

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE LAS CUENCAS DE LOS RIOS  
BOGOTA, UBATE Y SUAREZ - CAR

EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO Y OPERACION DE  
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS DE  
COTA

Subdirección Técnica

División de Ingeniería Ambiental:

Ernesto Carrasquilla C.  
Ernesto Sánchez T.  
Fabiola Triviño  
Carmenza Robayo A.

## INTRODUCCION.

La Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Bogotá, Ubaté y Suárez (CAR), dentro de su "Plan de Protección y Control de la Calidad del Río Bogotá-Cuenca Alta" y de acuerdo a las políticas de Saneamiento y Protección del Medio Ambiente en el área de su jurisdicción, adelanta en la actualidad un Programa de Control de las Fuentes de Contaminación prioritarias. Dentro de éste programa se destaca la construcción de los Sistemas de Tratamiento diseñados para la purificación de los vertimientos municipales. Como parte importante de esta iniciativa se incluye el control de las operaciones y el mantenimiento de los sistemas.

El Municipio de Cota se encuentra a 18 kilómetros de Bogotá, a una altitud de 2.650 m.s.n.m., con una temperatura media de 14°C, que registra variaciones entre los 12 y los 16.3°C.

El Censo de 1985 estimó una población de 3.068 habitantes en la cabecera municipal.

Este documento presenta un resumen del funcionamiento del sistema, analizando los problemas principales y las soluciones adoptadas durante los últimos años.

## DESCRIPCION DEL SISTEMA.

En agosto de 1981, la CAR puso en marcha la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Cota.

Esta consiste en un proceso biológico modificado de "Lodos Activados" y clasificado en el grupo de mezcla completa y aireación extendida.

En el transcurso de los cuatro (4) años de operación del sistema se han ejecutado diferentes inversiones en la construcción y adecuación de las unidades de tratamiento con el fin de conseguir la optimización completa.

En la Figura No.1 se observan las diferentes etapas de desarrollo de la planta.

ETAPA	EJECUCIONES
1980 - 1981	- Zanjón de oxidación - Sedimentador y - Lechos de secado
1983 - 1984	- Canal de entrada y cribado - Cepillos de aireación - Caseta de motorreductores - Estructura giratoria para retención de sólidos flotantes

- Adecuación sedimentador
  - Recirculación de lodos
  - Vertedero de aforo entre canaleta del sedimentador y pozo de descarga
  - Muro de contención
- 1985
- Construcción nuevo emisario final y colectores principales
  - Construcción de desarenador
  - Instalación de nueva bomba para recirculación de lodos
  - Compartimientos en los lechos de secado.

## DISÑO

La planta fue diseñada para un período de vida útil hasta el año de 1993, las proyecciones de población se basaron en estudios del Departamento Nacional de Planeación y se ajustaron mediante la realización de censos en la zona. Los estimativos de población para el año de 1993 fueron de 4.020 habitantes en el casco urbano, con base en una población en 1979 de 1.400 habitantes.

Se asumió, con base en las perspectivas del programa de ordenamiento urbano municipal, una muy poco significativa presencia de desarrollo industrial durante la vida útil del proyecto.

El diseño siguió la práctica recomendada en la literatura para el proceso de lodos activados con aireación extendida. Se optó por un zanjón de oxidación en forma de elipse.

Los parámetros de diseño adoptados fueron:

Para aireación extendida:

- Criterio carga orgánica
- Zanjón de oxidación
- Relación A/M 0.05 - 0.15
  - SSLM 3.000 - 5.000 mg/l
- Aireación 12 a 35 horas
- Tiempo de residencia celular 15 - 35 días.

El sistema se diseñó para operar en el modo de mezcla completa.

De acuerdo con posteriores estudios experimentales en laboratorio y tres plantas piloto, se obtuvo el siguiente valor considerado como óptimo:

Relación A/M  $0.16 \text{ d}^{-1}$

Este valor de 0.16 permitió remociones de  $\text{DBO}_5$  y DQO satisfactorias con una mínima utilización de oxígeno. La eficiencia del sistema no sufrió alteraciones significativas al aumentar la carga orgánica hasta obtener valores de la relación A/M de 0.2 - 0.25  $\text{día}^{-1}$ . Sin embargo, se requirieron mayores cantidades de oxígeno y aumentó la producción de lodos.

Al disminuir el valor  $A/M$  de  $0.16^{-1}$ , se aumentaba el tiempo de retención hidráulica y no se observó una reducción significativa en la remoción de lodos.

Para estos factores, el valor de  $A/M$  igual a 0.16 fue el adoptado, aunque la literatura generalmente cita valores de  $A/M$  entre 0.05 y 0.15.

Adoptando una concentración de sólidos en el tanque de aireación de 3.000 mg/lt y proyectando un  $DBO_5$  afluente de 219 mg/lt <sup>1]</sup>, se calculó un período de retención hidráulico de 11 horas ( Anexo 1 ).

Este diseño se elaboró de acuerdo al contenido de Diseño de la carga orgánica.

Posteriormente se revisó el diseño utilizando la ecuación para un reactor con mezcla completa, obtenida de elaborar un balance de masas (Anexo 2 ).

Este segundo procedimiento se basó en mediciones experimentales y proporcionó un valor para el tiempo de retención hidráulico de 18 horas.

Para el diseño definitivo se utilizó el tiempo de retención hidráulico que proporcionaba una mayor confiabilidad, o sea 18 horas.

Este tiempo de retención, de acuerdo a las proyecciones del caudal afluente para 1983, requirió de un volumen de diseño de  $312 \text{ m}^3$ .

---

1] INGESAM "Estudio Tratabilidad" 1980.

Los requerimientos de oxígeno se calcularon inicialmente de acuerdo a la ecuación de Eckenfelder (Anexo 3), para procesos de lodos activados. Sin embargo, este diseño inicial no consideró las demandas por nitrificación. El oxígeno requerido se calculó en  $152 \text{ KgO}_2/\text{día}$ .

#### SEDIMENTADOR.

El diseño del sedimentador se elaboró de acuerdo a las características de asentamiento del lodo, determinadas en trabajos de laboratorio y plantas piloto.

Esto proporcionó valores para la superficie de  $40 \text{ m}^2$  con una profundidad de 3 m.

#### LECHOS DE SECADO.

Se diseñaron dos lechos de secado rectangulares cuya longitud es de 18 metros y su ancho de 6 metros.

Se buscaba secar los lodos utilizando la gravedad (infiltración) y la evaporación.

