

**REUSO EN ACUICULTURA DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS
EN LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE SAN JUAN**

Sección II

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
Y ASPECTOS SANITARIOS**

**Ing. Julio Moscoso Cavallini
Oficial del Proyecto**

**Ing. Guillermo León Suematsu
Investigador, Tratamiento de Aguas Residuales**

**Blga. Elena Gil Merino
Investigadora, Control Sanitario**

**Ing. Alberto Flórez Muñoz
Director**

TABLA GENERAL DE CONTENIDO

- SECCION I: Resumen Ejecutivo
SECCION II: Tratamiento de aguas residuales y aspectos sanitarios
SECCION III: Acuicultura
SECCION IV: Factibilidad Técnica, Económica y Social

INVESTIGADORES

Ing. Julio Moscoso	Oficial del Proyecto
Ing. Hugo L. Nava	Investigador Principal
Ing. Luis Egocheaga	Investigador Asociado en Aspectos Socio-económicos
Ing. Guillermo León	Investigador Asociado en Tratamiento de aguas
Blga. Elena Gil	Investigadora Asociada en Control Sanitario
Ing. Julia Gonzáles	Investigadora Asociada en Control Químico
Blga. Margarita Aurazo	Investigadora Asociada en Control Biológico

ASESORES

Dr. Carl Bartone	Asesor en Ingeniería Sanitaria
Dr. Peter Edwards	Asesor en Acuicultura
Dra. Netty Buras	Asesora en Salud Pública
Dr. Max Agüero	Asesor en Economía
Dr. Mark Prein	Asesor en Evaluación Estadística

TABLA DE CONTENIDO

	ABSTRACT	2
1.	RESUMEN	2
2.	INTRODUCCION	3
3.	MATERIALES Y METODOS	3
3.1	Descripción del sistema de tratamiento	3
3.2	Cronología del proyecto	4
3.3	Operación del sistema de tratamiento	4
3.3.1	Modelo de cargas orgánicas superficiales para lagunas primarias	4
3.3.2	Modelo de flujo disperso para predicción de calidad bacteriológica	5
3.4	Mediciones de campo	6
3.4.1	Geometría de las lagunas	6
3.4.2	Caudales	6
3.4.3	Temperatura del agua	6
3.5	Análisis físico-químicos	7
3.6	Análisis microbiológicos	7
3.6.1	Toma de muestras	7
3.6.2	Técnicas y procedimientos	7
3.7	Análisis toxicológicos	9
4.	RESULTADOS	9
4.1	Cargas hidráulicas y orgánicas del sistema de tratamiento	9
4.2	Parámetros físico-químicos del agua del sistema de tratamiento	9
4.3	Parámetros microbiológicos	9
4.3.1	Parásitos	9
4.3.2	Bacterias	10
4.3.3	Virus	10
4.4	Calidad sanitaria de los peces	11
4.5	Parámetros toxicológicos	11
5.	DISCUSION	12
5.1	Cargas hidráulicas del sistema de tratamiento	12
5.2	Carga orgánica y remoción en el sistema de tratamiento	13
5.3	Parásitos y virus en el sistema de tratamiento	14
5.4	Bacterias en el sistema de tratamiento	15
5.5	Calidad sanitaria de los peces	17
5.6	Modelo de predicción de la calidad bacteriológica de efluentes	19
5.7	Programa de monitoreo y recomendaciones para el manejo del sistema de tratamiento	20
6.	CONCLUSIONES	23
7.	REFERENCIAS	24

RELACION DE CUADROS

- II-1 Programa de monitoreo del Proyecto Reuso en acuicultura de las aguas tratadas de estabilización de San Juan de Miraflores, Lima, Perú
- II-2 Cargas hidráulicas aplicadas al sistema de lagunas de estabilización. Valores promedio por experimento
- II-3 Valores promedio de los parámetros físico-químicos medidos en el sistema de lagunas de estabilización en todo el período experimental del 4 de julio de 1988 al 9 de abril de 1990 (mg/l)
- II-4 Análisis cualitativo de enteroparásitos detectados en las lagunas de estabilización
- II-5 Características microbiológicas del efluente terciario
- II-6 Serotipificación de cepas de Salmonella aisladas del efluente terciario y los estanques de acuicultura
- II-7 Detección de enterovirus en el sistema de lagunas de estabilización, estanques de acuicultura y peces cultivados
- II-8 Calidad sanitaria de los peces cultivados, según la clasificación propuesta por Buras (1987), en porcentaje
- II-9 Calidad sanitaria de los peces cultivados, según especificaciones para alimentos de la ICMSF
- II-10 Niveles de metales pesados y PCBs en lodos de la laguna terciaria y estanques acuícolas de los estanques y peces cultivados
- II-11 Niveles de pesticidas detectados en agua y lodos de los estanques acuícolas y en las vísceras (hígado y gonadas) de los peces cultivados en el experimento 1 (ng/l o kg)
- II-12 Carga orgánica aplicada al sistema de lagunas de estabilización (kg DBO₅ total/ha/día)
- II-13 Variación histórica de las características del crudo de las lagunas de estabilización de San Juan
- II-14 Promedios geométricos y remoción acumulada de coliformes fecales en el sistema de lagunas de estabilización
- II-15 Promedios geométricos de coliformes fecales en el efluente y en los estanques de acuicultura

RELACION DE GRAFICOS

- II-1 Ubicación de la Unidad de Acuicultura en el Complejo de las Lagunas de Estabilización de San Juan
- II-2 Caudal de ingreso al sistema de lagunas de estabilización de San Juan
- II-3 Cargas superficiales en el sistema de lagunas
- II-4 Temperatura del agua de sistema de lagunas de estabilización de San Juan
- II-5 Remoción de coliformes fecales en el sistema de estabilización
- II-6 Remoción de coliformes fecales en el sistema de lagunas
- II-7 Indicadores bacterianos en el efluente terciario y estanques de acuicultura
- II-8 Colifagos en efluentes terciarios y estanques acuícolas
- II-9 Distribución de probabilidad acumulada. Carga superficial de DBO_5 lagunas primarias
- II-10 Diferencia entre la carga aplicada y carga calculada para el sistema
- II-11 Distribución de frecuencias acumuladas de DBO_5 en el crudo
- II-12 Distribución de probabilidad acumulada de coliforme fecal - Efluente terciario
- II-13 Distribución de probabilidad acumulada de coliforme fecal - estanques de acuicultura
- II-14 Tasas de mortalidad de coliformes fecales de lagunas de estabilización
- II-15 Validación del modelo de predicción de calidad bacteriológica de efluentes

RELACION DE ANEXOS

- A. Variación histórica de parámetros físico-químicos en el sistema de tratamiento
- B. Análisis microbiológico de peces cosechados en San Juan

ABSTRACT

The rearing of fish in wastewater fed ponds is a common practice used in some Asian countries. Although interesting for the generation of food at the same time that wastes are treated, this scheme is not advisable from the sanitary point of view for the risk that fish becomes a vehicle for disease transmission to humans.

In this project the possibility of improving these systems by treating the wastewater prior to its use in aquaculture is studied. An aquaculture farm was built connected to tertiary effluents of a battery of stabilization lagoons at San Juan, located south of Lima. The research program covered 4 experiment trials with Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) from July 1988 to April 1990.

A complete set of water quality, biological and sanitary parameters were regularly monitored in the treatment systems, fishponds and fish itself. At the end of the research program, it was concluded that the treatment system could be configured to obtain a suitable water quality for aquaculture.

In order to minimize the risk of contamination in the fish muscle and allow its human consumption. The study recommends that the maximum level of fecal coliforms in the fishponds should be 1×10^4 MPN/100 ml and that this level could be achieved by using stabilization effluents with fecal coliform concentrations under 1×10^5 MPN/100 ml.

In this study aspects like stabilization pond design and operation are detailed, also their implications in the sanitary aspects.

1. RESUMEN

El cultivo de peces en estanques que reciben aguas residuales es un esquema usado en varios países asiáticos. Si bien resulta interesante la posibilidad de generar alimento, a la vez que se tratan las aguas residuales de las áreas urbanas, el esquema es objetable desde el punto de vista sanitario por el riesgo de que los peces resulten contaminados en esos estanques y transmitan enfermedades a los consumidores.

En el presente proyecto se estudia la posibilidad de conseguir peces sanitariamente aceptables, tratando previamente las aguas residuales. Para el efecto se construyó una granja de peces, abastecida con efluentes terciarios de una batería de lagunas de estabilización ubicada dentro del Complejo de Lagunas que opera en San Juan, al sur de Lima, Perú. El programa de investigación comprendió 4 cultivos experimentales de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), realizados desde julio de 1988 hasta abril de 1990.

Se implementó un grupo completo de parámetros físico-químicos, biológicos y sanitarios los que fueron regularmente evaluados en el sistema de tratamiento, estanques de cultivo, lodos y peces. Concluido el programa de investigaciones se llegó al convencimiento que el sistema de tratamiento de aguas residuales en lagunas de estabilización resulta apropiado para obtener un efluente con la calidad sanitaria requerida por la acuicultura.

A fin de minimizar el nivel de riesgo de contaminación de la tilapia nilótica por bacterias en el músculo, y permitir por tanto su consumo humano directo, el estudio recomienda un nivel máximo de coliforme fecal en los estanques acuícolas que debe ser de 1×10^4 NMP/100ml y que este nivel podía conseguirse con el uso de efluentes con colimetría no mayor de 1×10^5 NMP/100ml.

En el estudio se detallan aspectos de diseño y operación de lagunas de estabilización, así como sus implicancias en los aspectos de salud.

2. INTRODUCCION

Evaluaciones de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1985) señalan que en América Latina sólo el 10% de las aguas servidas colectadas en alcantarillados reciben tratamiento antes de descargarse en algún cuerpo de agua, lo que significa que más de 400 m³/s de aguas servidas vienen contaminando el medio ambiente.

Por otro lado, la escasez de agua está obligando a los agricultores a usar las aguas residuales crudas para irrigar cerca de 300,000 ha en la Región. Por citar algunos ejemplos, mencionaremos el caso de Ciudad de México donde unas 85,000 ha de

terreno que cubren seis distritos de riego son cultivadas con aguas residuales. Strauss y Blumenthal (1990) estiman que el uso de los desagües crudos llegue al 80% (40 m³/s) del riego del valle durante la época de sequía. Las autoridades restringen la agricultura en estas áreas a sólo algunos cultivos como maíz, frijoles y alfalfa. También tenemos el caso de Lima donde cerca de 2,300 ha son irrigadas con aguas residuales sin tratar. Adicionalmente, en el Perú existen identificadas más de 30 lugares en la franja desértica de la costa donde la agricultura se sustenta básicamente en aguas servidas.

Esto ocurre mientras América Latina se debate en una profunda crisis económica y grandes sectores de la población viven hacinados y sumidos en la pobreza en las zonas marginales de las grandes urbes. En estas condiciones, la descarga de aguas residuales al medio ambiente constituye un gravísimo problema sanitario y potencial vehículo de transmisión de enfermedades endémicas.

Queda claro que en las ciudades existen dos requerimientos paralelos. Por un lado, la necesidad de eliminar las aguas residuales y, por otro, la conveniencia de reutilizar estas aguas en beneficio de la comunidad. Pero esta casi obvia asociación de objetivos no pueden ser alcanzados simplemente con introducir aguas residuales crudas a estanques de peces o campos agrícolas, debido al riesgo de propagar enfermedades gastrointestinales.

Resulta imprescindible interponer entre ambos requerimientos una forma de tratamiento que pueda remover eficientemente los parásitos, bacterias y virus patógenos, a la par de mantener los nutrientes de las aguas aprovechables en la acuicultura y la agricultura. Además este sistema de tratamiento debe ser de tecnología sencilla, con un mínimo de requerimientos de equipos, energía y mano de obra muy tecnificada. Estas características que le permiten adecuarse a los países en vías de desarrollo son cumplidas por las lagunas de estabilización, por lo que la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomienda como primera opción este sistema a los países de la Región, siempre que se disponga de suficiente área para su ubicación.

El programa de investigación del presente proyecto tuvo el propósito de estudiar el reciclaje de las aguas residuales a través de la acuicultura, basándose en criterios de bioingeniería, salud pública y socioeconómicos, que permitan diseñar un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales/acuicultura y un esquema de monitoreo que certifique la calidad del producto, de tal forma que sea aplicable a los países en vías de desarrollo.

Los objetivos generales fueron:

- a) Efectuar un manejo de las lagunas de estabilización, que permita obtener un efluente adecuado para la acuicultura en términos de calidad sanitaria y fertilidad.
- b) Evaluar la calidad sanitaria de los peces cultivados con aguas residuales tratadas y establecer protocolos para certificar su aptitud para consumo humano directo.
- c) Determinar la máxima producción piscícola, al introducir a los estanques un efluente de lagunas de estabilización que estimule la productividad natural, sin generar condiciones ambientales adversas a los peces y los consumidores.
- d) Conducir un estudio socioeconómico para evaluar el potencial de desarrollo del sistema de tratamiento de aguas residuales-acuicultura en condiciones tropicales y subtropicales.

Los resultados obtenidos de este programa de investigación han sido divididos en tres secciones con diferentes enfoques.

En la presente sección se cubren los aspectos relacionados con el tratamiento de aguas residuales y la calidad sanitaria de los peces, tendientes a cubrir los siguientes objetivos específicos:

1. Configurar y operar un sistema de tratamiento de aguas residuales en lagunas de estabilización que permita obtener un efluente adecuado para el cultivo del pez Tilapia del Nilo, en términos de calidad sanitaria y fertilidad.
2. Evaluar la calidad sanitaria de los peces cosechados en los cultivos experimentales y determinar la factibilidad de su consumo directo.
3. Monitorear el sistema de tratamiento/reuso a fin de determinar el manejo más eficiente y establecer un protocolo práctico de análisis para su control.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del sistema de tratamiento

El Complejo de lagunas de estabilización de San Juan opera desde 1964 y está constituido por 20 lagunas que cubren un área de espejo de agua de 20 ha y reciben en promedio 300 lps de aguas servidas de poblaciones conocidas como Pamplona Baja y Ciudad de Dios. Los efluentes tratados irrigan 280 ha de bosques y otras 200 ha de tierras de cultivo. En estas instalaciones se han realizado

diversos proyectos de investigación, incluyendo los estudios preliminares en Acuicultura efectuados entre los años 1982 - 1983.

El agua requerida por la Unidad de Acuicultura fue derivada de una batería conformada por dos lagunas primarias operando en paralelo y con un área conjunta de 1.14 ha. Estas se conectaban con dos lagunas secundaria y terciaria, conectadas en serie, con áreas de 1.84 y 1.0 ha, respectivamente (Gráfico II-1).

3.2 Cronología del proyecto

Entre el 4 de julio 1988 y el 9 de abril 1990 se ejecutaron cuatro cultivos experimentales de peces, diseñados con el propósito de establecer los parámetros técnicos y económicos que permitiesen estructurar modelos de desarrollo de tratamiento de aguas residuales y su reuso en acuicultura.

