutas suspendidas, mediante precipitación filtración. Actualmente en Japón se ha puesto en práctica este método como una parte integral de las medidas de conservación de calidad de agua.

#### ③ Tratamiento por absorción al suelo

Es un método de tratamiento que consiste en filtración y absorción de aguas residuales por las partículas del suelo y descomposición por los microorganismos.

#### ④ Tanque de purificación en cada vivienda

Hay dos tipos de tanque de purificación: el que sirve para tratar sólo los residuos humanos y el que trata el desagüe general incluyendo los residuos humanos. El segundo tipo se denomina tanque de purificación incorporado y se considera más adecuado para la reducción de la carga de contaminación de la cuenca del lago Ypacaraí. El mecanismo consiste en tanque de separación por precipitación, tanque de

aeración por contacto, y tanque de desinfección (Figura S.8.5.1), y se espera obtener una alta tasa de eliminación del BOD.

#### ⑤ Recolección de residuos humanos utilizando camiones aspiradores

Este método consiste en separar los residuos humanos de las aguas servidas generales que actualmente entran mezcladas a los tanques de percolación existentes en la cuenca, para recolectar con camiones aspiradores. Para ello es necesario instalar las tuberías para aguas residuales y fosas especiales para residuos humanos en cada vivienda. Los residuos humanos recolectados serán transportados y dispuestos fuera de la cuenca o llevados a una nueva planta de tratamiento.

#### 1) Evaluación actual

De los métodos enumerados, ya se ha expuesto sobre el sistema de tratamiento por absorción al suelo. Se considera que el método de eliminación por filtro tiene un efecto inmediato, por lo que se continuará estudiando la posibilidad de ponerlo en práctica.

En cuanto al tanque de purificación en cada vivienda, se podría producir en serie este tipo de tanques si hay producción o disponibilidad de soplantes adecuadas en Paraguay, contribuyendo de esta forma a la reducción de la carga de contaminación de la cuenca.

El sistema de recolección de residuos humanos con los camiones aspiradores es ampliamente aplicado en otros países, por lo que es posible aplicar también en la cuenca, siendo un método adecuado como una medida provisional hasta que se instalen los alcantarillados. En tal caso, para la elaboración del plan básico de recolección, transporte y tratamiento de residuos humanos, es necesario realizar estudios detallados tomando en cuenta también los gastos que recaerían sobre los habitantes beneficiarios, tales como la instalación de nuevas tuberías y fosas.

#### 2) Con miras a la producción de abonos

Los abonos compuestos producidos de los lodos de desagües domésticos pueden proporcionar buenos nutrimentos requeridos para el cultivo. Las materias orgánicas en abonos compuestos son particularmente beneficiosos como condicionador del suelo, ya que son

estables y se descomponen lentamente ejerciendo su efecto durante más tiempo que las materias orgánicas en los residuos no compuestos. Los lodos compuestos pueden mejorar la calidad del suelo que contiene excesiva cantidad de arena o arcilla así como los suelos ya equilibrados. las propiedades físicas que se pueden mejorar son:

1. Incremento del contenido de agua para el suelo arenoso.
2. Incremento de la retención de agua para los suelos arenosos.
3. Aumento de agregación.
4. Incremento de aeración para los suelos arcillosos.
5. Incremento de permeabilidad para los suelos arcillosos.
6. Incremento de infiltración para los suelos arcillosos.
7. Aumento de profundidad de las raíces
8. Incremento de la población microbica.
9. Disminución de la corteza superficial.

Los procesos para componer abonos de los lodos son diferentes que los de abonos de los desperdicios. Existen muchas ventajas en abonos fabricados de los lodos que los de los desperdicios. Los abonos de lodos no requieren conocimiento de manejo de materiales complicado ni la técnica de separación necesarios para los procesos de fabricación de abonos de las basuras. Los lodos de las aguas residuales municipales son más uniformes en su composición, causando menos problemas operativas. Los productos de abonos compuestos derivados de los lodos son más convenientes para el mercado, ya que generalmente no llevan plástico, metal ni vidrio que se hallan comúnmente en los abonos fabricados de desperdicios. Los abonos compuestos de los lodos son comprendidos muchas veces como una disposición alternativa y no se han evaluado su valor en el mercado como algunos abonos de desperdicios lo han sido.

Las técnicas clásicas y nuevas de fabricar abonos de los desperdicios sólidos han sido modificadas para la composición de lodos en abono. Estas se pueden clasificar como lo siguiente:

## 1. Proceso abierto

- Surcos
- Pileta estática aireada
  - Pileta individual
  - Pileta extendida

## 2. Proceso cerrado

Los procesos abiertos no son cerrados, si bien se puede contar techo para proteger los abonos de las lluvias. Estos procesos permiten usar equipos mecánicos portátiles como retroexcavadora, mezcladora para mezclar y dar vueltas al abono.

El sistema cerrado utiliza contenedor cerrado estacionado o reactor para la composición.

A continuación, se va a mencionar el proceso de surco que permita usar lodos de 50-60% de contenido de agua después de ser sometido al secado solar.

El proceso de surco se hace normalmente en áreas abiertas donde hay ventilación de aire natural, mezclado frecuentemente mediante las pilas mezcladoras para mantener ambiente aeróbico. En regiones lluviosas, es deseable disponer una estructura con techo para cubrir los surcos de lodos compuestos.

En el proceso de composición en surcos, la mezcla que se va a convertir en abono es acumulada en los surcos paralelos y largos. La sección de los surcos será trapezoidal o triangular, depende principalmente de las características de los equipos para mezclar y girar las pilas. La dimensión de un surco típico es de 15 pies (4.5 m) de ancho y de 3 a 7 pies (de 1 a 2 m) de altura.

La mezcla de los ingredientes con los lodos húmedos ha hecho posible aplicar el proceso de surco para convertir la pasta de lodos desaguados en abono. Para los ingredientes, se pueden aprovechar lodos compuestos recirculados, o sustancias externas tales como trozos de madera, virutas, pajas, cascarilla de arroz, raíz, de regaliz. La cantidad de ingredientes es ajustada de tal manera que obtenga una mezcla de

contenido de sólidos de 40 a 50 %. El uso de ingredientes aumenta también la estructura integral de la mezcla, de este modo mejora la habilidad para mantener la forma apropiada de los surcos. La porosidad del material mezclado es grandemente mejorado, lo cual, a su vez, mejora la característica de aeración. Los ingredientes externos pueden proveer también una fuente de carbón en el proceso de composición.

Por lo tanto, en cuanto a los lodos de aguas residuales domésticas, sería necesario estudiar e investigar agentes ingredientes aptos para Paraguay y la conveniencia del proceso de surcos.

### 5.1.3 Medidas contra Efluentes Industriales

#### 1) Demanda para los industriales

Por cuanto las concentraciones del nitrógeno y del fósforo en los efluentes difieren notablemente según los tipos de industria, se tratará de reducir la carga de dichos elementos y del COD mediante la sustitución y estudio de materiales auxiliares y la racionalización de uso de agua.

Por otro lado, se hará una revisión del uso de agua en los procesos de producción con el fin de reducir los efluentes descargados. Al mismo tiempo, según los resultados del estudio, es necesario considerar la posibilidad de transformar el proceso de producción para racionalizar el uso de agua.

Es menester, también, recolectar en la medida de lo posible los materiales reutilizables como las materias primas y productos químicos usados durante el proceso de producción, que actualmente son descargados junto con las aguas residuales.

#### 2) Propuestas sobre métodos de tratamiento según los diferentes tipos de industria

##### ① Mataderos y fábricas de transformación de carne

Se expone un ejemplo de tratamiento de efluentes de alta concentración generados de los mataderos y fábricas de transformación de carne (Fig. S8.5.2). Los parámetros que serán tratados son: pH, BOD, COD y SS.

Las aguas efluentes que se han separado de la sangre son sometidas a la agitación por aire para unificar su concentración. Posteriormente se agregan el PAC, regulador de pH y coagulante orgánico para que se formen flóculos, los cuales se conducen al tanque de flotación por presión para que se floten y sean transportados al tanque de lodos, mientras que las aguas tratadas son descargadas a los canales fluviales.

② Fábricas de alcohol (Fig. S 8.5.3)

El método de tratamientos de los efluentes de las fábricas de alcohol consiste en aplicar la neutralización y tratamiento biológico para tratar pH, BOD, SS y grasas.

La concentración del ión hidrógeno será afectado por efecto del neutralizante, mientras que el BOD será reducidos por métodos de lodos activados, y las grasas y SS serán reducidos durante el proceso de tratamiento del BOD.

③ Fábricas de almidón (Fig. S 8.5.4)

Los efluentes de las fábricas de almidón son tratables por pozas de oxidación, aunque, éste no es un método deseable por cuanto los efluentes son fáciles de descomponerse. Por lo tanto, se recomienda adoptar el sistema de fosa de oxidación en la poza de almacenamiento que es sometido a oxigenación forzada. Los elementos a ser tratados por este sistema son el BOD, COD y SS.

④ Fábricas de jabón (Fig. S 8.5.5)

Los efluentes generados por las fábricas de jabón son generalmente opacas, coagulándose con cloruro de calcio, aunque son difíciles de precipitarse por ser ligeros. Por lo tanto, se recomienda el proceso de tratamiento por flotación a presión. Los elementos a ser tratados mediante este proceso son pH, BOD y materiales solubles por éter.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Instituto de Obras Civiles del Ministerio de Construcción del Japón: "Informe de Investigaciones sobre Tratamiento por Absorción al Suelo de Desagues Domésticos Generales", 1988
- 2) Ministerio de construcción del Japón: "Desarrollo de Técnicas de Administración General de Lagos y Pantanos", 1988
- 3) Agua, Vivienda y Deshechos: "Manual de Saneamiento" México, 1982
- 4) Tetsuo Ide: "Ingeniería de Tratamiento de Aguas", 1977
- 5) Kouroku Hirose: "Aguas Residuales Industriales y su Tratamiento", 1964
- 6) Instituto de Obras Civiles del Ministerio de Construcción del Japón: "Informe del Estudio sobre Función de Tratamiento por Poza de Purificación Incorporado Independiente", 1988
- 7) Ministerio de Construcción del Japón, Agencia de Agua Potable y Alcantarillado del Japón: "Estudio sobre Administración de Instalaciones de Eliminación", 1983

**ANEXO**



# I Situación Actual de la Tecnología de Tratamiento por Absorción al Suelo

## I.1 Condición Actual de la Tecnología de Tratamiento por Absorción al Suelo

En los Estados Unidos se ha aplicado, tradicionalmente, el método de tratamiento de aguas residuales por absorción al suelo mediante zanjas instaladas en cada vivienda en las zonas donde no se podían instalar los alcantarillados.

El modelo típico de dicha instalación es la combinación del tanque séptico y el proceso de absorción al suelo. El proceso consiste en eliminar la grasa y las partículas sólidas grandes mediante flotación y precipitación en el tanque séptico, seguido por infiltración, descomposición bacteriológica y absorción química del suelo. Este sistema depende esencialmente del efecto purificador de la naturaleza, por lo que frecuentemente surgieron problemas de cegado o contaminación de aguas freáticas causados por excesiva carga o mantenimiento inadecuado del sistema. Consecuentemente, la EPA (Agencia de Protección Ambiental) de los Estados Unidos se ha dedicado en estos últimos diez años a realizar estudios e investigaciones sobre diseño, construcción, operación y mantenimiento adecuados del sistema.

He aquí, una breve presentación de las técnicas correspondientes en los EE.UU.

### 1) La estructura del proceso de tanque séptico combinado con el sistema de absorción al suelo.

Aproximadamente el 98% de los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas adoptados en cada vivienda en los Estados Unidos, consiste en el tanque séptico como tratamiento primario y zanjas de absorción al suelo como tratamiento secundario. El ejemplo típico de dicho proceso se expuso en la figura S 8.A.1.

El tanque séptico consta de uno o dos tanques con placas reguladoras de corriente instaladas en su entrada y salida. Las aguas residuales domésticas no tratadas entran al tanque, donde la grasa y las natas espumosas de bajo peso específico son separadas de las materias pesadas que precipitan en el lecho del tanque formando el lodo. Las aguas efluentes que contienen materias contaminantes flotantes y solubles son descargadas desde la apertura situada a la mitad del tanque

séptico. La estructura típica del tanque séptico se indica en la Figura S 8.A.2.

El tratamiento secundario es el proceso de absorción al suelo, que consiste en llenar los efluentes en las zanjas excavadas para que sean infiltrados al suelo. En la Figura S 8.A.3 se puede observar el corte transversal de la zanja del suelo.

## 2) La capacidad de infiltración del suelo y la carga adecuada

El primer requisito para diseñar el sistema de adecuado absorción al suelo, es determinar la carga adecuada. Para ello es necesario establecer la relación entre los resultados de medición de la capacidad de absorción del suelo y su carga adecuada. Como un método simple a bajo costo se puede mencionar la prueba de infiltración en un hueco abierto por barrenas. Este método consiste en rellenar el agua en el hueco de barrena de unos pies de profundidad y medir la velocidad de disminución del nivel de agua. Es conveniente estandarizar los resultados de esta prueba con el fin de establecer las características de la infiltración en los diferentes suelos.

En la Figura S 8.A.4 se indica la relación de los resultados de las pruebas de infiltración y la carga adecuada a largo plazo. En esta figura el eje vertical indica la carga siendo su unidad de galón/pies<sup>2</sup>/día (cuando 1 galón/pies<sup>2</sup> ~ 40.75 lit/m<sup>2</sup>) y el eje horizontal indica el tiempo requerido para que baje 1 pie el nivel de agua en minuto. La curva Lyon fue analizada tomando en consideración sólo el lecho de la zanja como la superficie de infiltración; sin embargo posteriormente fué corregido, pensando que los efluentes son infiltrados no sólo por el lecho, sino también por las superficies laterales. En la figura S 8.A.5 indica la curva de Lyon corregida.

El Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos tiene establecido como standard un valor de 150 galones/día · cámara (~ 567,8 lit/día · cámara), lo cual al aplicar a la curva de Lyon corregida darían los valores numéricos para el diseño.