#### OPERACION.

Un análisis de la operación del sistema permitió detectar los siguientes problemas:

- Era necesario construir facilidades de pretratamiento con el objeto de disminuir la entrada de sólidos de gran volumen al zanjón.
- Se notaba una presencia alta de sólidos flotantes en el zanjón.
- Se hacía necesaria una mejor recirculación de lodos para alcanzar el valor de SSLM definido en el diseño. Asimismo esta recirculación de lodos permitiría aumentar la eficiencia de la planta.
- Era necesario instalar una estructura adecuada para la medición de los caudales de salida.

Esta primera evaluación no reportó faltantes de oxígeno en el zanjón debido a que la carga orgánica afluente es menor que la de diseño, calculada para el año 1993.

#### OBRAS ADICIONALES.

Para solucionar estos problemas, durante 1983-1984 se construyó un canal de entrada con tres rejillas inclinadas  $60^\circ$  y con un espaciamiento de 2", para detener los sólidos de mayor tamaño. Este canal tiene un largo de 8 mts, un ancho de 0.70 mts. y una profundizada de 0.21 mts.

Los cepillos fueron rediseñados presentando las siguientes características:

- Longitud de cepillos 1.60 mts.
- Profundidad de inmersión 0.16 mts.
- Motorreductor 70 R.P.M.



- Velocidad del agua en el zanjón : 0.3 - 0.75 m/seg.
- Oxígeno requerido 152 kgO<sub>2</sub>/día
- Se construyó una estructura giratoria para la retención de los sólidos flotantes.

El mecanismo de retorno de lodos se construyó por medio de una bomba de eje vertical con capacidad suficiente para trabajar con la concentración de sólidos hallada en el zanjón y la de sólidos en el lodo. El zanjón, de acuerdo al diseño requiere de una recirculación del 67% del caudal afluente. Sin embargo, la bomba se instaló con el rango del 40-100% de recirculación y con una rata mínima de recirculación de 7 m<sup>3</sup>/hora.

Para la medición de los caudales de salida se construyó un vertedero de aforo entre la canaleta del sedimentador y el pozo de descarga.

La planta funcionó con las anteriores modificaciones a partir de 1984.

En este mismo año se realizó un diagnóstico del sistema de alcantarillado de Cota y se evaluó su incidencia en el funcionamiento de la planta. Se llegó a las siguientes conclusiones:

- En la parte central de municipio el sistema de alcantarillado es combinado, por lo cual existe un gran arrastre de arena y material sólido que llega directamente al reactor.
- En época de invierno gran cantidad de agua lluvia llega al zanjón disminuyendo notablemente la concentración de los SSML, y los períodos de retención.

- Existe deficiencia de niveles para el transporte de las aguas crudas en el emisario final por lo cual se producen taponamientos que impiden su llegada a la planta.
- Una gran cantidad de arena y de residuos provenientes de actividades agrícolas se depositaba en el canal de entrada al zanjón.
- Con el fin de solucionar los inconvenientes que se presentan se diseñó:
  - . Un desarenador para el caudal de emergencia a tratar en la zanja.
  - . Un vertedero de excesos, anterior al desarenador.
  - . Un emisario final para ajustar los requerimientos hidráulicos.
  - . Se subdividieron los lechos de secado para facilitar la remoción de los lodos secos.

#### MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS ANALITICOS.

Se realizó el análisis del comportamiento de la planta a partir de datos mensuales de calidad del agua.

El muestreo ha sido compuesto. Los lugares muestreados son 3:

- Canal de llegada (agua cruda)
- Zanjón de oxidación (después del cepillo de aireación en turno).
- Efluente del sedimentador secundario.

Las muestras fueron tomadas y analizadas de acuerdo a los métodos recomendados en la edición de 1984 de "Standard Methods for the examination of water and waste water 15<sup>th</sup> edition".

El análisis de los resultados de enero a julio se muestran en la Tabla No.1 . Se calcularon valores promedios, desviaciones standard y coeficientes de variación.

A partir de los datos se encontraron las eficiencias de remoción para los diferentes parámetros.

#### COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA.

Dentro del período comprendido, el primer semestre de 1985, se ha podido observar en la planta de Cota una buena remoción de carga orgánica expresada como DBO y sólidos suspendidos.

#### DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO.

De acuerdo con las experiencias realizadas en varios países la eficiencia de remoción de DBO en zanjones de oxidación podrá alcanzar del 94% al 98%. En Cota se ha obtenido una remoción promedio del 90%, la cual se incrementará con la construcción del desarenador el cual amortiguará la variación de caudales y sus concentraciones en el caso de exceso de aguas lluvias.

Hasta el momento, un 95% del tiempo el efluente presenta valores menores o iguales a 54 mg/lit, los cuales son un poco altos, ya que inicialmente se había considerado que en un 95% del tiempo el efluente de la planta debería ser menor o igual a 45 mg/lit. Sin embargo, el 50% del tiempo el  $\text{DBO}_5$  en el efluente fue menor o igual a 23.0 mg/lit, lo cual no se aparta significativamente de valores medios reportados en la literatura <sup>2]</sup> de menos de 20 mg/lit.

#### SOLIDOS SUSPENDIDOS.

La remoción promedio de sólidos suspendidos totales fue de un 94%. El 95% del tiempo se obtuvieron valores iguales o menores a 92 mg/lit. El 50% del tiempo, el valor de la concentración de sólidos suspendidos en el efluente fue menor o igual a 23 mg/lit.

El valor del 95 percentil es alto, de acuerdo a las condiciones de vertimiento para el río. Sin embargo, el valor del 50 percentil se encuentra muy cerca a los valores presentados a la literatura (menor o igual a 20 mg/lit) <sup>2</sup>.

Se espera mejorar la remoción mediante la construcción de la estructura de entrada.

---

2] The Activated Sludge Process. State of the Art.  
W.W. Eckenfelder CRC Critical Review in Environmental Control.  
Vol. 15 Issue 2 RIII-178. 1985 CRC Press Inc.

## NITROGENO.

### Nitrógeno total Kjeldahl.

En promedio, el sistema presentó remociones del 67% en Nitrógeno total Kjeldahl. El valor promedio de NTK en el efluente fue de 19.17, con una desviación standard de 17.19. Esta variación es bastante alta. Esta puede explicarse debido a que las variaciones en el caudal afluyente pueden hacer variar la localización de las zonas anóxicas en el zanjón. Cuando hay variaciones marcadas en el tamaño de las zonas anóxicas, se pueden esperar variaciones sustanciales en la remoción de nitrógeno.