El programa de investigación comprendió los siguientes cultivos experimentales de peces:

Experimento	Estación	Período
1	invierno	04.07.88 al 05.12.88
2	verano	09.01.89 al 01.05.89
3	invierno	05.06.89 al 06.11.89
4	verano	18.12.89 al 09.04.90

El monitoreo del sistema de tratamiento se inició antes de la ejecución de los cultivos experimentales, a fin de evaluar el período de estabilización de las lagunas.

3.3 Operación del sistema de tratamiento

3.3.1 **Modelo de cargas orgánicas superficiales para lagunas primarias**

Para la determinación de la carga superficial se utilizó el modelo para lagunas facultativas propuesto por Yánez (1980-82), que se basa en el análisis de NH_3 y la carga superficial de DBO_5 aplicada a lagunas primarias en San Juan:

$$C_{\text{Smáx}} = 357.4 \times 1.085^{(T-20)} \quad (1)$$

$C_{\text{Smáx}}$: Carga Máxima de DBO_5 aplicable a una laguna facultativa (Kg $\text{DBO}_5/\text{Ha.día}$)

T : Temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$)

3.3.2 Modelo de flujo disperso para predicción de calidad bacteriológica

Para la predicción de calidad bacteriológica en términos de coliformes fecales se utilizó el modelo de flujo disperso, cuya aplicación en reducción bacteriana ha sido propuesta por investigadores como Dissanayake (1981), Polprasert y Bhattarai (1985), Yáñez (1986) y Sáenz (1987) entre otros, con las siguientes fórmulas:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{4ae^{(1/2d)}}{(1+a)^2 e^{(a/2d)} - (1-a)^2 e^{(-a/2d)}} \quad (2)$$

$$a = (1 + 4.K.R.d)^{(1/2)} \quad (3)$$

N : Coli fecal en efluente
N₀: Coli fecal en afluente
d : factor dispersión adimensional
K : Tasa de mortalidad neta de Coli fecal (1/día)
R : Período de Retención (días)
a : factor adimensional

Para el cálculo del factor de dispersión "d" se ha utilizado el modelo propuesto por Polprasert y Bhattarai (1985), modificado por Saenz (1987):

$$d = \frac{1.158[R(W + 2Z)]^{0.489} (W)^{1.511}}{(T + 42.5)^{0.734} (LZ)^{1.489}} \quad (4)$$

L, W y Z , longitud, ancho y profundidad de la laguna (m), respectivamente.

El valor de K, calculado por la expresión propuesta por Sáenz (1987):

$$K = 0.62 \times 1.037^{(T-20)} \quad (5)$$

Este modelo fue utilizado para estimar el período de retención necesario para reducir los niveles de coliformes fecales del crudo hasta la calidad fijada para el efluente terciario en cada experimento. Asimismo, se calibró el modelo con las características geométricas y las tasas de evapo-filtración de cada una de las lagunas que comprende el sistema de tratamiento. La regulación de caudales se realizó en forma drástica entre cada experimento, tomando en cuenta la temperatura promedio del agua esperada para los períodos experimentales de invierno y verano.

La tasa de mortalidad de coliformes fecales utilizada en el experimento 1 fue la deducida de la formula (5) y propuesta por Sáenz (1987). Durante la ejecución de este Proyecto se han

procesado tasas de mortalidad evaluadas en las lagunas primarias, secundarias y terciarias de San Juan, a través de los proyectos "Evaluación de las lagunas de estabilización de San Juan - Fase II (1981-1982)", reportado por Yáñez (1986) y "Evaluación Microbiológica y Toxicológica sobre reuso de aguas residuales en riego (1986-1988).

3.4 Mediciones de campo

3.4.1 Geometría de las lagunas

Para acondicionar el sistema de tratamiento al reuso acuícola, se efectuaron trabajos de limpieza de lodos y la construcción de dispositivos de ingreso, interconexiones y medidor Palmer-Bowlus. También se realizó la batimetría para estimar las medidas de profundidad promedio, longitud y ancho de cada una de las lagunas, a fin de obtener los valores de área superficial y volumen. Se aplicó el método de seccionamiento y un teodolito Marca KERN modelo DKM1.

3.4.2 Caudales

El caudal de crudo requerido por el sistema fue independizado del canal general; controlándose en forma continua mediante un registro del nivel de agua en un medidor de régimen crítico Palmer-Bowlus instalado en el canal de alimentación de las lagunas primarias. Se utilizó un registrador Stevens tipo F, modelo 64.

Los afluentes a las lagunas primarias fueron controlados por un partidador, ubicado en el canal de alimentación aguas abajo del medidor y calibrado en función del área superficial de cada laguna, con el objeto de someterlas a la misma carga superficial de DBO_5 .

La información requerida para el balance de caudales en el sistema de tratamiento se completó con la medición de la infiltración ocurrida en cada período experimental, cerrando los dispositivos de ingreso y salida de cada laguna y midiendo las variaciones del nivel de agua al cabo de 24 y 48 horas.

3.4.3 Temperatura del agua

Las mediciones de temperatura del agua se realizaron seis veces por semana a las 6 a.m. y a las 2 p.m., usando un instrumento YSI con el electrodo posicionado a 30 cm. por debajo del nivel del agua.

3.5 Análisis físico-químicos

Las muestras de agua se tomaron entre las 8:00 a 10:00 a.m., en el canal de alimentación del crudo y en los dispositivos de salida de los efluentes. En el Cuadro II-1 se resumen los parámetros, métodos, frecuencia y lugar de observación del Programa de Monitoreo. Algunos de estos parámetros son analizados en otras secciones del Informe.

3.6 Análisis microbiológicos

Se realizó una Evaluación Preliminar para determinar las pruebas necesarias para el monitoreo de la calidad microbiológica del crudo, efluentes de las lagunas, estanques acuícolas y los peces. Se ensayaron varias técnicas y se analizaron peces cultivados tanto en aguas residuales tratadas como en aguas limpias. Como resultado se seleccionó el grupo de pruebas microbiológicas que aparecen en el Cuadro II-1, y que se detallan en el punto 3.6.2.

3.6.1 **Toma de muestras**

Las muestras de agua de lagunas y estanques se tomaron de la capa superficial de 30 cm, que con la ayuda de un muestreador eran colectadas en frascos estériles de 200 cc. Las muestras de lodos fueron extraídas mediante un tubo de PVC de 2" de diámetro, tomadas en diferentes lugares del estanque y luego mezcladas para obtener muestras compuestas de 500 g. Los peces capturados en los estanques con redes fueron elegidos al azar y luego transportados vivos en recipientes con agua de los mismos estanques hasta el laboratorio. Allí se procedió a la disección del músculo y del contenido intestinal, mediante la metodología descrita por Buras (1985, 1987). Se tomaron 10 g de músculo y 1 g de contenido intestinal para hacer diluciones sucesivas con solución peptonada al 0.1 %. Sólo una evaluación cualitativa se realizó en el fluido peritoneal, debido a su escaso volumen, tomándose la muestra con un hisopo estéril e inoculándose en medios de cultivo por agotamiento en superficie.

Para el análisis de los peces, realizado por CERPER de acuerdo al Comité Internacional de Especificaciones Microbiológicas para alimentos (ICMSF), se tomaron muestras de músculo con piel y escamas, luego de haberse efectuado un enjuague con agua corriente.

3.6.2 **Técnicas y procedimientos**

- Número más probable de bacterias totales viables por g o ml (SPC), en Plate Count Agar (DIFCO), por el Método de incorporación en placa e incubación a 35°C (APHA, 1985).

- Bacterias viables en Fecal Coliform medium (mFC) solidificado con agar al 1.5%, por agotamiento en superficie e incubación a 35°C para la determinación de enterobacterias (Buras, 1988).
- Número más probable de coliformes totales por 100 ml (APHA, 1985)
- Número más probable de coliformes fecales por 100 ml (APHA, 1985)
- Numeración de Clostridium sulfito reductor, en agar cesteinado para Clostridium, por incorporación en tubo (ICMSF, 1983). Se incluyó este parámetro por encontrarse valores comparativamente altos en peces expuestos a aguas residuales tratadas. Esta bacteria podría ser un factor de deterioro en el pescado, debido a su carácter proteolítico.
- Número más probable de Salmonella en el primer experimento y posteriormente por adsorción de agua en almohadillas de gasa colectadas 24 horas después de permanencia en los lugares de muestreo. El pre-enriquecimiento se hizo en caldo lactosa y el enriquecimiento en caldo selenito, tetracionato y Rappaport, por 24-48 horas a 35°C. El aislamiento se efectuó en Agar Verde Brillante y X1D. Las colonias sospechosas fueron aisladas en agar nutritivo y subcultivadas en TSI y LIA, procediéndose luego a enviarlas al Instituto de Referencia de Enterobacterias para su serotificación (APHA, 1985; Buras, 1988).
- Numeración de protozoarios y helminthos enteroparásitos, concentrando las muestras por métodos de sedimentación-flotación con sulfato de zinc. El conteo se efectuó en cámara Sedwick Rafter.
- Número más probable de Bacteriófagos por 100 ml de agua, usando la metodología de Buras consistente en una prueba presuntiva y una confirmativa (Edwards, 1984).
- La detección de los Enterovirus hepatitis y polio se realizó en el Instituto Nacional de Salud del Perú, usando la técnica de inoculación en líneas celulares HEP-2 y VERO, evaluándose el efecto citopatogénico.
- Número más probable de enterovirus en muestras de agua tomadas durante el tercer experimento fue analizada en el laboratorio de Microbiología Ambiental de la Universidad de Arizona, USA. A fin de concentrar un volumen mayor de muestra se usó la técnica de almohadillas de gasa sumergidas en los estanques por 24 horas, que posteriormente se introdujeron en bolsas estériles y se les congeló a - 70°C. El transporte al laboratorio de análisis fue en un envase

térmico con hielo seco. La metodología usada fue reportada por Gerba (APHA, 1985) y la identificación viral se hizo mediante técnicas de inoculación en la línea celular BGM, evaluándose el efecto citopatogénico.

3.7 Análisis toxicológicos

Los pesticidas organoclorados y bifenilos policlorinados (PCB's) fueron determinados mediante cromatografía de gases con las técnicas descritas por la A.O.A.C. (William, 1965).

Los metales pesados (plomo, cadmio, cromo y mercurio) fueron evaluados por espectrofotometría de absorción atómica, por las técnicas descritas por la A.O.A.C. (William, 1965).

4. **RESULTADOS**

4.1 Cargas hidráulicas y orgánicas del sistema de tratamiento

La carga hidráulica en cada laguna se calculó efectuando el balance de caudales. El Cuadro II-2 resume los caudales promedio aplicados en cada experimento, así como el área, profundidad, volumen, tasa de infiltración- evaporación estimada y período de retención teórico de cada laguna.

La variación del caudal de crudo y el caudal estimado del efluente terciario se muestran en el Gráfico II-2. Las cargas de DBO_5 promedio de las lagunas primarias han sido calculadas multiplicando el caudal promedio semanal por el valor correspondiente de DBO_5 . La variación de las cargas superficiales de DBO_5 en las lagunas para cada experimento se exhiben en el Gráfico II-3.

4.2 Parámetros físico-químicos del agua del sistema de tratamiento

De todos los parámetros medidos durante los experimentos, en el Cuadro II-3 de esta sección sólo se presentan los promedios generales y de cada período experimental en el crudo y los efluentes del DBO_5 (total y soluble), amonio total y nitrógeno orgánico. La variación histórica de la temperatura aparece en el Gráfico II-4 y las correspondientes al resto de parámetros se exhiben en los gráficos que aparecen en el Anexo A.

4.3 Parámetros microbiológicos

4.3.1 **Parásitos**

Los helmintos enteroparásitos de mayor incidencia en el crudo y la laguna primaria fueron *Ascaris* e *Hymenolepis nana*. También se encontraron los protozoarios *Giardia* y *Entamoeba coli*.

La remoción de estos parásitos en el sistema de lagunas fue completa, tal como se muestra en el Cuadro II-4 y donde se indica la frecuencia de identificaciones positivas por laguna y experimento.

4.3.2 Bacterias

Las características microbiológicas del efluente terciario se exponen en el Cuadro II-5. Los menores niveles observados en el primer experimento son coincidentes con las menores cargas de materia orgánica aplicadas al sistema y el mayor tiempo de retención otorgado al inicio del programa experimental.

La calidad microbiológica de estas aguas tratadas mejora aún más en los estanques de acuicultura. En el Gráfico II-7 se observa que en los estanques se produce una reducción tanto en coliformes fecales como en totales y en SPC en más de un logaritmo. En el Gráfico II-5 se muestran los valores promedio por experimento. La variación histórica (durante el periodo de estudio) del nivel de coliformes fecales en el crudo y en cada efluente del sistema se presentan en el Gráfico II-6.

Los resultados de detección de Salmonella en el efluente terciario, mediante la técnica del Número Más Probable (NMP), fueron negativos. Al obtener tales resultados se utilizó la técnica cualitativa de concentración en almohadillas de gasa, que permite expresar los resultados como presencia/ausencia. La incidencia porcentual sobre el número de muestras positivas del efluente terciario fue de 23%, 57%, 65% y 57% para los experimentos en orden cronológico. Esta misma prueba efectuada en los estanques de peces mostró una menor incidencia de 3.2, 7.3, 9.7 y 19.3%, respectivamente.

La serotipificación de 43 cepas (Cuadro II-6) dio como resultado un 90.7% de Salmonella entérica serovar paratyphi B y 9.3% del serovar newport, ambas de origen humano.

4.3.3 Virus

Los análisis para la detección de enterovirus reportaron presencia en los niveles de crudo y primario y ausencia en la laguna terciaria y estanques con peces (Cuadro II-7). Los análisis realizados en el Instituto de Salud Pública sobre líneas celulares VERO y HEP-2 descartan la presencia específica de virus del polio y hepatitis, mientras que aquellos realizados en la Universidad de Arizona, por la metodología empleada, descartan la presencia de enterovirus en general, incluyendo polio, cocksakie y rotavirus.

Con respecto a los bacteriófagos se encontró que sólo en el segundo experimento estuvieron por encima de 10^2 . (Gráfico II-8). Los valores en verano fueron superiores a los de invierno, y en todos los casos su concentración fue menor en los estanques de acuicultura que en la laguna terciaria.

4.4 Calidad sanitaria de los peces

Los resultados de la evaluación microbiológica de los peces efectuada antes de la cosecha en cada cultivo experimental, se presentan en el Cuadro II-8, en términos de porcentaje según clasificación de la calidad sanitaria propuesta por Buras (1987). Los cuadros del Anexo B muestran los resultados de la evaluación microbiológica en el músculo, fluido peritoneal y contenido intestinal de los peces. Allí se observa una fuerte relación entre la presencia de bacterias en el fluido peritoneal y en el músculo. No se encontró mayor relación entre la cantidad de bacterias del contenido intestinal y su presencia en el músculo.

Salmonella no fue detectada en ninguna de las muestras de peces analizadas.