## I.2 Consideraciones sobre la Carga Adecuada para el Tratamiento por Infiltración al Suelo

En caso de tratar las aguas residuales domésticas por infiltración al suelo, sería muy importante mantener el equilibrio entre las características y cantidad de las aguas negras a ser tratadas y la capacidad de infiltración del suelo.

A continuación se enumerarán los principales parámetros que deben ser estudiados previamente.

### - Características de las aguas residuales

Volumen de diseño de aguas negras

Tratamiento preliminar y su efectividad

Calidad de agua: concentración de SS y de materias orgánicas

En caso de mezclar aguas residuales especiales, es necesario también estudiar la presencia de materias tóxicas.

### - Calidad del suelo

Factores de localización

Tipo de suelo y su estratificación

Capacidad de infiltración

Permeabilidad

Capacidad de almacenamiento

Otros

### 1) La infiltración del suelo y su interrelación

Si revisamos los puntos que deben ser estudiados para mantener la capacidad de infiltración del suelo desde el punto de vista de tratamiento de aguas residuales, podemos mencionar las siguientes condiciones:

- (1) Las aguas residuales deben ser suficientemente infiltradas desde la superficie al interior del suelo.
- (2) Las aguas residuales infiltradas deben penetrar al suelo por fuerza de gravedad, y llegar al nivel de aguas freáticas después de pasar por capas de suelos de una determinada profundidad.
- (3) Las aguas freáticas deben absorber las aguas tratadas a una determinada velocidad y fluir hacia abajo.

## 2) Infiltración

La infiltración depende de los siguientes factores:

### (1) Características de la superficie del suelo

Se pueden mencionar los factores como la presencia de la cubierta de vegetación y su clase, la estructura de las partículas que componen el suelo y su consolidación. En caso de tratar las aguas mediante zanjas, la consolidación de la superficie del suelo reviste particular importancia.

### (2) El tipo y la estratificación del suelo

El atascamiento de las aguas residuales depende del tamaño de las partículas que componen el suelo. Y según las características de la estratificación del terreno, varía notablemente la capacidad de infiltración del suelo. Normalmente es difícil hallar una capa terrestre con uniformidad ideal en su estratificación, por lo que no siempre la capacidad de infiltración es uniforme en la misma zona.

### (3) Condiciones fisio-químicas

Se pueden mencionar los factores como la temperatura, distribución de granulometría, propiedades químicas de las partículas, cantidad de partículas de tamaño coloidal, erosión de las mismas, capacidad de absorción, etc.

### (4) Condiciones biológicas

Normalmente son activas en las capas superficiales del suelo, contribuyendo al atascamiento del suelo causado por la formación de capa biológica. Sin embargo, estas condiciones son indispensables para la

descomposición y purificación de las materias orgánicas, y a la larga, cumplen un rol preventivo de atascamiento del suelo si la carga de aguas contaminadas es adecuada.

## II Proceso de Laguna

### II-1 Características de las Lagunas

La palabra "laguna" significaba originalmente, pantano pequeño, y en el ramo del tratamiento de aguas residuales, se define como laguna todo aquel pantano natural o artificial donde dejan las aguas residuales orgánicas por un tiempo relativamente largo para someterlas al tratamiento por el efecto purificador de los microorganismos. También se denomina estanque de estabilización.

Existen varios tipos de lagunas que se clasifican generalmente como se indica en la tabla S8.A-1, por su mecanismo de purificación por microorganismos.

Cada una de estas lagunas tienen sus propiedades, siendo difícil hablar de ellas en forma global; sin embargo, en el presente estudio se han resumido las siguientes características comunes a todas las lagunas:

Requieren de terrenos relativamente amplios; pero sus instalaciones no necesitan de equipos especiales, por lo que el costo de instalación es bajo.

Tienen poca capacidad reguladora, pero a la vez, es fácil mantenerlas a bajo costo.

Su tiempo de retención es largo y tiene alta adaptabilidad al volumen de efluentes, cambio de calidad de agua y choque de entrada de materias tóxicas. Sin embargo, una vez deteriorado su funcionamiento normal, requiere de largo tiempo para su recuperación.

Con excepción de la laguna de aeración, el mecanismo de tratamiento es complejo, además de no haberse efectuado suficiente análisis sistematizado de su mecanismo, por lo que todavía no se han establecido las normas racionalizadas de diseño ni el lineamiento de operación.

Su funcionamiento depende de factores naturales como la temperatura, insolación, variando su capacidad según temporadas.

Tiende a desprender fácilmente olores desagradables de sulfuro de hidrógeno y se forma el medio favorable para la reproducción de mosquitos, deteriorando el ambiente de sus alrededores.

A pesar de las desventajas que tienen las lagunas, se podría decir que es una técnica de tratamiento efectiva en cuanto a los costos de construcción y facilidad de mantenimiento. En los Estados Unidos donde cuentan con extensos terrenos para las instalaciones, se han difundido ampliamente las lagunas para tratar efluentes de poco volumen. Por ejemplo, el 30% de las plantas de tratamiento secundario de aguas residuales de dicho país adopta el proceso en laguna, así en algunas fábricas como las de conservas en lata o las que operan sólo en determinadas estaciones. En Japón, en cambio, no se utiliza este tipo de proceso por cuanto muchas de las plantas de tratamiento están ubicadas en zonas urbanas, en consideración de la amplitud de los terrenos necesarios y la repercusión que pueden tener en sus alrededores. Sin embargo, para regular totalmente la descarga de efluentes, incluyendo los de las fábricas pequeñas y de las viviendas ubicadas en las zonas montañosas o en las orillas del mar, es necesario desarrollar las técnicas de tratamiento de fácil mantenimiento, y el proceso de lagunas es una de las posibilidades que merecerían ser estudiadas.

## II.2 Estanque de Estabilización

Se denomina estanque de estabilización a toda aquella laguna en que interviene el efecto fotosintético de las algas en su mecanismo de purificación. Esta técnica consiste en utilizar el efecto purificador que tienen las aguas naturales, y por la misma razón su mecanismo es complejo y aún no se ha realizado un estudio analítico avanzado. Hay opiniones en favor y en contra de su aplicación.

### II.2.1 Poza de Oxidación y Poza Facultativa

Los estanques de estabilización se dividen en poza de oxidación y facultativa según su profundidad y la presencia o ausencia de la zona anaeróbica.

La poza de oxidación es una laguna de poca profundidad (menor que 0,5 m), que mantiene relativa uniformidad de distribución de materias dentro de la poza gracias a la circulación intermitente del agua. Las materias del BOD del efluente son, al igual que el proceso de lodo activo, descompuestas por los microorganismos aeróbicos, y el oxígeno consumido en este proceso es suministrado por fotosíntesis de las algas. Aunque la tasa de eliminación de BOD disuelto es alta, las aguas tratadas continen gran concentración de algas.

La poza facultativa tiene una profundidad un poco mayor que la anterior (de 1,0 a 2,5 m), y al igual que la poza de oxidación, se forma una zona aeróbica en la superficie del agua por efecto de fotosíntesis. Sin embargo, en la parte inferior de la poza donde no penetra suficiente rayo solar, se forma una zona anaeróbica. Las materias de BOD contenidas en efluentes son descompuestas principalmente en la zona eufótica por los microorganismos aeróbicos. Las materias sólidas orgánicas de los efluentes y las algas que se reproducen en la capa superior de las aguas, son descompuestas por los microorganismos anaeróbicos que habitan en la parte inferior (especialmente en el lecho de la poza). Esta poza se denomina "facultativa" porque en una misma poza se presentan paralelamente las reacciones aeróbicas y anaeróbicas. La concentración de las algas contenidas en las aguas tratadas es menos alta que en el caso de la poza de oxidación. La mayoría de los estanques de estabilización de los Estados Unidos es de este tipo.

## II.2.2 La Reacción de los Microorganismos en el Estanque de Estabilización

### 1) Efectos fotosintéticos y simbióticos

El efecto purificador de los microorganismos en el interior del estanque de estabilización se explica por la simbiosis de los microorganismos aeróbicos y las algas. Es decir, los microorganismos aeróbicos utilizan el oxígeno generado por la fotosíntesis de las algas para reducir la BOD, mientras que las algas utilizan en su fotosíntesis el gas de dióxido de carbono producido por la descomposición de la BOD por los microorganismos. De esta forma, ambos coexisten intercambiando el oxígeno y el gas de dióxido de carbono, y en dicho proceso se purifican los efluentes orgánicos.

La eliminación de materias orgánicas mediante el proceso biológico consiste en concentrar las materias orgánicas en células de los microorganismos, y por otro lado, convertir una parte de materias orgánicas en gases poco tóxicos como  $\text{CO}_2$  o  $\text{CH}_4$ . En la simbiosis mencionada, los microorganismos aeróbicos convierten las materias orgánicas en gas de dióxido de carbono. Si todo el oxígeno que se requiere en tal oxidación fuera abastecido por fotosíntesis, la reacción sólo concentraría las materias de BOD en células de los microorganismos y de las algas, sin producir reacción gaseosa. Las fórmulas de las reacciones indicadas en la Tabla S 8.A.2 fueron calculadas sustituyendo la glucosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) por materias del BOD contenidas en las aguas efluentes. En este caso, aunque una pequeña parte del carbón orgánico es convertido en inorgánico por la reacción simbiótica, no interviene el oxígeno en la reacción, siendo equivalentes la concentración de COD teórico de las materias orgánicas (glucosa) del sistema de reacción y de las materias orgánicas producidas (las células de los microorganismos aeróbicos y de las algas - lodos).

En argumento anterior supone que las algas producen sólo el oxígeno necesario para la oxidación aeróbica. Sin embargo, en realidad no ocurre lo mismo en el estanque de oxidación. Las algas pueden efectuar la fotosíntesis cuando hay suficiente luz y sales inorgánicas, independientemente de la BOD que entra, por lo que incluso es posible que se incremente el volumen de COD teórico como consecuencia de la reacción simbiótica. En realidad, en los estanques de estabilización donde no se han eliminado suficientemente las algas (como en caso de las pozas de oxidación), cuando se determina la BOD como el parámetro de medición por largo tiempo, se presentan casos en que el índice del BOD es mayor en las aguas tratadas que en los efluentes. Por esta razón se discute la aplicabilidad de los estanques de estabilización como técnica de tratamiento de aguas.

## 2) Fermentación anaeróbica en los estanques facultativos

Pese a sus desventajas de operación y mantenimiento como la generación de hedor de sulfuro de hidrógeno y flotación de natas, la reacción anaeróbica en el lecho de los estanques de estabilización ocupa un lugar sumamente importante dentro del mecanismo de purificación. Los sólidos suspendidos sedimentables contenidos en las aguas y los

microorganismos producidos en la capa superior de las aguas como las algas son descompuestos en metano y gas carbónico por esta reacción fermentativa anaeróbica, y es cuando las materias del BOD se volatilizan. (Figura S 8.A.6)

Hendricks efectuó el cálculo cuantitativo de la transformación de las materias orgánicas dentro del estanque de estabilización, suponiendo que la fotosíntesis produce el oxígeno necesario para la oxidación microbiológica de las materias orgánicas disueltas. Sus resultados han aclarado que por la simbiosis de la oxidación biológica y la fotosíntesis que se da lugar en la capa superior de las aguas, los elementos de COD contenidos en los efluentes sólo se transforman cualitativamente, más no cuantitativamente; y que la reducción de COD se debe sólo a la reacción fermentativa anaeróbica que se da lugar en la parte inferior del estanque.

### II.2.3 Valores Numéricos del Diseño y sus Estándares

Todavía no se ha establecido un método racionalizado de diseño del estanque de estabilización por la complejidad de su mecanismo. Oswald calculó el volumen unitario de oxígeno por superficie que se obtiene por fotosíntesis en base a la intensidad de insolación, y propuso un método de diseño para determinar la superficie necesaria del estanque en base al equilibrio físico entre el oxígeno obtenido y la carga de BOD.

Dicho método en sí no tuvo mucha difusión, pero la metodología que se basa en el equilibrio del oxígeno es, actualmente, el método predominante para el diseño del estanque de estabilización. La Figura S 8.A.8 muestra el esquema del estanque de la Planta Sunnyvale que recibe las aguas residuales domésticas, y como se puede observar por los datos de la Tabla S 8.A.3, el diseño de este estanque también se basa en el equilibrio del oxígeno.

La fotosíntesis está condicionada por la superficie de las aguas, por lo que en el método de diseño de estanque basado en el equilibrio del oxígeno, la carga de BOD por superficie se considera como la condición más importante de diseño. Asimismo el tiempo de retención también se considera un factor importante para el diseño, por cuanto se reconoce que éste influye en los resultados del tratamiento. (Figura S 8.A.9)

La efectividad del estanque de estabilización depende en gran proporción de los factores climatológicos, y por esta razón no se puede hablar de los estándares generalizados en todo el país. Aquí se indican las normas de diseño que recomiendan los estados para plantas de tratamiento secundario de las aguas residuales en los Estados Unidos (Figura S 8.A.4). En cuanto a las aguas residuales industriales, no existen normas de diseño como estas, por lo que en la Tabla S 8.A.5 se han expuesto los datos promedios referentes a los estanques de estabilización en los diferentes ramos de la industria.

## II.2.4 Precauciones Estructurales

### 1) Forma y disposición del estanque

Puede ser de cualquier forma con tal que no se formen regiones de agua estancada o corriente cortocircuitada. También se podría adoptar un sistema con varios estanques para usar eficazmente el terreno. En tal caso, hay dos tipos de disposición: paralela y serial (Figura S 8.A.10). En la disposición serial de estanques se podrían dividir las funciones, como por ejemplo asignar el último estanque a la precipitación y separación de algas.

### 2) Profundidad

La profundidad de la poza de oxidación es menor de 1 m, y de la poza facultativa de 1 a 2,5 m. Cuando la profundidad es menor a 1 m, se reproducen fácilmente las plantas acuáticas fijas estorbando la corriente de agua y formandose materias sólidas flotantes en las aguas tratadas.

### 3) Influjo y eflujo

Hay dos tipos de influjo de las aguas residuales: el primero consiste en lanzar a chorro por una boquilla instalada en el centro del estanque utilizando bomba de presión (por un punto), y el otro consiste en dejar que las aguas se viertan del dique (por varios puntos).

