



Universidad Nacional Autónoma  
de México

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

Caracterización y Estudio de Tratabilidad de las  
Aguas Residuales de la Ciudad de Apizaco, Tlaxcala

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A:

**JOSE ARMANDO CUAUHEMOC HERNANDEZ AYALA**

MEXICO, D. F.

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## I N D I C E

		Página
1.	INTRODUCCION	1
2.	TRABAJOS REALIZADOS	3
2.1	CARACTERIZACION FISICOQUIMICA	3
2.1.1	<i>Descargas consideradas</i>	3
2.1.2	<i>Parámetros estudiados</i>	8
2.2	ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO BIOLÓGICO	9
2.2.1	<i>Parámetros de diseño</i>	11
2.3	EXPERIMENTACION PARA DETERMINAR LA TRANSFERENCIA DE OXIGENO	12
2.4	EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA LAGUNA	13
3.	RESULTADOS Y EVALUACION	15
3.1	PROCESO BIOLÓGICO	15
3.2	EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA LAGUNA	18
3.3	DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO	19
3.4	DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TEMPERATURA, $\theta$	20
4.	DISEÑO DE LA LAGUNA	22
4.1	PARAMETROS DE DISEÑO.	22
4.2	CARACTERISTICAS DE LAS LAGUNAS	24
4.2.1	<i>Tiempo de retención</i>	24
4.2.2	<i>Concentración del sustrato soluble efluente</i>	25
4.2.3	<i>Concentración de sólidos suspendidos del licor mezclado</i>	27
4.2.4	<i>Necesidades de oxígeno</i>	27
4.2.5	<i>Eficiencia de transferencia de oxígeno</i>	27
4.2.6	<i>Requerimientos de potencia</i>	28
4.2.7	<i>Geometría de las lagunas</i>	29
BIBLIOGRAFIA		
TABLAS		
FIGURAS		
ANEXO A: Fotografías		

## LISTA DE TABLAS

- No.
- 2.1 Distrito de control de la contaminación de la Cuenca Atoyac-Zahuapan. Subdistrito Apizaco. Caracterización fisicoquímica de aguas residuales.
  - 2.2 Evaluación estadística de los resultados de la caracterización.
  - 2.3 Parámetros de control para el proceso biológico.
  - 2.4 Instrucciones generales para muestreos.
  - 3.1 Parámetros estadísticos y determinación de intervalos de confianza de la media
  - 3.2 Valores promedio para la determinación de los coeficientes de diseño (sustrato  $DBO_5$ ).
  - 3.3 Resultados de la experimentación para determinar el factor de proporcionalidad en el balance de temperaturas en la laguna aireada (valores promedio).
  - 3.3' Resultados de las pruebas para obtener las características de las lagunas de maduración.
  - 3.4 Valores obtenidos en la experimentación para determinar el coeficiente de transferencia de oxígeno.

## LISTA DE FIGURAS

- No.
- 1 Plano de localización de las descargas consideradas.
  - 3.1 Tasa de remoción de sustrato.
  - 3.2 Requisitos de oxígeno.
  - 3.3 Tasa neta de crecimiento específico de microorganismos
  - 3.4 Relación entre el sustrato  $\text{DBO}_5$  efluente a  $20^\circ\text{C}$ , eficiencia de remoción y sólidos biológicos en el licor mezclado, para diversos tiempos de retención hidráulica y relación alimento a microorganismos.
  - 3.5 Tasa de transferencia de oxígeno para el agua destilada a  $20^\circ\text{C}$ .
  - 3.6 Tasa de transferencia de oxígeno para el agua de desecho a  $25^\circ\text{C}$ .
  - 3.7 Tasa de transferencia de oxígeno para el agua de desecho a  $20^\circ\text{C}$ .
  - 3.8 Tasa de transferencia de oxígeno para el agua destilada a  $25^\circ\text{C}$ .

## R E S U M E N

En este trabajo se presentan los estudios realizados, por el que sustenta, sobre la caracterización y experimentación del proceso biológico de lagunas aireadas para el tratamiento de las aguas residuales, municipales e industriales, de la ciudad de Apizaco, Tlaxcala.

A partir de los resultados del proceso experimental, se obtuvieron los parámetros básicos que se emplearon en el diseño de la planta de tratamiento biológico.

1.           INTRODUCCION.

Las descargas no controladas de las aguas residuales industriales y municipales, aunadas a las aguas de retorno agrícola de los ríos Atoyac y Zahuapan, hacen que la calidad del agua en estas cuencas se encuentre gravemente deteriorada, evitando así su aprovechamiento para usos múltiples.

Entre las principales poblaciones que contribuyen con la aportación de contaminantes en dichos cuerpos de agua se encuentra la ciudad de Apizaco en el estado de Tlaxcala. Por lo anterior la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Dirección General de Ordenación y Protección Ecológica, ha planeado el saneamiento de la cuenca mediante la implementación de un distrito de control de la contaminación que contemple la captación, conducción y tratamiento de las aguas de desecho de la población mencionada empleando un sistema de

lagunas aireadas y de maduración. Para este propósito se estudió la tratabilidad biológica de los residuos líquidos contaminantes y poder así determinar los parámetros necesarios para el diseño de la planta de tratamiento que los acondicionará de tal forma que se puedan verter nuevamente a los cuerpos receptores sin causar efectos nocivos a la fauna y flora acuáticas.

Los estudios fueron realizados por Estudios y Proyectos, S.A. en coordinación con el CEEMAREN, en el laboratorio de estos últimos, en la ciudad de Puebla.

## 2. TRABAJOS REALIZADOS.

El estudio se realizó en dos etapas, una comprendió la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales, y la otra la experimentación del proceso biológico por medio de lagunas aireadas.

### 2.1 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA.

#### 2.1.1 Descargas consideradas.

La caracterización fisicoquímica se llevó a cabo del 6 al 13 de enero de 1979 y se practicó a muestras compuestas de aguas residuales provenientes de las siguientes descargas:

Descarga 1: CELFIMEX.

Esta descarga se localiza aproximadamente a 350 m sobre la desviación a San Francisco Ateacalcingo; a 30 m aguas arriba se le une la descarga de la Industria Celulosa de Apizaco, S.A.. Estas aguas son conducidas a través de un arroyo formado princi-

palmente por los desechos líquidos de las industrias mencionadas, el cual cuenta con dos estructuras de cruce, y vierte directamente al río Atenco (ver fotografías 1, 2, 3 y 4 en el anexo).

Descarga 2: FERROCARRILES.

A lo largo de la vía del ferrocarril se encuentran varias descargas; la primera se localiza en su cruce con la carretera a Tlaxco, esta descarga conduce los residuos líquidos de la estación de ferrocarriles y lluvias temporales del lugar a través de dos tubos paralelos de 0.30 m de diámetro que descargan a un canal de sección rectangular en el sitio antes mencionado (fotografía 5).

Cerca de este lugar, aproximadamente a 100 m cruzando la carretera, se encuentra una pequeña represa que sirve para el desvío de las aguas que se emplean para riego de alfalfa. A 120 m aguas abajo del punto anterior, y a un lado de la vía del ferrocarril se localiza una descarga municipal de 1.5 m de ancho por 2.0 m de alto (fotografía 6).

Aproximadamente a 150 m de la descarga anterior se localiza otra descarga proveniente de la estación de ferrocarriles teniendo un diámetro de 0.22 m. Se observa una cierta filtración provocando con esto zonas fangosas (fotografía 7). También se observan varias descargas que provienen de la zona de campamento hacia el canal (fotografías 8 y 9).

Descarga 3: *RASTRO MUNICIPAL.*

Se localiza en la intersección de las avenidas Morelos y Artículo 123. Estas aguas residuales son conducidas por medio de un tubo de 0.30 m de diámetro que descarga a un canal rectangular de 1 m de ancho por 2 de alto, el cual se va abatiendo poco a poco hasta formar un cauce natural. 80 m aguas abajo existe una desviación de las aguas que se emplean para riego (ver fotografías 10, 11, 12, 13 y 14).

Descarga 4: *SAN JOSE APIZAQUITO.*

Esta descarga se localiza a un lado del punto de la carretera que va a San José Apizaquito. Su gasto es considerable y es conducido primero, por una tubería de 0.30 m de diámetro; luego por un canal rectangular y por último por su cauce natural, variando así, de acuerdo con la zona por donde pasa. En el sitio de descarga existe una estructura de sección rectangular de 1.5 m de ancho por 4 de alto (ver fotografías 15, 16 y 17).

Descarga 5: *ALVARO OBREGON.*

En la calle Alvaro Obregón se localizan dos descargas; la primera capta parte de los residuos líquidos de la estación de ferrocarriles y es conducida por una zanja de descarga, provocando así la acumulación de grasas y aceites a lo largo de ésta (fotografía 18).

La segunda conduce aguas residuales domésticas y descarga directamente a la zanja. Estos desechos son conducidos por medio de

una tubería de 0.30 m de diámetro (ver fotografía 19).

Descarga 6: 5 DE MAYO.

A 10 m de la intersección de las calles 5 de Mayo y Gómez Farías, se localiza una descarga cuyas características hidráulicas no se pueden apreciar; simplemente se supone que una tubería enterrada la conduce a ese sitio, y de ahí en adelante, hasta su descarga al río Atenco, la conducción es a cielo abierto por medio de una zanja (fotografía 20).

Descarga 7: FRANCISCO I. MADERO Y 2 DE ABRIL.

En este sitio se localizan las descargas que van por las calles Francisco I. Madero y la 2 de abril, uniéndose a un lado de la vía del ferrocarril. 20 m más adelante se unen con la descarga de la calle 16 de septiembre formando así un caudal conducido mediante un canal de sección rectangular de 1 m de alto por 1.5 de ancho, el cual cuenta con una estructura de cruce, un vertedor y dos estructuras para compuertas (ver fotografía 21), de ahí en adelante, estas aguas son conducidas por un canal rectangular de tierra hasta formar un cauce natural antes de desembocar al río Atenco (fotografías 22 y 23).

Descarga 8: ROHM & HASS, S.A.

En este lugar se observan varias descargas que vierten a un canal, el cual sirve para conducir las al río Atenco (fotografías 24, 25 y 26).

Descarga 9: PAMOSA.

La descarga de la Industria Papelera de Morelos, S.A. se ubica a 2 km antes de llegar a la ciudad de Apizaco sobre el costado derecho de la carretera Tlaxcala-Apizaco. El diámetro de la tubería es de 0.30 m. La descarga se hace al arroyo San Benito o barranca Atlixcaco que vierte finalmente al río Zahuapan (fotografía 27).

Descarga 10: FINESS.

Esta industria colinda con la anterior, su descarga se localiza en la parte posterior de la planta y es conducida por una tubería de 0.22 m y descarga a la misma barranca Atlixcaco (fotografía 28).

Las descargas 1 a 8 vierten directamente al río Atenco, las 9 y 10 a la barranca Atlixcaco, siendo el río Zahuapan el cuerpo receptor de ambas. En la fig 1 se muestra el croquis de localización.

Para poder efectuar los muestreos y aforos de las descargas de aguas residuales se realizaron las siguientes actividades:

DESCARGA	ACTIVIDAD
1	Acceso y limpieza. Aforo: Sección hidráulica conocida.
2	Acondicionamiento de un canal rectangular. Aforo: Sección - Velocidad
3	Acondicionamiento de un canal rectangular. Aforo: Sección - Velocidad

DESCARGA	ACTIVIDAD
4	Acceso y limpieza; construcción de una sección vertedora. Aforo: Sección hidráulica conocida.
5	Acondicionamiento de un canal rectangular. Aforo: Sección - Velocidad.
6	Acondicionamiento de un canal rectangular. Aforo: Sección - Velocidad.
7	Encauzamiento de las descargas hacia una sección vertedora. Aforo: Sección hidráulica conocida.
8	Construcción de una sección vertedora. Aforo: Sección hidráulica conocida.
9	Acceso y limpieza para construcción de plataforma. Aforo: Volumen - tiempo
10	Acceso y limpieza. Aforo: Volumen - tiempo

#### 2.1.2 *Parámetros estudiados.*

La caracterización fisicoquímica de las aguas residuales consideradas se llevó a cabo determinando las concentraciones de los siguientes parámetros:

Temperatura ambiente, °C  
 Temperatura líquido, °C  
 Olor  
 Color  
 Potencial hidrógeno, pH.  
 Turbiedad, NTU  
 Alcalinidad, mg/l CaCO<sub>3</sub>  
 Dureza total, mg/l CaCO<sub>3</sub>  
 Demanda bioquímica de oxígeno, DBO<sub>5</sub>, mg/l  
 Demanda química de oxígeno, DQO, mg/l  
 Nitrógeno total, mg/l  
 Nitrógeno orgánico, mg/l  
 Nitrógeno amoniacal, mg/l  
 Fosfatos totales, mg/l

Cloruros, mg/l  
Sulfatos, mg/l  
Grasas y aceites, mg/l  
Detergentes, mg/l  
Sólidos totales totales, mg/l  
Sólidos totales fijos, mg/l  
Sólidos totales volátiles, mg/l  
Sólidos suspendidos totales, mg/l  
Sólidos suspendidos fijos, mg/l  
Sólidos suspendidos volátiles, mg/l  
Sólidos filtrables totales, mg/l  
Sólidos filtrables fijos, mg/l  
Sólidos filtrables volátiles, mg/l

Los resultados de la caracterización y su evaluación estadística se presentan en las tablas 2.1 y 2.2 respectivamente. Se observa que los resultados de algunos de los parámetros analizados en la etapa de caracterización difieren significativamente de los obtenidos durante la etapa experimental. Esta diferencia se debe básicamente a la inclusión de las descargas de la industrial CELFIMEX y la del Rastro Municipal.

## 2.2 ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO BIOLÓGICO.

Las pruebas de tratabilidad se hicieron con la finalidad de evaluar el sistema biológico por medio de lagunas aireadas para el tratamiento de las aguas residuales de Apizaco, Tlaxcala.

Las pruebas se llevaron a cabo en modelos de simulación a escala de lagunas aireadas, esto es, reactores de flujo continuo totalmente mezclados y sin recirculación de lodos.

Se acondicionaron cinco reactores, con diferentes gastos, de tal forma que se obtuvieran las condiciones del proceso dentro de un cierto rango de carga orgánica, desarrollo de microorganismos, consumos de oxígeno y tiempo de retención.

Las condiciones de operación en los reactores fueron las siguientes:

Reactor No.	Tiempo de retención (horas)	Volumen (l)	Gasto (l/día)
1	12	9	18.00
2	28	9	7.71
3	48	9	4.50
4	72	9	3.00
5	96	9	2.25

Los módulos se sembraron con inóculo biológico (lodos activados) de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras de Chapultepec, D.F.

Los reactores se alimentaron con una concentración gradual y continua de aguas residuales con objeto de lograr una aclimatación adecuada de microorganismos y alcanzar así las condiciones de equilibrio estable. Una vez alcanzadas estas últimas (después de cinco días en que se logró un consumo de oxígeno y remoción de sustrato soluble, incremento de sólidos constante), se estableció el programa de control que aparece en la tabla 2.3.

En la tabla 2.4 se presentan los métodos analíticos estándar, así como los principales detalles en cuanto a sensibilidad,

precisión, exactitud y posibles interferencias.

La alimentación de las aguas residuales (influyente) se hizo por medio de dosificadores de soluciones con capacidad de 0 a 30 cc/min.

Los modelos se airearon por medio de difusión de aire comprimido.

Debido a que en el efluente de los reactores biológicos se detectó la presencia de nitrógeno y fósforo, se consideró la existencia suficiente de estos elementos nutritivos para la síntesis y se optó por no añadir cantidades extras de estos nutrientes.

#### 2.2.1 *Parámetros de diseño.*

El estudio de tratabilidad se efectuó durante los meses de febrero y marzo de 1979, permitiendo la determinación de los siguientes parámetros básicos de diseño.

##### *Transferencia de oxígeno.*

- a) Coeficiente de transferencia de oxígeno ( $KLa$ )
- b) Concentración de saturación de oxígeno del desecho a temperatura y presión barométrica de la prueba ( $C_{sw}$ )
- c) Factor de correlación de la transferencia de oxígeno al tipo de agua residual ( $\alpha$ ).

##### *Remoción del sustrato.*

- a) Constante de remoción del sustrato ( $k$ ).
- b) Concentración del sustrato influente y afluente ( $S_0, S_e$ )
- c) Concentración de sustrato remanente ( $S$ )

*Consumo de oxígeno.*

- a) Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado ( $X_a$ )
- b) Fracción del sustrato utilizado en la oxidación ( $a'$ )
- c) Fracción de SSV auto-oxidados ( $b'$ )
- d) Requisitos de oxígeno

*Producción de lodos.*

- a) Concentración de sólidos suspendidos en el influente y efluente ( $X_o, X_e$ )
- b) Fracción del sustrato convertido a nuevas células ( $a$ )
- c) Tasa de respiración endógena ( $b$ )
- d) Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado ( $X_a$ )

*Efecto de la temperatura en las lagunas.*

- a) Factor de proporcionalidad para el balance de temperaturas.