Sin embargo, el contenido de Nitrógeno total Kjeldahl en el efluente cumple con lo requerido, ya que un 95% del tiempo las concentraciones en el efluente son menores o iguales a 41 mg/lit (solicitado, 45 mg/lit).

El 50% del tiempo el valor de NTK en el efluente es menor o igual a 10 mg/lit, lo que se compara favorablemente con la literatura<sup>2]</sup> (15 mg/lit).

### NITROGENO AMONIACAL.

El promedio de remoción de nitrógeno amoniacal fue del 65.7%. Un 95% del tiempo las concentraciones en el efluente fueron menores o iguales a 30 mg/lit. Un 50% del tiempo las concentraciones de

---

2] Idem.

Nitrógeno Amoniacal fueron menores o iguales a 5.5 mg/lit. Estas concentraciones se consideran satisfactorias.

#### NITRATOS.

La remoción de nitratos fue, en promedio, del 32.8%. Sin embargo, las concentraciones en el efluente fueron muy bajas, con un 95 percentil de 1.35 mg/lit. y un 50 percentil de 0.80 mg/lit. Estos valores no ocasionarán problemas.

#### COLIFORMES.

La planta presentó remociones de coliformes totales y fecales del orden del 98 y 99%. Sin embargo, las concentraciones de coliformes en el efluente son aún muy altas.

Para coliformes fecales, el 95 percentil fue de  $20.5 \times 10^5$  y el 50 percentil de  $8 \times 10^5$ .

#### OPERACION.

Las lluvias y la falta de un vertedero para excesos, ocasionaran que en algunas ocasiones fuera necesario liberar un caudal más alto de la planta, la cual causó algunas pérdidas dentro de los sólidos

suspendidos volátiles del licor mixto. El vertedero en construcción subsanará este problema.

Sin embargo, y pese a las flucturaciones presentadas, el zanjón mantuvo un comportamiento bastante satisfactorio y estable, a juzgar por las concentraciones encontradas en el efluente.

#### TIEMPO DE RETENCION DE SOLIDOS.

El tiempo calculado de retención de sólidos fue un promedio de 12.6 días (Anexo 4 ) suficiente para mantener los microorganismos responsables de la nitrificación.

#### COSTOS.

Los costos de operación para la planta de Cota se han calculado anualmente en:

	\$ DE JUNIO 1985
Celaduría y Operación	544.000
Energía	800.000
Mantenimiento	50.000
	<hr/>
	1'394.000

## COSTOS DE CAPITAL.

En caso de construir la planta de Cota en la actualidad los costos serían de unos VEINTIUN MILLONES DE PESOS, (\$21'000.000.00).

## PROBLEMAS.

El mantenimiento del equipo mecánico ha causado ciertos problemas a la Corporación debido a los trámites administrativos requeridos por el estado, las acciones no son tan ágiles y flexibles como es deseable en este tipo de plantas.

Se han presentado problemas debidos a fluctuaciones en el voltaje para el municipio de Cota, las cuales afectan adversamente los equipos eléctricos del sistema.



## CONCLUSION.

Desde el punto de vista de remociones de carga orgánica ( $\text{DBO}_5^{20}$ ) y sólidos suspendidos, el sistema presentó durante el primer semestre de 1985 un rendimiento aceptable. Comparado con los valores reportados en la literatura, el sistema se encuentra dentro de los rangos normales de operación.

Las concentraciones de coliformes son preocupantes en el efluente del sistema, como podría esperarse para este tipo de tratamiento, desarrollado en países industrializados donde el interés se centraba en la remoción de carga orgánica y sólidos suspendidos únicamente.

Es importante dotar a este tipo de sistema de un pretratamiento adecuado, que permita la remoción de arenas y también la amortiguación de las variaciones en el efluente.

Los costos de operación y mantenimiento de partes mecánicas son algo elevados. Se requiere asimismo de un sistema de desinfección del efluente.

Posteriormente se efectuará una nueva evaluación con las nuevas obras en funcionamiento.

## ANEXO 1

$$F/M = \frac{Q S_o}{X_v V} = \frac{S_o}{X_v (V/Q)} = \frac{S_o}{X_v t}$$

$$t = \frac{S_o}{X_v F/M} = \frac{219}{(3000) 0.16} = 0.46 \text{ días}$$

$$= 11 \text{ horas}$$

Caudal Afluente	=	415 m <sup>3</sup> /día = Q
Concentraciones Afluente	=	219 mg/lt = S <sub>o</sub>
Concentraciones Efluente	=	10 mg/lt = S <sub>e</sub>
X <sub>v</sub>	=	3000 mg/lt

## ANEXO 2

$$\frac{S_o - S_e}{X_v t} = K S_e$$

$$K_t = K_{20^\circ}^{T-20}$$

De acuerdo a análisis experimentales

$$K_{16^\circ} = 0.017 \text{ día}^{-1}$$

$$K_{20^\circ} = \frac{0.017}{(1.075)^{16-20}} = 0.0227 \text{ día}^{-1}$$

Para el diseño en condiciones críticas o sea con temperatura mínima, se tomaron 8°C

$$K_{8^\circ} = 0.0227 (1.075)^{8-20} = .0095$$

$$K_{8^\circ} = \frac{S_o - S_e}{X_v S_{e_t}}$$

$$t = \frac{S_o - S_e}{X_v K_{8^\circ} S_e}$$

Continuación Anexo 2

$$t = \frac{219 - 10}{3000 \times 0095 \times 10} = 0.73 \text{ días}$$

$$t = 0.73 (24) = 17.6 \text{ horas} \approx 18 \text{ horas}$$

## ANEXO 3

$$R_{rV} = a' SrQ + b'XvV$$

$a'$  y  $b'$  se determinaron experimentalmente

$$a' = 1.21$$

$$b' = 0.054$$

$$R_{rV} = 1.21(219-10) 415 \left( \frac{1}{1000} \right) + (0.054) (3000) (312) \left( \frac{1}{1000} \right)$$

$$= 152 \text{ Kg } O_2/\text{día}$$

## ANEXO 4

$$\text{Tiempo de retención de sólidos} = \frac{\text{Masa de sólidos suspendidos del licor mixto}}{\text{Rata de pérdida del licor mixto}}$$