Adicionalmente a las pruebas previstas en el Proyecto, muestras de la última cosecha fueron analizadas por la Empresa Pública de Certificaciones Pesqueras del Perú (CERPER), autoridad sanitaria oficial del Sector Pesquero. Esta evaluación realizada según los estándares de la ICMSF (1984) arrojó los resultados que aparecen en el Cuadro II-9 y que certifica la aptitud del producto para el consumo humano directo.

4.5 Parámetros toxicológicos

La detección de tóxicos (metales pesados, pesticidas y PCB's) en el agua de los estanques con peces mostró ausencia o niveles por debajo de los límites de sensibilidad de los métodos empleados, razón por lo que no fueron medidos en los experimentos finales. El Cuadro II-10 reporta estos resultados observados en los dos primeros experimentos.

También se detectó la presencia de estos tóxicos en los lodos de la laguna terciaria y de los estanques acuícolas. Tal como se muestra en el Cuadro II-10, los valores de mayor magnitud se presentan en los lodos de la laguna terciaria, notándose una tendencia a decrecer conforme transcurre el tiempo. En los estanques con peces, los valores de plomo, cadmio y cromo permanecen casi constantes, mientras que el mercurio se incrementa y los PCB's tienden a decrecer ostensiblemente.

Estos mismos análisis realizados en el músculo de los peces cosechados mostraron ausencia de plomo y cromo (Cuadro II-10). Los niveles de cadmio, mercurio y PCBs fueron muy pequeños y por debajo de los límites permisibles por organismos internacionales (Suffern, et al, 1981).

Similar apreciación se tuvo de la presencia de pesticidas en el músculo de los peces, que fueron evaluados en la cosecha del primer experimento (Cuadro II-11). Tales resultados determinaron que no se continúen estos análisis en los siguientes experimentos.

5. DISCUSION

5.1 Cargas hidráulicas del sistema de tratamiento

Las variaciones bruscas de caudal que se observan al pasar de un experimento a otro (Cuadro II-3 y Gráfico II-2), se debieron a que éste fue redefinido en función de los niveles de coliformes fecales como indicador de la calidad bacteriológica que se venía obteniendo en el efluente terciario. Los niveles de coliformes fecales establecidos para cada experimento fueron los siguientes:

Experimento 1: $1 \times 10^3/100$ ml
Experimento 2, 3 y 4 : $1 \times 10^4/100$ ml

Para definir el caudal de ingreso en los experimentos 1 y 2, se utilizó el modelo de flujo disperso, con la estimación de las variables factor de dispersión y tasa neta de mortalidad propuestas por Sáenz (1987). Para los otros dos experimentos se modificó este modelo, estimándose las tasas de mortalidad para cada nivel de tratamiento, según se discute más adelante.

El mayor período de retención nominal que se observa en el primer experimento estuvo asociado a la menor eficiencia de remoción en los meses de invierno y al mayor nivel de exigencia de calidad del efluente impuesto para ese experimento.

Los períodos de retención nominales correspondientes a los experimentos 2 y 3 son los que mejor representan la capacidad de tratamiento del sistema. El mayor período de retención ocurrido en el experimento 4, aún cuando se realizó durante el verano, fue producto de un notable incremento de la tasa de infiltración en las lagunas primarias, ocasionada por la limpieza de lodos durante la etapa preliminar al inicio del experimento y durante 5 semanas de iniciado el mismo.

Aún cuando la operación del sistema de tratamiento durante el proyecto se basó en el criterio de mantener la calidad del efluente terciario, en la práctica se considera que la forma más adecuada de operar dicho sistema es manteniendo un caudal constante, aún cuando se modifique la calidad del efluente por la

variación estacional de la temperatura del agua. El diseño de la planta de tratamiento estará en función de la calidad mínima requerida para reusar el efluente y calculada bajo las condiciones más desfavorables: la temperatura promedio del mes más frío. La mejora de la calidad sanitaria del agua con el incremento de la temperatura deja abierta la posibilidad de programar cultivos aún más exigentes en las épocas más calurosas. La limpieza de lodos deberá efectuarse también en los meses de temperaturas altas, a fin de no desmejorar la calidad del efluente.

Aún con los resultados obtenidos, se hace evidente la necesidad de entender cada vez mejor los fenómenos que gobiernan la eficiencia remocional de las lagunas de estabilización, a fin de elaborar modelos de predicción simples y prácticos, que constituyan una herramienta adecuada para la operación de Sistemas de Tratamiento-reuso. Esto no significa que se desestime la importancia de un programa de monitoreo y control mínimo. Sin embargo, dichos programas no permiten una inmediata toma de decisión, ya que por un lado, se debe esperar el tiempo requerido por los análisis de laboratorio (v.gr. DBO, 5 días; coliformes fecales, 4 días con el medio Lauril triptosa), y por otro lado, un cambio en el caudal de ingreso producirá una modificación estable en la calidad de agua, probablemente después de un tiempo similar al del período de retención real de las lagunas.

Además se debe mencionar que los modelos de calidad de agua deben estar asociados a un adecuado sub-modelo hidráulico, que no solo incorpore el balance hídrico, sino también los tiempos de retención promedio reales. Desafortunadamente, en el presente estudio no se evaluó el comportamiento hidráulico de las lagunas mediante la prueba de trazadores, por no haberse considerado dentro de los objetivos del proyecto.

5.2 Carga orgánica y remoción en el sistema de tratamiento

La operación del sistema estuvo orientada a mantener las lagunas primarias facultativas, por lo que las cargas orgánicas aplicadas fueron estimadas según el modelo de carga superficial máxima aplicable propuesto por Yáñez. Sin embargo, el manejo de caudales de ingreso estuvo supeditado a la calidad del efluente terciario en términos de coliformes fecales.

Los valores promedios de carga de DBO_5 /ha/día proporcionadas al sistema en cada experimento se indican en el Cuadro II-12. Tales cargas determinaron las concentraciones de DBO que figuran en el Cuadro II-3, lo que ha permitido estimar una eficiencia de remoción promedio de DBO en lagunas primarias de 84.17%, valor que está dentro de los rangos reportados por muchos investigadores como Arthur (1983), Arceivala (1981) y Sáenz (1987).

La distribución de probabilidad acumulada de la carga superficial se muestra en el Gráfico II-9, apreciándose que en el

65% del periodo del estudio se ha operado el sistema con cargas entre 250 y 450 Kg DBO₅/ha/día. Durante el 35% del periodo se operó con niveles superiores al máximo de 350 Kg DBO₅/ha/día, recomendado por Bartone (1985) para el cultivo de peces en lagunas terciarias del mismo sistema, sin que esta situación halla afectado el cultivo del pez tilapia. Las cargas superficiales de DBO₅ aplicadas a las lagunas primarias, estuvieron el 30% del tiempo por encima de los valores calculados para las temperaturas registradas durante el estudio, tal como se puede apreciar en el Gráfico II-10. Estas cargas pudieron llegar en algunos momentos a 800 Kg DBO₅/ha/día, como sucedió cuando hubieron cortes prolongados en el suministro de agua potable a la población de aporte al sistema. Sin embargo, esos excesos fueron compensados por los momentos en que se tuvieron cargas por debajo de la calculada.

También se debe tomar en consideración el marcado cambio que han experimentado las características del agua residual cruda que ingresa al Complejo de las lagunas San Juan. En el Cuadro II-13 se muestran las variaciones de los valores promedios de las características del crudo registradas en los estudios realizados en San Juan durante el periodo 1979-90. El valor promedio de la DBO₅ en el presente estudio fue de 278 mg/l y su distribución de frecuencias acumuladas se exhibe en el Gráfico II-11. La mayor concentración del crudo en estos últimos años se debió a que la dotación de agua potable ha disminuido en el sur de Lima, mientras que la población de aporte de desechos se ha incrementado notablemente. Esta situación se agudiza en los meses de verano y como es de esperarse la DBO₅ en el crudo es mayor en estos meses.

Podemos asumir que, a pesar de haber operado con un crudo más concentrado y con cargas superficiales muy variables, las lagunas de estabilización tienen capacidad de absorber las sobrecargas temporales sin perjudicar la calidad de sus efluentes reusados en acuicultura. Esta ventaja de operación sólo se presenta en este tipo de sistema de tratamiento, por lo que lo hacen más compatible con la realidad socio-económica de la Región y con nuestras necesidades de reuso.

5.3 Parásitos y virus en el sistema de tratamiento

Los análisis cualitativos de parásitos (Cuadro II-5) permitieron ratificar la eficiencia del sistema en la remoción total de helmintos y protozoos entéricos. Por lo general, esta remoción ocurre en la laguna primaria, sin embargo, algunos parásitos llegaron a detectarse en los efluentes primarios durante los dos primeros experimentos. Esta persistencia es explicable en el segundo experimento si se tiene en cuenta que el tiempo de retención en las primarias fue de sólo 7.9 días. Shuval y colaboradores (1986) sugieren periodos de retención mayores de 10 días para la remoción total de parásitos; Yáñez (1984) recomienda el uso de lagunas primarias y secundarias con un periodo de retención nominal total de 20 días. En el primer experimento el

tiempo de retención nominal fue de 15.7 días, por lo que la persistencia de algunos parásitos pudiera deberse a que la menor temperatura del agua reduce la eficiencia de la sedimentación.

Los sistemas de tratamiento que en adelante se diseñen para el reuso acuícola, podrán definitivamente asegurar la remoción de parásitos y protozoos entéricos, ya que al dimensionarse en términos de remover los coliformes fecales a niveles inferiores a $1 \times 10^4/100$ ml, el período de retención será siempre mayor que el requerido para una remoción total de parásitos y protozoos entéricos.

También el sistema ha demostrado su gran eficiencia en la remoción de enterovirus (Cuadro II-8), ya que no se detectó su presencia en el efluente terciario, aún cuando sí estuvo presente en el crudo y el efluente primario. Desafortunadamente no se ha podido establecer el período de retención requerido para una remoción total de enterovirus, ya que no se realizó un seguimiento en todo el período experimental y en cada laguna del sistema.

Los niveles promedio de Colifagos detectados en el efluente terciario (Cuadro II-6) han estado por debajo de 1×10^2 NMP/100 ml y se redujeron aún más en los estanques acuícolas. Tales valores son menores que los reportados por Edwards y colaboradores (1984) en estanques acuícolas alimentados con mezclas de orina y excretas ("Septage fed fish ponds"). Esto demuestra otra de las ventajas de utilizar sistemas de lagunas de estabilización.

5.4 Bacterias en el sistema de tratamiento

Los coliformes fecales fueron el parámetro principal para el monitoreo de la calidad bacteriológica de los efluentes, ya que sus bondades como indicador de remoción de bacterias patógenas ya han sido identificadas y comprobadas en anteriores experiencias desarrolladas en lagunas de estabilización (Yáñez y colaboradores, 1980; Yanez, 1983).

Los criterios de calidad para el uso en acuicultura de las aguas residuales tratadas normalmente están definidos en términos de niveles de parásitos y coliformes fecales, como es el caso de las siguientes referencias:

- a) Bartone (1986):
Ausencia de protozoos y helmintos entéricos.
Niveles de coliformes fecales menores a $1 \times 10^4/100$ ml
- b) OMS (1989):
Ausencia de huevos viables de trematodes.
Niveles de coliformes fecales en el efluente a ser utilizado entre 1×10^3 y $1 \times 10^4/100$ ml
Media geométrica de coliformes fecales en estanques acuícolas menor a $1 \times 10^3/100$ ml

En este estudio, la remoción de coliformes fecales a través del sistema de tratamiento ha sido de 4 a 5 ciclos logarítmicos, según se muestra en el Cuadro II-14 y el Gráfico II-5. Se pudo observar una similitud de los niveles iniciales de colimetría en los experimentos de invierno (1 y 3) y los de verano (2 y 4). En estos últimos experimentos, tanto los niveles iniciales como la eficiencia remocional, fueron mayores que en los experimentos de invierno, en aproximadamente un ciclo logarítmico.

Según la distribución de frecuencia acumulada en el efluente terciario (Gráfico II-12), el nivel de coliformes fecales estuvo por encima del recomendado, durante el 60 al 75% del tiempo de los experimentos. Sin embargo, la calidad del agua del efluente terciario mejoró en los estanques de acuicultura, ya que éstos no están sometidos a flujo continuo y reciben agua sólo para compensar las pérdidas por infiltración-evaporación. En el Cuadro II-15 se puede apreciar que la mayor diferencia entre la calidad del efluente terciario y los estanques de acuicultura sucedió en agua en este experimento respecto al tercero, ambos ejecutados en meses de invierno. En general, se estima que la calidad del efluente terciario se mejora en los estanques acuícolas a razón de un ciclo logarítmico. Sin embargo, esta diferencia puede ser temporalmente menor si el abastecimiento de agua a los estanques se realiza en forma muy espaciada y con volúmenes importantes.

Este efecto deberá tomarse en cuenta para las operaciones de llenado y relleno de agua en estanques de acuicultura, siendo deseable que los períodos de aporte de agua a estanques, además de guardar estrecha relación con las pérdidas por evaporación-infiltración, se realicen en tiempos prolongados, a fin de que la carga de bacterias tenga un efecto atenuado y no provoque picos indeseables.

Salmonella no fue detectada en el efluente terciario con el método del Número Mas Probable (NMP), más si con la técnica cualitativa de ausencia/presencia a través de concentración. Sin embargo, es de esperar que los niveles asociados sean tan bajos que no son detectables por NMP. Si bien la serotipificación de las cepas han indicado el origen humano, este hecho no debe ser motivo de alarma, porque la contaminación por Salmonella esta asociada a dosis infectivas tan altas como 1×10^6 (Feachem y colaboradores, 1983). Por otro lado, esta presencia no implica una deficiente remoción en el sistema de lagunas, ya que puede estar asociada a un mecanismo de transporte. En San Juan existe una población importante de aves, que frecuentemente se "bañan" en los canales del crudo y en las lagunas, pudiendo así trasladar patógenos del crudo a la laguna terciaria y los estanques de peces. Por ello, se estima que este será un fenómeno normal en todos los sistemas de tratamiento-reuso de efluentes, pero que el nivel de riesgo asociado será prácticamente nulo, si se garantiza la calidad del efluente en términos de parásitos y coliformes fecales.

5.5 Calidad sanitaria de los peces

Como se observa en el Cuadro II-9, sólo en el tercer experimento se encontró un 6% de peces calificados como "rechazables", según la clasificación propuesta por Buras (1987) y que considera como "buenos" a los peces con menos de 50 bacterias por gramo de músculo.

Si analizamos la distribución de frecuencias acumuladas de coliformes fecales en el agua de los estanques durante el tercer experimento (Gráfico II-13), notamos que los peces estuvieron expuestos a un nivel superior a $1 \times 10^4/100$ ml en 35% del periodo y en un 15% por encima de $1 \times 10^5/100$ ml, incluyendo un pico superior a $1 \times 10^6/100$ ml. Además, este experimento se efectuó durante el invierno y su duración se prolongó hasta las 22 semanas. En cambio, los peces cultivados el experimento 2 durante 16 semanas del verano, aún cuando también estuvieron expuestos a niveles de coliformes fecales en el agua superiores a $1 \times 10^4/100$ ml durante el 30% del tiempo, fueron todos calificados como "muy bueno" al momento de la cosecha. Por lo tanto, la probabilidad asociada al riesgo de contaminación de peces por invasión de bacterias al músculo está principalmente en función del nivel de coliformes fecales en el agua del estanque y del tiempo de exposición (Buras et al, 1987; Hejkal et al, 1983; Geldrich y Clarke, 1966). Aparentemente, también la susceptibilidad del pez aumenta cuanto menor es la temperatura del agua.