*Tiempo de retención.*

- a) Tiempo de retención en las lagunas aireadas ( $t$ )
- b) Tiempo de retención en las lagunas de maduración ( $t$ )
- c) Concentración de sustrato soluble esperado en el efluente ( $S_e$ )

### 2.3 EXPERIMENTACIÓN PARA DETERMINAR LA TRANSFERENCIA DE OXIGENO.

Con la finalidad de evaluar el coeficiente de transferencia de oxígeno,  $KLa$ , se realizó la experimentación de este proceso para el estado no establecido que es el más utilizado y que involucra la aireación de un volumen conocido de agua a partir de una concentración de oxígeno disuelto de 0.0 mg/l hasta la concentración próxima o igual a la de saturación. La desoxigenación se hizo mediante la inyección de un gas inerte ( $N_2$ ) en la masa

de agua; aunque también se puede emplear sulfito de sodio y como catalizador cristales de cobalto. El experimento se llevó a cabo en un recipiente de 10 l de capacidad; la aireación de los volúmenes de agua se hizo por medio de difusión de aire, con gastos constantes controlados por un rotámetro y a dos diferentes temperaturas.

#### 2.4 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA LAGUNA.

Puesto que la concentración de sólidos suspendidos en las lagunas aireadas es baja, la variación de temperatura afecta considerablemente la remoción del sustrato. Un balance de temperatura aplicado en las lagunas está dado por la siguiente relación:

$$T_i - T_w = \frac{(T_w - T_a) \delta A}{Q}$$

donde:

$T_i$  - Temperatura del desecho influente ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_w$  - Temperatura de la laguna ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_a$  - Temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ )

$Q$  - Gasto del desecho ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$A$  - Area superficial de la laguna ( $\text{m}^2$ )

$\delta$  - Factor de proporcionalidad ( $\text{m}/\text{día}$ )

El factor de proporcionalidad incluye el coeficiente de transferencia de calor y los efectos de viento y humedad. La eficiencia del tratamiento biológico a una temperatura dada se puede calcular a partir del coeficiente de remoción del sustrato a  $20^{\circ}\text{C}$  como se indica en la siguiente expresión:

$$KT = K_{20}(\theta^{T-20})$$

donde:

$KT$  - Coeficiente de remoción del sustrato a la temperatura  $T$

$K_{20}$  - Coeficiente de remoción del sustrato a  $20^{\circ}\text{C}$

$T$  - Temperatura de la laguna ( $T_w$ )

$\theta$  - Coeficiente de temperatura (1.06 - 1.10 normalmente)

Para poder evaluar el efecto por temperatura en las lagunas, se acondicionó un modelo libre a la atmósfera, de tal manera que simulara un sistema de flujo continuo, de mezclado completo y sin recirculación de lodos. Con el fin de obtener el balance de temperatura que permitiera determinar el factor de proporcionalidad ( $\theta$ ) se midieron las temperaturas del agua influente, de la laguna y del aire. El modelo de simulación estuvo constituido por un recipiente de acrílico de 30 l de capacidad, una bomba dosificadora de tipo reciprocante para alimentación de gasto constante y un tanque para almacenamiento del agua tratada (efluente).

### 3. RESULTADOS Y EVALUACION.

A continuación se hace la evaluación de los resultados obtenidos en las experimentaciones de los siguientes procesos: biológico para la remoción de la materia orgánica contenida en las aguas residuales; coeficiente de transferencia de oxígeno; efecto de la temperatura en las lagunas; y el estudio para la determinación del coeficiente de temperatura.

#### 3.1 PROCESO BIOLÓGICO.

En la sección 2.2 se hizo una descripción del método experimental para el proceso biológico de lagunas aireadas. Los resultados obtenidos en esta experimentación indican una eficiencia de remoción del sustrato soluble y una transferencia de oxígeno aceptables. Esto pone de manifiesto la susceptibilidad de tratar las aguas residuales mediante el sistema de tratamiento propuesto, y la obtención de datos que permiten el diseño y la

definición de las condiciones de operación de la planta.

En la tabla 3.1 se presenta la evaluación estadística para los parámetros de control del proceso, consistentes en las medidas de tendencia central y de dispersión; se presentan los valores mínimo, máximo y medio, los coeficientes de sesgo y curtosis, asimismo las características de forma que difieren de una curva normal. Para el análisis se empleó la prueba t de Student para muestras pequeñas de datos no agrupados a los niveles de confianza del 90 y 95%.

A partir de los valores promedio de los diferentes parámetros mostrados en la tabla 3.1, se determinaron los parámetros de diseño para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) como sustrato y se reportan en la tabla 3.2.

Las ecuaciones básicas de donde se derivan dichos parámetros son las siguientes:

a) Tasa de remoción del sustrato

$$\frac{S_0 - S_e}{X_a t} = k S_e$$

donde:

k - Coeficiente de remoción del sustrato (ecuación de primer orden).

b) Requerimientos de oxígeno

$$\frac{R_h}{X_a} = \frac{a' S_h}{X_a t} + b'$$

donde:

a' - Fracción de sustrato oxidado para síntesis de nuevas células

b' - Tasa de respiración endógena

c) Tasa de crecimiento específico o fraccional

$$\frac{1}{\theta_c} = K_d + y \frac{S_0 - S_e}{X_a t}$$

donde:

$y$  - Coeficiente de crecimiento

$K_d$  - Coeficiente de desaparición o tasa de respiración endógena

En las figs 3.1, 3.2 y 3.3 se muestran las gráficas correspondientes a estos resultados.

En la fig 3.4 se relacionan los valores promedio del tiempo de retención con el sustrato efluente, con la eficiencia de remoción y con los sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado.

#### *Laguna de maduración.*

Esta experimentación se efectuó utilizando los efluentes de los reactores 3, 4 y 5 (tiempos de retención de 46 a 94 horas). Con la finalidad de lograr la estabilización de la materia orgánica se aireó la mezcla de los efluentes de los reactores mencionados durante dos días en un proceso intermitente, iniciándose la etapa de maduración al término del mismo.

Durante la prueba se controlaron únicamente los siguientes parámetros: tiempo de retención, sólidos suspendidos del licor mezclado, requerimientos de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno total y soluble. Los resultados se reportan en la tabla 3.3'.

Se observa que la DBO soluble a los dos días de maduración es

de 14 mg/l, valor que se aproxima al de la DBO no removida, obtenida en el análisis de la cinética de remoción (fig 3.1), y que es prácticamente igual a la obtenida durante la etapa de aireación adicional.

Por otra parte, el valor de la DBO total para el mismo tiempo de maduración es de 21 mg/l, valor que difiere del obtenido al final de la etapa de reaireación; debiéndose a la remoción de materia orgánica no soluble correspondiente a la fase de respiración endógena. Asimismo, los requerimientos de oxígeno durante la etapa de maduración se mantuvieron prácticamente constantes. Por lo anterior, se considera que la estabilidad del efluente se ha logrado después de dos días de maduración.

### 3.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA LAGUNA.

En la sección 2.4 se presentó un balance de temperaturas definido por la siguiente relación:

$$T_i - T_w = \frac{(T_w - T_a) \phi A}{Q}$$

La evaluación se hizo para un sistema de flujo continuo; para tal propósito se cuantificaron los siguientes parámetros: temperatura del aire (°C), temperatura del licor mezclado (°C) y el gasto de alimentación (m<sup>3</sup>/día).

Estas mediciones se hicieron durante los meses de noviembre y diciembre de 1978 y enero, febrero, marzo, abril y mayo de 1979; determinándose los valores promedio de los parámetros mencionados que sirvieron para obtener el factor de proporcionalidad

promedio, correspondiente a siete meses de mediciones, siendo este igual a 0.033 m/día. En la tabla 3.3 se presentan los resultados obtenidos para esta experimentación.

### 3.3 DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO.

El experimento se efectuó en un recipiente de 10 l de capacidad, aireándose la masa de agua por medio de un difusor de aire, con gastos constantes controlados mediante un rotámetro; la evaluación del coeficiente de transferencia ( $KLa$ ) se hizo para dos temperaturas, empleándose agua destilada y agua residual, todo esto para el régimen del estado establecido. En la tabla 3.4 se reportan los valores de la concentración de oxígeno disuelto, obtenidos a diferentes intervalos de tiempo y gastos de aire a 20 y 25°C; en la misma tabla se observan los valores calculados del déficit de oxígeno ( $Cs-C$ ).

El valor de  $Cs-C$  correspondiente a varios tiempos de aireación se grafica en papel semilogarítmico; las pendientes de las curvas obtenidas corresponden a los coeficientes  $KLa$ , ver figuras 3.5 a 3.8.

Los valores de  $\alpha$ , calculados para el agua destilada y la de desecho a diferentes condiciones de temperatura, se muestran a continuación:

T, °C	Q <sub>aire</sub> . l/min	KLa desecho	KLa destilada	$\alpha$
20	0.4	5.06	6.10	0.83
20	0.6	5.97	7.53	0.79
20	1.0	10.49	12.31	0.85
25	0.4	6.88	7.87	0.87
25	0.6	8.80	10.76	0.82
25	1.0	12.53	13.83	0.91

para el diseño de la laguna se empleará el valor promedio de  $\alpha = 0.82$  a  $20^{\circ}\text{C}$ .

### 3.4 DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TEMPERATURA, $\theta$ .

La cinética de la reacción de la DBO corresponde a una reacción de primer orden y se expresa como sigue:

$$\frac{dLt}{dt} = -K'Lt$$

donde  $Lt$  es la cantidad de DBO de la primera fase que queda en el agua en el tiempo  $t$ . Integrando obtenemos:

$$\ln Lt \Big|_0^t = -K't$$

$$\frac{Lt}{L} = \exp(-K't) = L(10^{-Kt})$$

donde:

$Lt$  - DBO remanente en el tiempo  $t$

$L$  - DBO de la primera fase inicialmente presente a  $t=0$

La relación  $K'$  y  $K$  está dada por  $K = \frac{K'}{2.303}$

La DBO ejercida en el tiempo  $t$  es:

$$y = L - Lt = L(1 - 10^{-Kt}) = L(1 - \exp(-K't))$$

La temperatura a la que se determina la DBO de una muestra de agua residual normalmente es de  $20^{\circ}\text{C}$ , pero se puede calcular el coeficiente de remoción del sustrato,  $K$ , a una temperatura diferente; para ello se emplea la ecuación aproximada, derivada de la relación de Vant Hoff-Arrhenius en la siguiente forma:

$$KT = K_{20}(\theta^{T-20})$$

La literatura cita valores de  $\theta$  desde 1.05 para temperaturas comprendidas entre 20 y 30°C hasta 1.13 para temperaturas entre 4 y 20°C. Con el objeto de determinar la variación de la DBO con respecto al tiempo y a su relación a diferentes temperaturas, se planteó la experimentación de tal forma que incluyera los valores de la misma en el influente y en el laboratorio a 20 y 32°C. El promedio de los resultados obtenidos se muestra a continuación.

Tiempo (días)	DBO inf 20°C total	DBO inf 20°C soluble	DBO <sub>5</sub> laboratorio 20°C total	DBO <sub>5</sub> laboratorio 20°C soluble	DBO <sub>5</sub> laboratorio 32°C total	DBO <sub>5</sub> laboratorio 32°C soluble
1	122	92				
3	348	247				
5	435	344	452	376	512	405
7	470	357				
9	505	384				

Con estos resultados se obtienen las ecuaciones que definen la variación de la DBO con respecto al tiempo:

$$\text{DBO total a } 20^{\circ}\text{C: } Y = 562(1 - \exp(-0.277t))$$

$$\text{DBO}_5 \text{ total} = 421 \text{ mg/l}$$

$$\text{DBO soluble a } 20^{\circ}\text{C: } Y = 440(1 - \exp(-0.253t))$$

$$\text{DBO}_5 \text{ soluble} = 316 \text{ mg/l}$$

Relación existente para DBO<sub>5</sub> a diferentes temperaturas:

$$\text{DBO}_5 \text{ total a } 32^{\circ}\text{C} = 1.13 \text{ DBO total a } 20^{\circ}\text{C}$$

$$\text{DBO}_5 \text{ soluble a } 32^{\circ}\text{C} = 1.08 \text{ DBO soluble a } 20^{\circ}\text{C}$$

El coeficiente de temperatura  $\theta$  se determina a partir de la constante de reacción,  $K$ , a  $32^{\circ}\text{C}$  y aplicando la relación entre la  $\text{DBO}_5$  a diferentes temperaturas como se indica a continuación.

Para la DBO total:

$$\text{DBO}|_{32^{\circ}} = 1.13 \times 4.21 = 476 \text{ mg/l}$$

$$K'|_{32^{\circ}} = \frac{1}{5} \ln\left(\frac{562 - 476}{562}\right) = -0.375$$

$$K'|_{32^{\circ}} = 0.375 \text{ día}^{-1}$$

$$\ln \theta = \frac{1}{12} \ln \frac{0.375}{0.277} = 0.0252; \quad \theta = 1.037$$

Para la DBO soluble:

$$\text{DBO}|_{32^{\circ}} = 1.08 \times 316 = 341 \text{ mg/l}$$

$$K'|_{32^{\circ}} = \frac{1}{5} \ln\left(\frac{440 - 341}{440}\right) = -0.298$$

$$K'|_{32^{\circ}} = 0.298 \text{ día}^{-1}$$

$$\ln \theta = \frac{1}{12} \ln \frac{0.298}{0.253} = 0.0136; \quad \theta = 1.014$$

El valor promedio del coeficiente de temperatura,  $\theta$ , es de 1.02 y es el que se considera para el análisis del proceso biológico.

#### 4. DISEÑO DE LA LAGUNA.

A partir de los resultados de las pruebas de tratabilidad se determinaron los parámetros básicos de diseño que se presentan a continuación.

##### 4.1 PARAMETROS DE DISEÑO.

Gastos de aguas residuales	7 875 m <sup>3</sup> /día
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO <sub>5</sub>	
Total en el influente	426 mg/l
Soluble en el efluente	36 mg/l
Temperatura	
Influente	22.0 °C
Licor mezclado	21.2 °C
Aire	20.8 °C
Coefficiente de proporcionalidad para el balance de temperatura ( $\beta$ )	0.033 m/día
pH	
Influente	6.6 - 7.2
Licor mezclado	6.4 - 8.0

Coefficiente de transferencia de oxígeno ( $\alpha$ )	0.82
Concentración de saturación de oxígeno disuelto en el agua residual ( $C_s$ )	6.58 mg/l
Concentración mínima de oxígeno disuelto requerida en la laguna	1.00 mg/l
Coefficiente de temperatura, $\theta$	1.025
Constante cinética de remoción del sustrato, $K$	0.016 mg/l-día
Fracción del sustrato convertida a nuevas células o coeficiente de crecimiento, $a$	0.335
Fracción de SSV oxidados por día o tasa de respiración endógena, $b$	-0.043
Fracción del sustrato utilizado en la oxidación, $a'$	0.69
Tasa de respiración endógena (base oxígeno), fracción de SSV autooxidados por día, $b'$	0.196

#### 4.2 CARACTERISTICAS DE LAS LAGUNAS.

##### 4.2.1 *Tiempo de retención.*

El tiempo de retención hidráulico se obtiene con la figura 3.4 con base en las siguientes observaciones:

La concentración del sustrato efluente (DBO), se mantiene constante después de 70 horas de tiempo de retención, a la vez se observa una disminución en la concentración de los sólidos suspendidos volátiles del licor mezclado conforme aumenta el tiempo y por tanto la materia no soluble que demanda oxígeno tienda a abatirse. Con estas observaciones se hace el análisis del diseño a partir de un tiempo de retención de 3 días.

En el inciso 3.1 se hizo una discusión acerca de la laguna

de maduración, determinándose un tiempo de retención de dos días.

#### 4.2.2 Concentración del sustrato soluble efluente.

El sustrato soluble esperado en el efluente se determina haciendo un arreglo de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dS}{dt} = K \times aS = Ks$$

$$\frac{S_e}{S_0} = \frac{1}{1 + Kt}$$

$$T_i - T_w = \frac{(T_w - T_a) \delta A}{Q}$$

Para obtener finalmente:

$$\frac{S_e}{S_0} = \frac{1}{1 + K_{20} \left\{ \theta \left( \frac{A \delta T_a + Q T_i}{A \delta + Q} - 20 \right) \right\}, \frac{AD}{Q}}$$

donde:

$$\frac{AD}{Q} = t = 3 \text{ días}$$

$$S_0 = 426 \text{ mg/l}$$

$$K_{20} = 0.016 \text{ mg/l-día}$$

$$\theta = 1.025$$

$$T_i = 22^\circ\text{C}$$

$$T_a = 20.8^\circ\text{C}$$

$$\delta = 0.033$$

$$Q = 7875.36 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V = 23626 \text{ m}^3$$

$$A = 9450 \text{ m}^2 \text{ (para un tirante de 2.5 m)}$$

$$K_{22} = K_{20} (\theta^{22-20})$$

$$K_{20} = \frac{K_{22}}{\theta^{(22-20)}}$$

La tasa de remoción de DBO a 22°C es:

$$K_{22} = 0.016$$

$$\theta^2 = 1.051$$

$$K = 0.0152$$

$$X = 345$$

$$K = 5.24$$

La ecuación que define a la tasa de remoción del sustrato que se muestra en la fig 3.1 es:

$$\frac{S_t}{Xt} = -0.277 + 0.016 S_e, \text{ y se emplea para corregir la}$$

ecuación

$$\frac{S_e}{S_0} = \frac{1}{1 + K_{20} \left\{ \theta^{\left( \frac{A\delta T_a + Q T_i}{A\delta + Q} - 20 \right) \right\} \frac{AD}{Q}}$$

quedando finalmente:

$$S_e = \frac{S_0 + X + Y_0}{1 + K_{20} \left\{ \theta^{\left( \frac{A\delta T + Q T}{A\delta + Q} - 20 \right) \right\} t}$$

el valor  $Y_0$  corresponde a la ordenada al origen de la figura 3.1 (0.277), sustituyendo valores y realizando operaciones se tiene:

$$S_e = 41 \text{ mg/l}$$

Valor que no difiere significativamente del establecido en la fig 3.4 que es de 36 mg/l para un tiempo de retención de 72 h.