Utilizando valores promedio, el tiempo de retención de sólidos es:

$$\frac{4.168 \times 312 \text{ Kg}}{103 \text{ Kg / día}} = 12.5 \text{ días}$$

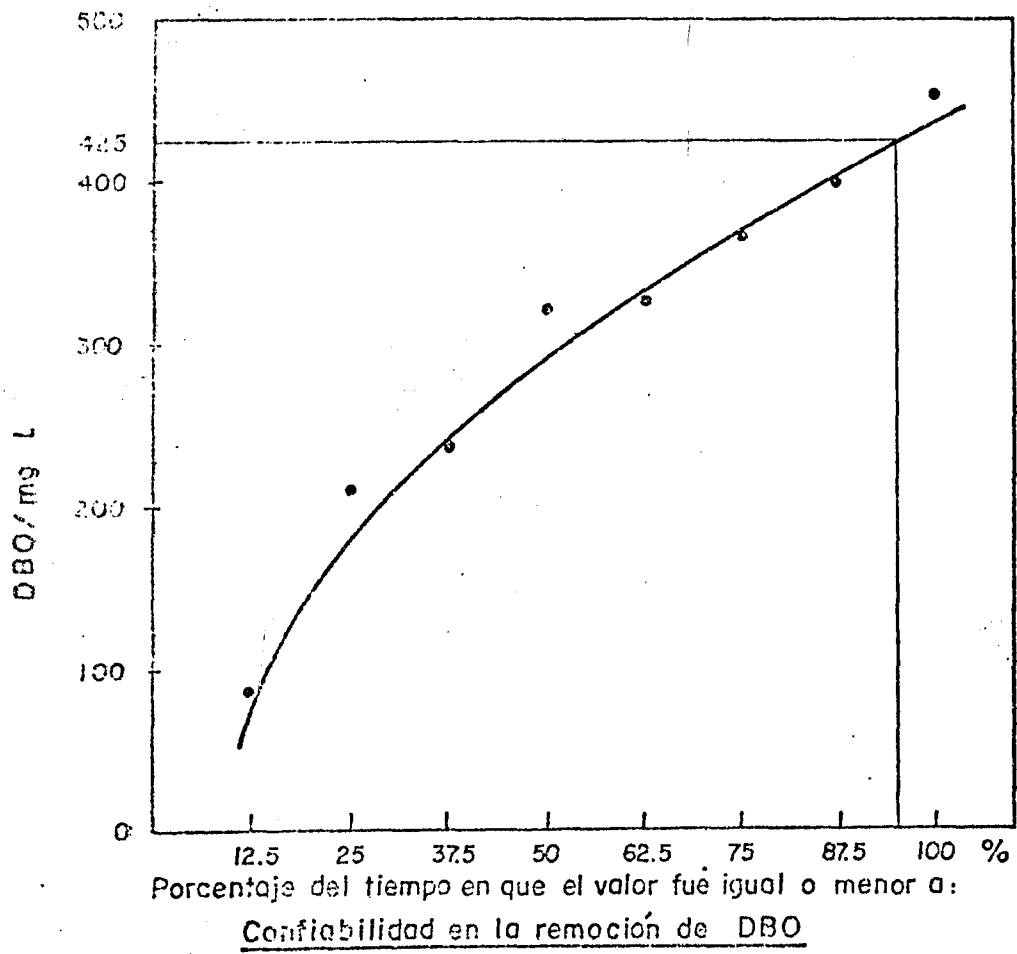


FIGURA 1 - b