Por otro lado, es importante señalar que la misma población del experimento 2 fue analizada cuatro semanas antes de la cosecha, encontrándose algunos ejemplares "rechazables" (Anexo B). Un caso similar ocurrió con los peces del primer experimento, que mostraron contaminación del músculo poco después de la siembra y que luego se encontraron limpios al momento de la cosecha. Esto indica la posibilidad de una autodepuración de los peces, no necesariamente en "aguas limpias", sino también en el mismo estanque de cultivo, siempre que el nivel de bacterias en el agua se reduzca a límites tolerables por un tiempo antes de la cosecha.

Por todo lo expuesto, a fin de minimizar el nivel de riesgo de contaminación de la tilapia nilótica por bacterias en el músculo, y permitir por tanto su consumo humano directo, el nivel máximo de coliforme fecal en el agua de los estanques acuícolas debe ser de $1 \times 10^4/100$ ml. Esperando una reducción de un ciclo logarítmico entre el efluente y el estanque acuícola, alimentado en forma adecuada para continuar el proceso de remoción, el nivel máximo de coliformes fecales en el efluente debe ser de $1 \times 10^5/100$ ml. Bajo tales condiciones se acepta que este valor esté por encima de los recomendados por Bartone (1986) y la OMS (1989).

No fue posible encontrar una correlación aparente entre el número más probable de bacterias totales viables (SPC) en el agua y la calidad sanitaria de los peces. Es por ello que en el cuarto experimento, a pesar de haberse encontrado los valores más altos de SPC (10^7 cfu/g) en el agua, los peces resultaron calificados como muy buenos. Sin embargo, es posible que algunas características especiales de este experimento hayan conducido a estos resultados, tales como el peso inicial (50-70 g) mayor que en los experimentos anteriores, lo que pudo suponer una mayor resistencia de los individuos. De cualquier forma, estos resultados llevan a plantear que el nivel de coliformes fecales en el agua es mejor indicador que el de SPC de la calidad sanitaria de los peces cultivados en aguas residuales tratadas.

Otro de los criterios de calidad utilizado para el control microbiológico de los peces fue el aplicado por el Comité Internacional de Especificaciones Microbiológicas de Alimentos (ICMSF), que para el rubro de "peces de aguas cálidas" recomienda los siguientes niveles:

NMP de SPC/g a 35°C	:	$10^6 - 10^7$
NMP de coliformes fecales/g	:	40 - 400
Salmonella en 25 g	:	negativo

Estos análisis mostraron niveles inferiores a los indicados, por lo tanto los peces fueron calificados aptos para consumo humano directo. Estos valores son similares o incluso menores que los detectados en los productos pesqueros que se expenden en los mercados locales, aún cuando no provienen del reuso de aguas residuales.

En vista que los productos tabulados por el ICMSF no están especificados por procedencia, sería conveniente establecer un paralelo entre los estándares de calidad propuestos por Buras y los propuestos por el ICMSF, a fin de determinar los límites microbianos más adecuados para peces cultivados en sistemas de tratatamiento-reuso.

Salmonella no fue detectada en el efluente terciario con el método del Número Más Probable (NMP), por lo tanto tampoco se encontró en los estanques acuícolas ni en los peces. La presencia de sustancias calificadas como tóxicas, vg. metales pesados, pesticidas y PCBs es nula o mínima en los peces (Cuadro II-13). Si bien el cadmio también alcanza niveles por debajo del límite permisible de 5 mg por kilo establecido para alimentos (Suffern, 1981), mostró valores más altos en los peces cultivados en los experimentos 2 y 4 durante la época calurosa. Es posible que la concentración de este metal en los peces esté favorecida por la temperatura.

En este estudio también se reporta por primera vez en el país los niveles de PCBs para peces. Aún no existen estándares para la presencia de este compuesto, pero los niveles detectados se sitúan muy por debajo de los reportados por otros países (WHO/UNDP, 1987).

5.6 Modelo de predicción de la calidad bacteriológica de efluentes

El modelo de flujo disperso, surge como una alternativa al de mezcla completa, tradicionalmente utilizado para predecir la remoción de bacterias. Su aplicabilidad ha sido estudiada y recomendada por varios investigadores (Dissanayake, 1981; Polprasert y Bhattarai, 1985; Yáñez, 1986 y Sáenz, 1987).

Se pudo comprobar la eficiencia de este modelo para estimar el periodo de retención necesario para reducir los niveles de coliformes fecales del crudo hasta la calidad fijada para el efluente terciario en cada experimento. A ello contribuyó la calibración del modelo con las características geométricas y las tasas de evapo-filtración de cada una de las lagunas que comprende el sistema de tratamiento. La estimación de los diferentes caudales para cada experimento, de acuerdo a la temperatura promedio de cada periodo, también se realizó con la ayuda del modelo de flujo disperso, lo que permitió confirmar que se trata de una gran herramienta para la operación de lagunas. Sin embargo, este tipo de operación no será el normalmente utilizado en plantas de tratamiento ligadas al reuso en acuicultura, ya que éstas deberán ser dimensionadas con un caudal fijo en función a las condiciones más desfavorables, es decir, para la temperatura del agua que corresponda al mínimo promedio mensual. Se entiende que la calidad del efluente mejorará el resto del año con el incremento de la temperatura.

Paralelamente a la ejecución de este Proyecto se han procesado tasas de mortalidad neta de coliformes fecales (K_b) para las lagunas primarias, secundarias y terciarias de San Juan, que han permitido establecer las siguientes relaciones:

$$\text{Lagunas primarias : } K_b = 0.477 \times 1.18^{(T-20)} \quad (6)$$

$$\text{Lagunas secundarias : } K_b = 0.904 \times 1.04^{(T-20)} \quad (7)$$

$$\text{Lagunas terciarias : } K_b = 0.811 \times 1.09^{(T-20)} \quad (8)$$

El Gráfico II-14 muestra las relaciones mencionadas en función de la temperatura del agua. Se debe indicar que sólo se contó con tres datos para el caso de lagunas terciarias, no considerados suficientes, pero que sin embargo brindan una estimación del orden de magnitud.

Los valores dados por las fórmulas (7) y (8) son muy parecidos al valor de $K_b = 0.841 \times 1.07^{(T-20)}$ propuesto por Yáñez (1986), no sucediendo lo mismo con los valores de K_b para primarias. Los mecanismos de remoción de bacterias definitivamente son diferentes para cada nivel de tratamiento, debido a la variación de las condiciones ambientales como el pH, oxígeno disuelto, nutrientes disponibles, bacterias adheridas a sólidos sedimentables, etc.

Los valores de K_b para lagunas de maduración (secundarias y terciarias) y sus factores de dependencia de la temperatura son muy parecidos, probablemente debido a que sus mecanismos de remoción también sean similares. En cambio, los valores de K_b de las lagunas primarias son menores y su factor de dependencia de la temperatura diferente a los de las secundarias y terciarias. Las diferencias entre ambos casos están probablemente asociadas al mecanismo de remoción predominante.

Se ha realizado una nueva calibración del modelo de flujo disperso originalmente propuesto por Sáenz (1987), incorporando los valores de K_b antes definidos. Alimentando esta versión del modelo con los valores de caudal y coliformes fecales del crudo y la temperatura del agua del sistema, se han calculado los niveles de coliformes fecales para los efluentes de cada laguna. Tomando en cuenta los períodos de retención nominal y temperaturas del agua, se ha encontrado una buena correlación entre los valores calculados y los obtenidos en el monitoreo durante el período experimental del proyecto. El Gráfico II-15 muestra la recta de la correlación mencionada y el intervalo de confianza al 95%. Esta recta está muy cercana a la teórica, que se ubica dentro del intervalo de confianza, lo que permite afirmar que el modelo de flujo disperso, no sólo es valioso para la operación de lagunas, sino también para diseñar estas plantas.

Una aplicación del modelo de flujo disperso en el diseño de lagunas de estabilización en condiciones subtropicales y tropicales se ha desarrollado para un estudio de factibilidad de sistemas de tratamiento y reuso en acuicultura, que se describe en la sección IV del Informe. La aplicación de este modelo a otras situaciones geográficas, deberá ser enriquecida con la información local disponible, como tasas de mortalidad, modelos de predicción del factor de dispersión "d", tasas de evapo-filtración, entre otros.

5.7 Programa de monitoreo y recomendaciones para el manejo del sistema de tratamiento

Uno de los objetivos previstos en el estudio fue el de definir un grupo mínimo de pruebas, mediante el cual se pueda establecer márgenes de seguridad en el manejo de sistemas de tratamiento de aguas residuales, que impliquen un reuso de sus efluentes en la Acuicultura. Para dimensionar el sistema de

tratamiento se deberá tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Un número adecuado de lagunas en serie, que no sea menor de dos (primaria y secundaria).
- b) La laguna primaria deberá remover el 100% de parásitos (helminetos y protozoos entéricos), requisito que será cumplido si la carga superficial máxima en Kg DBO₅/ha/día es calculada para mantener la laguna primaria como facultativa, como lo propone el modelo desarrollado por Yáñez (1986).
- c) Las lagunas de maduración (de secundarias en adelante) se calcularán aplicando el criterio de calidad bacteriológica, en términos de un nivel máximo de 1×10^6 NMP de coliformes fecales por 100 ml de agua en el efluente destinado a la acuicultura. Es posible alcanzar esta calidad en un efluente secundario.
- d) El sistema de tratamiento deberá tener capacidad para operar en las condiciones ambientales más desfavorables, es decir con la mínima temperatura promedio mensual.
- e) Las lagunas deberán ser más largas que anchas, para mejorar la eficiencia de remoción, considerándose adecuada la relación largo:ancho de 3:1.

Se tiene la certeza que el sistema así configurado también asegurará la ausencia de enterovirus y niveles poco significativos de metales pesados, pesticidas y bifenilos policlorados, si se trata de efluentes eminentemente domésticos.

Un Programa de monitoreo del sistema de tratamiento que asegure la calidad adecuada de los efluentes que alimentan los estanques de peces, deberá incluir como mínimo las siguientes mediciones en el afluente y efluente del sistema:

- a) Caudal: diario.
- b) Temperatura del agua: máxima y mínima diaria.
- c) DBO₅: mensual.
- d) Coliformes fecales: mensual.

Periódicamente se deberá evaluar el impacto de las variaciones de calidad del crudo en el efluente del sistema, utilizando el modelo de flujo disperso para predicción de calidad del agua.

Si se satisfacen los requerimientos de calidad bacteriológica y parasitológica, los niveles de amonio total no deben representar riesgos para el cultivo del pez tilapia. Sin embargo, se recomienda medir los niveles de amonio total en los períodos de llenado de estanques y de siembra de los peces, a fin de tomar precauciones adicionales.

Antes de sembrar los peces en los estanques, se deberá contemplar un período mínimo de estabilización luego del llenado, con el propósito de asegurar la calidad bacteriológica y evitar excesos de nutrientes y/o amonio total. Con el mismo propósito, el aporte de agua para compensar las pérdidas de evaporación-filtración en estanques, debe realizarse en tiempos prolongados, con el fin de atenuar su impacto sobre la calidad del agua de los estanques.

En principio, la calidad sanitaria del pez estaría asegurada, siempre que el agua en los estanques experimentales no exceda el nivel de coliformes fecales de 1×10^4 NMP/100 ml. Sin embargo, existen imprevistos como sobrecargas temporales del sistema, cambios climatológicos, eventual desarrollo excesivo de las algas y zooplancton en las lagunas de maduración y estanques acuícolas, que podrían determinar cambios drásticos (pero temporales) en la calidad del agua. Tales cambios pueden derivar en una reducción de la capacidad de tratamiento del sistema y/o decaimiento de los niveles de tolerancia en los peces, pudiendo inducir la penetración de bacterias en el músculo. Ante estas circunstancias, resulta imprescindible efectuar un control sanitario del pescado, para verificar que el nivel de bacterias en el músculo no exceda 50/gramo al momento de la cosecha.

En el caso de que las condiciones de cultivo se hubieran mantenido constantes y dentro de los límites permisibles, el control de calidad sanitaria de los peces cosechados para su comercialización podría quedar supeditado a las exigencias de las entidades de control oficial que certifiquen la aptitud para el consumo humano directo.

La calidad sanitaria de los peces puede ser mejorada mediante un lavado para eliminar el lodo que a veces acompaña a los peces en el momento de su captura con redes, especialmente porque éste incrementa la carga bacteriana saprofita del producto y por tanto la velocidad de deterioro.

La cocción del pescado es práctica aconsejable en muchas áreas donde existe acuicultura en estanques fertilizados con desechos orgánicos, y resulta en este caso también una precaución importante que debe ser recomendada.

Finalmente, se debe comentar que siempre existirá algún riesgo de salud pública derivado del consumo de productos de acuicultura con aguas residuales tratadas. Este riesgo no puede ser ignorado, pero tampoco sobrestimado. Prost (1987) establece tres tipos de riesgo:

- el teórico, representado por el tipo de agentes patógenos presentes en el agua o en los peces;
- el experimental, representado por las características del sistema que afectan la remoción o supervivencia de patógenos en concentraciones que puedan considerarse infectivas; y
- el riesgo actual, que depende de las características epidemiológicas de una población. Este último nivel de riesgo depende del grado de inmunidad adquirido por miembros de la población expuesta. De esta manera, si el agente patógeno cuyo riesgo se pretende establecer es un contaminante usualmente presente en el medio, el riesgo asociado con el agua residual sólo será un factor secundario de exposición.

6. CONCLUSIONES

- 6.1 Se ha verificado que el modelo de flujo disperso, utilizado para estimar el período de retención en las lagunas de estabilización, puede ser usado como una herramienta para el diseño y operación de sistemas que involucren el uso de efluentes en actividades como la acuicultura, donde la principal limitante sea el nivel de bacterias permisible.
- 6.2 El sistema de tratamiento de aguas residuales en lagunas de estabilización resultó adecuado para obtener una calidad sanitaria en el agua usada para acuicultura.
- 6.3 El nivel máximo de coliformes fecales en el agua de los estanques acuícolas debe ser de $1 \times 10^4/100\text{ml}$, a fin de minimizar el nivel de riesgo de contaminación de la tilapia nilótica por bacterias en el músculo, y permitir por tanto su consumo humano directo.
- 6.4 Se ha encontrado una disminución de por lo menos un ciclo logarítmico entre la carga de coliformes fecales del efluente de las lagunas de tratamiento y los estanques de acuicultura. Por esta razón, el nivel máximo de coliformes fecales en el efluente debe ser de $1 \times 10^5/100\text{ml}$.