#### 4.2.3 Concentración de sólidos suspendidos del licor mezclado.

La concentración promedio de SSVLM de equilibrio para la laguna completamente mezclada se obtiene a partir de la relación:

$$X_a = \frac{X_o + aS_r}{1 + b_t}$$

donde:

$X_o$  - SSV (mg/l) en el influente.

Sustituyendo valores se tiene:

$$X_a = \frac{138 + (0.335)(385)}{1 + 0.043(3)}$$

$$X_a = 236 \text{ mg/l}$$

#### 4.2.4 Necesidades de oxígeno.

Los requisitos de oxígeno se consideran como 1.2 lb  $O_2$ /lb DBO removida, por lo tanto:

$$\begin{aligned} 1.2(426 - 41)(8.34 \times 10^{-6})(2.081 \times 10^6) &= 8018 \text{ lb } O_2/\text{día} \\ &= 334 \text{ lb } O_2/\text{hr} \\ &= 152 \text{ kg/hr} \end{aligned}$$

#### 4.2.5 Eficiencia de la transferencia de oxígeno.

La eficiencia de transferencia de oxígeno en el sitio se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$N = N_o \frac{C_{sw} - C_l}{C_{ss}} (\alpha)(\theta^{T-20})$$

donde:

$N$  - Eficiencia de transferencia de oxígeno en el sitio.

$N_o$  - Eficiencia de transferencia de oxígeno en condiciones estándar.

- $C_{sw}$  - Concentración de saturación de oxígeno disuelto en el de-  
secho = 6.58 mg/l
- $C_l$  - Concentración mínima de oxígeno disuelto requerida en el  
licor mezclado = 1.0 mg/l
- $\alpha$  - Coeficiente de transferencia de oxígeno = 0.82
- $T$  - Temperatura en el influente = 22°C
- $\theta$  - Coeficiente de temperatura = 1.025
- $C_{ss}$  - Concentración de saturación de oxígeno en condiciones es-  
tándar (20°C y 760 mm de presión de Hg) = 9.1 mg/l

Sustituyendo valores y realizando operaciones se obtiene:

$$N = 0.53N_0$$

#### 4.2.6 Requerimientos de potencia.

Los requisitos de potencia se calculan como se indica a conti-  
nuación:

$$P = \frac{\text{Requisitos de oxígeno}}{\text{Eficiencia en el sitio}}$$

$$P = \frac{Rr(\text{kg O}_2/\text{hr})}{N(\text{Kg O}_2/\text{HP-h})} = \text{HP}$$

Considerando tres niveles de eficiencia de transferencia de  $O_2$   
se tiene:

Nivel de eficiencia de transferencia de $O_2$ $N_0$ , lb $O_2$ /HP-hr	Kg $O_2$ /HP-hr	$N$ , Kg $O_2$ /HP-hr	Potencia HP
2.0	0.908	0.481	316
2.5	1.135	0.602	252
3.0	1.362	0.722	211

Para un gasto de 328 m<sup>3</sup>/hr,  $S_r = 0.385$  kg/m<sup>3</sup> y  $R_r = 152$  kg/h

Se tiene 1.2 kg de  $O_2$  por kg de DBO removida, valor que va de

acuerdo con lo señalado en la bibliografía.

#### 4.2.7 Geometría de las lagunas.

A continuación se hace un análisis para definir el número y la geometría de las lagunas.

*Lagunas aireadas.*

**Forma: rectangular**

**Relación largo-ancho: 2:1 a 4:1**

**Tirante de agua: 2 a 4 m**

**Consideraciones**

**Tirante de agua: 2.5 m**

**Ancho de las lagunas: 40, 50 y 60 m**

Tipo	Tirante m	Asúp m <sup>2</sup>	Ancho m	Largo total m	No de lagunas	Largo de cada la- guna	Relación largo- ancho
1	2.5	9450	40	236	3	79	1.79
2	2.5	9450	50	189	2	95	1.89
3	2.5	9450	60	158	1	158	2.60

Se selecciona la laguna tipo 2.

No. de lagunas: 2

Largo: 95 m

Ancho: 50 m

Tirante: 2.5 m

Volumen neto: 23 750 m<sup>3</sup>

### Número y distribución de los aireadores

Nivel de eficiencia	Laguna No 1 No de aireadores	HP	Laguna No 2 No de aireadores	HP	Potencia total HP
2.0	4	40	4	40	320
2.5	5	30	5	30	300

Para el nivel de eficiencia 2, las unidades de aireación se distribuirán en dos ejes como sigue:

$$\text{Eje longitudinal: } \frac{L}{4} \text{ y } \frac{3L}{4}$$

$$\text{Eje transversal : } \frac{a}{4} \text{ y } \frac{3a}{4}$$

donde:

L - Largo total de la laguna

a - Ancho total de la laguna

*Lagunas de maduración.*

Forma: rectangular

Relación largo-ancho: 2:1 a 4:1

Tirante de agua: 1.5 a 2 m

Tiempo de retención: 2 días

Volumen: 15 750 m<sup>3</sup>

Tipo	Tirante m	Asup m <sup>2</sup>	Ancho m	Largo total m	No de lagu- nas	Largo de cada la- guna	Relación largo- ancho
1	1.5	10500	40	263	3	88	2.20
2	1.5	10500	50	210	2	105	2.10
3	1.5	10500	60	60	1	175	2.91

Se selecciona la tipo 2.

## B I B L I O G R A F I A

1. W.W. Eckenfelder, D.L. Ford. *Water Pollution Control, Experimental Procedures for Process Design*. The Pemberton Press Jenkins Publishing Company, Austin and New York. 1970.
2. W.W. Eckenfelder, D.L. Ford. *Engineering Aspects of Surface Aeration Design*. 22nd Industrial Waste Conference, Purdue University, La Fayette, Indiana. 1967.
3. Metcalf and Eddy Inc. *Wastewater Engineering*. Mc Graw-Hill Inc. New York. 1972.
4. Lawrence, A.W. and Mc Carty, P.L. *Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation*. Journal of the Sanitary Engineering Division, Proc. ASCE. Vol 96, No SA-3 June of 1970.

DATOS DE CAMPO						RESULTADOS DE LABORATORIO																													
PROFUNDIDAD	FECHA DE MUESTREO		TEMPERATURA		OLOR	COLOR	CONDICIONES ATMOSFERICAS	P.H.	MATERIAL FLOTANTE g/l	TURBIDIDAD NTU	CONDUCTIVIDAD $\mu\text{mhos/cm}$	ALCALINIDAD		DUREZA	O.D. mg/l	O <sub>2</sub> mg/l	DQO mg/l	NITROGENO			FOSFATOS mg/l	CLORUROS mg/l	SULFATOS mg/l	Fe TOTAL mg/l	GRASAS Y ACEITES mg/l	DETERGENTES mg/l	SOLIDOS TOTALES			SOLIDOS SUSPENDIDOS			SOLIDOS FILTRABLES		
	DIA	HORA	AMBIENTE °C	LIQUIDO °C								TOTAL $\text{mg/l CaCO}_3$	TOTAL $\text{mg/l CaCO}_3$					TOTAL mg/l	ORGANICO mg/l	AMONIACAL mg/l							TOTALES mg/l	TOTALES mg/l	FIJOS mg/l	VOLATILES mg/l	TOTALES mg/l	FIJOS mg/l	VOLATILES mg/l	TOTALES mg/l	FIJOS mg/l
	5-1-79	9:00	18.0	15.4	caract	oscuro	despej	6.6		65		260	175		320	416	27.6	6.00	21.6	7.14	52	46		72	3.20	960	434	526	240	175	65	720	259	267	
	5-1-79	16:00	20.0	19.4	caract	gris o	"	6.7		47		250	196		330	419	16.28	4.20	12.8	6.94	62	52		84	4.11	1125	449	676	250	162	88	875	287	588	
	6-1-79	10:00	19.7	20.1	caract	gris ve	"	7.1		37		310	210		330	425	28.22	15.16	13.6	5.25	74	102		102	1.09	784	373	411	180	119	61	604	254	350	
	6-1-79	12:00	21.5	22.0	caract	oscuro	"	6.9		51		280	175		330	395	25.84	11.09	14.75	1.17	46	61		46	2.14	1165	589	576	175	121	54	990	468	522	
	7-1-79	03:00	19.0	16.0	caract	cafe	"	6.7		42		260	164		480	581	35.11	15.27	19.84	2.84	52	36		52	0.65	1320	709	611	220	160	60	1100	549	551	
	7-1-79	17:30	21.0	19.0	caract	negro	"	6.7		75		297	200		340	420	28.40	10.80	17.6	4.96	65	26		18	6.94	954	533	421	160	94	66	804	439	365	
	8-1-79	11:00	22.0	21.0	caract	cafe	"	7.0		63		346	195		370	416	34.34	27.64	6.7	5.14	71	42		69	11.02	876	492	384	146	131	15	730	361	369	
	8-1-79	17:00	01.5	20.0	caract	cafe	"	6.9		36		320	210		350	480	26.38	21.14	5.24	7.60	85	40		115	16.41	697	321	376	155	102	53	542	219	323	
	9-1-79	08:00	17.5	17.0	caract	gris o	"	7.2		39		360	200		370	420	20.56	4.96	15.6	12.5	102	29		156	8.64	1010	464	546	190	120	70	820	344	476	
	9-1-79	12:00	19.0	15.0	caract	verdoso	"	7.4		64		280	175		410	510	20.28	7.48	12.8	11.09	67	31		112	5.81	984	486	498	200	140	60	784	346	438	
	10-1-79	09:00	21.0	15.0	caract	gris o	"	6.2		51		275	125		360	460	18.22	7.08	11.14	4.65	129	61		116	6.11	798	403	395	210	180	30	588	223	365	
	10-1-79	17:30	21.5	20.0	caract	gris o	"	6.2		46		320	150		350	420	25.82	4.76	21.06	7.60	46	102		128	5.94	876	400	476	175	99	76	701	301	400	
	11-1-79	08:00	16.4	16.0	caract	gris o	"	6.6		48		197	160		280	360	26.01	5.94	20.07	6.91	72	66		79	7.28	912	383	529	200	125	775	712	258	454	
	11-1-79	13:00	22.5	22.0	caract	cafe o	"	6.5		44		210	176		420	450	14.90	10.11	4.79	5.48	56	116		87	4.96	1512	814	698	195	160	35	1317	654	663	
	12-1-79	10:00	21.0	19.8	caract	cafe o	"	6.4		39		160	197		420	481	18.74	11.89	6.85	7.16	58	75		116	11.41	1319	608	711	165	115	50	1154	493	661	
	12-1-79	14:00	21.5	21.0	caract	gris o	"	6.7		37		197	184		430	502	19.11	12.06	7.05	8.24	71	64		99	12.01	1111	590	721	180	123	57	931	267	664	
	13-1-79	12:00	22.0	20.0	caract	gris o	"	6.8		41		210	205		260	340	17.76	13.01	6.75	9.26	65	46		116	3.95	1098	483	615	210	170	40	888	301	575	
	13-1-79	16:00	22.5	19.8	caract	gris o	"	7.1		46		310	220		250	320	25.70	14.1	11.60	11.06	36	51		116	1.14	1136	568	363	205	136	69	931	432	499	

Tabla No.2.2 Evaluación estadística de los resultados de la caracterización

ESTACION DE MUESTREO:

Parámetro	No de datos	V a l o r				desviación estándar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min.	max.	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		t 0.95	t 0.975	90%	95%
Tamb. °C	18	16.4	22.5	----	20.38	1.82	-1.87	8.11	17	1.74	2.11	21-19.83	21.05-19.72
Tliq. °C	18	15.0	22.0	----	18.81	2.40	-0.46	1.79	17	1.74	2.11	20-17.82	20.00-17.61
pH	18	6.2	7.4	----	6.76	0.33	0.03	2.47	17	1.74	2.11	6.90-6.63	6.92-6.60
Turb NTU	18	36	75	----	48.39	11.30	0.97	2.90	17	1.74	2.11	53.02-43.75	54.01-42.77
Alo. Tot. ppm.	18	160	360	----	269	56.14	0.28	2.15	17	1.74	2.11	292.02-245.98	296.92-241.08
Dureza Tot. (part)	18	125	220	----	184.28	24.20	-0.74	3.11	17	1.74	2.11	194.20-174.35	196.31-172.24
DB <sub>5</sub> (ppm)	18	250	480	----	355.56	60.51	0.13	2.59	17	1.74	2.11	380.37-330.74	385.65-325.46
DB <sub>5</sub> (ppm)	18	320	581	----	432.50	62.16	0.39	3.40	17	1.74	2.11	457.99-407.01	463.41-401.59
N <sub>Tot</sub> ppm	18	14.90	35.11	----	23.85	5.90	0.29	2.20	17	1.74	2.11	26.27-21.43	26.78-20.92
N <sub>org</sub> ppm	18	4.20	27.64	----	11.26	6.09	1.13	4.08	17	1.74	2.11	13.76-8.76	14.29-8.23
NNH3 ppm	18	4.75	21.06	----	12.66	5.84	-0.24	3.02	17	1.74	2.11	14.46-10.86	14.84-10.48
PO4 Tot. ppm	18	1.17	12.50	----	6.94	2.88	0.08	2.76	17	1.74	2.11	8.12-5.76	8.37-5.51
Cl ppm	18	36	129	----	67.17	21.73	1.34	4.94	17	1.74	2.11	76.08-58.26	77.97-56.36
SO4 ppm	18	26	116	----	58.06	26.24	0.89	2.84	17	1.74	2.11	68.82-47.29	71.11-45.00
S y Ac ppm.	18	18	156	-----	93.50	33.53	-0.47	2.92	17	1.74	2.11	107.25-79.75	110.18-76.82
ABS ppm.	18	1.09	16.41	----	6.69	4.11	0.65	2.90	17	1.74	2.11	8.37-5.01	8.73-4.65
STT ppm.	18	697	1512	----	1035.94	209.67	0.52	2.80	17	1.74	2.11	1121.93-945	1140.22-931.67
STV ppm.	18	376	721	----	541	115.67	0.08	1.81	17	1.74	2.11	588.44-494	598.53-483.47
STF ppm.	18	321	814	----	494.39	125.83	1.03	3.58	17	1.74	2.11	546.00-443	556.97-431.81
SST ppm.	18	146	900	----	230.89	169.34	3.70	15.19	17	1.74	2.11	300.34-162	315.11-146.67
SSV ppm.	18	15	775	----	95.78	170.40	3.81	15.73	17	1.74	2.11	165.66-25.89	180.52-11.03
SSF ppm.	18	94	180	----	135.11	26.85	0.23	1.85	17	1.74	2.11	146.12-124.10	148.47-121.76
SDT ppm.	18	542	1317	----	843.94	204.52	0.64	2.89	17	1.74	2.11	927.82-760.07	945.66-742.23
SDV ppm.	18	267	664	----	473.89	124.10	0.16	1.88	17	1.74	2.11	524.79-422.99	535.61-412.17
SDF ppm.	18	219	654	----	359.28	122.12	0.90	2.95	17	1.74	2.11	409.36-309.19	420.01-298.54

Tabla 2.3 Parámetros de control para el proceso biológico

Parámetro	Frecuencia	Influente	Licor mezclado	Efluente
DQO (mg/l)	3 veces/semana	X		X
DBO (mg/l)	3 veces/semana	X		X
pH	diariamente	X	X	X
Consumo de oxí - geno mg/l/día	3 veces/semana		X	
Oxígeno disuelto mg/l	3 veces/semana		X	
SS, SSV mg/l	3 veces/semana		X	X
Análisis de iones	3 veces/semana	X		X
N-NH <sub>3</sub> , N-Norg mg/l	3 veces/semana	X		X
Fosfatos mg/l	3 veces/semana	X		X
Grasas y aceites tot. mg/l	1 vez / semana	X		X

La frecuencia de análisis se continuó hasta que se obtuvieron resultados consistentes.