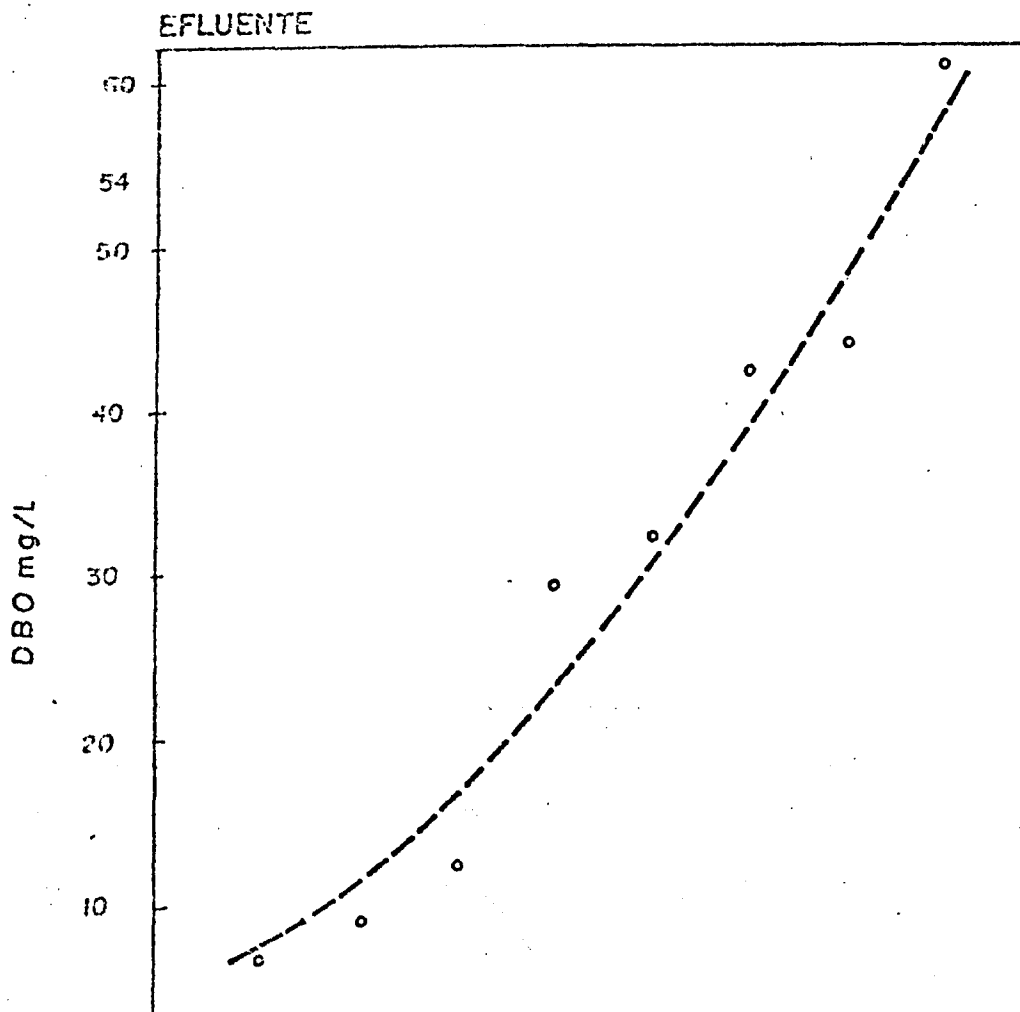
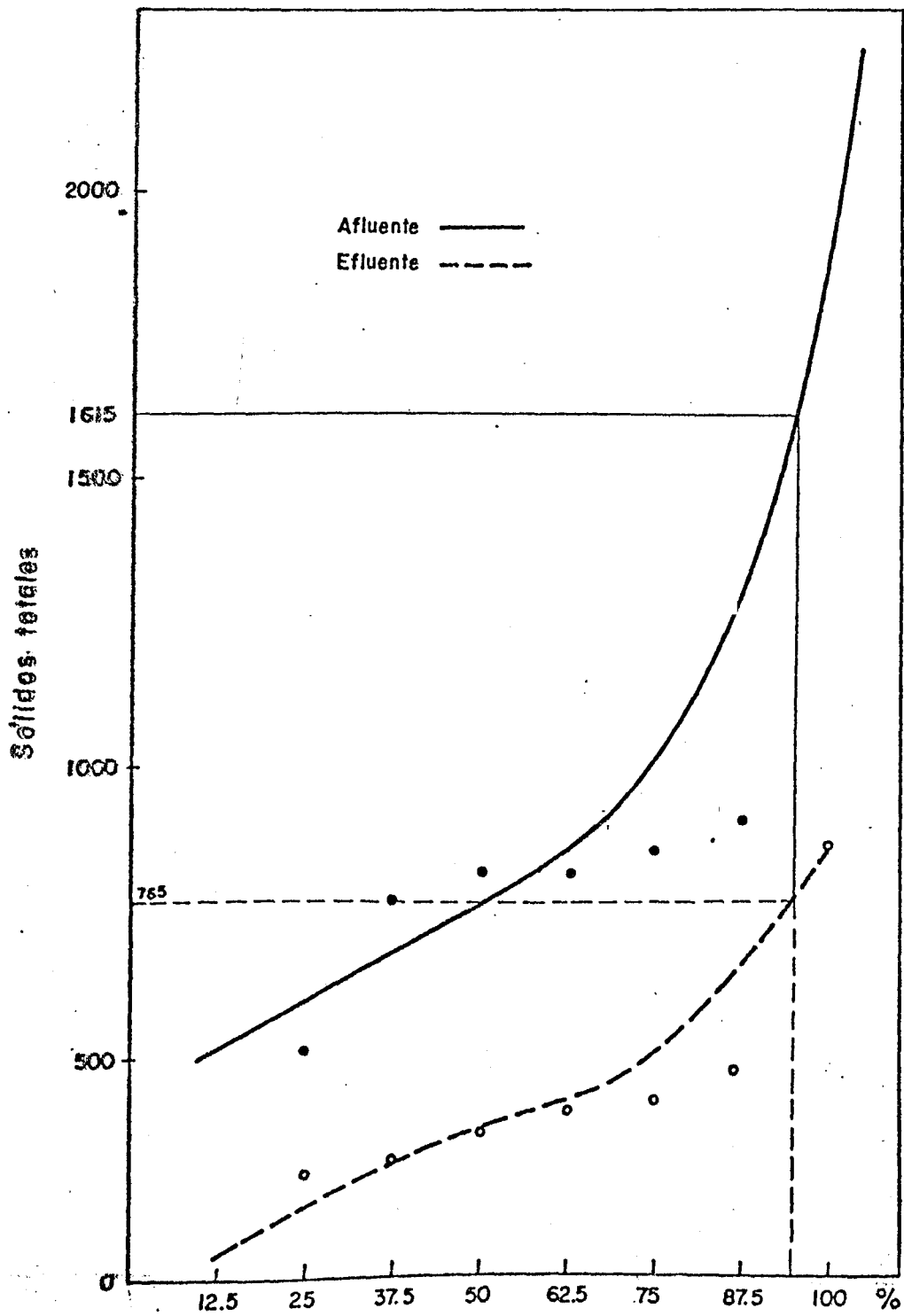


FIGURA 2

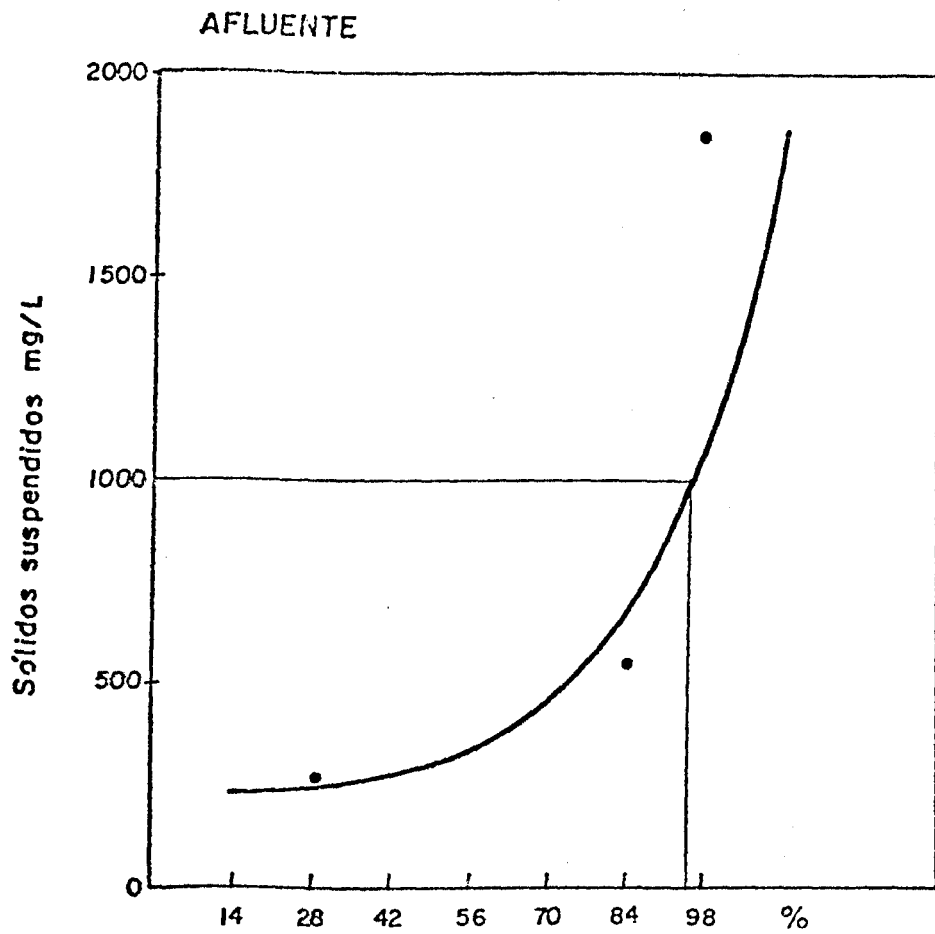
Confiabilidad de la Planta en la remoción de sólidos totales