Asimismo, existen eflujos por un punto y por varios puntos. Tanto para influjo como para eflujo, es deseable adoptar el sistema de rebose para que no se acumule la nata en las aguas.

#### 4) Estructura del dique del estanque

La pendiente del dique se determina desde el punto de vista de mecánica del suelo y de la prevención de erosión. Normalmente se adopta la proporción horizontal-vertical de 6:1 ó 2:1. La reproducción de las plantas acuáticas en los bordes del dique es el causante de malos olores y generación de insectos dañinos, por lo que es deseable seleccionar cuidadosamente los materiales del dique para prevenir tal reproducción.

#### 5) Recirculación de aguas tratadas

La recirculación de las aguas tratadas en el estanque de estabilización se realiza por dos objetivos siguientes:

- Inoculación de las algas para aguas influentes

Distribución equitativa de la carga del BOD en el estanque

Normalmente para esta recirculación se utiliza bomba axial de gran volumen y baja altura de impulsión

#### 6) Mezcladora de aireación

Tradicionalmente se han efectuado mezcla y agitación intermitentes en las pozas de oxidación. Recientemente se dá mucha importancia a este procedimiento también en las posas facultativas. La mezcla y la agitación tienen los objetivos siguientes:

- (1) Suministrar el oxígeno en invierno y durante la noche cuando paraliza o se reduce el efecto de la fotosíntesis.
- (2) Eliminar la capa de la grasa que se forma en la superficie de las aguas, y activar la fotosíntesis mediante destrucción de la estratificación termal.

Hay dos tipos de método de aireación: difusión de aire y aeración por máquina, ambos son poco económicos para ser aplicados en los estanques de poca profundidad, salvo en caso de la aeración por máquina de eje horizontal.



**TABLAS**



Tab. S8. 1. 1 Instalación de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas:

	City name	Sewers	Flow method	Treatment method
Domestic sewage system	San lorenzo	Yes	Sprinkler system	Lagoon treatment 1st pond anaerobic 2nd 3rd pond aerobic unit; 200l/person/day BOD 54g/person/day
	San bernardino Ypacarai Capat Aregua	No		Individual household treatment. Septic tank + percolation tank

Tab. S8.1.2 Instalaciones de Tratamiento de Aguas Industriales y Otras

FUENTES	NOMBRE DE EMPRESA	UBICACION	RAMO DE ACTIVIDADES	LUGAR DE DESCARGUE	PLANTA DE TRATAMIENTO	SISTEMA DE TRATAMIENTO	OBSERVACIONES
Turística	Club Náutico Puerta del Lago	San Bernardino	Club	Auto-disposición	Si tiene	Tanque séptico (27m <sup>3</sup> ); el agua tratado es regado al pasto	No cuenta con servicio de alcantarillado
Turística	Country y Golf Club	San Bernardino	Club	Lago	Si tiene	Tanque séptico y poza de absorción	Acueducto de CORPOSANA
Turística	Hotel Casino	San Bernardino	Hotel	Auto-disposición	Si tiene	Reservorio 210m <sup>3</sup> ; tanque séptico 54m <sup>3</sup> . El agua es regado al pasto	104 habitaciones
Turística	Centro Militar Naval Aeronáutico	San Bernardino	Club	Lago	Si tiene	Reservorio 80 m <sup>3</sup> ; 2 tanques sépticos; sistemas diferentes para aguas fecales y servidas	
Turística	Hotel Balneario	San Bernardino	Hotel y restaurante	No se sabe	Si tiene	Tanque séptico: 27m <sup>3</sup>	Usa el agua de pozo para regar y lavar
Turística	Club Náutico San Bernardino	San Bernardino	Club	Lago	Si tiene	Tanque séptico 22 m <sup>3</sup> x2; poza de absorción 32m <sup>3</sup> x2; problema de infiltración	Se ha generado flor de agua a la desembocadura
Turística	Hotel del Lago	San Bernardino	Hotel	No se sabe	Si tiene	2 tanques sépticos; pozas de absorción 32m <sup>3</sup> x2	24 habitaciones
Turística	Country Club Lago Azul	San Bernardino	Club	Una parte al lago	Si tiene	2 tanques sépticos y 2 pozas de absorción. Descarga al lago por la mala infiltración	
Turística	Hotel Acuario	San Bernardino	Hotel	No se sabe	No se sabe		
Industrial	Sebastian Caoto	Ypacarai	Fábrica de cuero	Río Ypucu	No tiene.		
Industrial	Etrete S.R.L.	Ypacarai	Fábrica de alcohol	Río Ypucu	Si tiene	Proceso de laguna	Suspendida. Se pondrá en marcha el próximo año
Industrial	Cerámica Santa Teresa	Ypacarai	Fábrica de ladrillos	Arroyo~Lago	No tiene		
Industrial	La Industria del Norte S.A.	Ypacarai	Transformación de aceite y algodón	Arroyo~Lago	No tiene	Efluente: 50m <sup>3</sup> /día. Se seca con el calor de la caldera	Se vende orujo a las fábricas de jabón
Industrial	Matadero Municipal	Ypacarai	Matadero	Río Ypucu	No tiene	El proceso se realiza con agua del río, la cual después de usar se vuelve a descargar al río	
Industrial	Mantic for S.R.L.	Ypacarai	Fábrica de cuero	Río Yuquyry	Si tiene	Agua tratada en laguna se descarga agua abajo de la fábrica de alcohol	Uso de tanino
Social	Hospital del Quemado	Capiatá~Aregua	Hospital Estatal	Río Yuquyry	Si tiene	Tanque séptico: 5x10x6m x 3 niveles. Infiltración en arena y se descarga	Fundado en 1986 Tratamiento de quemadura/cáncer
Social		San Bernardino	Planta de Purificación	Lago	No tiene	Se descarga directamente el agua de la corriente inversa	
Industrial	La Industrial Aregua S.R.L.	Aregua	Fábrica de aceite y jabón	Arroyo~Lago	Si tiene	Proceso de laguna o descargue directo	
Industrial	Costa Fleite	Aregua	Matadero	Río Yuquyry	No tiene		Trasladado hace 3 años de la orilla de Aregua
Industrial	Ghun	Aregua	Avícola	No se sabe	Si tiene	Según, no descarga efluentes. El desagüe es tratado en tanque séptico y poza de absorción	
Industrial	?	Aregua	Fábrica de Jugo de frutas				Operación suspendida hace 7 años
Industrial	?	San Bernardino	Fábrica de Café	Arroyo~Lago	Si tiene	Proceso de precipitación de coagulación	Suspendida y puesta en marcha en marzo
Industrial	CAPSA	Capiatá	Refinación de aceite	Río Yuquyry	Si tiene	Planta de purificación de aguas residuales	Suspendida. Una de las más grandes fábricas
Industrial	ACEITERA	Lago	Refinación de aceite	Río Yuquyry	Si tiene	Planta de purificación de aguas residuales	Suspendida. Una de las más grandes fábricas



Tab. S8. 3. 1 Tasa de Infiltración según Tipos de Suelo y Volumen de Tratamiento de Zanjas y Lecho de Filtro de Infiltración para Diseño

Soil	Infiltration (cm/s)	Treatment volume (m <sup>3</sup> /day m <sup>2</sup> )
Gravel, Coarse sand	$< 4.2 \times 10^{-2}$	Unsatisfactory
Coarse sand ~ Fine sand	$8.5 \times 10^{-3}$ $4.2 \times 10^{-2}$	0.050
Silt, Loamy sand	$2.8 \times 10^{-3}$ $8.5 \times 10^{-3}$	0.034
Sandy loam, Loam	$1.4 \times 10^{-3}$ $2.8 \times 10^{-3}$	0.025
Loamy poras. Silty loam	$7.0 \times 10^{-4}$ $1.4 \times 10^{-3}$	0.019
Silt loam	$3.5 \times 10^{-4}$ $7.0 \times 10^{-4}$	0.008

Tab. S8. 3. 2 Tasa de Eliminación

Period	13 October 1988 ~		
	Water quality		Removal rate
Samples	Raw water	Treated water	Treated water
BOD	660.0	87.3	86.7
COD	2149.1	150.0	93.0
NH <sub>4</sub> -N	135.0	131.4	2.7
T-N	1852.0	1847.0	2.7
T-P	22.1	15.0	32.1

Tab. S8.4.1 Resultados de Pruebas

DATE	DESCRIPTION	S E N A S A (mg/l)							I N T N (mg/l)						
		TN	SS	ST	BOD	COD	TP	TN	ST	SS	BOD	COD	TP		
30 JAN 1989	INFLOW	1.277	540	5.538	10.138	4.044	10			1.395	2.040	3.306			
	OUTFLOW	1.272	260	1.362	7.809	2.451	6			758	900	1.487			
21 FEB 1989	INFLOW	865	670	3.922	5.042	6.447	20			538	3.474	2.800			
	OUTFLOW	789	413	1.776	4.168	5.980	18			367	2.283	2.400			
Average of removal rate(%)		4.6	45.1	65.2	20.2	23.2	25.0			38.7	45.1	34.7			

Tab. S8. 5. 1 Características de cada Método de Tratamiento

	Merits	Demerits	BOD removal rate	Reaction to flow and load movement	Handling Maintenance				Treatment Effectiveness	Construction cost
					Technical difficulty	Technical Authorization Level	Number of test points	Necessery of hight technology		
Oxidation ditch	No need for first sedimentation Flow and load movement is strong Low pollution outbreak Good handling operation	Space is large Foul odor problem Existence of pollution carry-over	>90%	Reaction is possible	Not difficult	Authorized	Low	Sughtly necessary	Quite	Middle
Aerated lagoon	There is only an aerated lagoon and the mentenance management is good Return sludge is not necessary Good bacteris treatment	Compared with oter method, there is a need for a space larger than that in oxidation ditch. Exxclusion of algae is necessary Existence of problems with evapo-transpiration amount and flying sand accumulation	>90%	Adequate reaction is possible	Not at su difficult	Authorized	Very low	Not necessary	Quite	Low
Oxidation pond	There is not much variation in equipment type, the mentenance cost is low, and monitoring is good Good bacteris triatment	A space evey larger than that for aerated lagoon method is necessary onother same as above for aerated lagoon method	>80%	Adequate reaction is possible	Not in the leest difficult	Authorized	Almost none	Not at su necessary	Adequate	Low



Tab. S8. A. 1 Tipos y Características de Lagunas

	Stabilization pond		Anaerobic pond	Aerated lagoon
	Oxidation pond	Facultative pond		
Depth (m)	0.2 ~ 0.4	1 ~ 2.5	2.5 ~ 4	2 ~ 4.5
Retention time(day)	2 ~ 6	7 ~ 30	30 ~ 50	2 ~ 10
BOD (g/m <sup>2</sup> day)	10 ~ 20	2 ~ 10	20 ~ 100	
BOD (Removal rate %)	80 ~ 95	35 ~ 75	50 ~ 70	
Anaerobic or aerobic	Aerobic	Aerobic	Aerobic	Aerobic
Reaction of photosynthesis	○	○	×	×

Tab. S8. A. 2 Reacción de Eliminación de Glucosa en Sistema Simbiótico

	Cyton	Microbiological reaction
Aerobic bacteria	$C_5H_7O_2N$	$C_6H_{12}O_6 + 0.67NH_3 + 2.67O_2$ $\rightarrow 0.67C_5H_7O_2N + 2.67CO_2 + 4.67H_2O$
Alga	$C_8H_{14}O_3N$	$0.31NH_3 + 2.51CO_2 + 1.41H_2O + \text{light}$ $\rightarrow 0.31C_8H_{14}O_3N + 2.67O_2$
Symbiotic reaction		$C_6H_{12}O_6 + 1.08NH_3$ $\rightarrow 3.26H_2O + 0.67C_5H_7O_2N$ $+ 0.16CO_2 + 0.31C_8H_{14}O_3N$ Sludge

Datos de Diseño de Estanques de Estabilización en  
 Tab. S8. A. 3 Planta de Sunnyvale

Square area	1,700,000 m <sup>2</sup>
Depth of water	1.3m
Aerator	24set
Load of BOD	
Winter	1,500kg/day
Summer	6,400kg/day
Oxigen supply capacity	
Winter:Photosynthesis	1,590kg/day
Summer:Photosynthesis	3,500kg/day
Aerator	2,700kg/day
Total	6,200kg/day

Normas de Diseño de Estanques de Estabilización en los  
 Tab. S8. A. 4 Estados Unidos de América

	North state	Middle state	South state
Load of BOD(g/m <sup>2</sup> ·day)	2.4	3.7	5.5
Detention period (day)	125	65	31

Rendimientos Medios de Estanques de Estabilización de  
 Tab. S8. A. 5 Aguas Residuales Industriales

	Depth of watre (m)	Load of BOD (g/m <sup>2</sup> ·day)	Detention time(day)	Removal of BOD (%)
Food processing	0.9	8.2	70	80
Canned industry	1.8	15.7	37.5	98
Chemical	1.5	17.8	10	87
Paper manfactre	1.5	11.8	30	80
Petrochemical	1.5	3.2	25	76
Dainy produchts	1.5	2.6	98	95
Textile industry	1.2	18.7	14	45
Oils and fats	1.3	4.0	48	76