- 6.5 Se ha encontrado evidencias de que una exposición prolongada de los peces a aguas conteniendo niveles de coliformes fecales superiores a 1×10^4 NMP/100ml pueden originar el ingreso de bacterias al músculo del pez. Así mismo se observó que es posible la depuración de estos peces contaminados en los mismos estanques, si los niveles de coliformes retornan a los niveles planteados como permisibles.
- 6.6 No se verificó presencia de Salmonella en el efluente y estanques de cultivo bajo la técnica del NMP, pero sí se presentó eventualmente con técnicas cualitativas. Su presencia pudo deberse a la presencia de aves que se movilizan de una laguna a otras.
- 6.7 No se ha detectado la presencia de Salmonella en ninguna de las vías analizadas en peces (tracto digestivo, fluido peritoneal y músculo).
- 6.8 Se verificó ausencia de enterovirus, específicamente de polio y hepatitis, tanto en efluentes y estanques acuícolas como en los peces cosechados.
- 6.9 Los niveles de tóxicos como metales pesados, pesticidas y bifenilos policlorados fueron muy bajos o no detectables.

7. REFERENCIAS

American Public Health Association (A.P.H.A.). **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 14th. Ed. Washington, D.C., 1985.

Arceivala, S. **Waste treatment and disposal.** Publisher: Marcel Dekker, Inc. New York, 1981.

Arthur, J.P. **Notes of design and operation of waste stabilization ponds in warm climates in developing countries.** World Bank Technical Paper Number 7. 1982.

Bartone, C.R.; Esparza, M.L., Mayo, C.; Rojas, O.; Vitko, T. **Monitoring and maintenance of treated water quality in the San Juan Lagoons supporting aquaculture.** Final Report of Phases I-II CEPIS/PAHO. Lima, Peru. 1985.

Bartone, C.R.; Esparza, M.L., Mayo, C.; Rojas, O.; Vitko, T. **San Juan Lagoons Supporting Aquaculture. Integrated Resource Recovery Project.** The World Bank, Washington, D.C. CEPIS/PAHO, Lima, Peru. 1985.

Buras, N.; Duek, L.; Niv, S. **Reactions of fish to microorganisms in wastewater.** En: Applied and Environmental Microbiology, 4(989-995), 1985.

Buras, N.; Hopher, B.; Sandbank, E. **Pathogen transfer/wastewater.** p. 59-72. 1986.

Landstra, I. **Reclamation of nutrients, water and energy from waste.** A review of selected IDRC supported research. IDRC-MR 124e. 1986.

Buras, N. **Public Health considerations for the Lima-San Juan de Miraflores wastewater reuse for aquaculture: Research and Demonstration Project.** Mission to Lima-Peru April 4- May 8, 1988. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS).

Buras, N.; Duek, L.; Niv, S.; Hopher, B.; Sandbank, E. **Microbiological aspects of fish grown in treated wastewater.** Wat. Res. Vol. 21(1): 1-10. 1987.

Buras, N. **Public Health guidelines for sewage-fed fish culture.** En: Jhingran, A.G; Ghosh, D.; Ghosh, A. (eds.). Proceedings of the International Seminar on Wastewater Reclamation and Reuse for Aquaculture. 170 p. 1988.

Dissanayake, M.G. **Kinds of bacteria in waste stabilization ponds.** Doctoral dissertation No. EV-81-1 Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand. 1981.

Edwards P.; Polprasert, C.; Leong Wee, K. **Resource recovery and health aspects of sanitation.** AIT Research Report No. 205. 1987.

Edwards, P.; Pacharapraikiti, Ch.; Kaepaitoon, K.; Singh, V. **Reuse of cesspool slurry and cellulose agricultural residues for fish culture.** Final Report AIT Research Report No. 166. Agricultural and Food Engineering Division. Bangkok, Thailand. 1984.

Engelbert Report. **Health aspects of wastewater and excreta use in agriculture and aquaculture.** IRCWD New, 23: 11-19. 1985.

Geldrich, E.; Clarke, N.A. **Bacterial pollution indicators in the intestinal tract of fresh Water fish.** Appl. Microbial & Sons. 14(429-437). 1966.

Hejkal, T.; Gerba, Ch.; Henderson, S.; Freeze, F. **Bacteriological, virological and chemical evaluation of a wastewater aquaculture system.** Wat. Res. Vol. 12 . pp 1745-1755.

International Committee of Microbiological Specifications for Food (ICMSF). **Técnicas de análisis microbiológico**. Ed. Acribia. 2da. Ed. España. 1983.

Ohgaki, S.; Ketratanakul, A.; Prasertsom, U. **Effect of sunlight on coliphages in an oxidation pond**. Water Science & Technology. Vol. 18(10): 37-46 pp. 1986.

Polprasert, Ch.; Bhattarai, K. **Dispersion model for waste stabilization ponds**. Journal of the Environmental Engineering Division. A.S.C.E. 111(12). 1985.

Polprasert, Ch.; Dissanayake, M.O.; Bhattarai, K.; Thank, N.C. **Bacterial die-off kinetics in waste stabilization ponds**. Journal of the Water Pollution Control Federation 55(3): 285-296. 1986.

Prost, C. **Wastewater reuse for irrigation**. Evolution of Health standards. Water for agriculture. Part 2. Water Quality Bull. VI. 12(2), 1987.

Sáenz, R. **Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales**. Manual DTIAPA. No C-14/CEPIS/OPS. 1985.

Sáenz, R. **Predicción de la calidad del efluente en lagunas de estabilización**. CEPIS/HPE/OPS/OMS. Lima, Perú. 1987.

Schroeder, G.L. **Autotrophic and heterotrophic production of microorganisms in intensively manured fish ponds and related yields**. Aquaculture. 14:303-327. 1988.

Shuval, H.I.; Adin, A.; Fattal, B.; Rawitz, E.; Yekutieli, S. **Reuse of treated pond effluents for fish culture health effects of wastewater reuse in agriculture**. 13 p. 1985

Suffern, J.S.; Fitzgerald, C.M.; Szluha, A.T. **Trace metal concentrations in oxidation ponds**. Journal WPCF. Vol 53(11), 1981.

UNEP/FAO/WHO. **Assesment of chemical contaminants in food**. Report on the Results of the UNEP/FAO/WHO Programme on Health-related Environmental Monitoring. 1988.

WHO/UNDP. **Global pollution and health**. Results of Health-related Environmental Monitoring. GEMS. Global Environment Monitoring System. London. 1987.

WHO. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report Series 778, Geneva, Switzerland. 75 p. 1989.

Yánez, F. **Indicator and Pathogen organism die-off in ponds and design under tropical conditions.** Paper presented at 56th Annual Conference of the Water Pollution Control Federation, Atlanta, Georgia, 2-6 October 1983.

Yánez, F. **Reducción de organismos patógenos y diseño de lagunas de estabilización.** Trabajo presentado en el Seminario Regional de Investigación sobre Lagunas de Estabilización. p. 40-80. CEPIS/OPS, Lima-Perú, Marzo 1986.

CUADRO II-1

Programa de monitoreo del Proyecto Reuso en acuicultura de las aguas tratadas en las lagunas de estabilizacion de San Juan de Miraflores, Lima, Peru

Parametro	Unidades	Frecuencia	Metodo analitico	Lugar
a) Hidraulicos :				
Flujo de agua	l/s	diaria	Correntometro	1
Tasa de infiltracion- evaporacion	% volumen/dia	semanal	Medicion en el campo	2
Profundidad	m	una	Medicion en el campo	1,2
b) Factores fisico-quimicos :				
DBO total ⁵	mg/l	semanal	Incubacion (sin filtrar)	1
DBO soluble ⁵	mg/l	semanal	Incubacion	1
DQO total	mg/l	semanal	Volumetrico (dicromato de potasio)	1
DQO soluble	mg/l	semanal	Volumetrico (dicromato de potasio)	1
Solidos suspendidos totales (SST)	mg/l	bisemanal	Gravimetrico	1,2
Solidos suspendidos volatiles (SSV)	mg/l	bisemanal	Gravimetrico	1,2
Fosforo total	mg/l	bisemanal	Spectrofotometrico (sin filtrar, acido ascorbico)	1,2
Orthofosfatos	mg/l	bisemanal	Spectrofotometrico (acido ascorbico)	1,2
Nitrogeno organico	mg/l	bisemanal	Kjeldahl (sin filtrar)	1,2
Nitratos	mg/l	bisemanal	Spectrofotometrico (reduccion con Cadmio y diazotation)	2
Nitritos	mg/l	bisemanal	Spectrofotometrico, diazotation	2
Nitrogeno amoniacal	mg/l	semanal	Electrodo especifico	1,2
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /l	mensual	Volumetrico	1,2
Temperatura del agua				
- promedios de 6:00 y 14:00 horas	oC	3-4 dias/semana	Electrodo	2
- ciclos diarios	oC	2 por experimento	Electrodo	2
pH				
- tomada a las 14:00 horas		3-4 dias/semana	pH metro	2
- ciclos diarios		2 por experimento	pH metro	2
Oxigeno disuelto				
- tomado a las 6:00 horas	mg/l	3-4 dias/semana	Electrodo	2
- ciclos diarios	mg/l	2 por experimento	Electrodo	2
Transparencia a las 14:00 horas	cm	3-4 dias/semana	Disco Secchi	2
Pigmento Clorofila-a	ug	semanal	Spectrofotometrico	1,2
c) Biometria de peces				
Talla total promedio	cm	bisemanal	Muestras entre el 5 - 25%	2
Peso individual	g	bisemanal	Muestras entre el 5 - 25%	2
d) Fitoplancton				
Algas	celulas/ml	semanal	Contaje directo al microscopio	2
Composicion de la muestra	% de la muestra si fue mayor del 5%	semanal	Contaje directo al microscopio	2
e) Zooplancton				
Rotiferos	organismos/l	semanal	Contaje directo al microscopio	2
Copepodos	organismos/l	semanal	Contaje directo al microscopio	2
Cladoceros	organismos/l	semanal	Contaje directo al microscopio	2
f) Zoobentos				
	Contaje	en la cosecha	Contaje directo al microscopio	2
g) Sanitarios				
	Unidades	Metodo	Frecuencia de muestreo	
			-----Estanques-----Lagunas Efluente	
			--agua- --lodos- --peces- --agua- --agua-	
Coliformes totales	NMP/100 ml	Standard	semanal ----- mensual semanal	
Coliformes fecales	NMP/100 ml	Standard	semanal ----- mensual semanal	
Bacterias totales viables (SPC)	UFC/ml	Standard	semanal ----- --dos- ----- semanal	
Bacterias viables en mFC agar	UFC/ml	Standard	semanal ----- --dos- ----- semanal	
Bacteriofagos de E. coli	NMP/100 ml	Standard	semanal ----- ----- semanal	
Salmonella	NMP/100 ml	Standard	semanal ----- ----- mensual semanal	
Salmonella	presenc./ausenc.	almohadilla	semanal ----- ----- mensual semanal	
Clostridium sulfito reductor	UFC/ml	TSC agar	semanal ----- --dos- ----- semanal	
Parasitos	organismos/litro	sedimentacion flotacion	mensual ----- --una- ----- mensual semanal	
Polio	UFC/ml	linea celular	--dos- ----- --una- ----- --una-	
Hepatitis infecciosa B	UFC/ml	linea celular	--dos- ----- --una- ----- --una-	
Metales pesados (Cd,Pb,Cr y Hg)	ug/l	absorcion atomica	--una- --una- --una- --una- --una-	
Pesticidas	ppb	cromatografia gas	--una- --una- --una- --una- --una-	

MPN = Numero mas probable
 CFU = Unidad formadora de colonia

Lugar: 1 = Lagunas de estabilizacion
 2 = Estanques de acuicultura y efluente terciario

CUADRO II-2

Cargas hidraulicas aplicadas al sistema de lagunas de estabilizacion
Valores promedio por experimento

<i>LAGUNA</i>	<i>CAUDAL AFLUENTE (l/s)</i>	<i>CAUDAL EFLUENTE (l/s)</i>	<i>AREA (ha)</i>	<i>PROFUN- DIDAD (m)</i>	<i>VOLUMEN (m3)</i>	<i>TASA DE INF.-EVAP (cm/dia)</i>	<i>Periodo retencion (dias)</i>
EXPERIMENTO 1 (Del 4 de julio al 5 de diciembre de 1988) :							
<i>PRIMARIAS</i>	13.79	12.01	1.14	1.43	16,302	1.35	15.7
<i>SECUNDARIA</i>	12.01	9.88	1.84	1.68	30,912	1.00	36.2
<i>TERCIARIA</i>	9.88	7.56	1.00	1.31	13,100	2.00	20.0
TOTAL 1			3.98		60,314		72.0
EXPERIMENTO 2 (Del 9 enero al 23 de abril de 1989) :							
<i>PRIMARIAS</i>	25.34	23.82	1.14	1.43	16,302	1.15	7.9
<i>SECUNDARIA</i>	23.82	21.69	1.84	1.68	30,912	1.00	16.5
<i>TERCIARIA</i>	21.69	19.49	1.00	1.31	13,100	1.90	7.8
TOTAL 2			3.98		60,314		32.2
EXPERIMENTO 3 (Del 5 de junio al 6 de noviembre de 1989) :							
<i>PRIMARIAS</i>	16.09	14.51	1.14	1.43	16,302	1.20	13.0
<i>SECUNDARIA</i>	14.51	12.38	1.84	1.68	30,912	1.00	28.9
<i>TERCIARIA</i>	12.38	10.18	1.00	1.31	13,100	1.90	14.9
TOTAL 3			3.98		60,314		56.8
EXPERIMENTO 4 (Del 18 de diciembre de 1989 al 9 de abril de 1990) :							
<i>PRIMARIAS</i>	25.37	12.84	1.14	1.43	16,302	9.50	14.7
<i>SECUNDARIA</i>	12.84	10.28	1.84	1.68	30,912	1.20	34.8
<i>TERCIARIA</i>	10.28	8.43	1.00	1.31	13,100	1.60	18.0
TOTAL 4			3.98		60,314		67.5

CUADRO II-3

Valores promedio de los parametros fisico-quimicos medidos en el sistema de lagunas de estabilizacion en todo el periodo experimental del 4 de julio de 1988 al 9 de abril de 1990 (mg/l)

PARAMETRO	CRUDO	PRIMARIAS	SECUNDARIA	TERCIARIA
DQO total	562	202	183	171
DQO soluble	149	67	53	46
DBO 5 total	278	53	91	80
DBO 5 soluble	67	15	19	15
Solidos suspendidos totales	270	96	111	103
Solidos suspendidos volatiles	229	88	100	94
Fosforo total	7.70	4.73	4.76	4.54
Ortofosfatos	4.02	2.22	1.12	1.60
Nitrogeno organico	19.25	8.16	10.58	10.55
Nitratos				0.72
Nitritos				0.43
Nitrogeno amoniacal	47.49	22.15	7.12	1.78
Alcalinidad total	260	210	154	135
Clorofila A (ug/l)	0	943	1139	1113

CUADRO II-4

Analisis cualitativo de enteroparasitos detectados en las lagunas de estabilizacion