Porcentaje del tiempo en el que el valor fue igual o menor a :



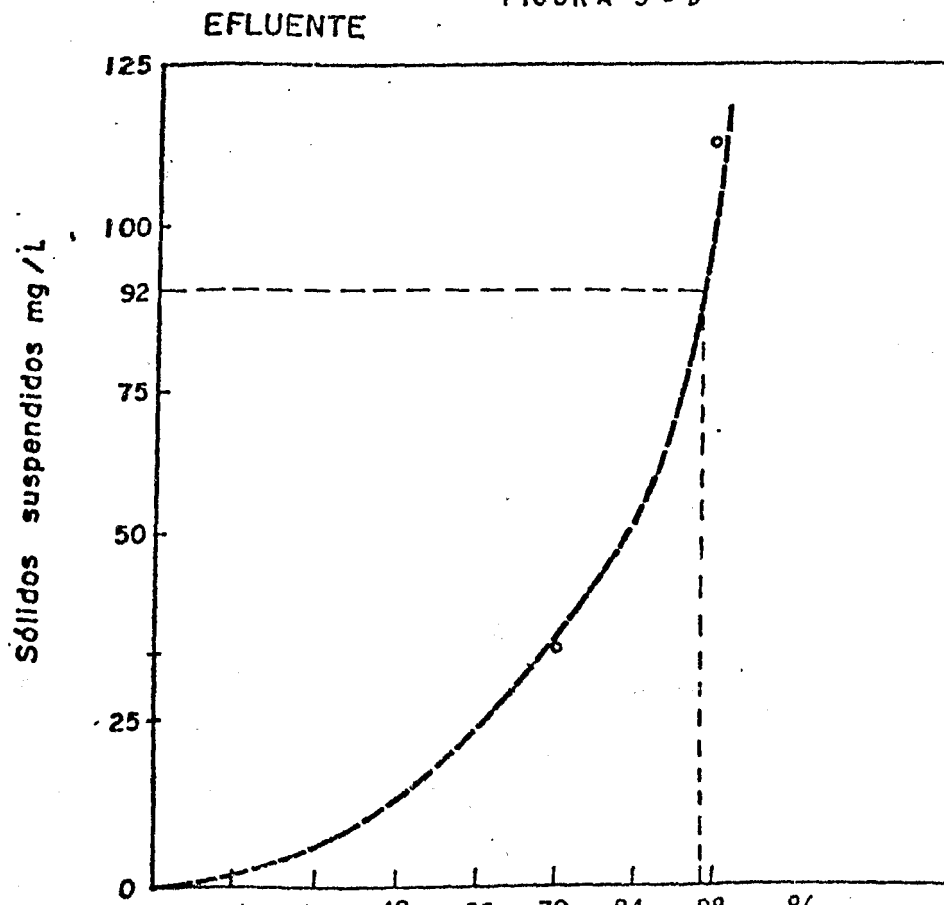
FIGURA 3-a



Porcentaje del tiempo en que el valor fue igual o menor a:

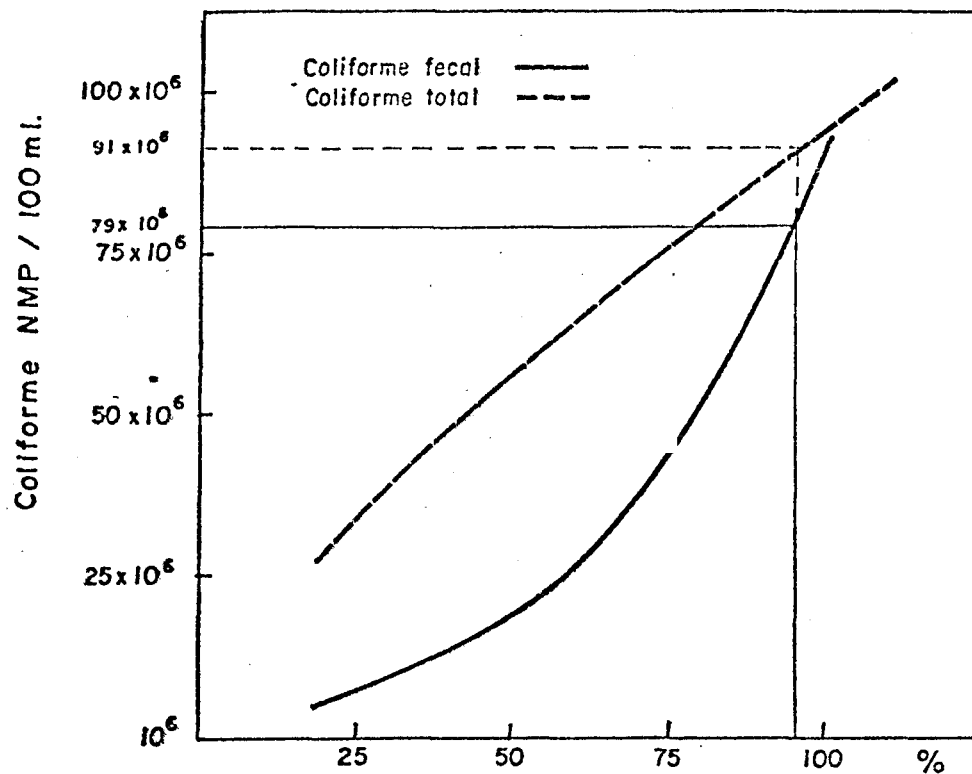
Confiabilidad de la Planta en la remoción de sólidos suspendidos