**FIGURAS**



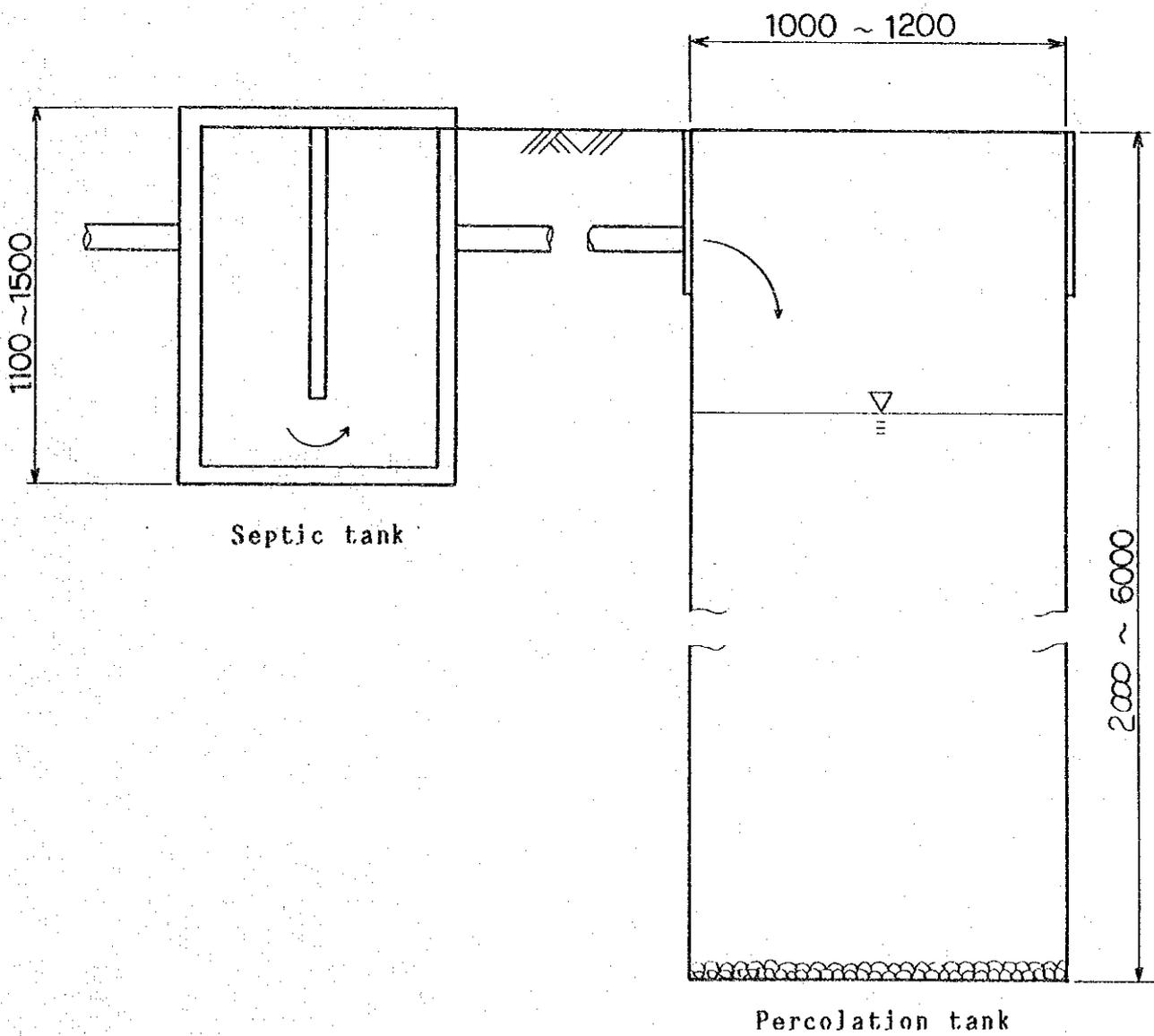
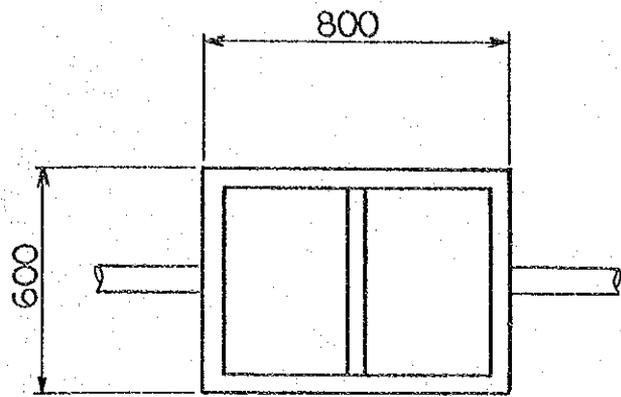


Fig. S8.1.1 Método de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas





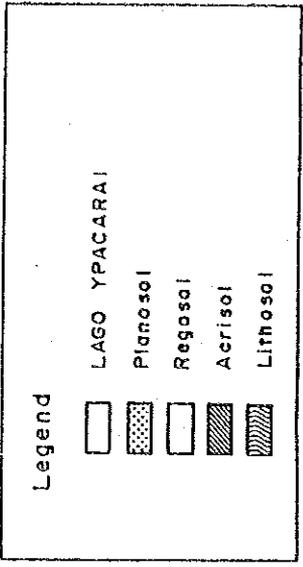
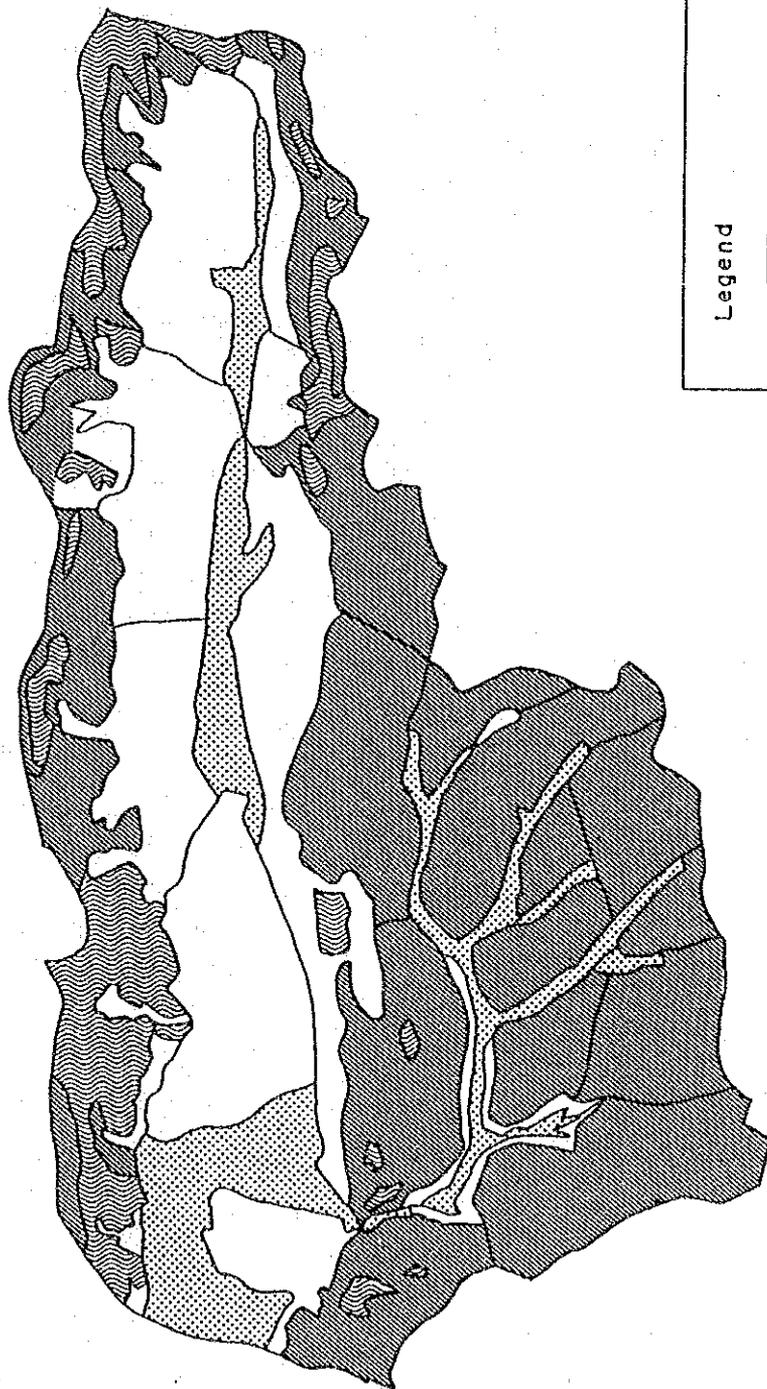


Fig. 58. 3. 2 Mapa de Suelos



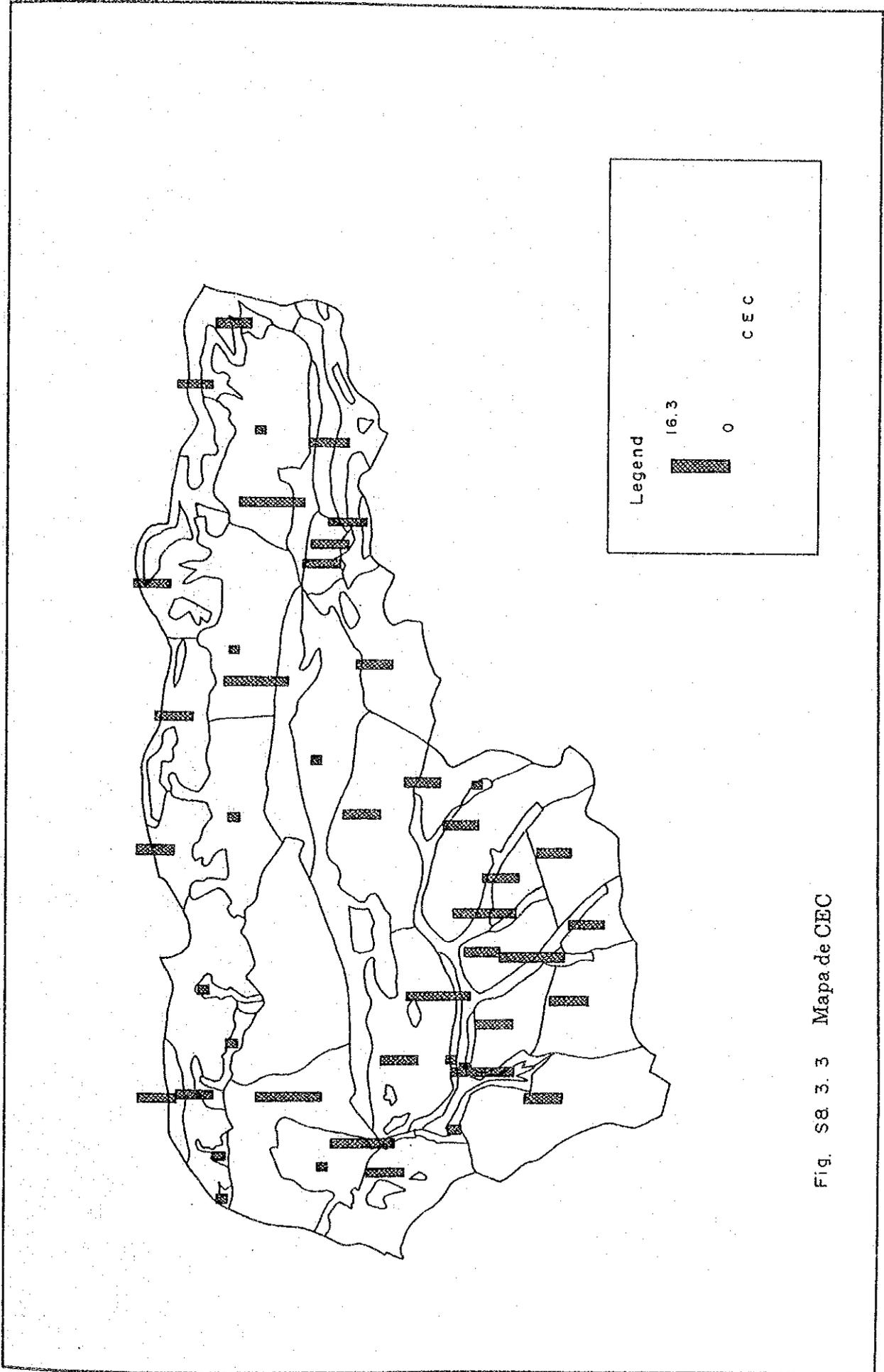


Fig. S8 3. 3 Mapa de CEC



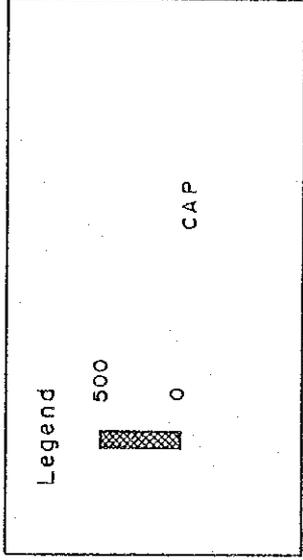
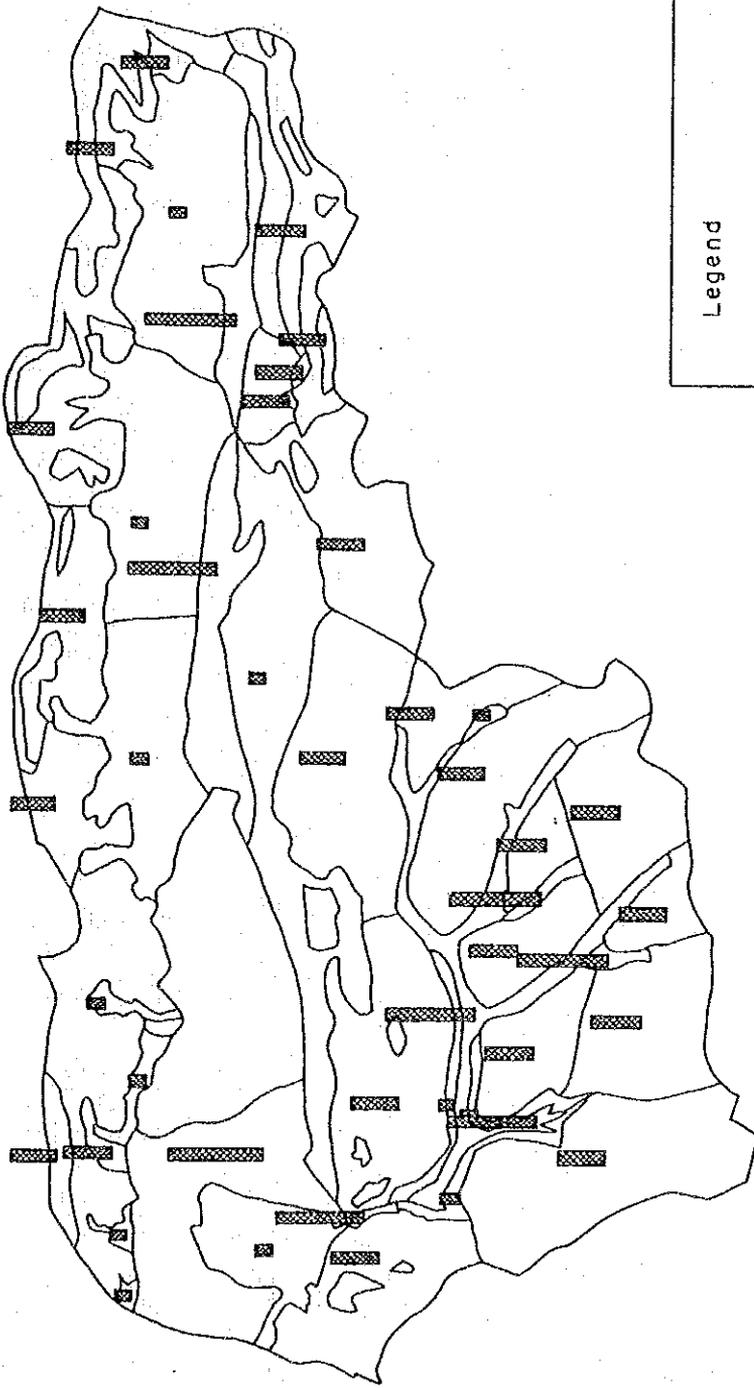