TABLA 2.4 INSTRUCCIONES GENERALES PARA MUESTREOS

Nº	Parámetro	Preservación y cuidado de muestras	Transporte y almacenamiento de muestras	Tiempo máximo de preservación
1	Nitrógeno amoniacal	Adicionar, por cada litro de muestra, 0.8 ml de $H_2SO_4$ concentrado o 40 mg de $HgCl_2$ .	Refrigeración a 4°C	7 días
2	Nitrógeno orgánico	Igual al anterior.	Igual al anterior	7 días
3	Demanda química de oxígeno (DQO).	Adicionar suficiente $H_2SO_4$ concentrado hasta alcanzar un pH de 2 a 3.	Se debe hacer sin demora la determinación, y las muestras que contengan sólidos sedimentables se deben homogeneizar adecuadamente.	7 días
4	Demanda biológica de oxígeno	Se debe analizar lo más pronto posible, y las muestras se deben tomar con muestreadores especiales.	Refrigeración a 4°C	6 horas
5	Oxígeno disuelto	Adicionar inmediatamente; 2 ml de $MnSO_4$ más 2 ml de alcali-ioduro-nitrato; agitar enérgicamente 15 veces. Dejar reposar hasta la formación del precipitado. Después, agregar 2 ml de $H_2SO_4$ (conc, 6 0.36 N). Agitar vigorosamente.	Tomar en frascos especiales de vidrio, con tapón esmerilado, de 300 ml de capacidad. Proteger de los rayos del sol y refrigerar a 4°C, evitando la formación de burbujas.	6 horas
6	Fosfatos ( $PO_4$ )	Agregar 40 mg de $HgCl_2$ por litro. Lavar los recipientes de vidrio con HCl diluido y caliente, seguido de varios lavados con agua destilada.	Usar recipientes de vidrio que no hayan sido lavados con detergentes. Refrigerar a 4°C.	7 días

TABLA 2.4 INSTRUCCIONES GENERALES PARA MUESTREOS  
(Continuación)

Nº	Parámetro	Preservación y cuidado de muestras	Transporte y almacenamiento de muestras	Tiempo máximo de preservación
7	Grasas y aceites	Acidificar la muestra con 5 ml de $H_2SO_4$ , 1 + 1 por litro para inhibir la actividad bacteriológica.	Tomar la muestra en recipientes de vidrio, con tapón esmerilado, lavados previamente con el disolvente y airearlos antes de usarlos. - El frasco no debe llenarse completamente. Refrigerar a 4°C.	24 horas
8	Cloruros	Nada en especial	Nada en especial	36 horas
9	Color	Las muestras deben tomarse en recipientes de vidrio.	El color se debe medir en un tiempo razonable, pues existen cambios biológicos durante el almacenamiento que afectan el color.	24 horas
10	Turbiedad	Determinar el mismo día de su muestreo; pero si no se puede, preservar por 24 hr en la oscuridad.	Para tiempos más prolongados, la muestra se preserva por la adición de 1 gr de cloruro mercuríco por litro.	24 horas
11	Detergentes	Nada en especial.	La recolección de las muestras debe hacerse en frascos que no hayan sido lavados con detergentes.	24 horas
12	Alcalinidad	Esta determinación se debe verificar el mismo día.	Las muestras se deben recolectar en frascos de polietileno o de cristal Pyrex y refrigerar a 4°C.	24 horas
13	Dureza	Nada en especial	Almacenarla normalmente.	36 horas

TABLA 2.4 INSTRUCCIONES GENERALES PARA MUESTREOS  
(Continuación)

Nº	Parámetro	Preservación y cuidado de muestras	Transporte y almacenamiento y muestras.	Tiempo máximo de preservación
14	Sulfatos	Para aguas muy contaminadas, se debe preservar la muestra por la adición de formaldehído. Se debe ajustar el pH 8 de las muestras que contengan sulfitos.	Para aguas muy contaminadas, se debe conservar la muestra a bajas temperaturas ( 4°C ).	7 días
15	Sólidos en todas sus formas.	Deben usarse frascos de cristal resistente, especialmente para las aguas alcalinas. Los frascos de plástico son buenos, siempre y cuando los materiales en suspensión no se adhieran a las paredes.	Las muestras con posible contenido de hierro o manganeso se almacenan de manera que el oxígeno del aire no quede en contacto con el agua; se debe analizar lo más pronto posible.	

Tabla No. 3.1 Parámetros Estadísticos y Determinación de Intervalos de Confianza de la Media

PARAMETRO DE CONTROL: Eficiencia de remoción de  $DBC_5$ ; en %

unidad	No. de datos	V a l o r				desviación estandar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min	max	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		t 0.95	t 0.975	90 %	95 %
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
R1	17	52.0	68.0	-	63.35	4.76	-1.17	3.46	16	1.75	2.12	61.34/65.37	61.91/65.80
R2	17	64.0	87.0	-	74.06	7.49	0.32	1.78	16	1.75	2.12	70.89/77.23	70.21/77.91
R3	17	78.0	89.0	-	83.94	3.67	0.60	1.82	16	1.75	2.12	82.39/85.49	82.06/85.83
R4	17	80.0	94.0	-	89.47	3.36	-1.15	4.82	16	1.75	2.12	88.05/90.89	87.74/91.20
R5	17	82.0	96.0	-	91.18	3.45	-1.03	3.92	16	1.75	2.12	89.72/92.64	89.40/92.95

PARAMETRO DE CONTROL: Sólidos suspendidos volátiles de Licor mezclado (SSVLM), mg/l

unidad	No. de datos	V a l o r				desviación estandar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min	max	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		t 0.95	t 0.975	90 %	95 %
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
R1	17	196.0	237.0	-	222.00	9.80	-0.73	4.11	16	1.75	2.12	217.85/226.15	216.96/227.04
R2	17	214.0	309.0	-	271.00	24.33	-0.64	3.38	16	1.75	2.12	260.70/281.30	258.49/283.51
R3	17	289.0	387.0	-	346.00	28.17	-0.63	2.42	16	1.75	2.12	334.07/357.93	331.51/360.49
R4	17	296.0	371.0	-	341.00	20.14	-0.47	2.77	16	1.75	2.12	332.47/349.53	330.64/351.36
R5	17	220.0	284.0	-	254.00	17.11	-0.05	2.49	16	1.75	2.12	246.75/261.25	245.20/262.80

Tabla No. 3.1 Parametros Estadísticos y Determinación de Intervalos de Confianza de la Media

PARAMETRO DE CONTROL : Tiempo de retención, h

unidad	No. de datos	V a l o r				desviación estandar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min	max	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		† 0.95	† 0.975	90 %	95 %
R1	17	10.28	15.22	-	12.97	1.17	-0.54	3.17	16	1.75	2.12	12.47/13.47	12.37/13.57
R2	17	23.87	28.31	-	26.95	1.22	-1.27	3.78	16	1.75	2.12	26.43/27.46	26.32/27.57
R3	17	43.87	51.12	-	46.14	1.60	1.73	6.76	16	1.75	2.12	46.45/46.82	45.32/46.97
R4	17	69.29	77.14	-	72.71	1.83	0.14	3.95	16	1.75	2.12	71.94/73.49	71.77/73.65
R5	17	92.87	96.13	-	94.06	0.94	1.17	3.83	16	1.75	2.12	93.66/94.46	93.58/94.54

PARAMETRO DE CONTROL : PO<sub>4</sub>, mg/l

unidad	No. de datos	V a l o r				desviación estandar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min	max	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		† 0.95	† 0.975	90 %	95 %
R1	6	5.8	7.1	-	6.3	0.47	0.94	2.71	5	2.02	2.57	5.9-6.7	5.8-6.8
R2	6	4.7	6.2	-	5.5	0.55	-0.13	1.72	5	2.02	2.54	5.0-5.9	4.9-6.1
R3	6	2.9	4.3	-	3.5	0.58	0.21	1.44	5	2.02	2.54	3.0-4.0	2.9-4.1
R4	6	2.8	6.1	-	4.1	1.3	0.49	1.67	5	2.02	2.54	2.9-5.2	5.5-2.6
R5	6	1.9	3.7	-	2.8	0.76	-0.03	1.28	5	2.02	2.54	2.1-3.4	2.0-3.6

Tabla No. 3.1 Parametros Estadísticos y Determinación de Intervalos de Confianza de la Media

PARAMETRO DE CONTROL : N NH<sub>3</sub>, mgr/l

unidad	No. de datos	V a l o r				desviación estandar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min	max	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		t 0.95	t 0.975	90 %	95 %
R1	6	3.75	4.60	-	4.08	0.34	0.62	1.84	5	2.02	2.57	3.80/4.36	3.72/4.43
R2	6	2.88	3.67	-	3.36	0.29	-0.64	2.28	5	2.02	2.57	3.12/3.60	3.06/3.66
R3	6	2.67	3.25	-	2.97	0.26	-0.13	1.29	5	2.02	2.57	2.75/3.18	2.69/3.24
R4	6	1.97	3.15	-	2.65	0.46	-0.45	1.70	5	2.02	2.57	2.27/3.03	2.16/3.13
R5	6	1.33	3.25	-	2.39	0.72	-0.28	1.81	5	2.02	2.57	1.80/2.98	1.64/3.24

PARAMETRO DE CONTROL : T, °C

unidad	No. de datos	V a l o r				desviación estandar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min	max	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		t 0.95	t 0.975	90%	95 %
R1	17	18.00	26.50	-	21.75	2.34	0.35	2.22	16	1.75	2.12	20.72/22.70	21.42/22.91
R2	17	17.00	26.00	-	22.53	2.16	-0.85	3.85	16	1.75	2.12	21.61/23.44	21.42/23.64
R3	17	18.00	26.00	-	21.97	2.35	-0.12	2.12	16	1.75	2.12	20.99/22.95	20.78/23.16
R4	18	16.50	26.00	-	21.94	2.77	-0.65	2.41	17	1.74	2.11	20.81/23.08	20.57/23.32
R5	17	16.50	26.50	-	21.41	2.77	-0.06	2.40	16	1.75	2.12	20.24/22.59	19.99/22.84

Tabla No. 3.1 Parametros Estadísticos y Determinación de Intervalos de Confianza de la Media

PARAMETRO DE CONTROL: pH, unidades

unidad	No. de datos	V a l o r				desviación estandar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min	max	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		t 0.95	t 0.975	90 %	95 %
R1	17	6.90	7.40	-	7.08	0.15	0.56	2.40	16	1.75	2.12	7.02/7.14	7.01/7.16
R2	17	6.40	7.40	-	6.98	0.28	-0.25	2.43	16	1.75	2.12	6.86/7.09	6.83/7.12
R3	17	6.70	7.40	-	7.01	0.18	0.02	2.96	16	1.75	2.12	6.94/7.09	6.92/7.10
R4	17	6.80	7.40	-	7.04	0.13	0.32	2.30	16	1.75	2.12	6.97/7.12	6.95/7.13
R5	17	6.80	7.40	-	7.08	0.17	0.13	2.06	16	1.75	2.12	7.01/7.15	6.99/7.17

PARAMETRO DE CONTROL: Rr, mg O<sub>2</sub>/l-día

unidad	No. de datos	V a l o r				desviación estandar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min	max	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		t 0.95	t 0.975	90 %	95 %
R1	5	325.0	421.0	-	391.00	38.97	-1.15	2.73	4	2.13	2.78	353.85/428.15	342.62/439.38
R2	5	225.0	267.0	-	247.00	17.56	-0.03	1.51	4	2.13	2.78	230.25/263.75	225.19/268.81
R3	5	169.0	192.0	-	183.00	9.67	-0.42	1.85	4	2.13	2.78	173.78/192.22	171.00/195.00
R4	5	145.0	162.0	-	153.00	6.67	0.20	1.76	4	2.13	2.78	146.64/159.36	144.72/161.28
R5	5	122.0	136.0	-	130.00	5.10	-0.61	2.50	4	2.13	2.78	125.14/134.86	123.67/136.33

Tabla No. 3.1 Parametros Estadísticos y Determinación de Intervalos de Confianza de la Media

PARAMETRO DE CONTROL:  $X_e$  , Sólidos suspendidos en el efluente, mg/l

unidad	No. de datos	V a l o r				desviación estandar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min	max	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		t 0.95	t 0.975	90 %	95 %
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
R1	17	126.0	236.0	-	178.00	27.47	0.09	2.97	16	1.75	2.12	166.37/189.63	163.87/192.13
R2	17	166.0	219.0	-	196.00	14.74	-0.22	2.42	16	1.75	2.12	159.76/202.24	188.42/203.58
R3	17	187.0	244.0	-	216.12	17.02	0.08	1.97	16	1.75	2.12	208.91/223.32	207.37/224.87
R4	17	199.0	287.0	-	235.25	25.50	0.66	3.06	15	1.75	2.12	224.12/246.38	221.73/248.77
R5	17	187.0	221.0	-	206.81	12.51	-0.27	1.54	15	1.75	2.12	201.33/212.29	200.15/213.48

PARAMETRO DE CONTROL: ( DBO<sub>5</sub> ) Demanda Bioquímica de oxígeno, mg/l

unidad	No. de datos	V a l o r				desviación estandar	coeficiente de		grados de libertad	valor de distribución t de student		Intervalo de confianza	
		min	max	mas frecuente	medio		sesgo	curtosis		t 0.95	t 0.975	90 %	95 %
I	17	375.0	487.0	-	426.00	30.82	0.24	2.59	16	1.75	2.12	412.95/439.05	410.15/441.85
R1	17	135.0	175.0	-	153.00	9.41	0.08	3.77	16	1.75	2.12	149.02/156.98	148.16/157.84
R2	17	87.0	115.0	-	102.00	8.94	-2.7010 -15-03	1.59	16	1.75	2.12	98.21/105.79	106.60/97.40
R3	17	52.0	71.0	-	60.29	6.24	0.28	1.92	16	1.75	2.12	57.65/62.94	57.08/63.50
R4	17	30.0	45.0	-	38.00	5.00	-0.02	1.70	16	1.75	2.12	35.88/40.12	35.43/40.57
R5	17	25.0	41.0	-	34.00	4.32	-0.55	2.52	16	1.75	2.12	32.17/35.83	31.78/36.22

Tabla 3.2 Valores promedio para la determinación de los coeficientes de diseño (sustrato  $\text{DBO}_5$ )

R	t	So	Se	Sr	X	Xe	Rr	sr/xt	Rr/x	1/θc
1	13	426	153	273	222	178	391	2.27	1.76	0.712
2	27	426	102	324	271	196	247	1.06	0.91	0.620
3	46	420	60	366	346	222	183	0.55	0.53	0.410
4	73	426	38	388	341	269	153	0.37	0.45	0.23
5	94	426	34	392	254	212	130	0.39	0.51	0.192

en el balance de temperaturas en la laguna aireada (valores promedio).

Mes	Hora	Area del modelo ( m <sup>2</sup> )	T Influyente (°C)	T laguna (°C)	T aire (°C)	Gasto m <sup>3</sup> /día	Factor de proporcionalidad f ( m / día)
Nov/78	7 - 12-	1	19.0	19.7	20.0	0.069	0.161
	14 - 18-	1	20.8	21.3	21.0	0.074	-0.123
Dic/79	7 - 12	1	18.7	19.1	19.5	0.081	0.081
	14 - 18	1	21.1	21.5	20.8	0.071	-0.041
Ene/79	7 - 12	1	18.9	19.1	19.7	0.11	0.037
	14 - 14	1	20.6	20.4	20.1	0.092	0.061
Feb/79	7 - 12	1	20.1	21.2	22.1	0.130	0.159
	14 - 18	1	20.6	20.9	20.5	0.129	-0.097
Mar/79	7 - 12	1	21.2	21.5	22.3	0.128	0.048
	14 - 18	1	20.9	20.6	21.2	0.124	-0.062
Abr/79	7 - 12	1	21.7	22.4	23.2	0.142	0.124
	14 - 18	1	23.0	22.6	21.9	0.138	0.079
May/79	7 - 12	1	22.8	22.6	23.8	0.051	-0.009
	14 - 18	1	23.7	23.2	22.7	0.046	0.046

$$\bar{f} = 0.033$$

TABLA 3.3'

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PARA OBTENER LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS DE MADURACION

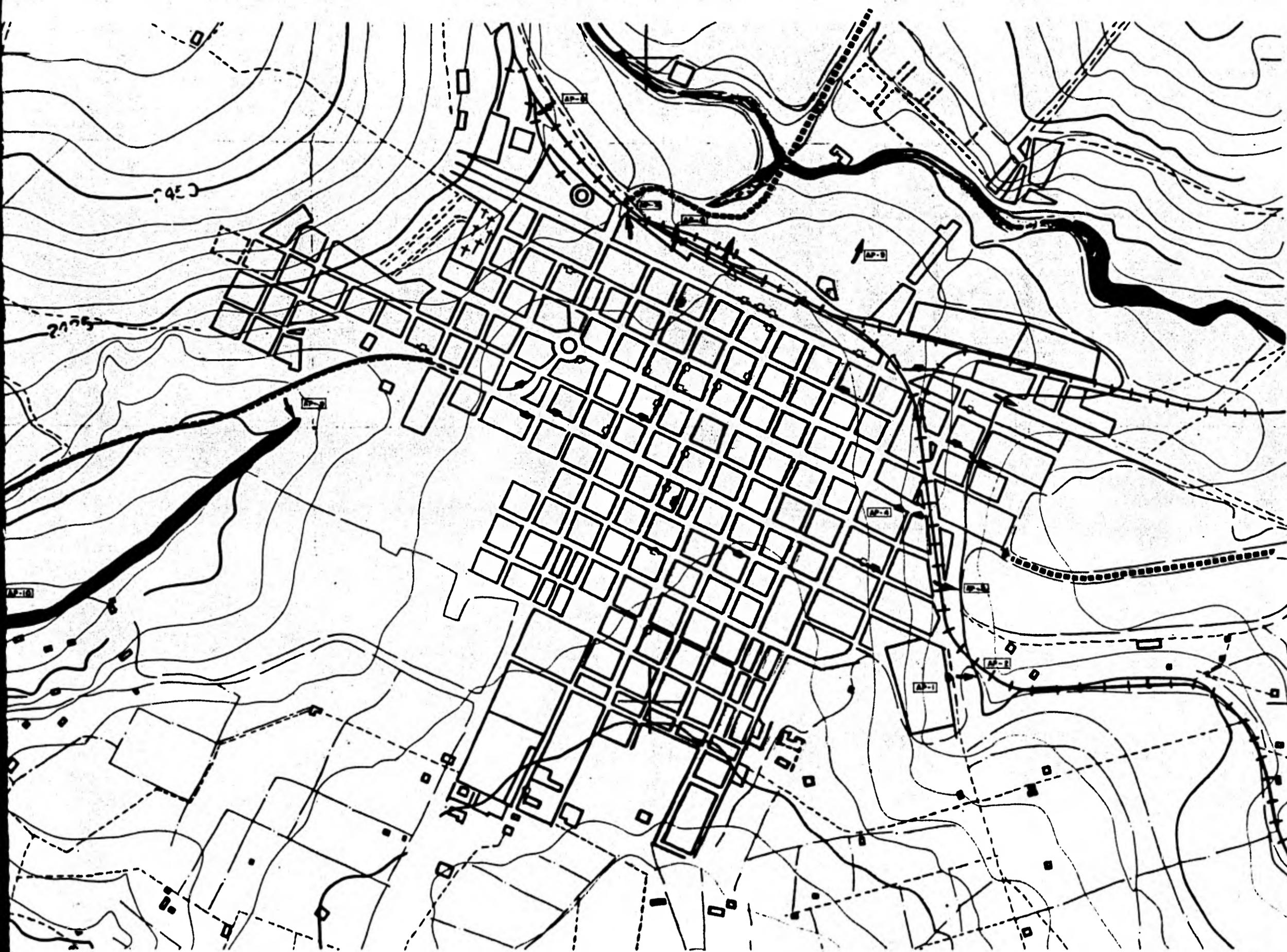
	ensaye	Reactor	Volumen efluente (ml)	t (h)	Volumen total (ml)	Rr mg/l/día	SSV mg/l	Rr/X	DBO total (mg/l)	DBO soluble (mg/l)
Periodo de aireación	1	3	2360	40		179	436	0.41	54	32
	2	4	1550	69	4830	123	385	0.32	46	28
	3	5	920	72		97	320	0.30	39	16
Periodo de maduración	1			24		70	227	0.31	27	18
	2			48		80	276	0.29	21	14
	3			72		57	212	0.27	23	16

T A B L A No. 3.4 Valores obtenidos en la experimentación para determinar el coeficiente de transferencia de oxígeno.