FIGURA 3 - b



Distribución de coliformes en el afluente

AFLUENTE

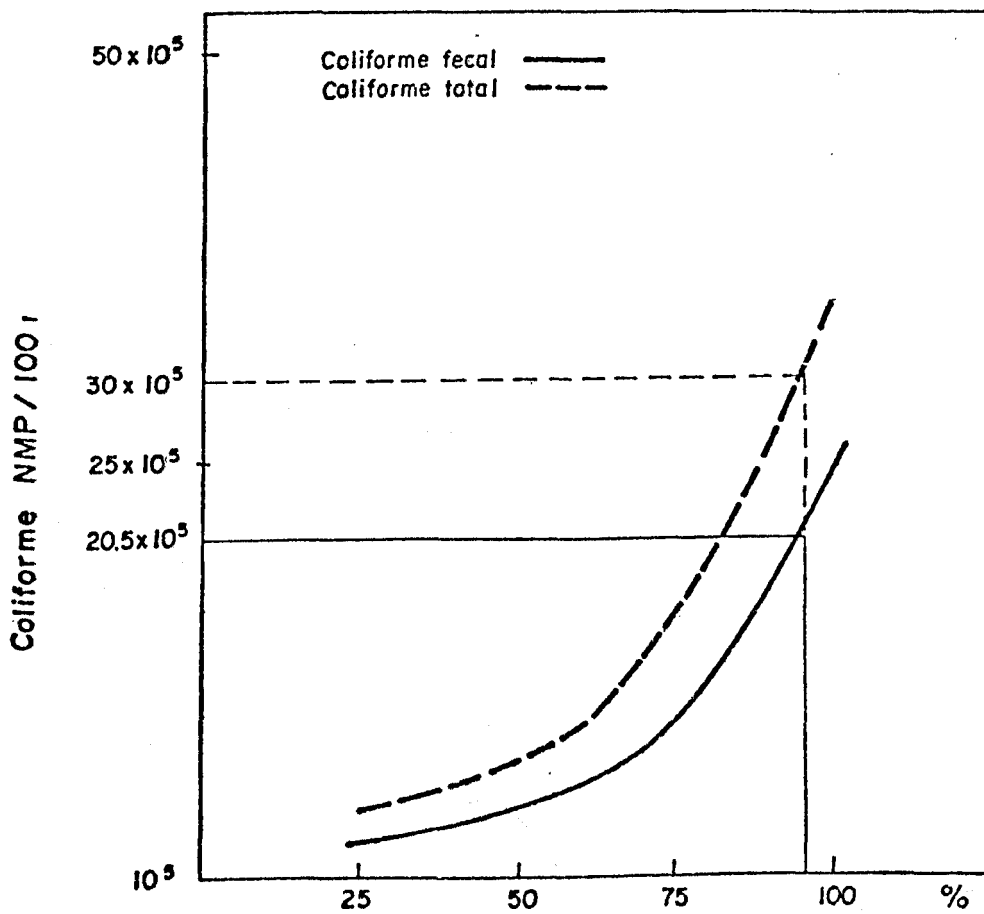


Porcentaje del tiempo en que el valor fue igual o menor a:

FIGURA 4-b

Confiabilidad de la Planta en la remoción de coliformes

EFLUENTE





Confiabilidad de la Planta en la remoción de Nitrógeno total y amoniacal

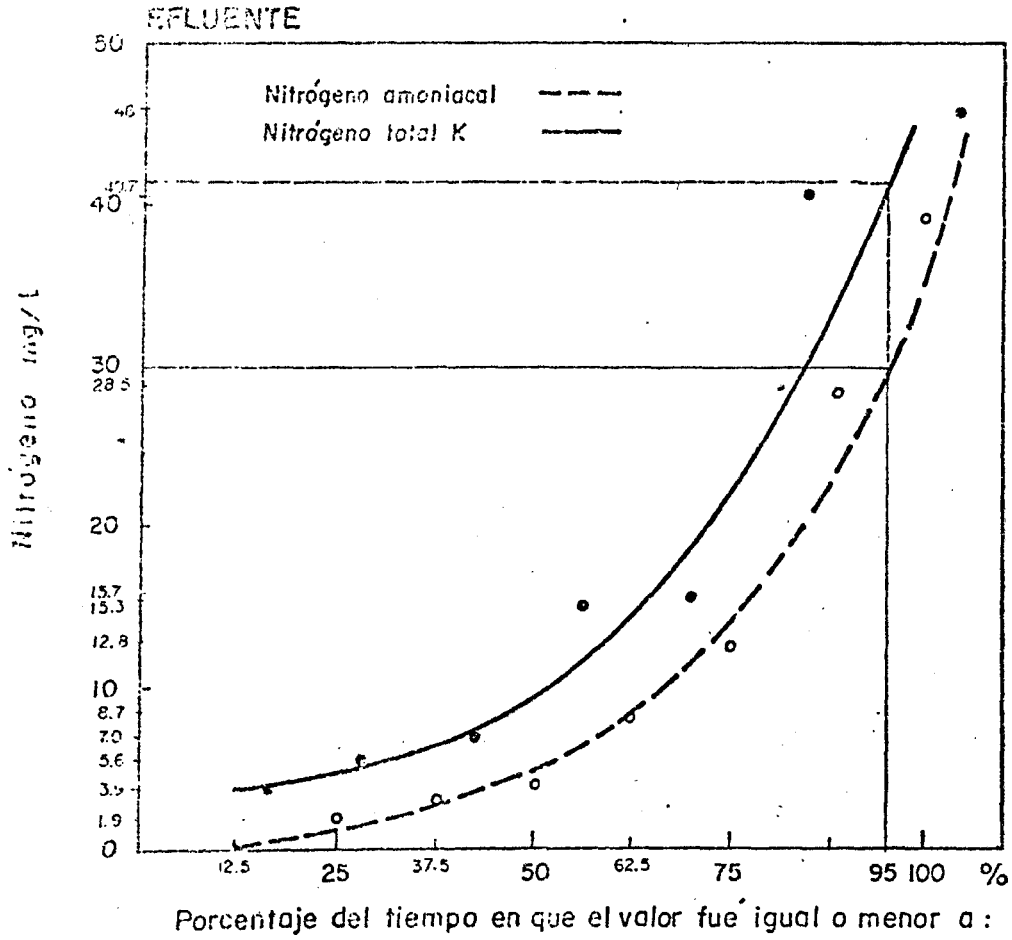


FIGURA 6

Nitratos

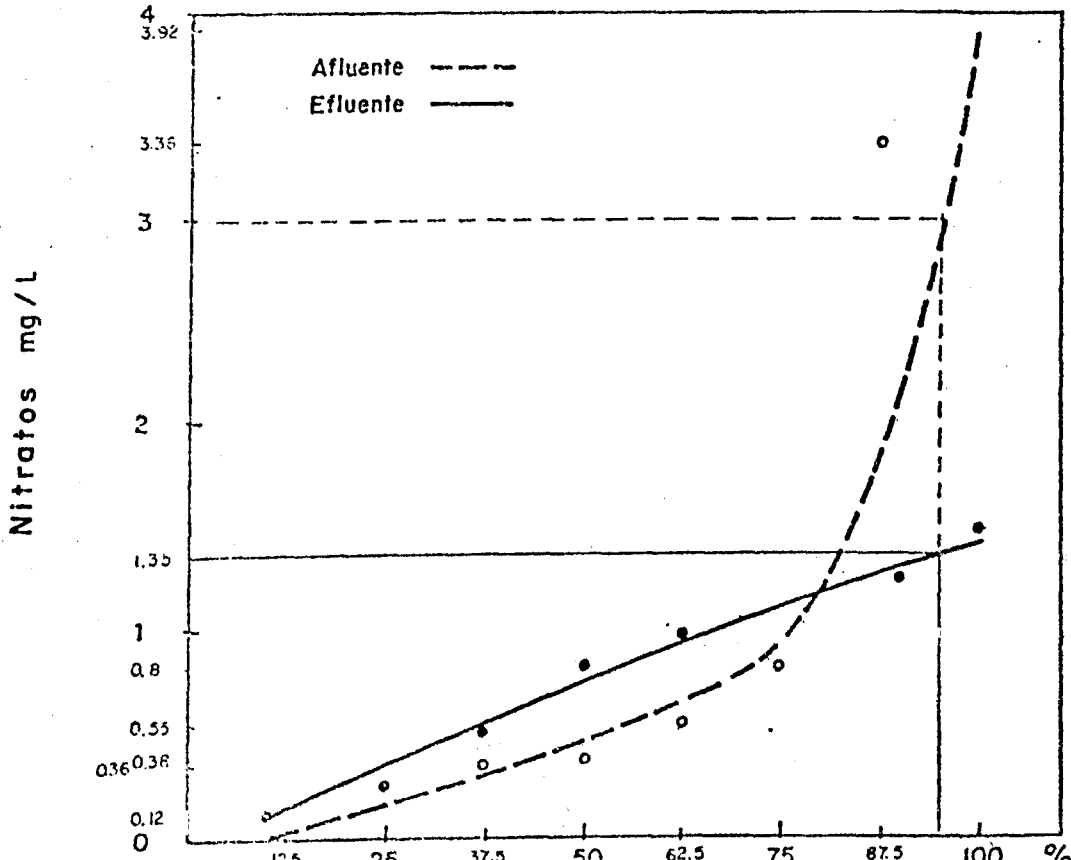
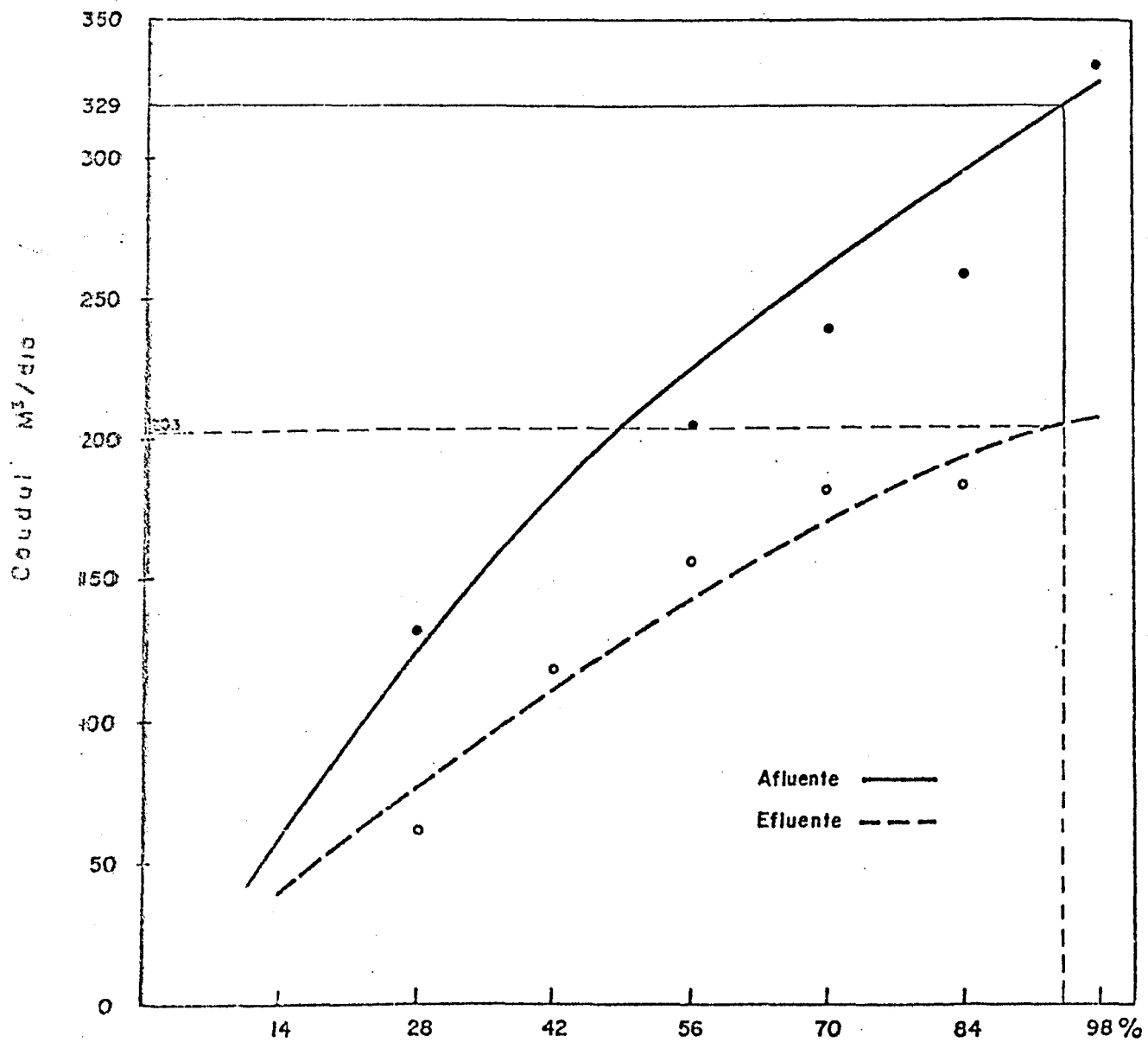


FIGURA 7  
DISTRIBUCION DE CAUDALES



Porcentaje del tiempo en que el valor fue igual o menor a :



Centro de Documentación Ambiental

CDCA



00089