Fig. S8. 3. 4 Mapa de PAC



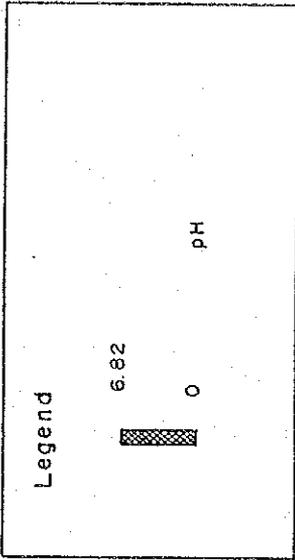
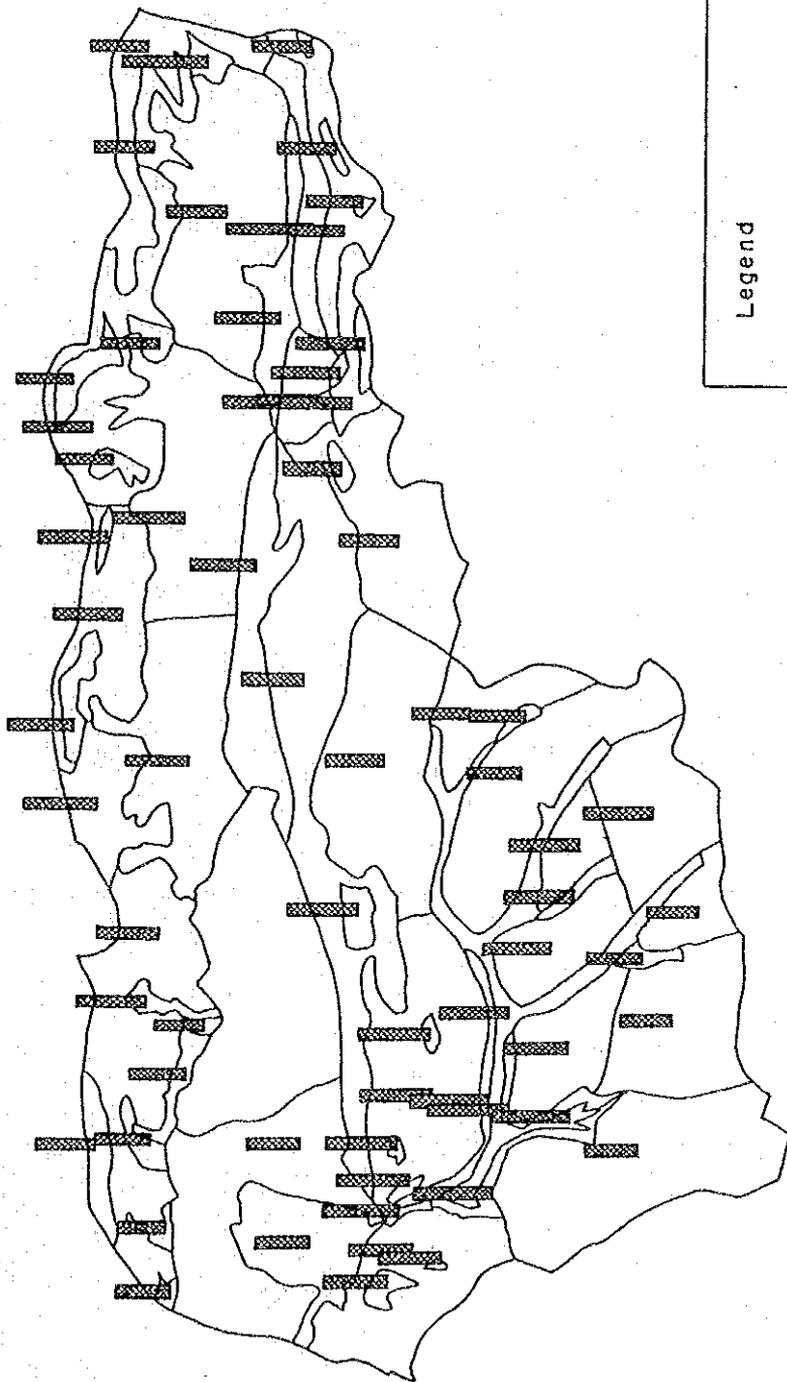