	FLUJO DE AIRE 0.4 l/min			FLUJO DE AIRE 0.6 l/min			FLUJO DE AIRE 1.0 l/min.		
	t (min)	COD mg/l	Cs-C mg/l	t (min)	COD mg/l	Cs-C mg/l	t (min)	COD mg/l	Cs-C mg/l
AGUA DESTIADA 20°C	0	0.00	7.16	0	0.00	7.16	0	0.00	7.16
	5	2.86	4.50	5	3.66	3.50	5	4.46	2.70
	10	4.76	2.40	10	5.16	2.00	10	6.30	0.86
	20	6.24	0.92	20	6.60	0.56	20	7.04	0.12
	30	6.81	0.35	30	7.00	0.16	30		
	40	7.04	0.12	40	7.10		40		
	50			50			50		
AGUA RESIDUAL 20°C	0	0.00	7.16	0	0.00	7.16	0	0.00	7.16
	5	2.46	4.70	5	3.16	4.00	5	4.46	2.70
	10	3.76	3.40	10	4.56	2.60	10	5.96	1.20
	20	5.86	1.30	20	6.22	0.94	20	6.95	0.21
	30	6.58	0.58	30	6.81	0.35	30		
	40		0.25	40	7.03	0.13	40		
	50			50			50		

CONTINUACION TABLA 3.4

	FLUJO DE AIRE 0.4 l/min			FLUJO DE AIPE 0.6 l/min			FLUJO DE AIRE 1.0 l/min		
	t (min)	COD mg/l	Cs-C mg/l	t (min)	COD mg/l	Cs-C mg/l	t (min)	COD mg/l	Cs-C mg/l
AGUA DESTILADA 25°C	0	0.00	6.52	0	0.00	6.52	0	0.00	6.52
	5	3.14	3.38	5	3.86	2.66	5	4.46	2.06
	10	4.75	1.77	10	5.44	1.08	10	5.87	3.65
	20	6.04	0.48	20	6.34	0.18	20		
	30	6.39	0.13	30	6.49	0.03	30		
	40	6.49	0.03	40			40		
	50	6.51	0.01	50			50		
AGUA RESIDUAL 25°C	0	0.00	6.52	0	0.00	6.52	0	0.00	6.52
	5	2.85	3.67	5	3.39	3.13	5	4.22	2.30
	10	4.46	2.06	10	5.02	1.50	10	5.71	0.81
	20	5.87	0.65	20	6.17	0.35	20	6.42	0.10
	30	6.31	0.21	30	6.44	0.08	30		
	40	6.46	0.06	40			40		
	50	6.50	0.021	50			50		



**SIMBOLOGIA**

-  ARROYOS Y RIOS
-  FERROCARRIL
-  CARRETERA
-  DESCARGAS INDUSTRIALES
-  DESCARGAS MUNICIPALES
-  DESCARGAS DIRECTAS A RIOS Y ARROYOS
-  DESCARGAS SELECCIONADAS

Fig. 1 Croquis de localización de descargas.