EXPERI- MENTO	NIVEL DE TRATAM.	HELMINTOS										PROTOZOOS					
		Ascaris lumbric.		Trichurus trichura		Hymenolepis nana		Hymenolepis diminuta		Taenia		Toxocara		Giardia lamblia		Entamoeba coli	
		(*)	(%)	(*)	(%)	(*)	(%)	(*)	(%)	(*)	(%)	(*)	(%)	(*)	(%)	(*)	(%)
1	Crudo	7/7	100	1/7	14	4/7	57	0/7	0	1/7	14	0/7	0	7/7	100	7/7	100
	Primario	1/7	14	1/7	14	1/7	14	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0	3/7	43
	Secundario	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0
	Terciario	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0	0/7	0
2	Crudo	3/4	75	1/4	25	3/4	75	3/4	75	0/4	0	1/4	25	4/4	100	4/4	100
	Primario	1/4	25	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0
	Secundario	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0
	Terciario	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0
3	Crudo	11/11	100	5/11	45	6/11	55	0/11	0	0/11	0	0/11	0	10/11	91	10/11	100
	Primario	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0
	Secundario	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0
	Terciario	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0	0/11	0
4	Crudo	4/4	100	4/4	100	3/4	75	1/4	25	0/4	0	2/4	50	4/4	100	4/4	100
	Primario	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0
	Secundario	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0
	Terciario	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0	0/4	0

(*) Numero de muestras positivas/numero de muestras evaluadas

CUADRO II-5

Características microbiológicas del efluente terciario

PARAMETRO	EXPERIMENTO			
	1	2	3	4
Coliformes totales (NMP/100 ml)	1.7E+04	9.2E+04	2.7E+04	2.6E+04
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	9.8E+03	2.2E+04	1.3E+04	1.5E+04
Bacterias totales viables (UFC/ml)	1.9E+04	3.3E+05	1.0E+05	1.8E+05
Bacterias viables en mFC (UFC/ml)	9.6E+02	6.3E+02	-	-
Clostridium sulfito reductor (UFC/ml)	-	7.2E+02	-	-
Bacteriofagos de E. coli (NMP/100 ml)	6.3E+01	2.2E+02	1.6E+01	6.8E+01

CUADRO II-6

Serotipificación de Cepas de Salmonella aisladas del efluente terciario y de los estanques de acuicultura

SALMONELLA ENTERICA	Efluente terciario		Estanques acuicolas	
	No.cepas	%	No.cepas	%
Serovar oranienburg	0	0	5	28
Serovar newport	4	9	0	0
Serovar paratyphi B	39	91	13	72
Total de cepas	43	100	18	100

CUADRO II-7

Deteccion de Enterovirus en el sistema de lagunas de estabilizacion, estanques de acuicultura y peces cultivados

MUESTRA	LINEA CELULAR		
	VERO (a)	HEP-2 (a)	BMG (b)
Crudo	-	-	8007/1 litro
Efluente primario	-	-	924/1 litro
Efluente secundario	-	-	-
Efluente terciario	Negativo	Negativo	0/5 litros
Agua de los estanques acuicolas	Negativo	Negativo	0/5 litros
Peces antes de la cosecha	Negativo	Negativo	-

(a) Efectuado por el Instituto de Salud Publica, Peru.

(b) Efectuado por la Universidad de Arizona, USA.

CUADRO II-8

Calidad sanitaria de los peces cultivados, segun la Clasificacion propuesta por BURAS (1987), en porcentaje

Calidad	Concentracion de bacterias por gramo de musculo	EXPERIMENTO			
		1	2	3	4
MUY BUENO	0 - 10	100	100	86	100
ACEPTABLE	10 - 50	0	0	8	0
RECHAZABLE	MAS DE 50	0	0	6	0

CUADRO II-9

Calidad sanitaria de los peces cultivados, según especificaciones para alimentos de la ICMSF

PARAMETRO	MUESTRA				
	1	2	3	4	5
Bacterias totales viables (UFC/g)	250	170	25600	380	1920
Coliformes totales (UFC/g)	Negativo	40	1830	150	20
Salmonella NMP/25 g)	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Realizado por la Empresa Publica de Certificaciones Pesqueras del Peru (CERPER)

CUADRO II-10

Niveles de metales pesados y PCBs en lodos de la laguna terciaria y estanques acuicolas, agua de los estanques y peces cultivados (ug/g)

MUESTRA/EXPERIMENTO	PLOMO	CADMIO	CROMO	MERCURIO	PCBs
Lodos de la laguna terciaria (en base seca) :					
1	88.30	2.70	17.50	-	0.110
2	87.50	5.00	26.50	0.25	0.120
3	69.80	4.80	23.40	0.32	0.075
4	26.90	1.70	14.30	0.16	0.072
Lodos de los estanques acuicolas (en base seca) :					
1	-	-	-	-	-
2	13.00	1.20	11.60	<0.02	0.011
3	18.00	1.20	16.60	0.05	0.010
4	16.90	1.60	12.00	0.07	0.004
Agua de los estanques acuicolas (ug/l) :					
1	<10.0	<5.0	<25.0	0.15	-
2	<10.0	<5.0	<25.0	<0.10	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
Musculo de los peces cultivados :					
1	<0.05	<0.05	<0.25	0.02	0.002
2	<0.05	0.24	<0.25	0.04	0.008
3	<0.05	<0.05	<0.25	0.03	0.008
4	<0.05	0.23	<0.25	0.05	0.012

CUADRO II-11

Niveles de pesticidas detectados en agua y lodos de los estanques acuicolas y en el musculo y las visceras de los peces cultivados en el experimento 1 (ng/l kg)

PESTICIDA	AGUA	LODOS	MUSCULO	VISCERAS
alfa-BHC	-	-	445	-
Lindano	-	-	< 40	-
Heptacloro	-	-	< 60	-
Dieldrin	< 1	200	500	15
Endrin	< 1	-	< 50	-
o,p-DDT	< 2	-	< 100	-
p,p-DDT	< 2	-	< 100	-

(*) Las visceras evaluadas fueron higado y gonadas

CUADRO II-12

Carga orgnica aplicada al sistema de lagunas de estabilizacion (kg DBO5 total/ha/dia)

EXPERIMENTO	PROMEDIO	MAXIMA	MINIMA
1	304.8	450.5	214.3
2	591.9	857.4	390.2
3	308.6	434.4	189.2
4	478.4	887.5	345.4
Total proyecto	388.0	887.5	189.2

CUADRO II-13

Variacion historica de las características del crudo de las lagunas de estabilizacion de San Juan

PERIODO DE ESTUDIO:	1979				1983-1984				1988-1990			
	PROMEDIO	DES.STD.	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO	DES.STD.	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO	DES.STD.	MAXIMO	MINIMO
DBO 5 TOTAL (mg/l)	174.30	51.70	285.00	93.00	155.73	63.02	320.50	36.40	278	69	500	123
DBO 5 SOLUBLE (mg/l)									67	21	158	17
DQO TOTAL (mg/l)	332.30	91.52	436.00	220.00					562	124	1079	391
DQO SOLUBLE (mg/l)									149	53	370	36
pH	7.51	0.21	7.80	7.20					7.3	0.2	8.1	7
FOSFORO TOTAL (mg/l)	4.41	1.64	6.45	2.87					7.70	1.66	14.60	4.73
ORTOFOSFATOS (mg/l)	3.07	0.15	3.23	2.94	3.10	1.69	8.01	0.38	4.02	1.08	9.00	2.44
AMONIO TOTAL (mg/l)	29.30	10.43	39.60	10.39	31.80	12.90	76.71	14.80	47.50	10.10	100.00	29.00
N - ORGANICO (mg/l)	17.20	4.82	23.10	8.90	18.07	5.31	29.60	10.20	19.30	6.10	39.40	1.30
ALCALINIDAD (mg/l)	247.60	36.06	296.00	181.00	270.50	136.82	798.00	162.00	260.00	20.00	296.00	223.00
COLIFORM.TOTALES (NMP/100ml)	8.79E+07	0.38	4.3E+08	1.5E+07	1.26E+08	2.38	4.6E+08	2.4E+07	1.17E+09	0.81	5.4E+10	7.0E+07
COLIFORM.FECALES (NMP/100ml)	6.38E+07	0.44	4.6E+08	9.3E+06	4.02E+07	2.14	9.3E+07	9.3E+06	8.61E+08	0.76	5.4E+10	5.0E+07
C:N	7.1:1								8.4:1			
C:N:P	75.4:10.5:1								73:8.7:1			
Caudal Promedio (l/s)	180				230				250			
Dotacion (l/hab/dia)	229				256				143			
Poblacion estimada (*)	67,912				77,625				151,048			

(*) Estimaciones de poblacion de aporte basado en un contribucion percapite de DBO de 40 gr/habitante da

CUADRO II-14

Promedios geometricos y remocion acumulada de coliformes fecales en el sistema de lagunas de estabilizacion

LAGUNA	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Remocion acumulada %
EXPERIMENTO 1 (Del 4 de julio al 5 de diciembre de 1988) :		
Crudo	1.2E+08	
Primaria	1.7E+07	85.8333
Secundaria	6.2E+05	99.4833
Terciaria	1.3E+04	99.9892
EXPERIMENTO 2 (Del 9 de enero al 23 de abril de 1989) :		
Crudo	2.8E+09	
Primaria	2.2E+07	99.2143
Secundaria	4.2E+05	99.9850
Terciaria	2.2E+04	99.9992
EXPERIMENTO 3 (Del 5 de junio al 6 de noviembre de 1989) :		
Crudo	3.4E+08	
Primaria	3.0E+06	99.1176
Secundaria	1.6E+05	99.9412
Terciaria	1.4E+04	99.9959
EXPERIMENTO 4 (Del 18 de diciembre de 1989 al 9 de abril de 1990) :		
Crudo	3.6E+09	
Primaria	1.9E+07	99.4722
Secundaria	1.6E+05	99.9956
Terciaria	3.2E+04	99.9991

CUADRO II-15

Promedios geometricos de coliformes fecales en el efluente terciario y en los estanques de acuicultura

EXPERIMENTO	COLIFORMES FECALES (NMP/100 ml)		TASA DIARIA DE APORTE DE AGUA (%)
	EFLUENTE	ESTANQUES	
1	1.3E+04	1.0E+02	1.6
2	2.2E+04	2.8E+03	2.2
3	1.4E+04	3.3E+03	2.9
4	3.2E+04	1.1E+03	4.4

Ingreso de crudo

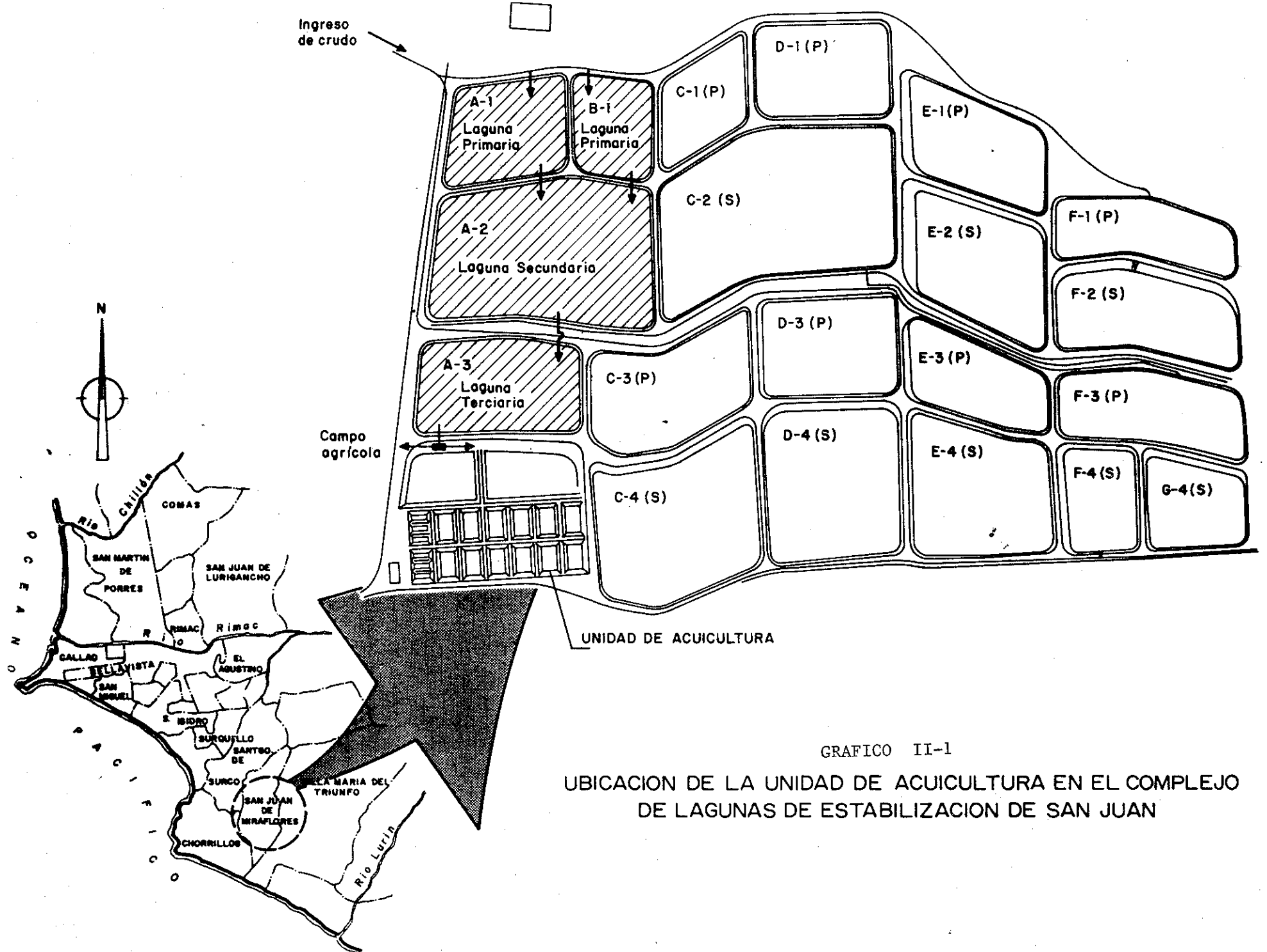
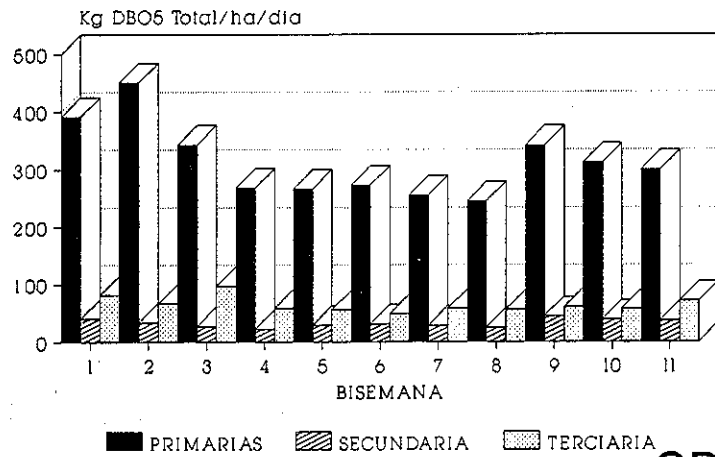