Fig. S8.3.5 Map of pH



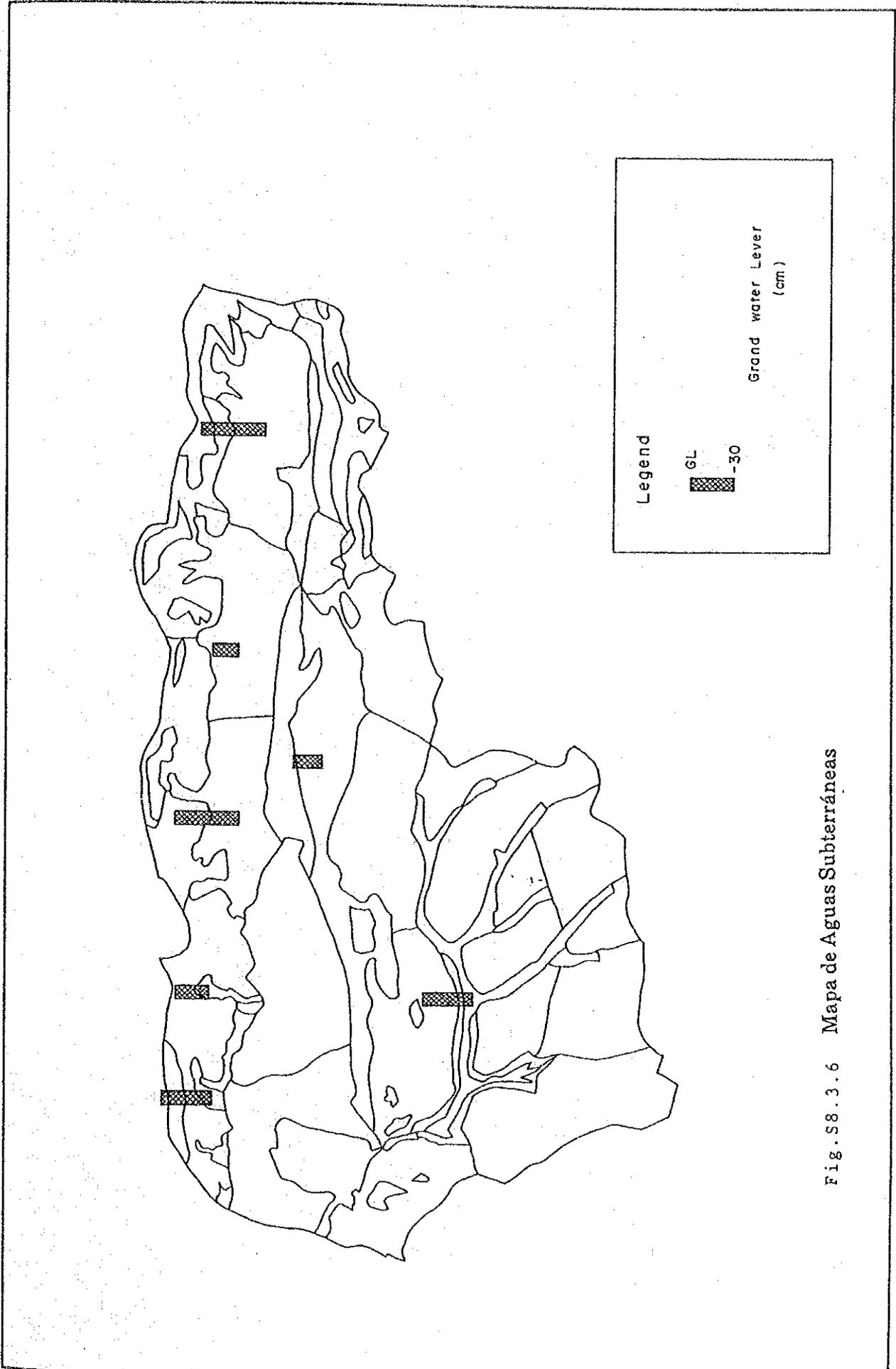


Fig. S8.3.6 Mapa de Aguas Subterráneas



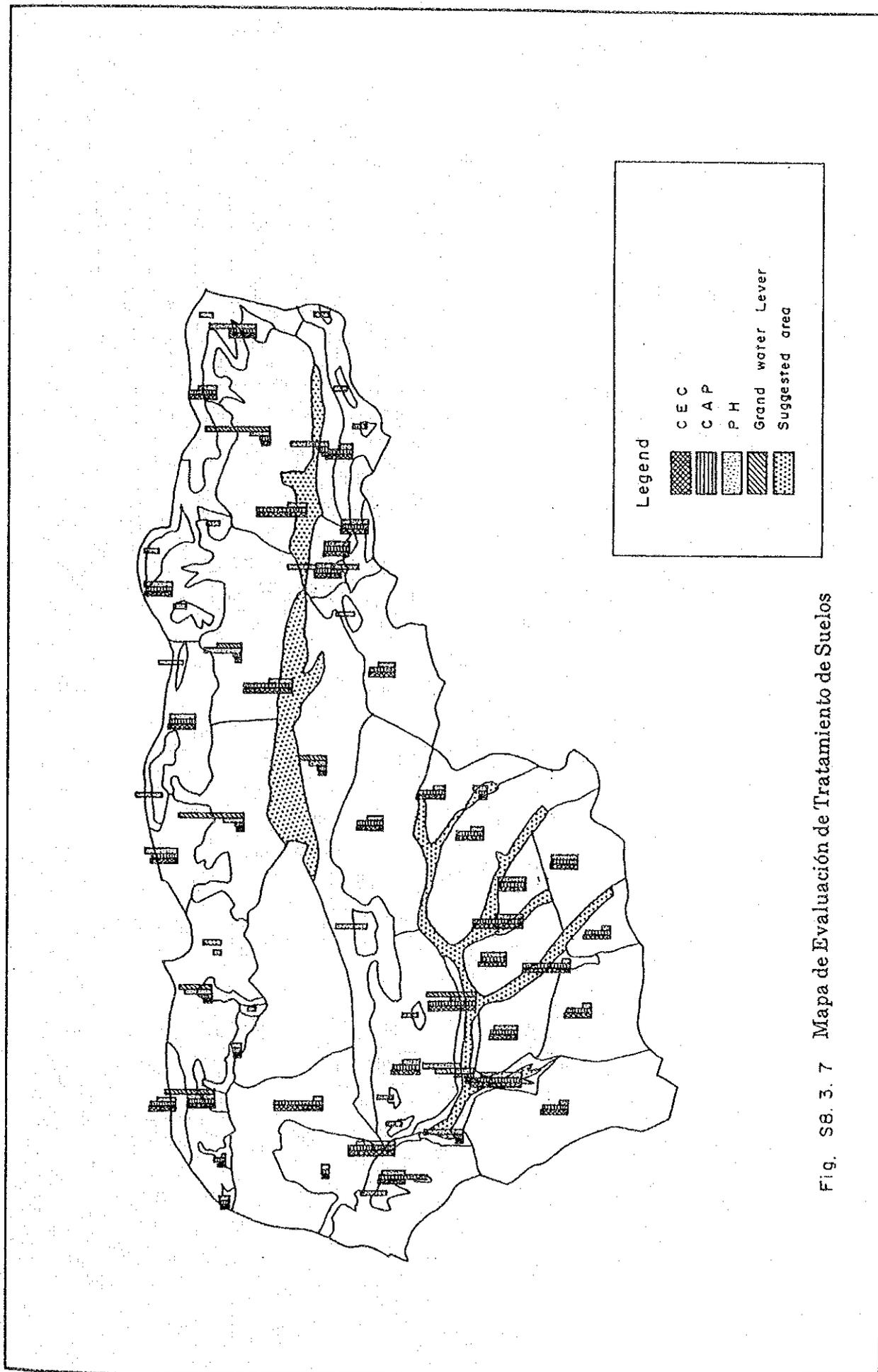


Fig. S8. 3. 7 Mapa de Evaluación de Tratamiento de Suelos

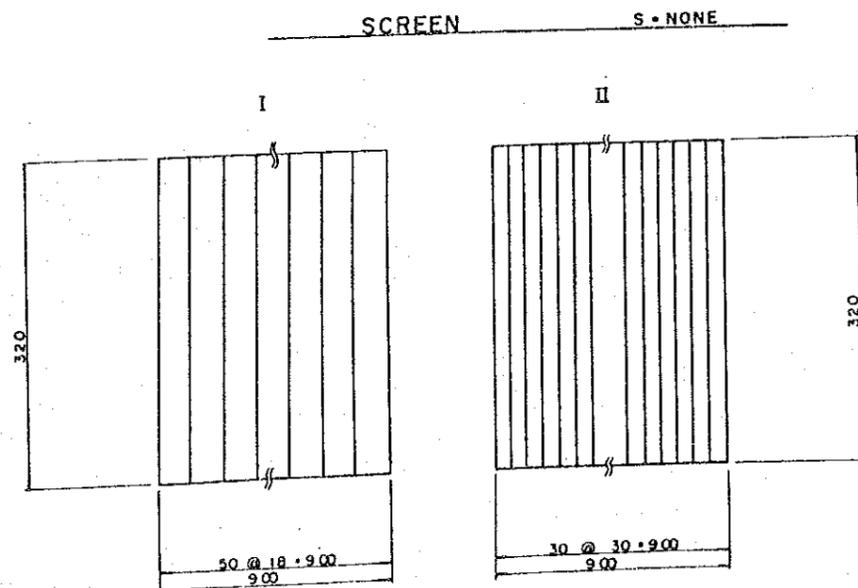
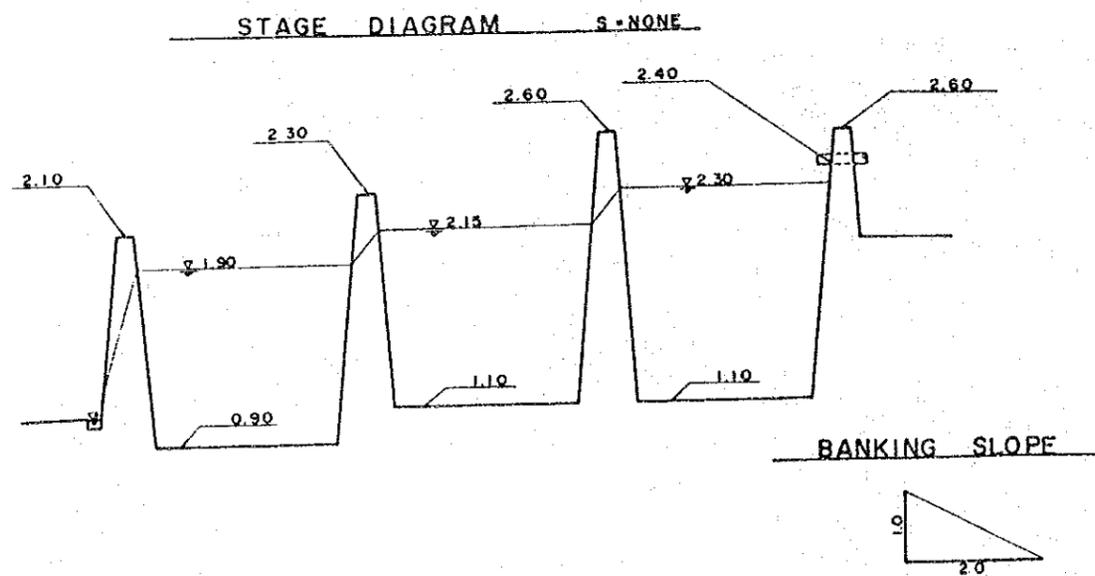
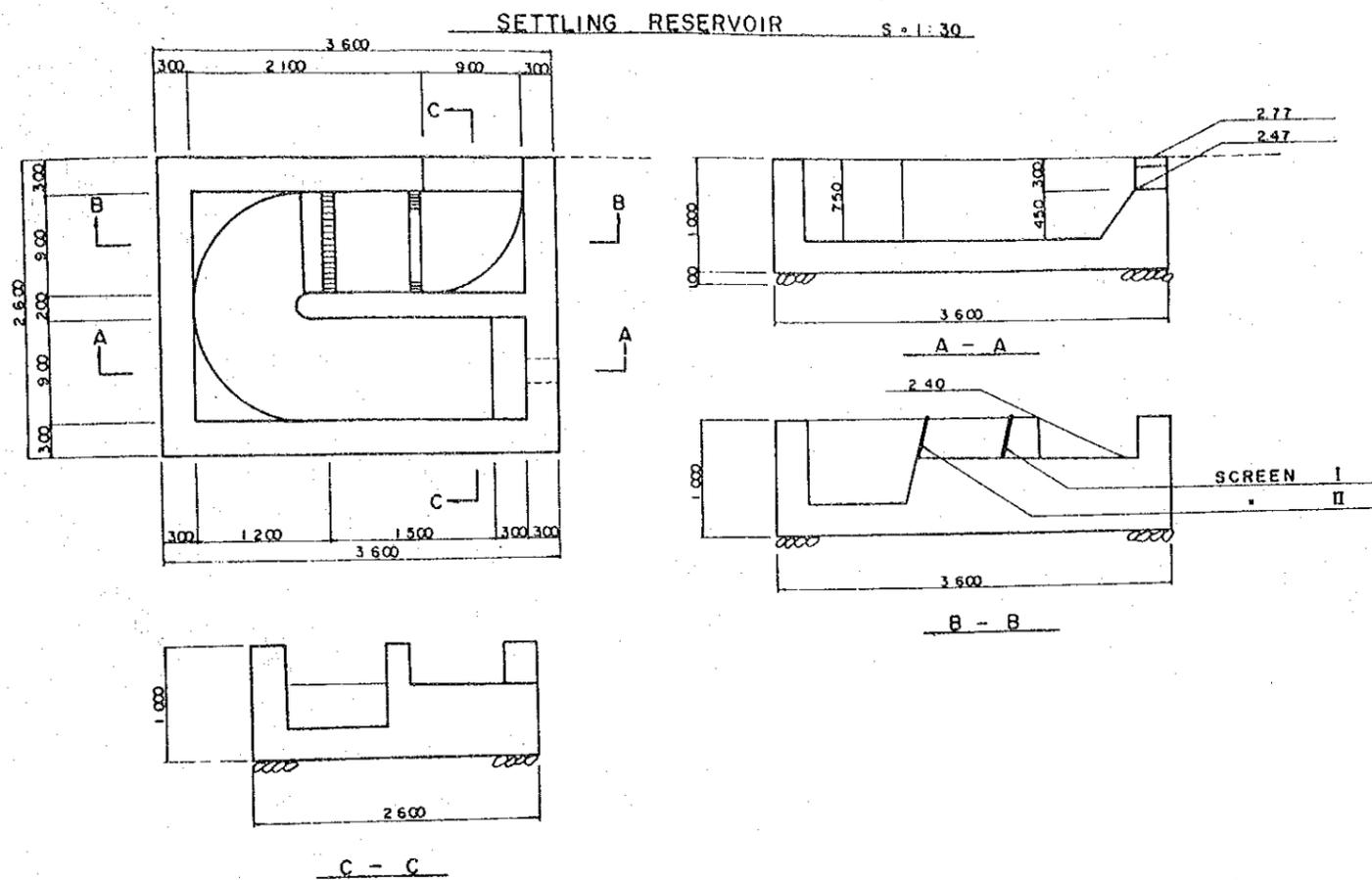
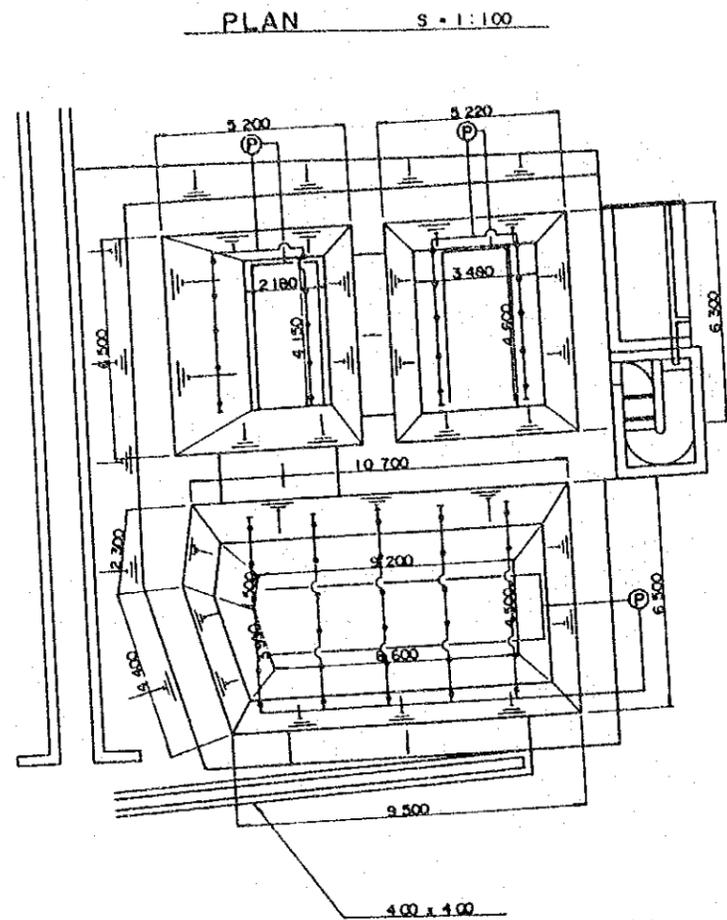


Fig. S8.4.1 Plano General de Poza de Oxidación

REPUBLICA DEL PARAGUAY PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA SECRETARIA TECNICA DE PLANIFICACION		
WATER POLLUTION CONTROL PLAN FOR THE LAKE YPACARAI AND ITS BASIN		
OXIDATION POND SYSTEM		
DATE	1989	DWG NO
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY		