$\frac{S_r}{X_t}$   
mg/L  
mg/L-día

2.4  
2.2  
2.3  
1.8  
1.6  
1.4  
1.2  
1.0  
0.8  
0.6  
0.4  
0.2  
0

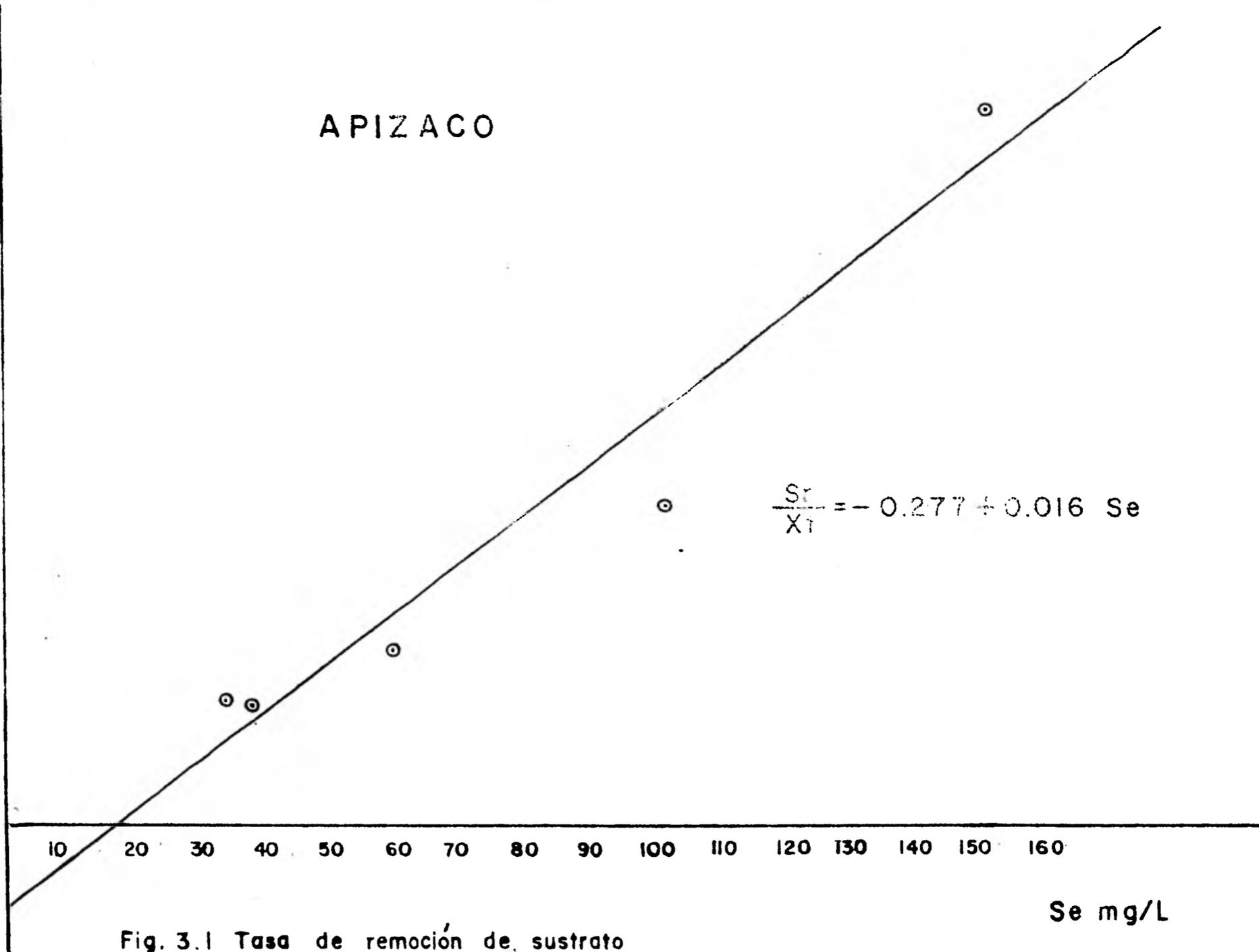
APIZACO

$$\frac{S_r}{X_t} = -0.277 + 0.016 S_e$$

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160

Se mg/L

Fig. 3.1 Tasa de remoción de sustrato



# APIZACO

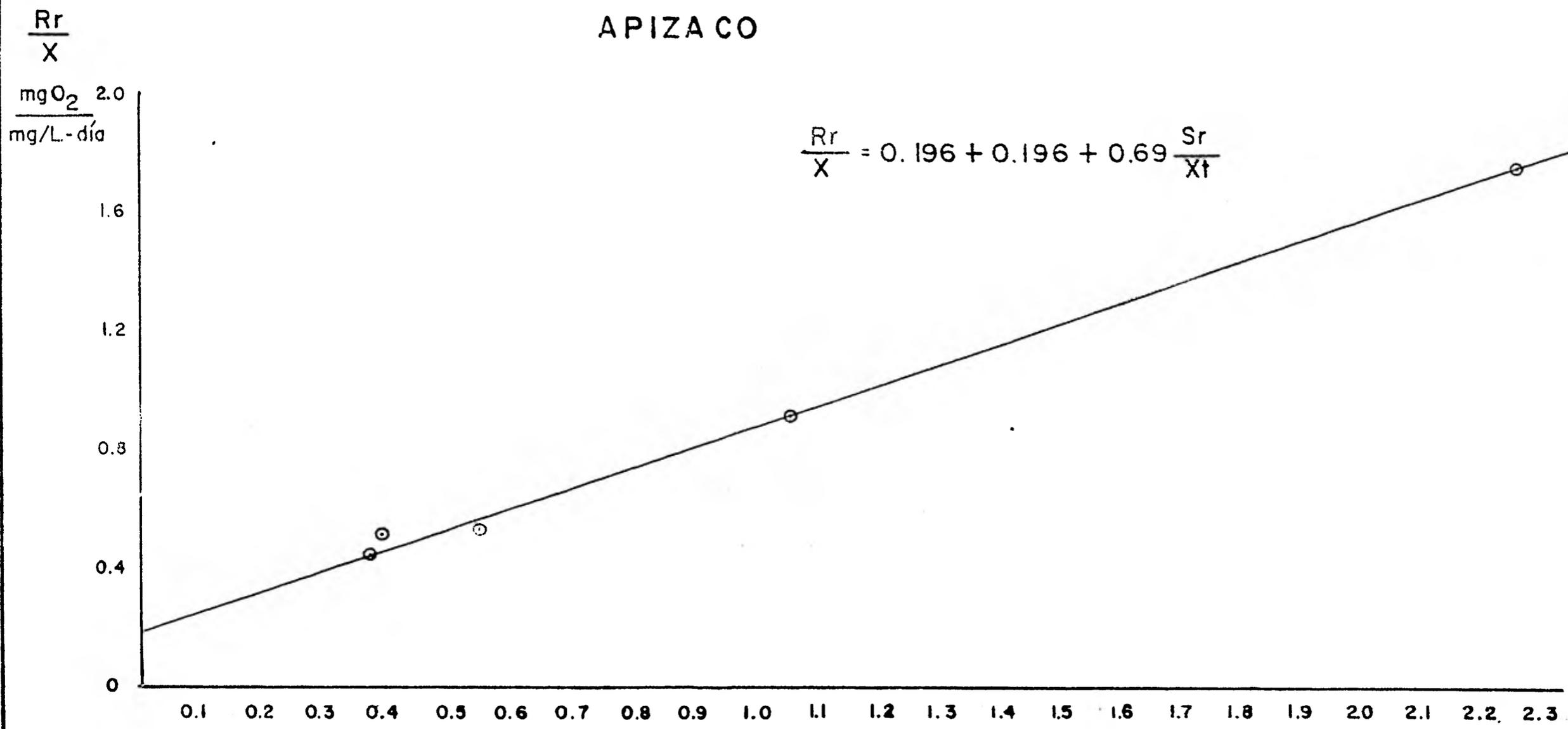


Fig. 3.2 Requisitos de Oxigeno

$\frac{mg/L}{mg/L-día}$   $\frac{Sr}{Xt}$

APIZACO

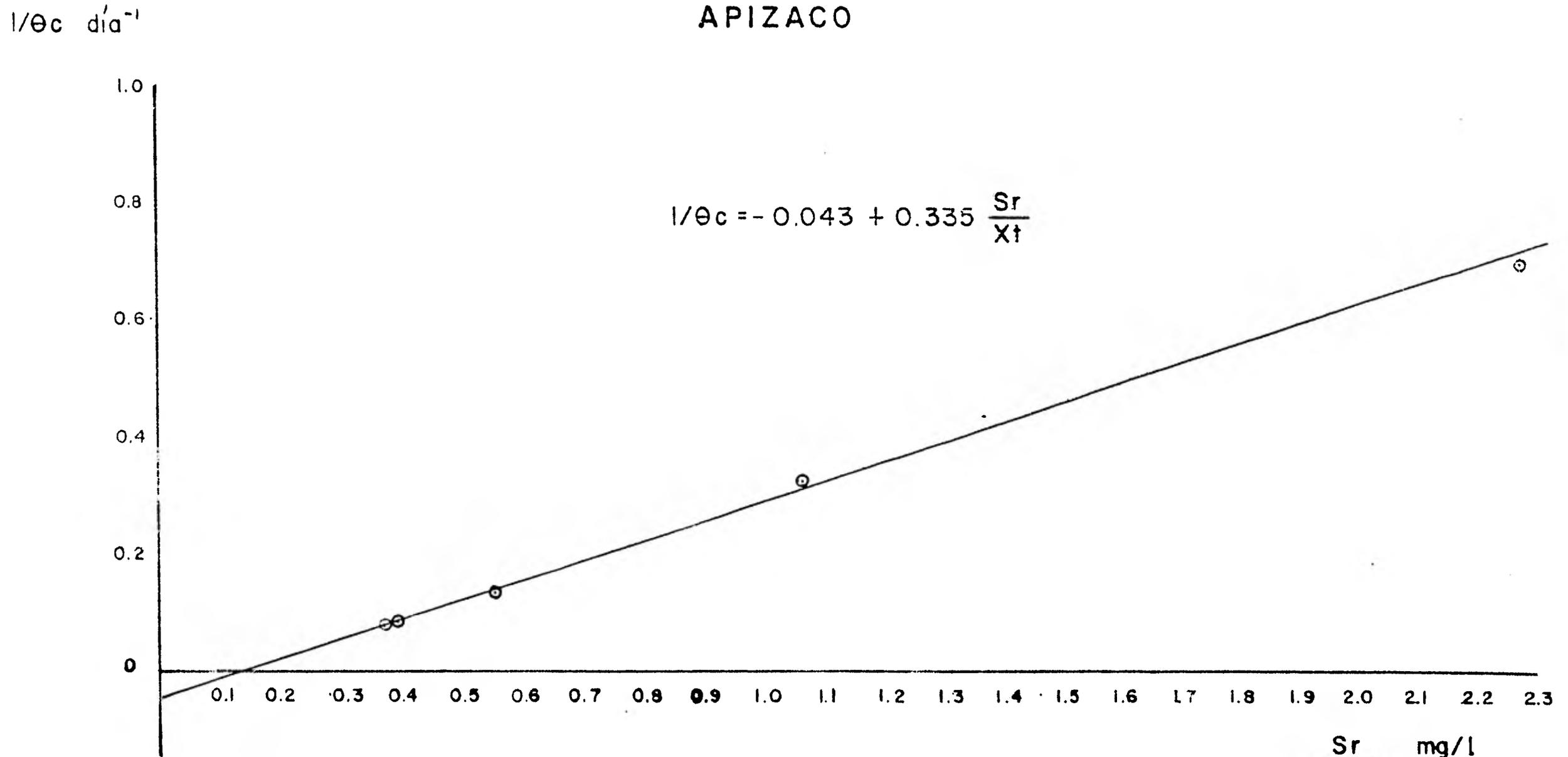


Fig. 3.3 Tasa neta de crecimiento específico de microorganismos

# APIZACO

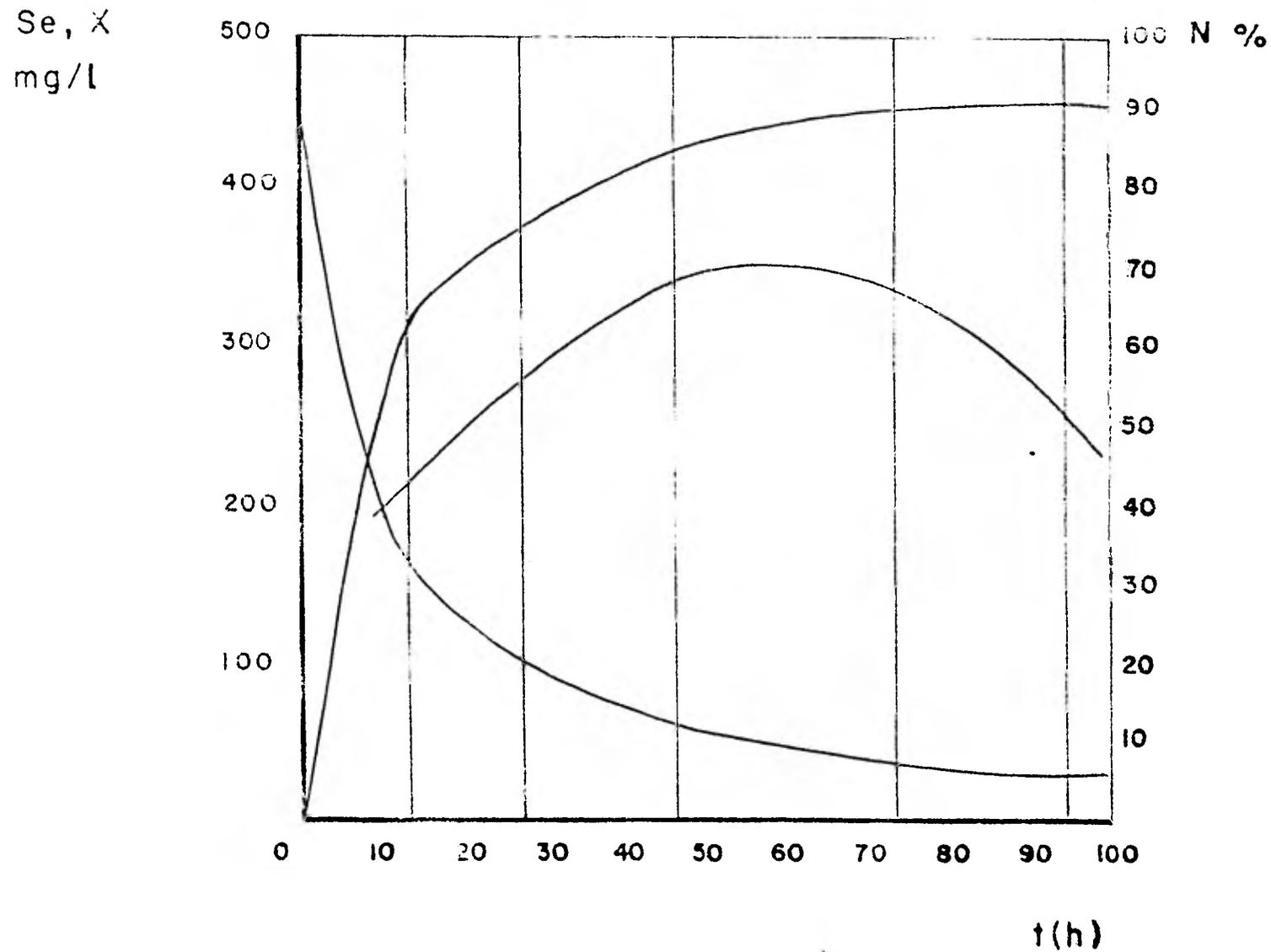


Fig. 3.4 Relación entre el sustrato  $DBO_5$  afluente a  $20^\circ C$ , eficiencia de remoción y sólidos biológicos en el licor mezclado, para diversos tiempos de retención Hidráulica y relación alimento a microorganismos