GRAFICO II-1

UBICACION DE LA UNIDAD DE ACUICULTURA EN EL COMPLEJO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE SAN JUAN

EXPERIMENTO 1



EXPERIMENTO 2

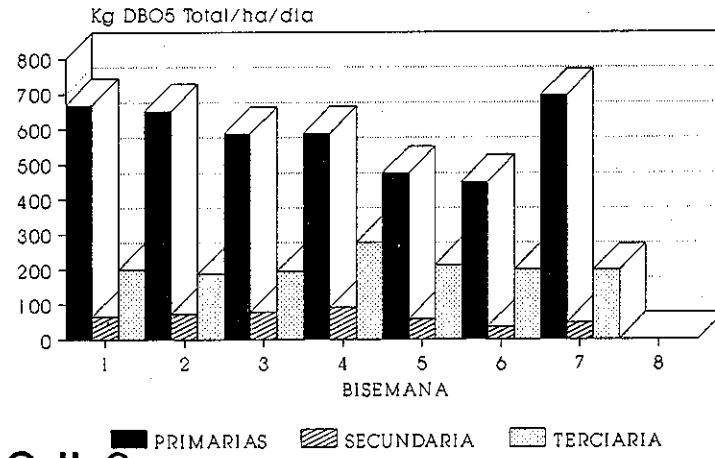
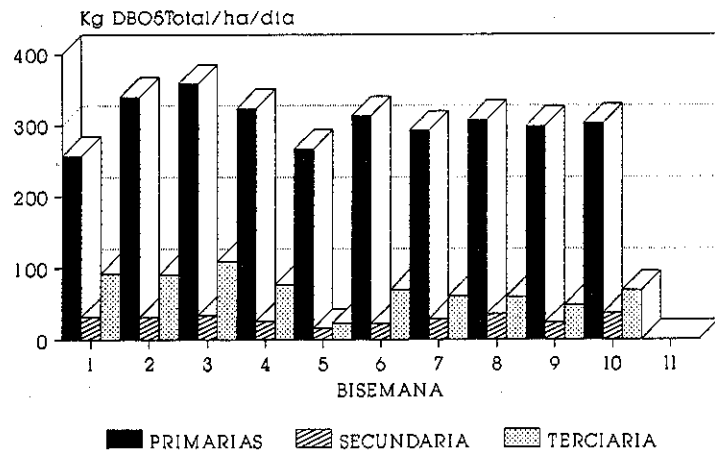


GRAFICO II-3

CARGAS SUPERFICIALES EN EL SISTEMA DE LAGUNAS

EXPERIMENTO 3



EXPERIMENTO 4

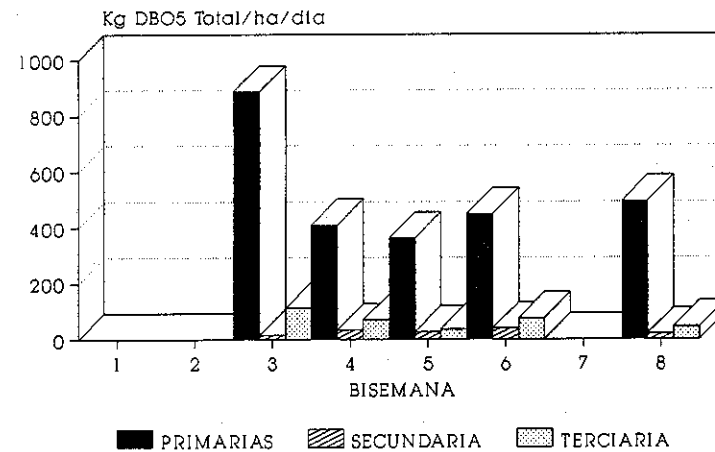


GRAFICO II-4 TEMPERATURA DEL AGUA DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE SAN JUAN

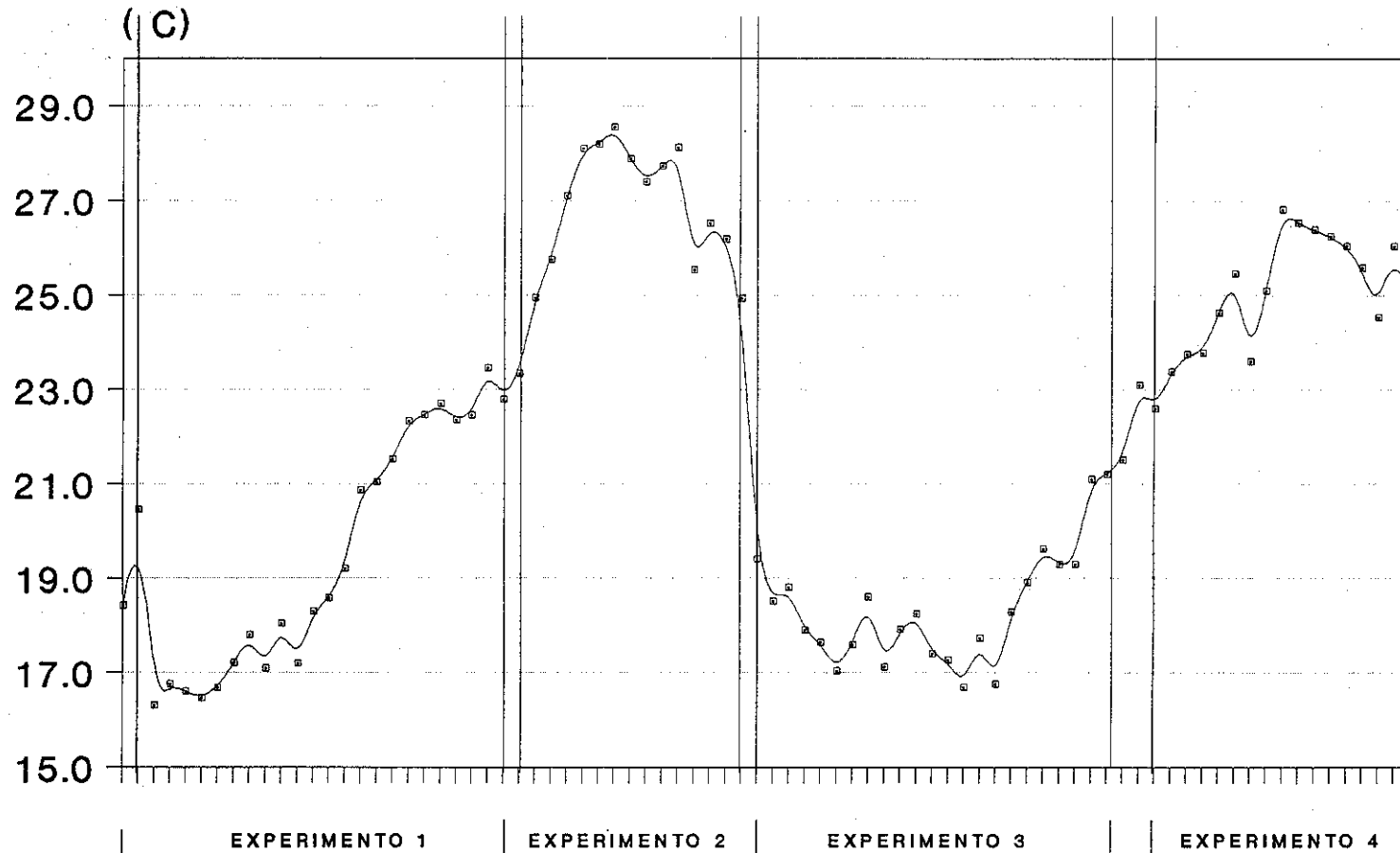
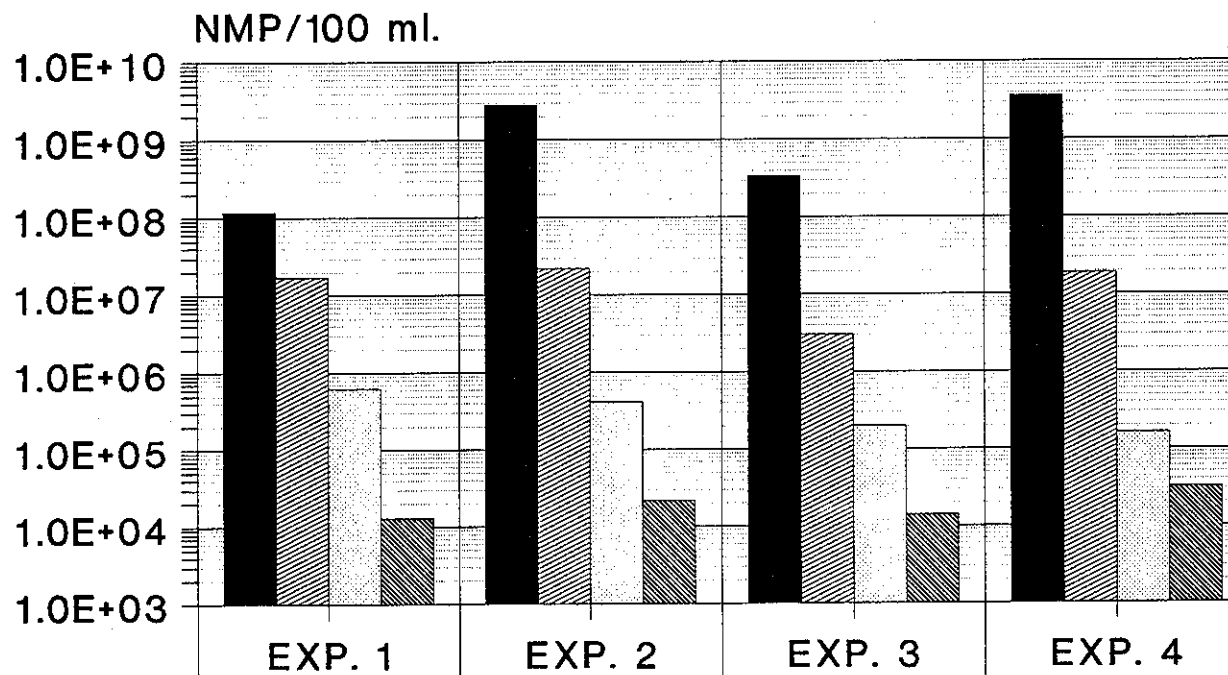


GRAFICO II-5 REMOCION DE COLIFORMES FECALES EN EL SISTEMA DE ESTABILIZACION







CRUDO		1.2E+08	2.8E+09	3.4E+08	3.6E+09
PRIMARIA		1.7E+07	2.2E+07	3.0E+06	1.9E+07
SECUNDARIA		6.2E+05	4.2E+05	2.0E+05	1.6E+05
TERCIARIA		1.3E+04	2.2E+04	1.4E+04	3.2E+04