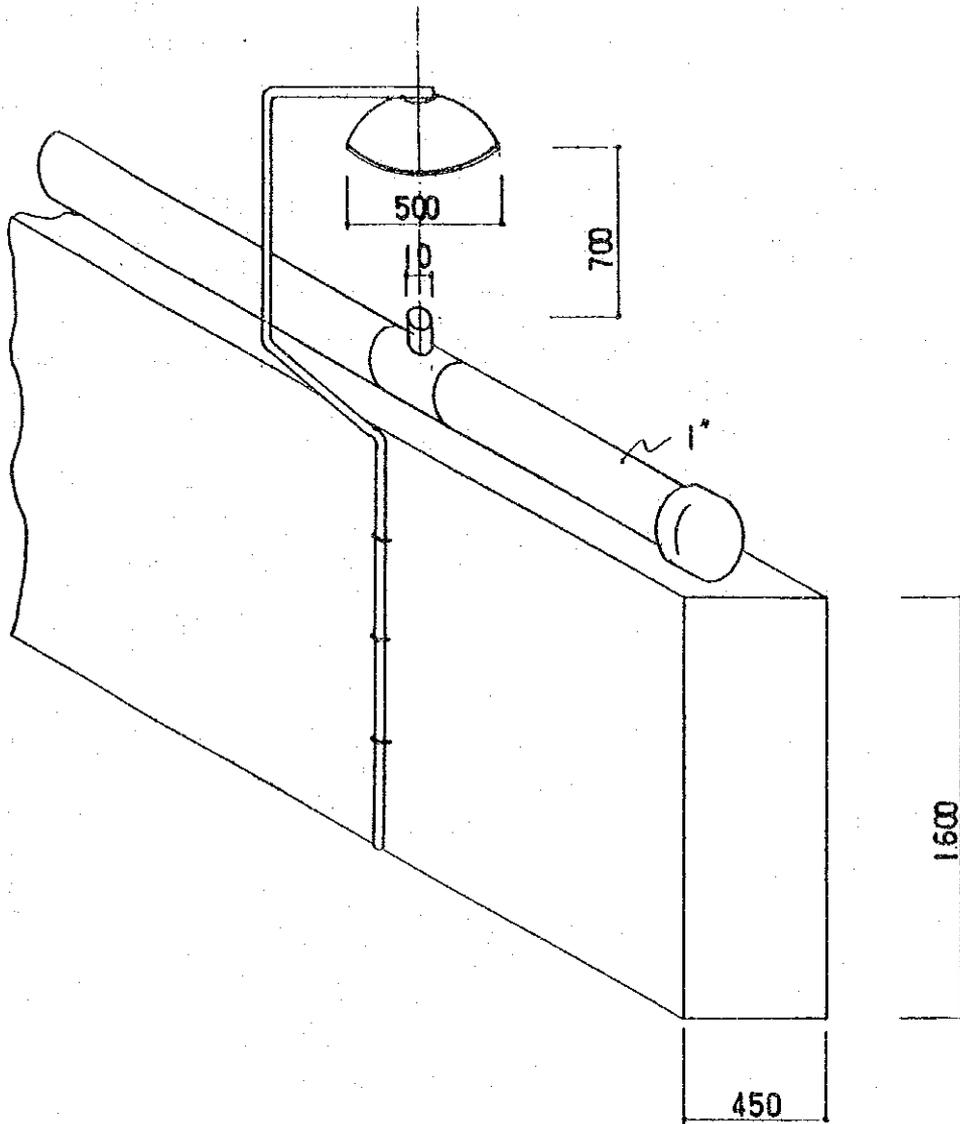


Fig. S8.4.3 Detalle de la Tubería



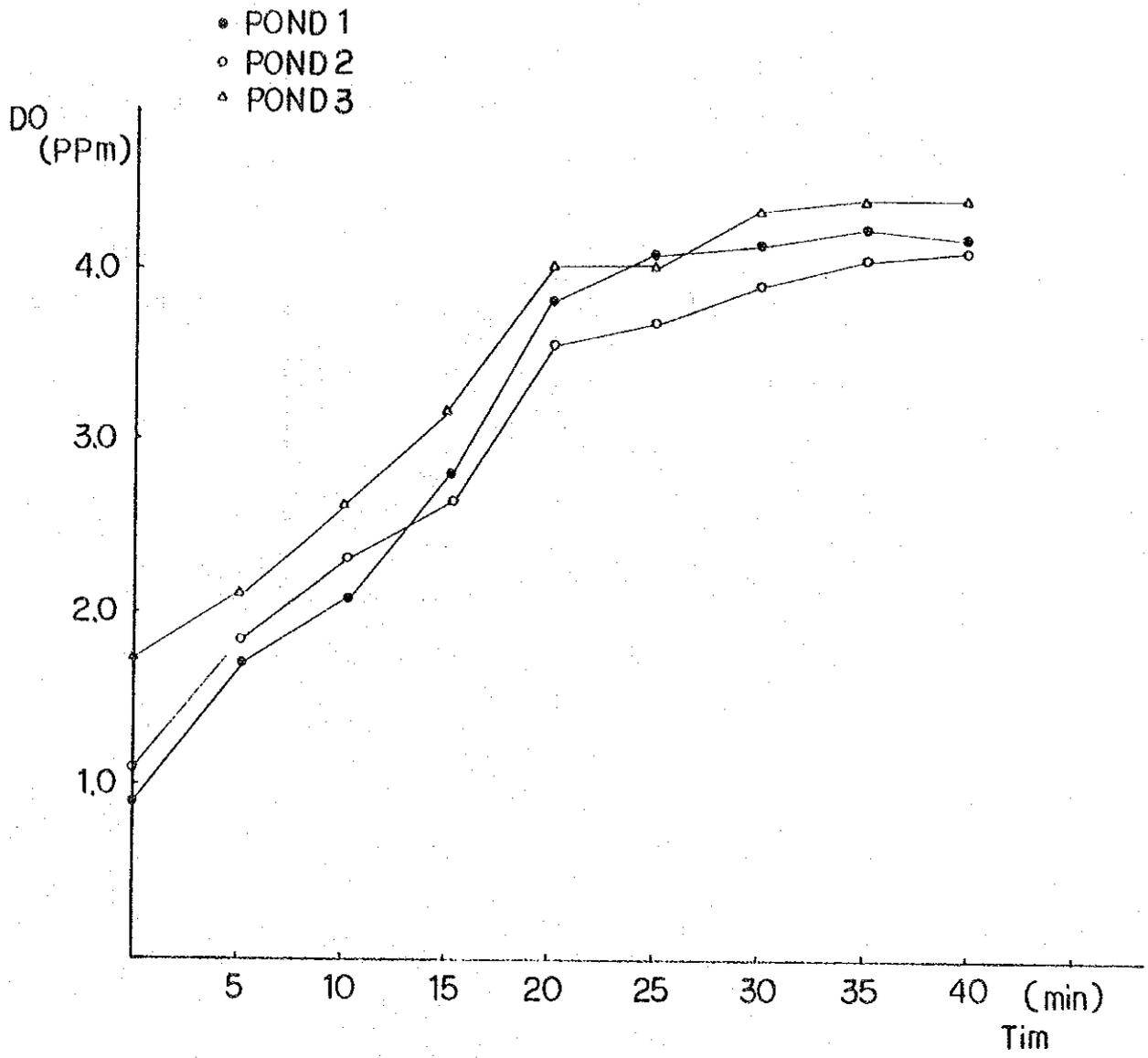


Fig.S8.4.4 Variación del DO con Respecto al Tiempo



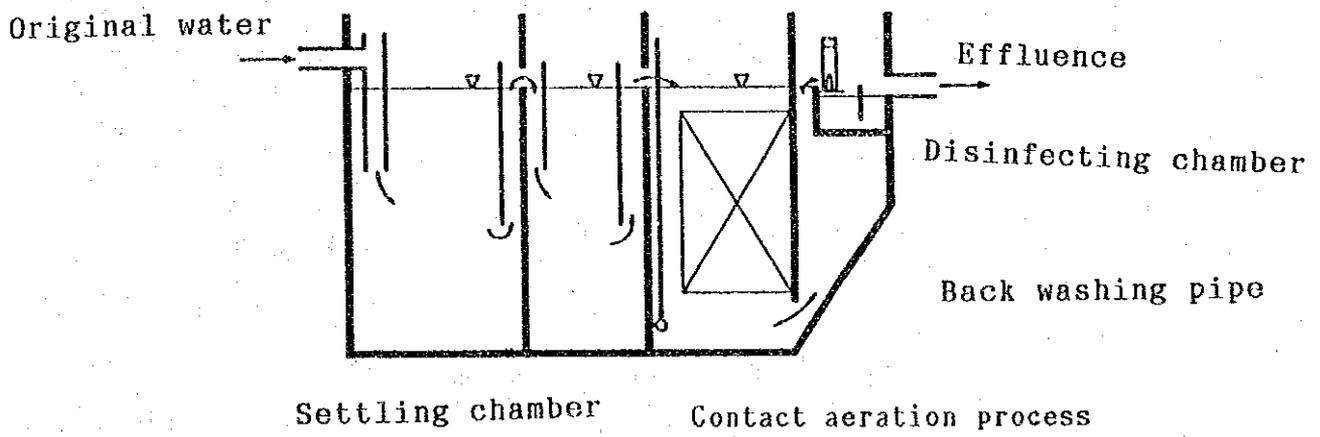


Fig. S8.5.1 Purificación Combinada



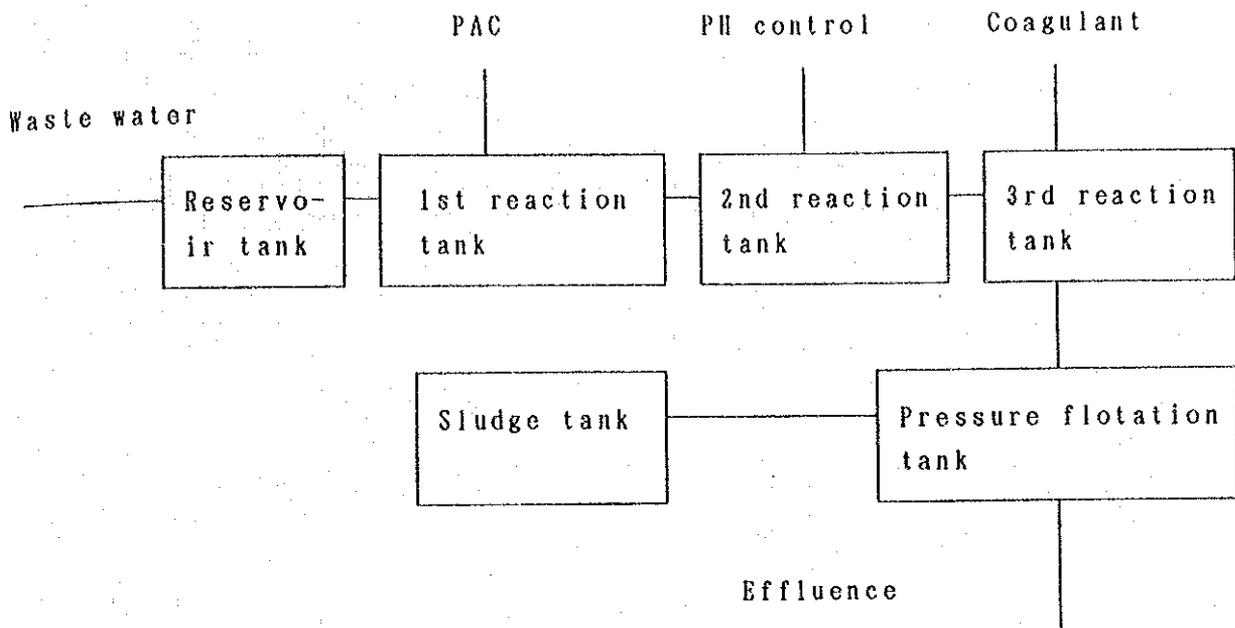


Fig. S8.5.2 Tratamiento para Mataderos

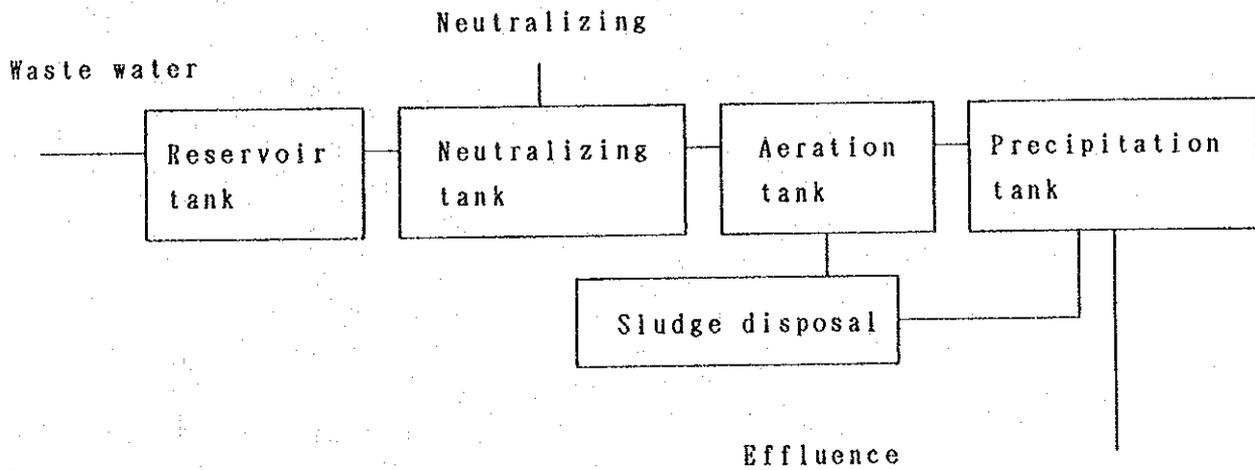


Fig. S8.5.3 Tratamiento para Fábricas de Alcohol



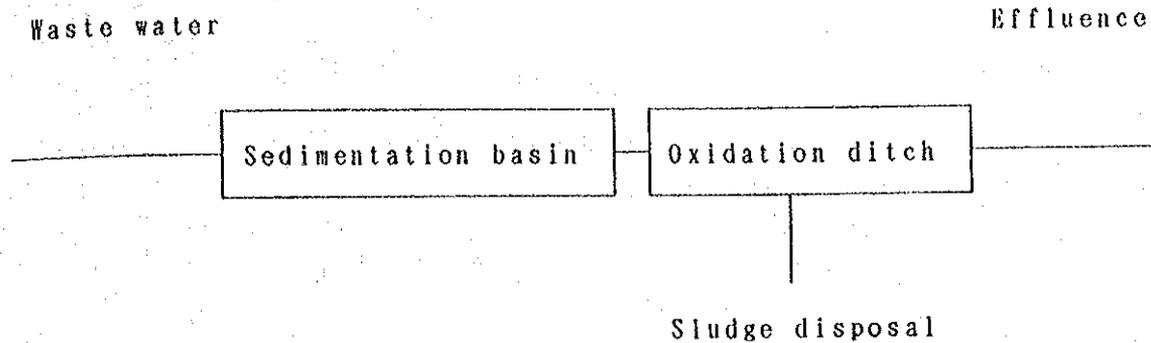


Fig. S8. 5. 4 Tratamiento para Fábricas de Almidón

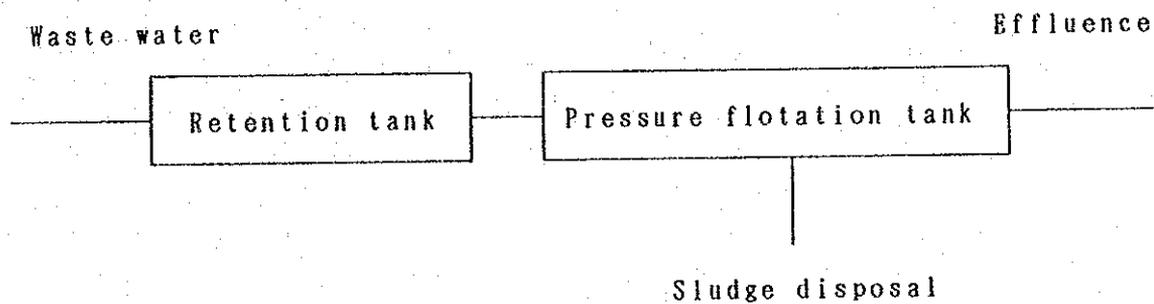
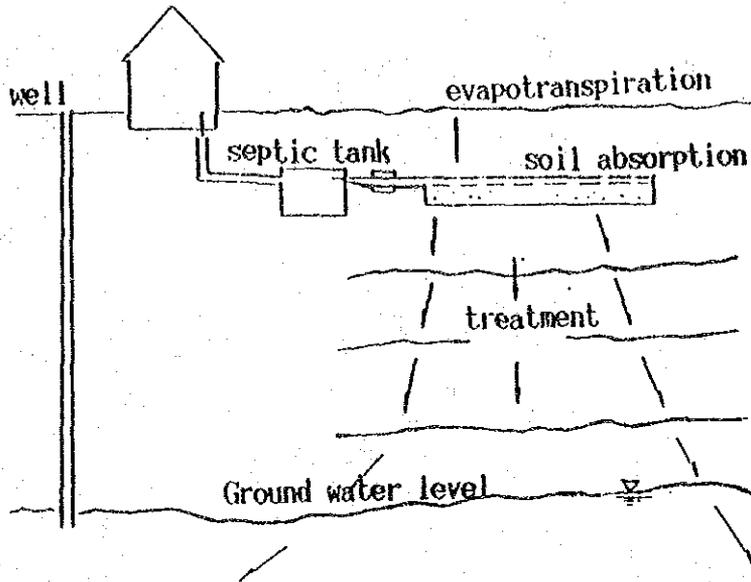


Fig. S8. 5. 5 Tratamiento para Fábricas de Jabones





Esquema General de Tanque Séptico y Sistema de  
 Fig. S8. A. 1 Absorción al Suelo