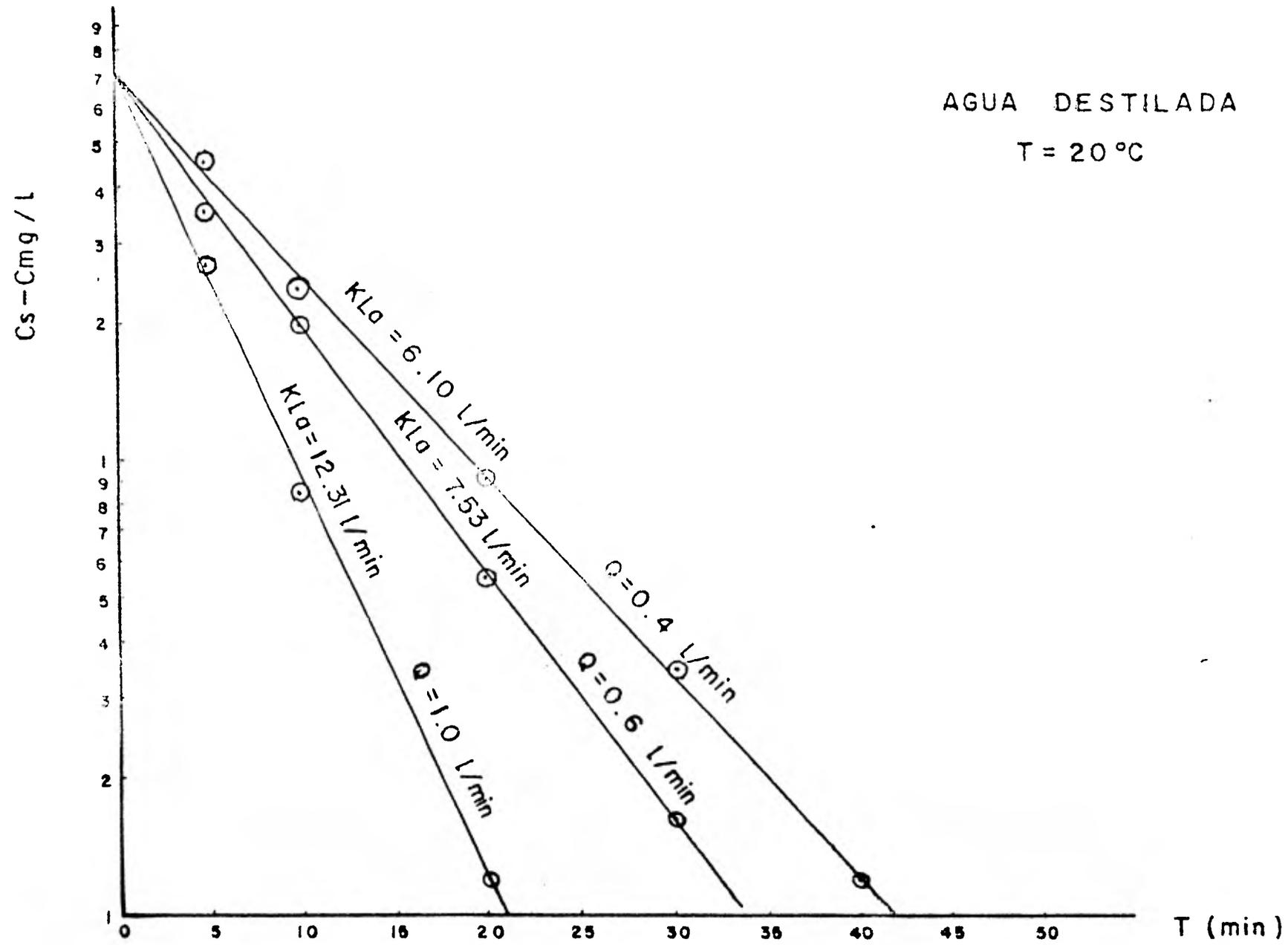


Fig. 3.5 Tasa de transferencia de oxígeno para el agua destilada a 20°C

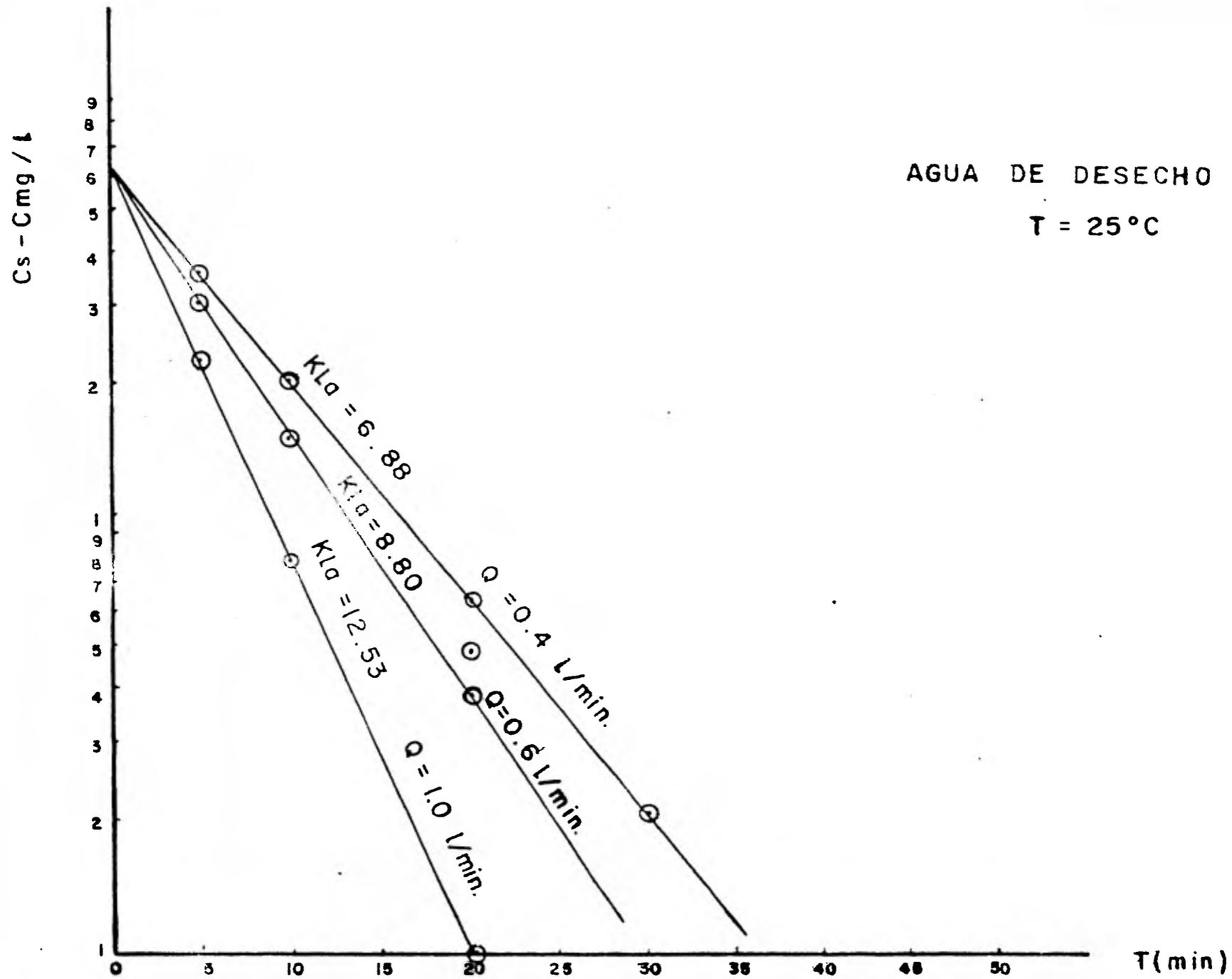


Fig. 3.6 Tasa de transferencia de Oxígeno para el agua de desecho

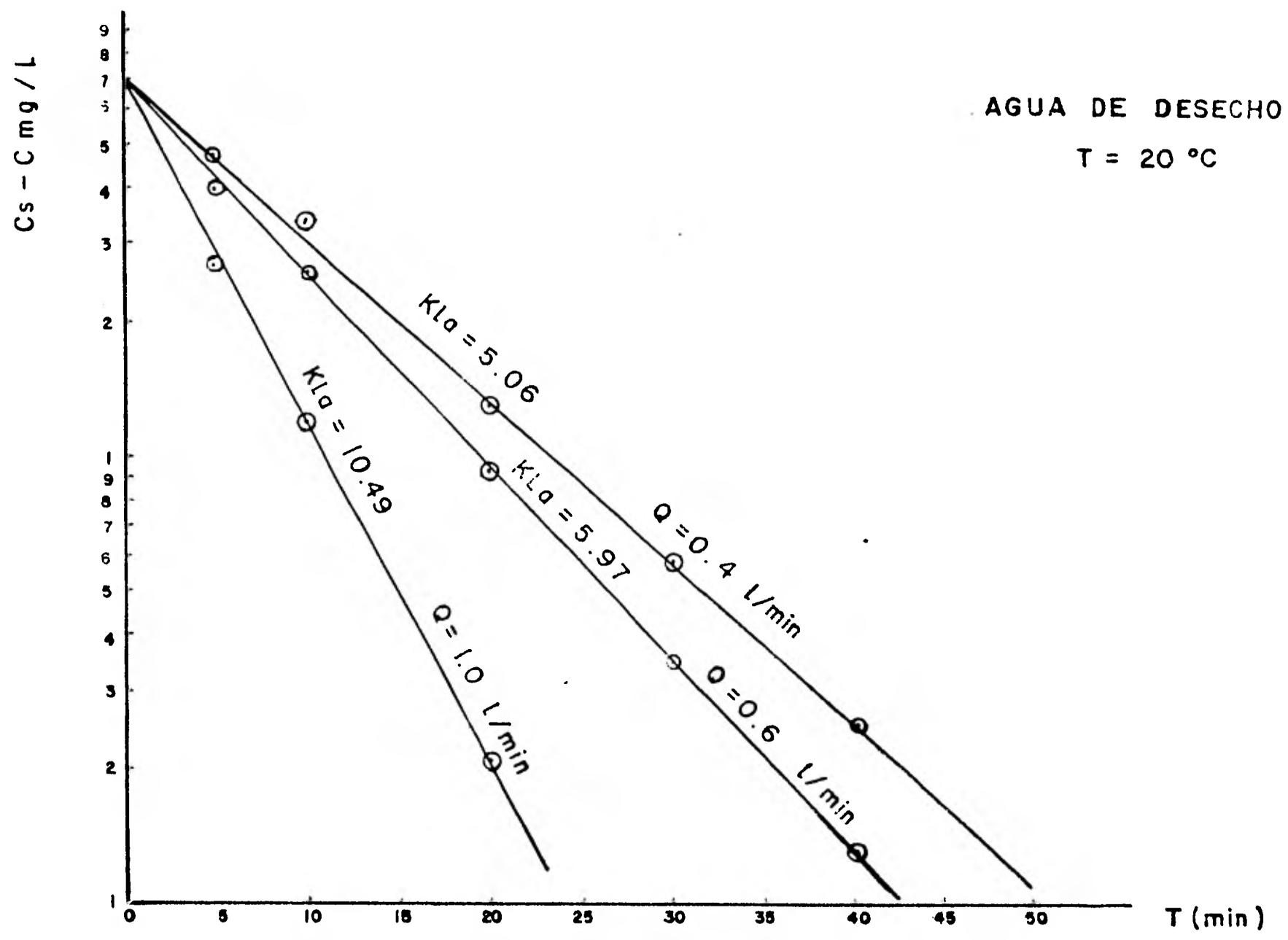


Fig. 3.7 Tasa de transferencia de oxígeno para el agua de desecho a 20°C

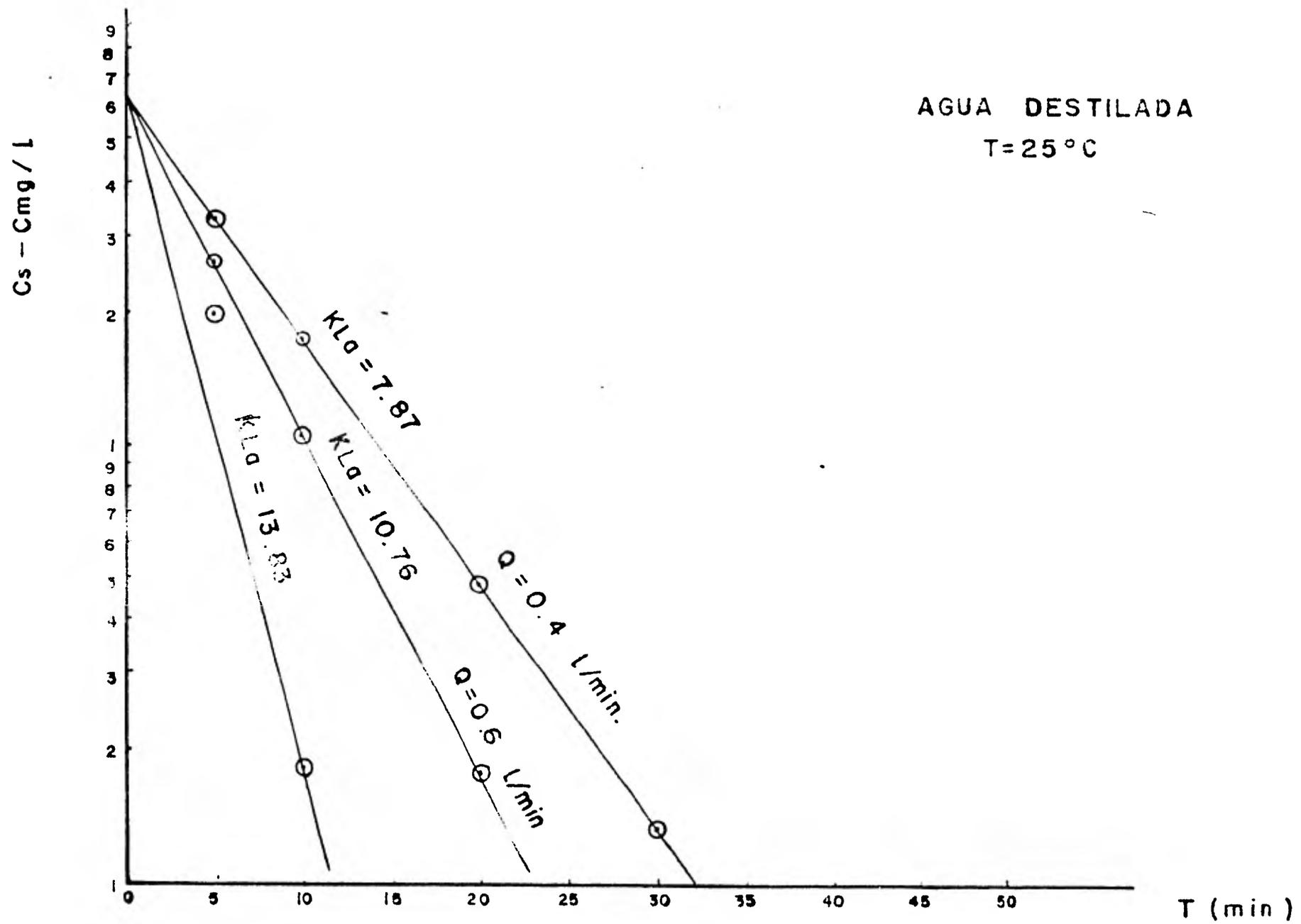
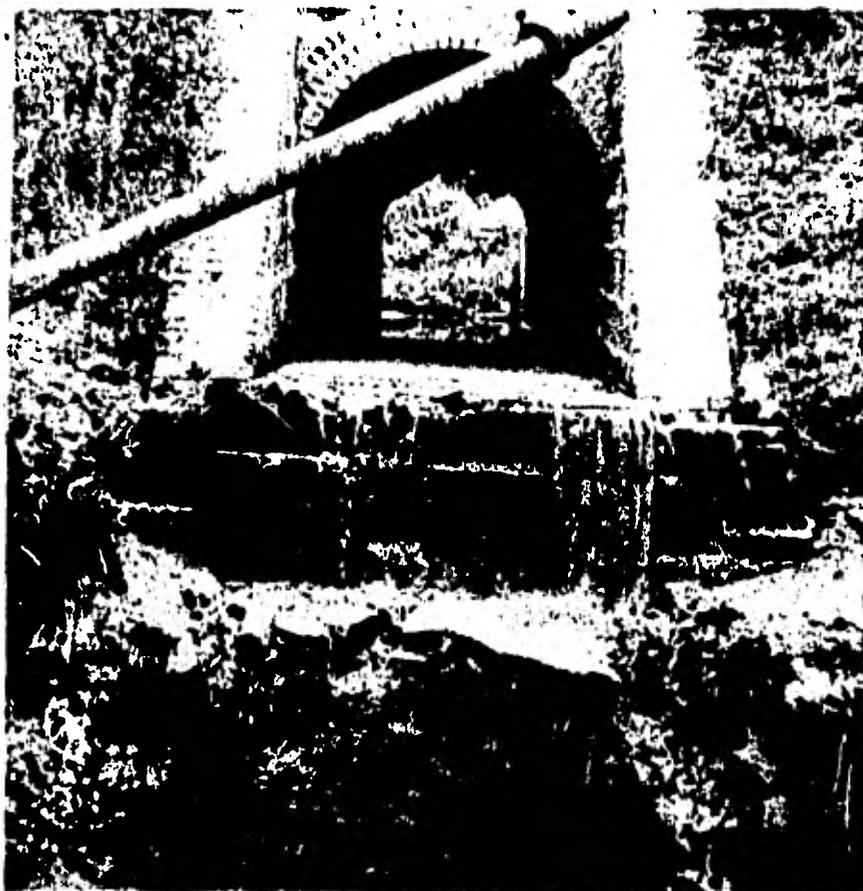


Fig. 3.8 Tasa de transferencia de oxígeno para el agua destilada

ANEXO A

FOTOGRAFIAS



Fotografía No. 1

Descarga CELFIMEX

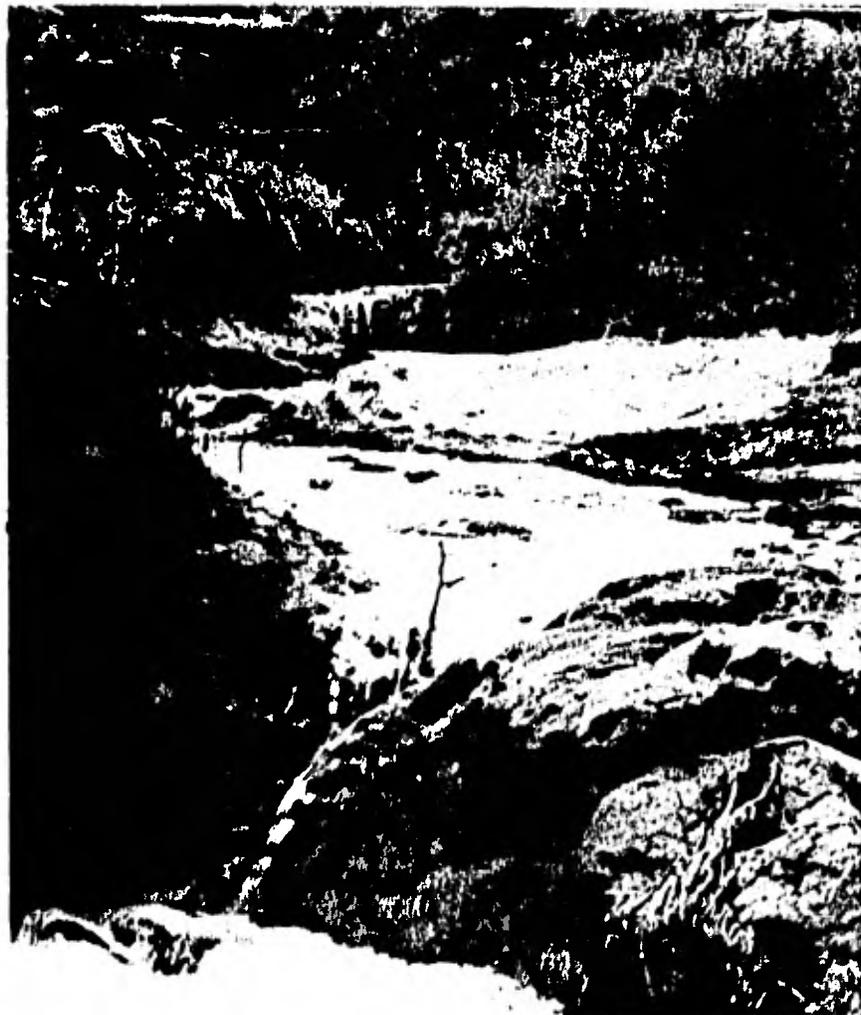


Fotografía No. 2

Descarga CELFIMEX



Fotografía No. 3 Descarga CELFIMEX



Fotografía No. 4 Descarga CELFIMEX



Fotografía No. 5 Descarga Ferrocarriles. 2 Tubos paralelos de 30 cmts. de diámetro.



Fotografía No. 6 Descarga Campamento



Fotografía No. 7 Descarga Campamento



Fotografía No. 8 Descarga de origen municipal, de 1.5 mts de ancho por 2.0 mts de alto.



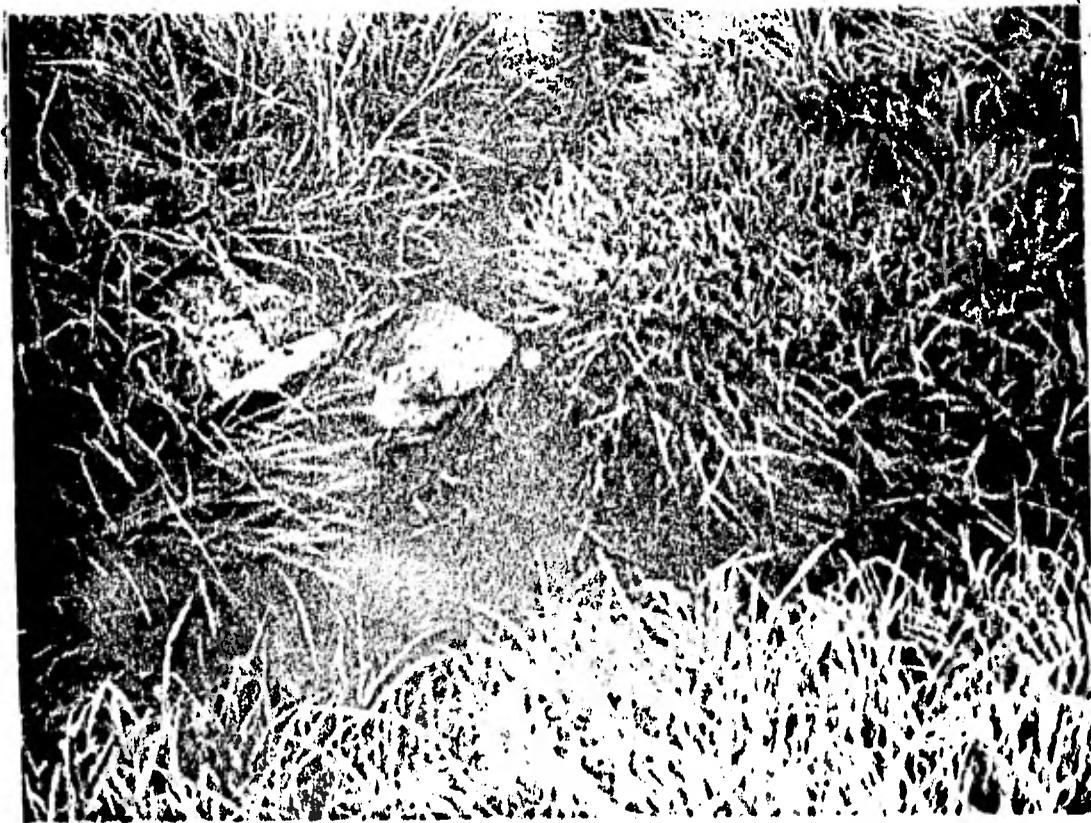
Figura No. 9 Descarga Estación de Ferrocarriles



Figura No. 10 Descarga Rastro Municipal



Fotografía No. 11 Descarga Rastro Municipal



Fotografía No. 12 Descarga Rastro Municipal

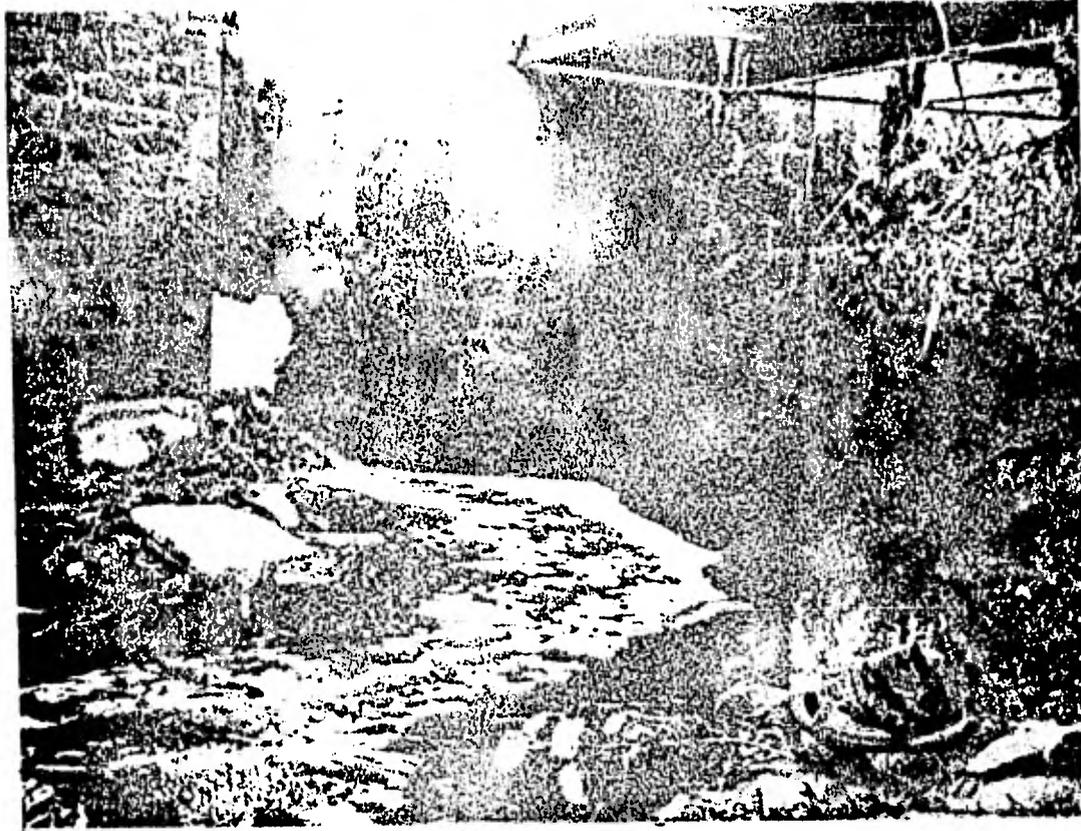


Fotografía No. 13 Descarga Rastro Municipal

Fotografía No. 14

Descarga Rastro Municipal  
Se observa la desviación  
de las aguas para utili-  
zarlas en el riego agrícola.



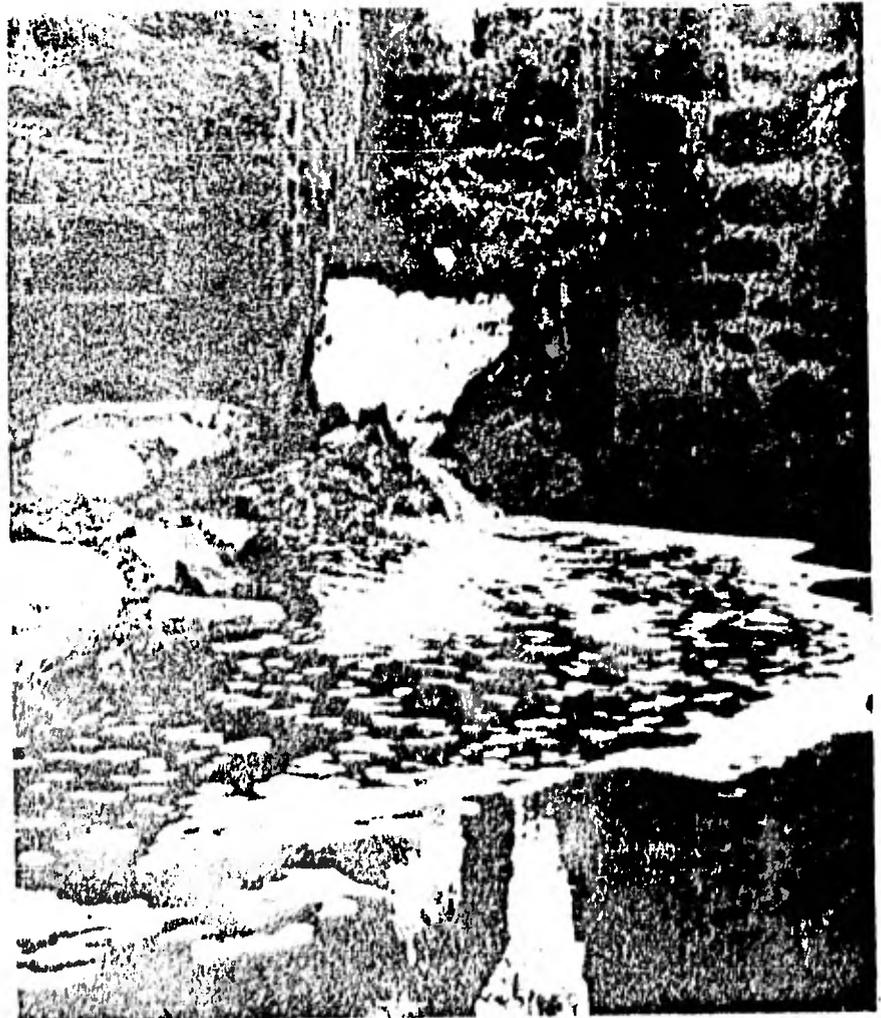


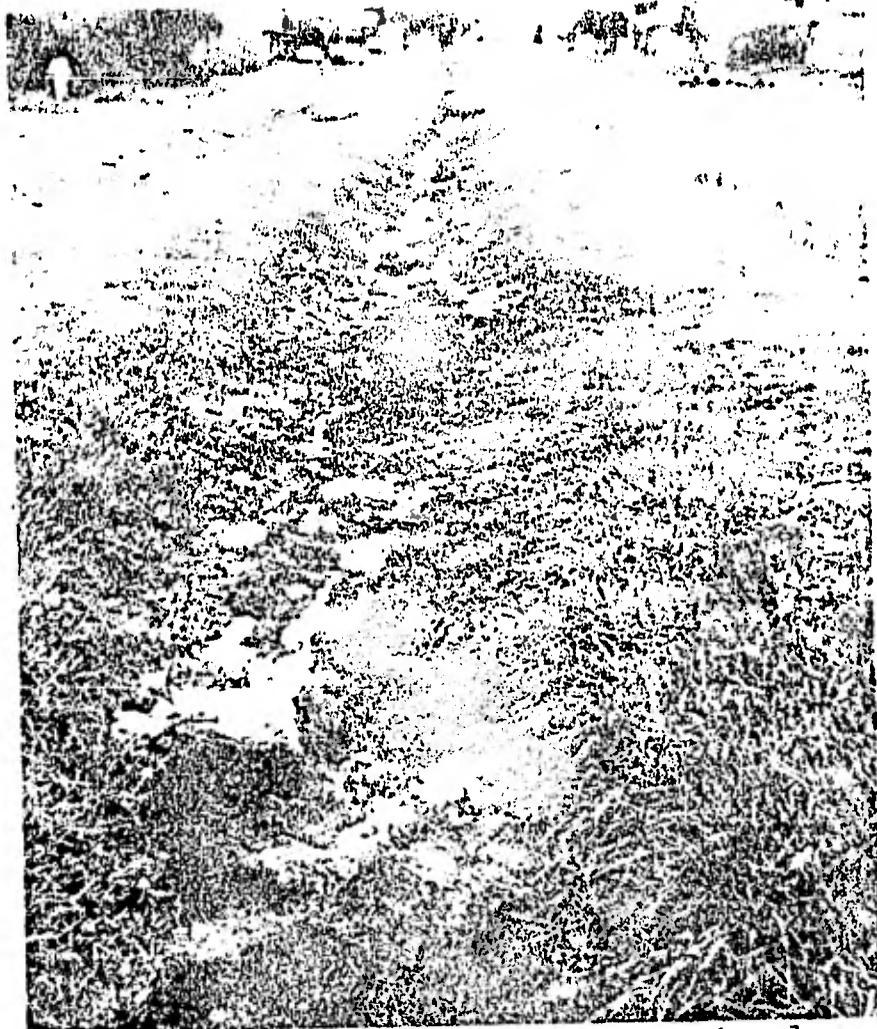
Fotografía No. 15

Descarga en el cruce del río Atenco y la carretera a San José Apizaquito.