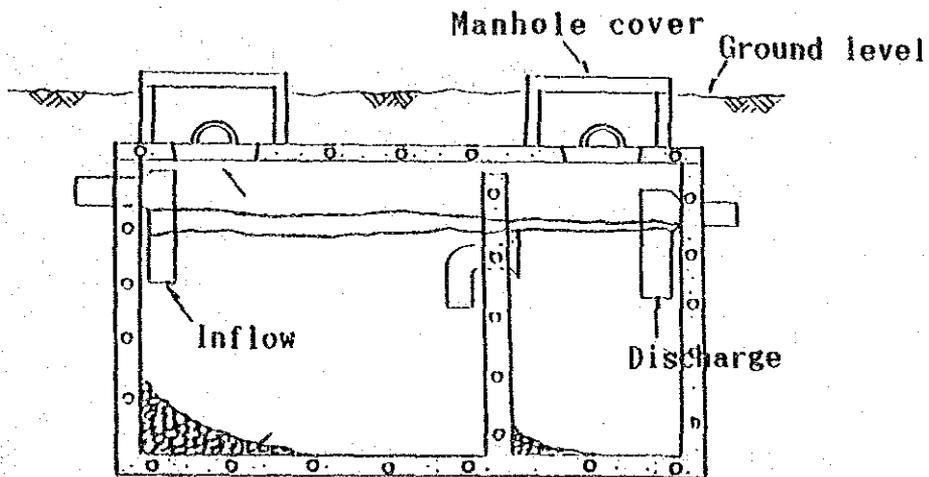
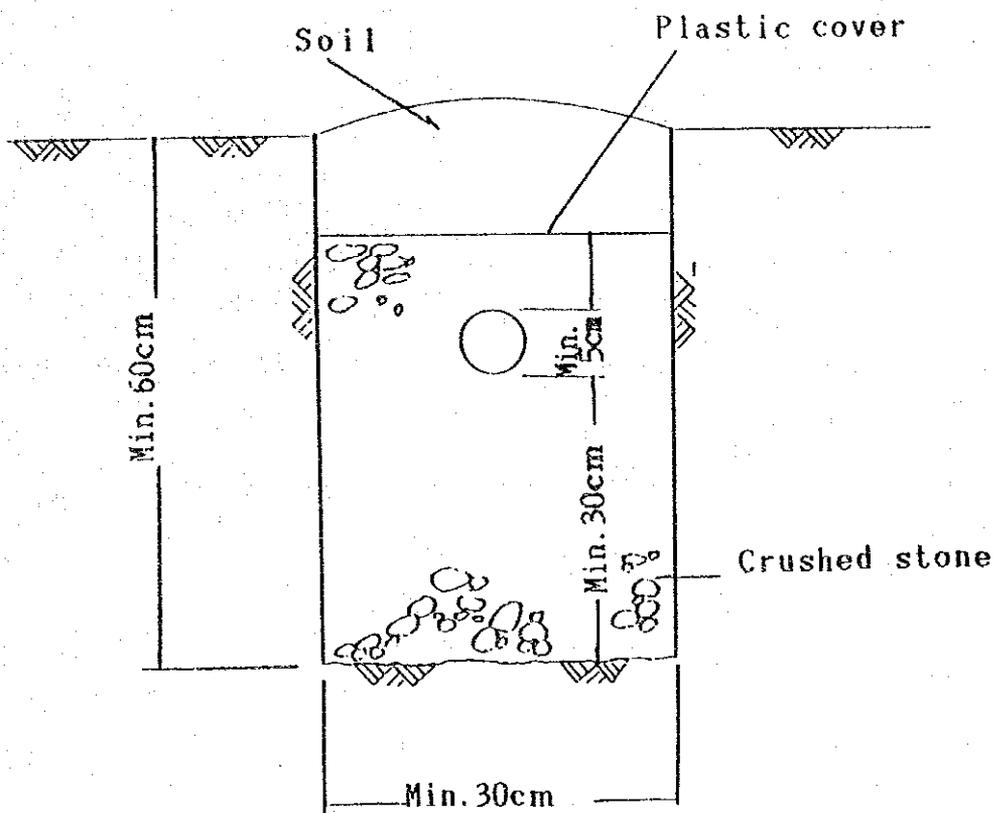


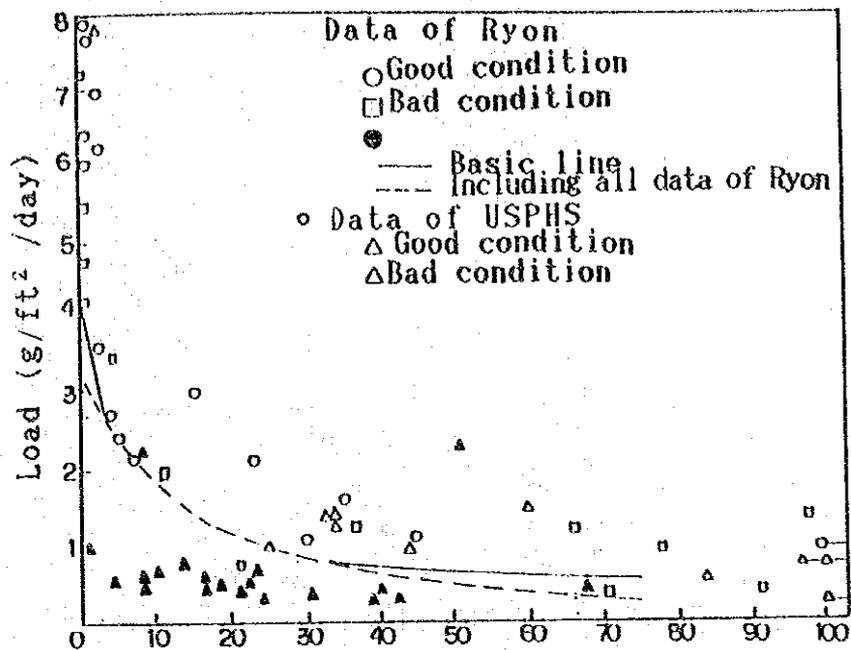
Fig. S8. A. 2 Estructura Típica de Tanque Séptico





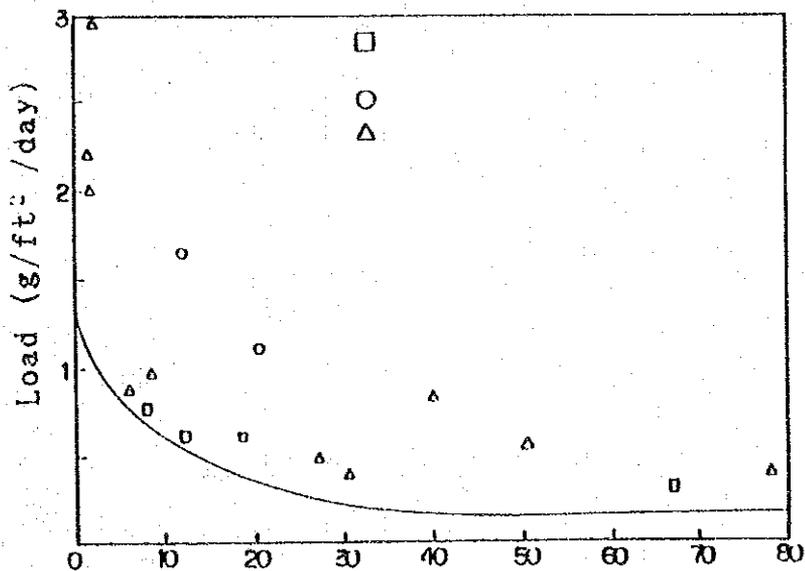
**Fig. S8.A.3 Sección Típica de Zanja de Infiltración**





The elapsed time for the water level to decrease to 1 inch

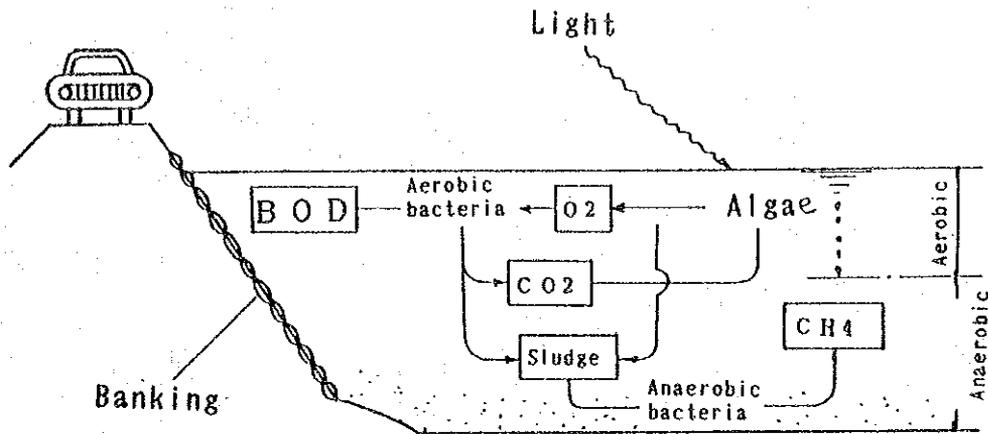
Fig. S8.A.4 Curva de Lyon (1 galón/purga<sup>2</sup>. H = 40.81/m<sup>2</sup> día)



The elapsed time for the water level to decrease to 1 inch

Fig. S8.A.5 Curva de Lyon Revisada





### Flujo de Materias en Tanque de Estabilización

Fig. S8. A. 6 (Poza de Oxidación)

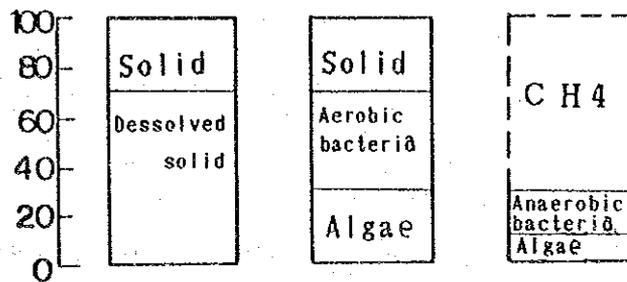
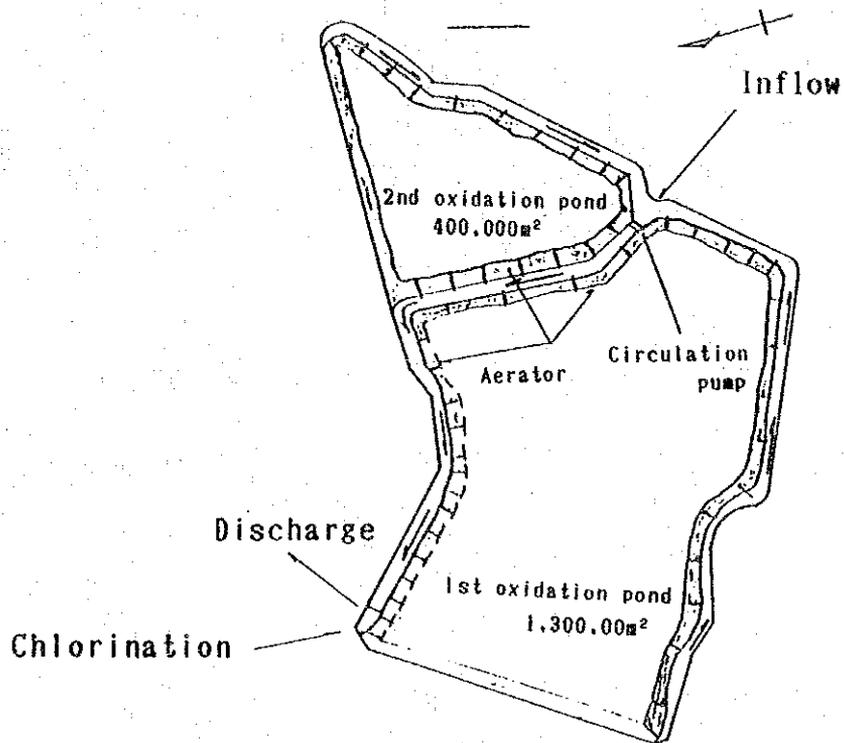


Fig. S8. A. 7 COD Teórico en cada Fase de Poza de Oxidación





Estanque de Estabilización de Planta de Tratamiento en  
Sunnyvale

Fig. S8.A.8



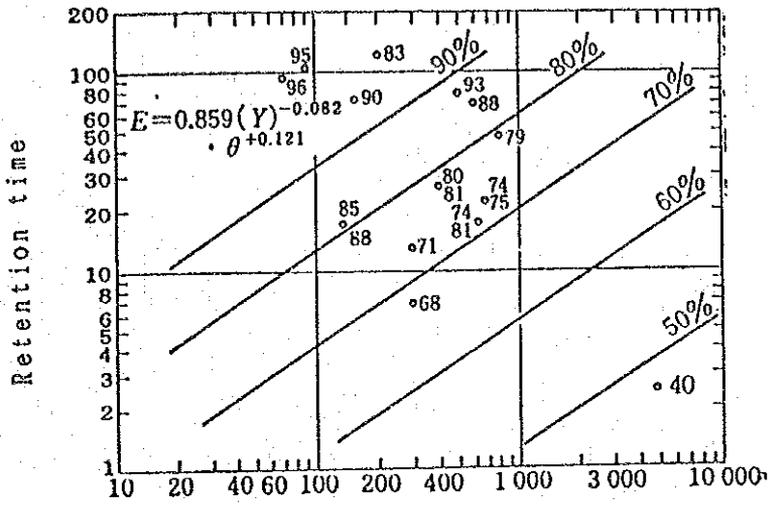
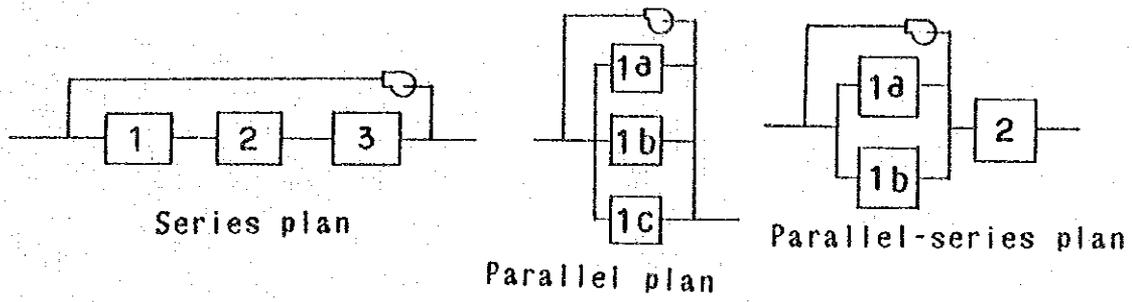


Fig. S8. A. 9 Relación entre Taza de Eliminación de BOD y Tiempo de Retención de Aguas Residuales de Planta de Conservas





**Fig. S8. A. 10 Disposición de Estanques Múltiples**