Fotografía No. 16

Descarga en el cruce del río Atenco y la carretera a San José Apizaquito.



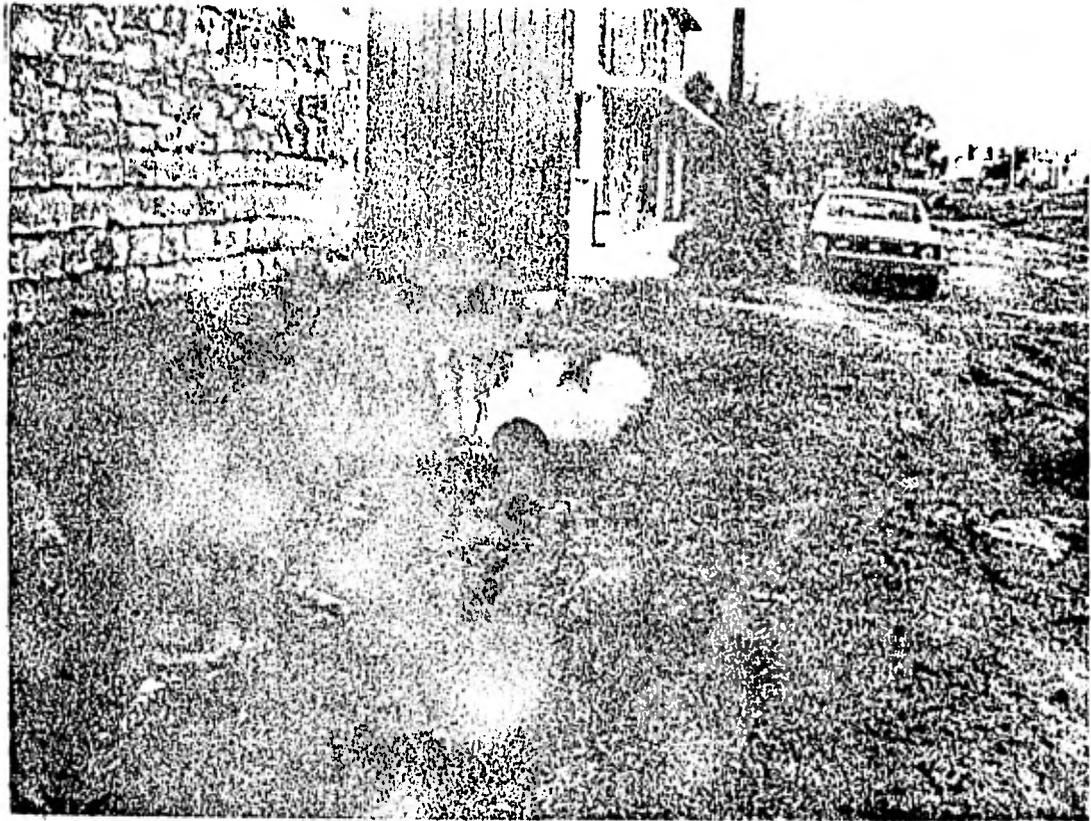


Fotografía No. 17 Descarga aproximadamente 30 mts. aguas  
abajo del puente de la carretera a San  
José Apizaquito y el río Atenco

Fotografía No. 18

Descarga Calle Alvaro  
Obregón.





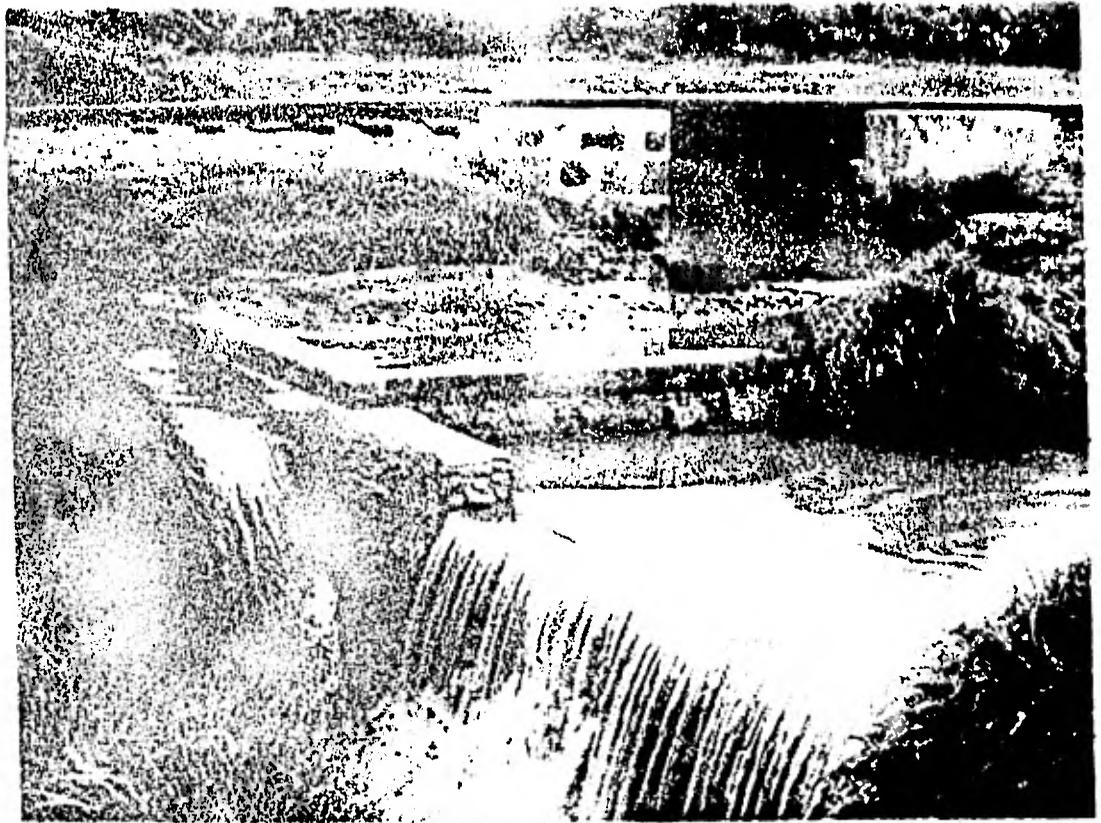
Fotografía No. 19

Descarga Calle Alvaro Obregón.

Fotografía No. 20

Descarga Calle 5 de  
Mayo





Fotografía No. 21

Descargas Calles Fco. I. Madero, 2 de Abril y 16 de Septiembre. Sección rectangular de 1 mt de alto por 1.5 mt de ancho. Cuenta con una estructura de cruce, un vertedor y dos estructuras para compuertas

Fotografía No. 22

Descargas Calles Fco. I. Madero, 2 de Abril y 16 de septiembre.



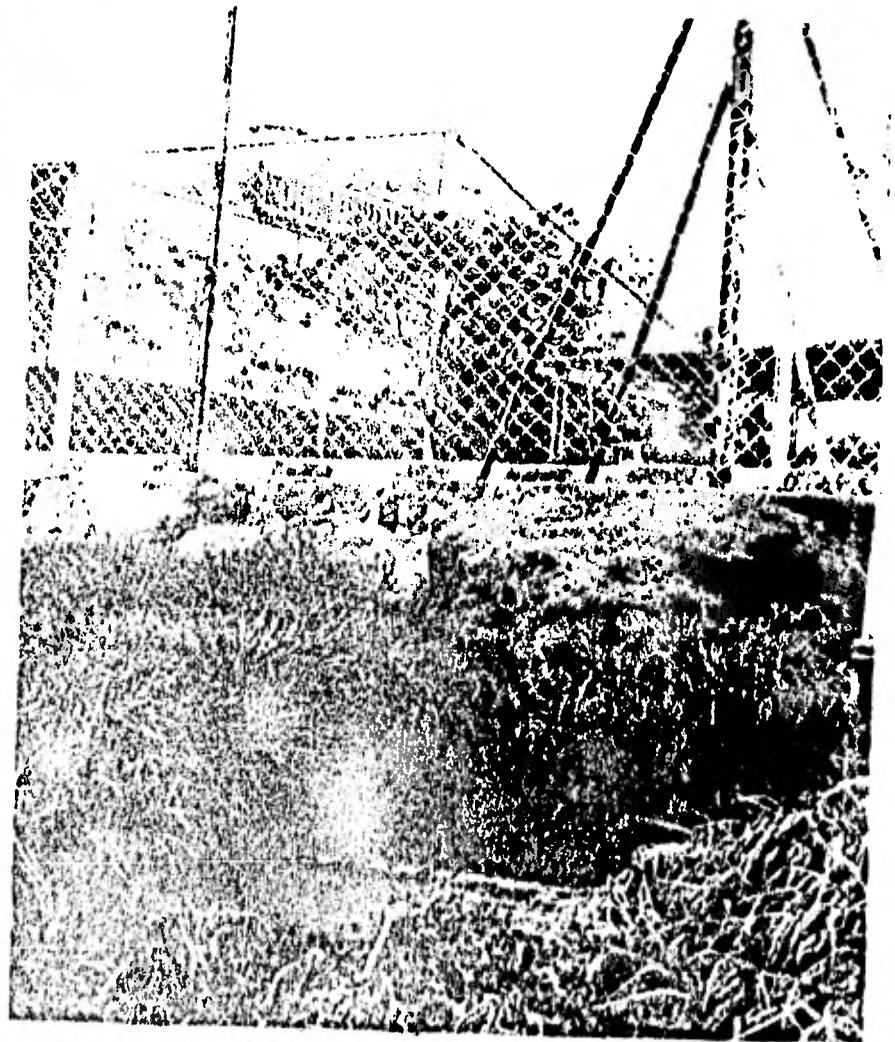


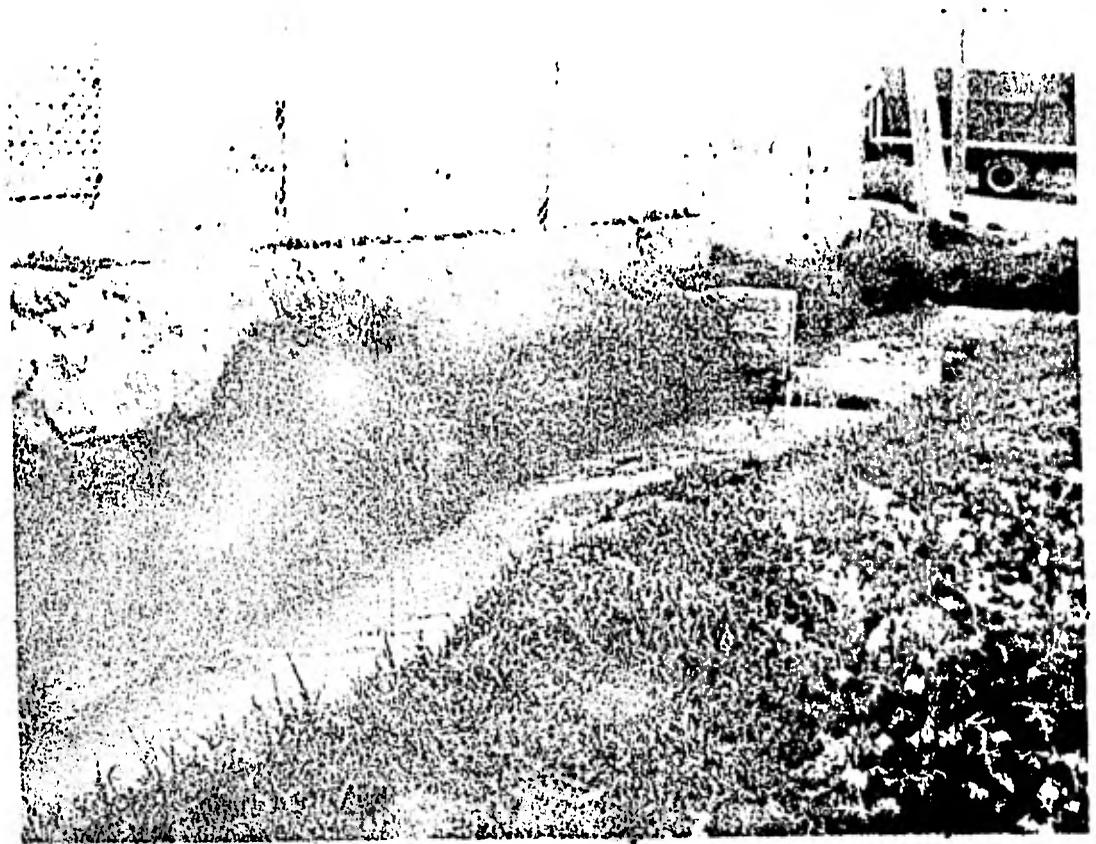
Fotografía No. 23

Descargas Calles Fco. I.  
Madero, 2 de Abril y 16  
de Septiembre

Fotografía No. 24

Descarga Rohom & Hass  
de México, S. A.



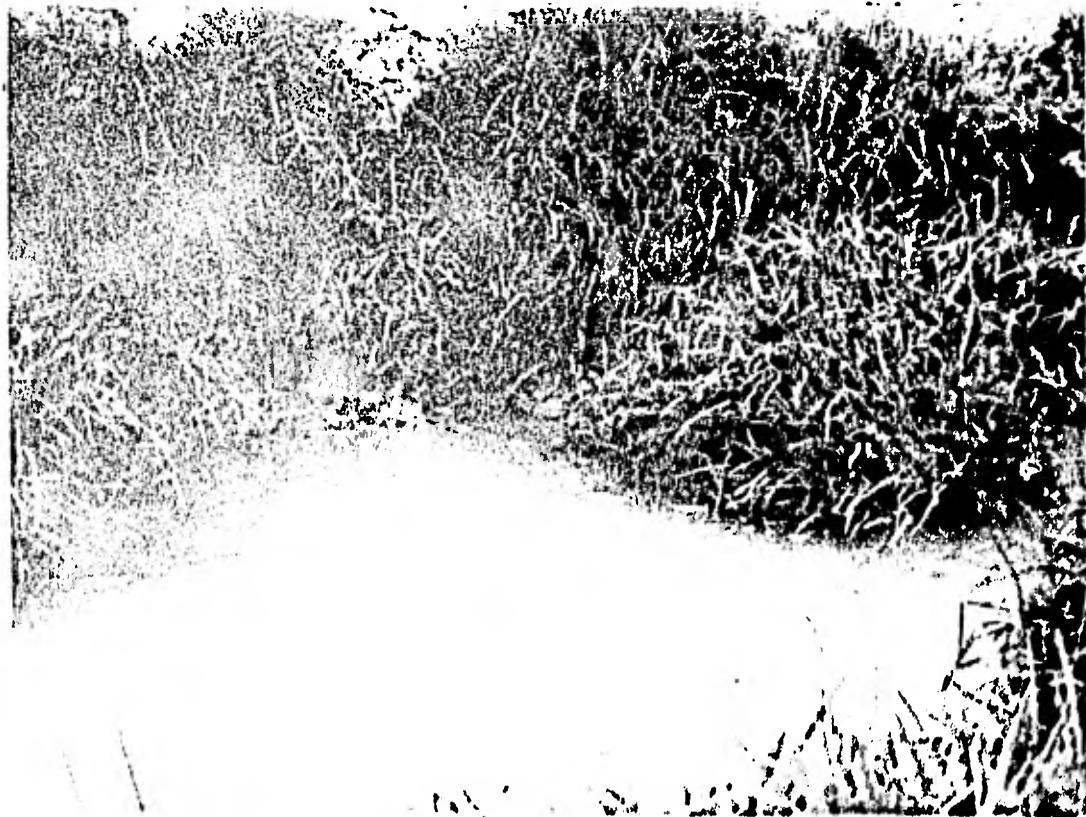


Fotografía No. 25

Descarga Rohom & Hass de México, S. A.

Fotografía No. 26

Descarga Rohom & Hass  
de México, S. A.





Fotografía No. 27

Descarga PAMOSA



Fotografía No. 28

Descarga FINES