GRAFICO II-6

REMOCION DE COLIFORMES FECALES EN EL SISTEMA DE LAGUNAS

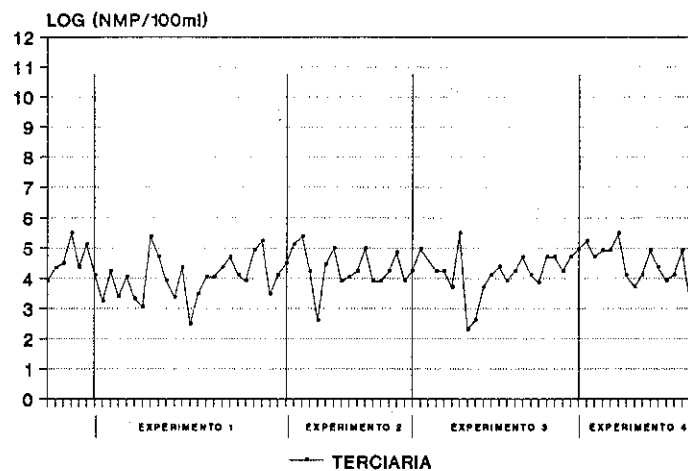
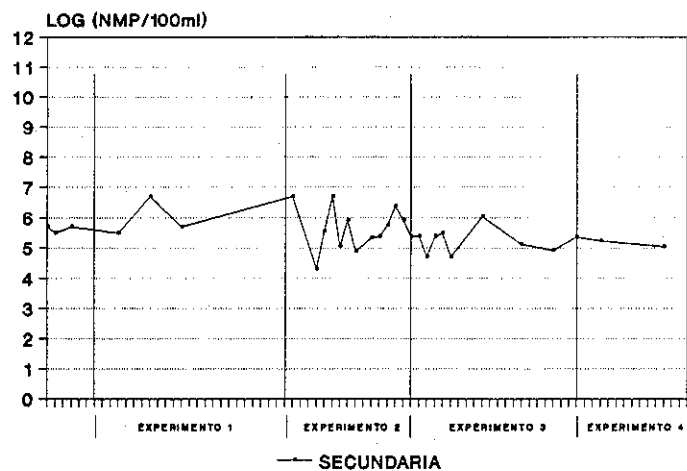
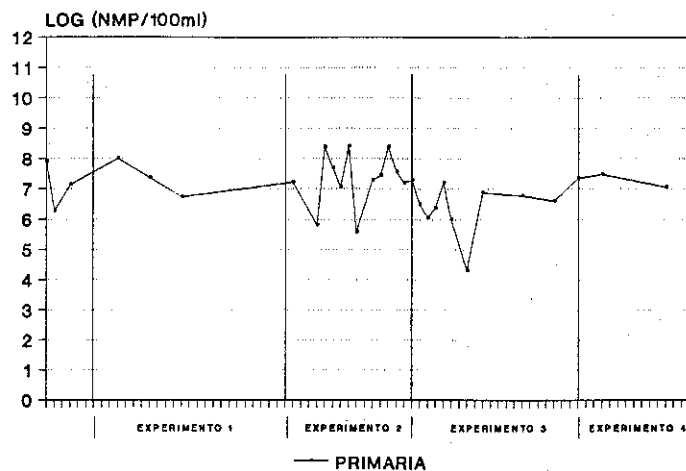
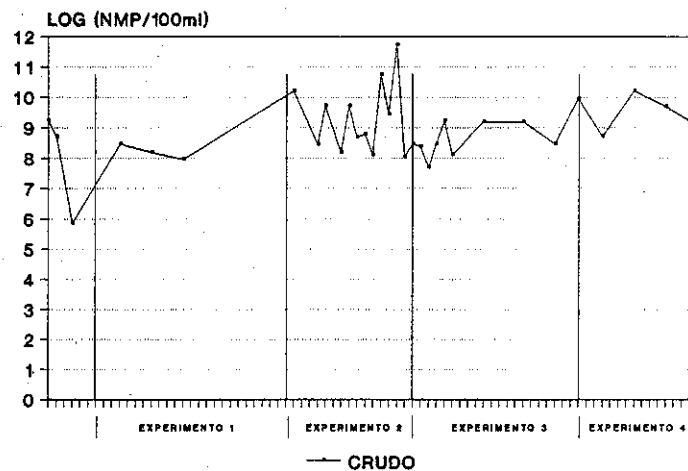
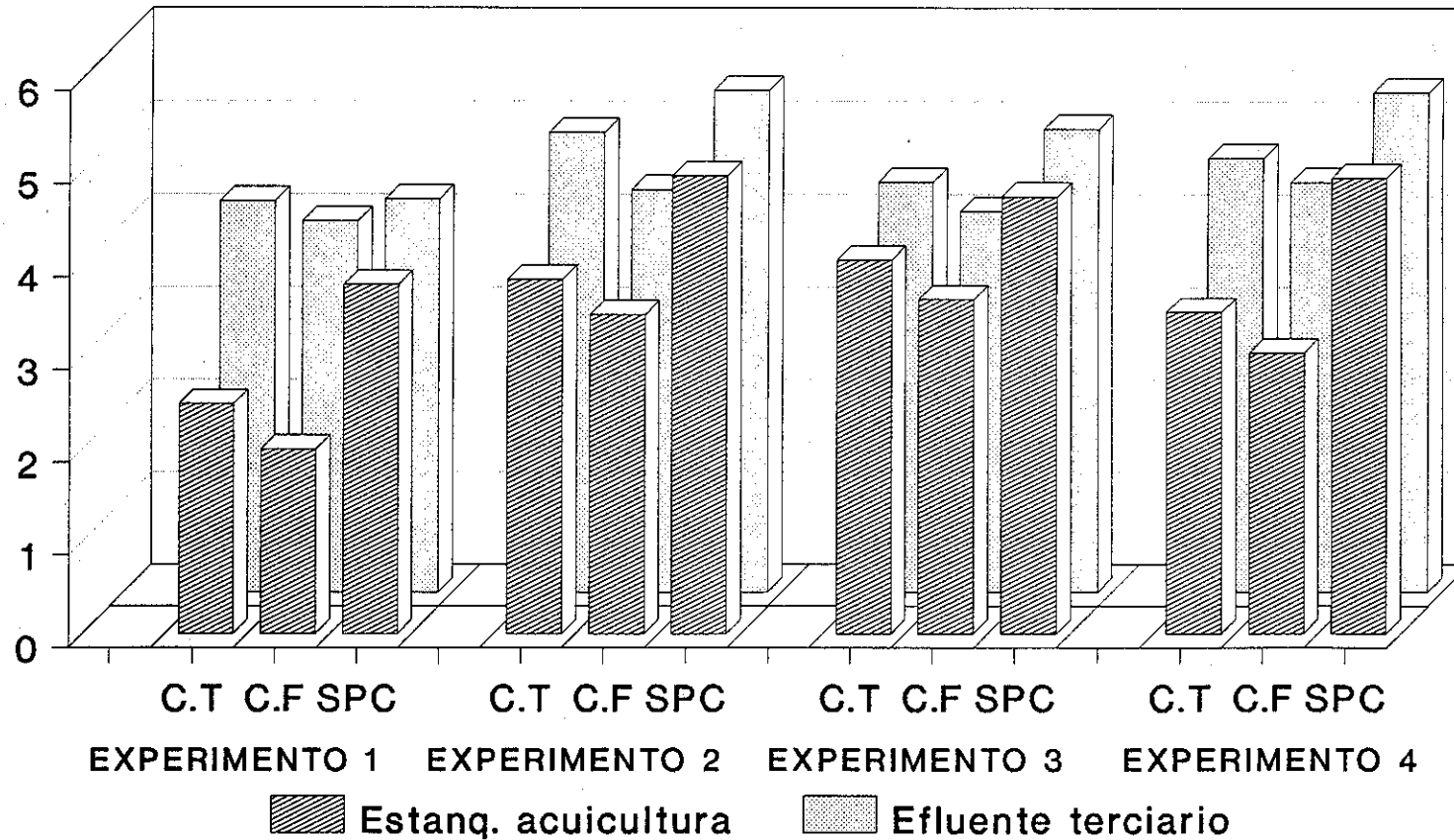


GRAFICO II-7 INDICADORES BACTERIANOS EN EL EFLUENTE TERCIARIO Y ESTANQUES DE ACUICULTURA

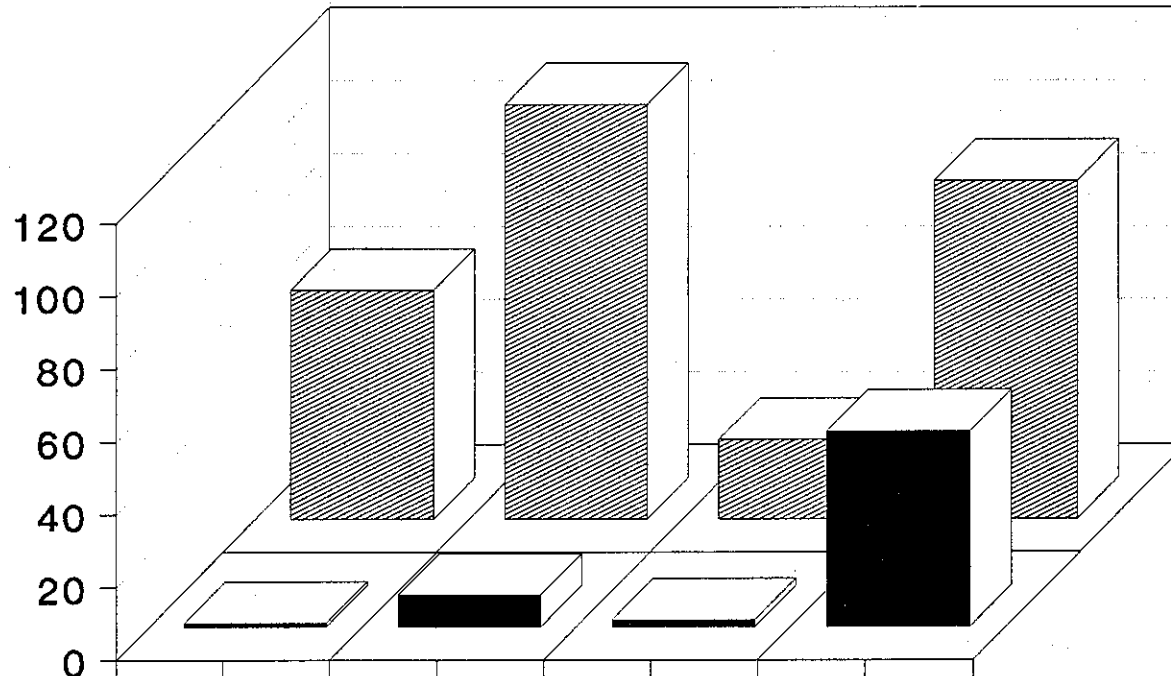
LOG del Numero de bacterias



C.T = C.totales; C.F = C.fecales

GRAFICO II-8 COLIFAGOS EN EFLUENTES TERCIARIOS Y ESTANQUES ACUICOLAS

NMP/100 ml



	EXP. 1	EXP. 2	EXP. 3	EXP. 4
TERCIARIA	63	114	22	93
ESTANQUES	1.06	8.85	2	54

GRAFICO II-9
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD ACUMULADA
CARGA SUPERFICIAL DE DBO5 LAG. PRIMARIAS

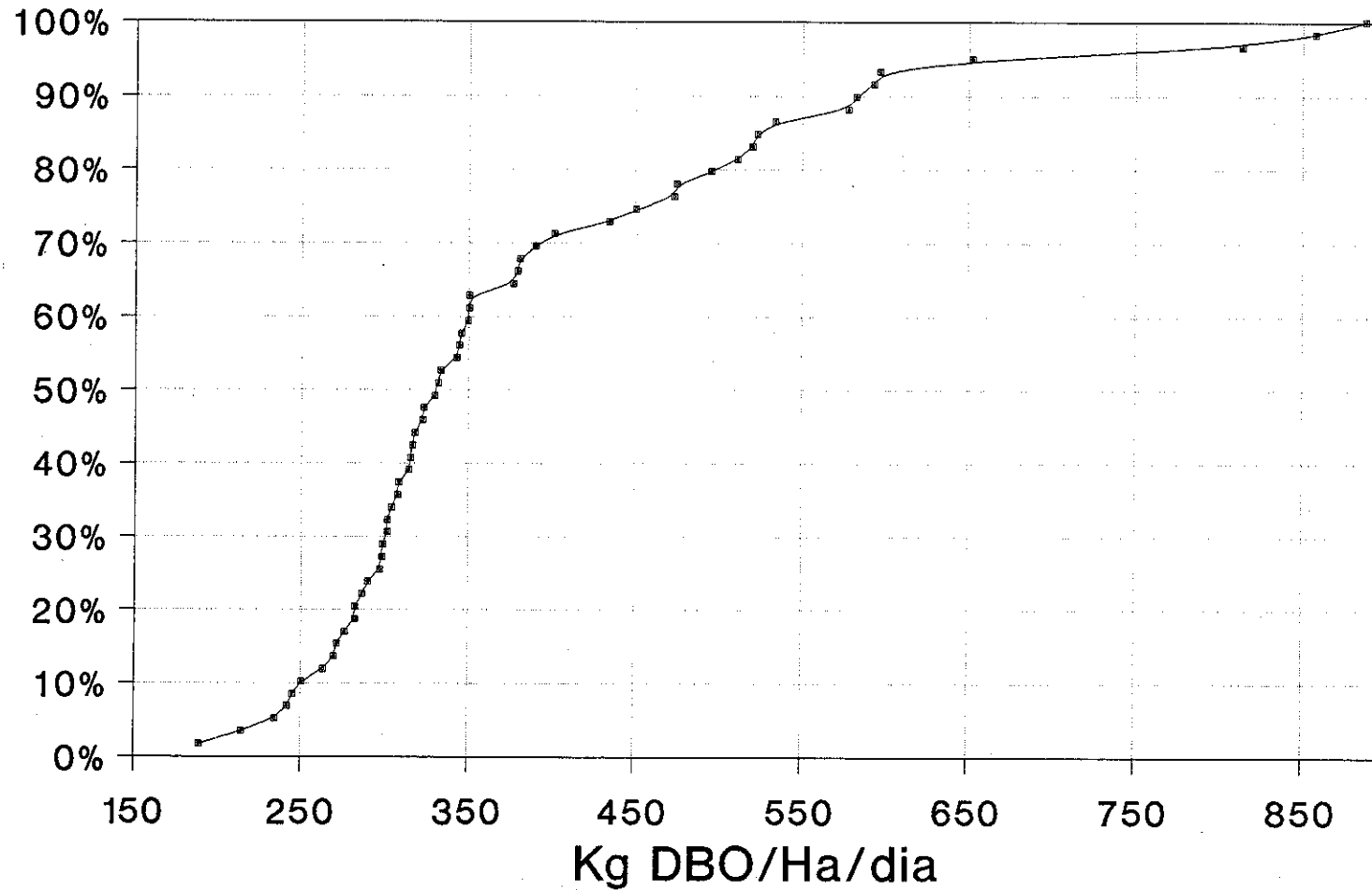


GRAFICO II-10 DIFERENCIA ENTRE LA CARGA APLICADA Y CARGA CALCULADA PARA EL SISTEMA

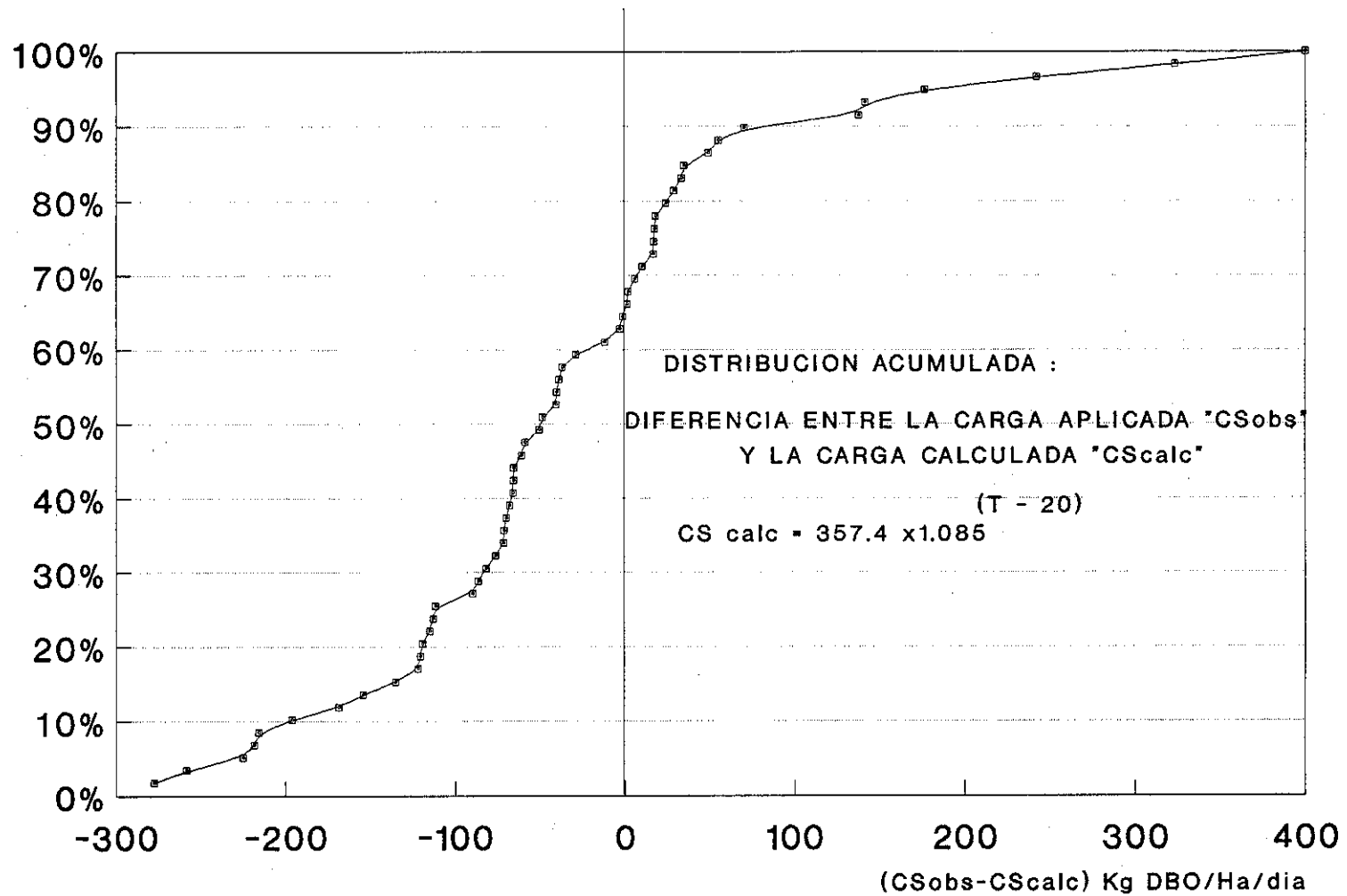
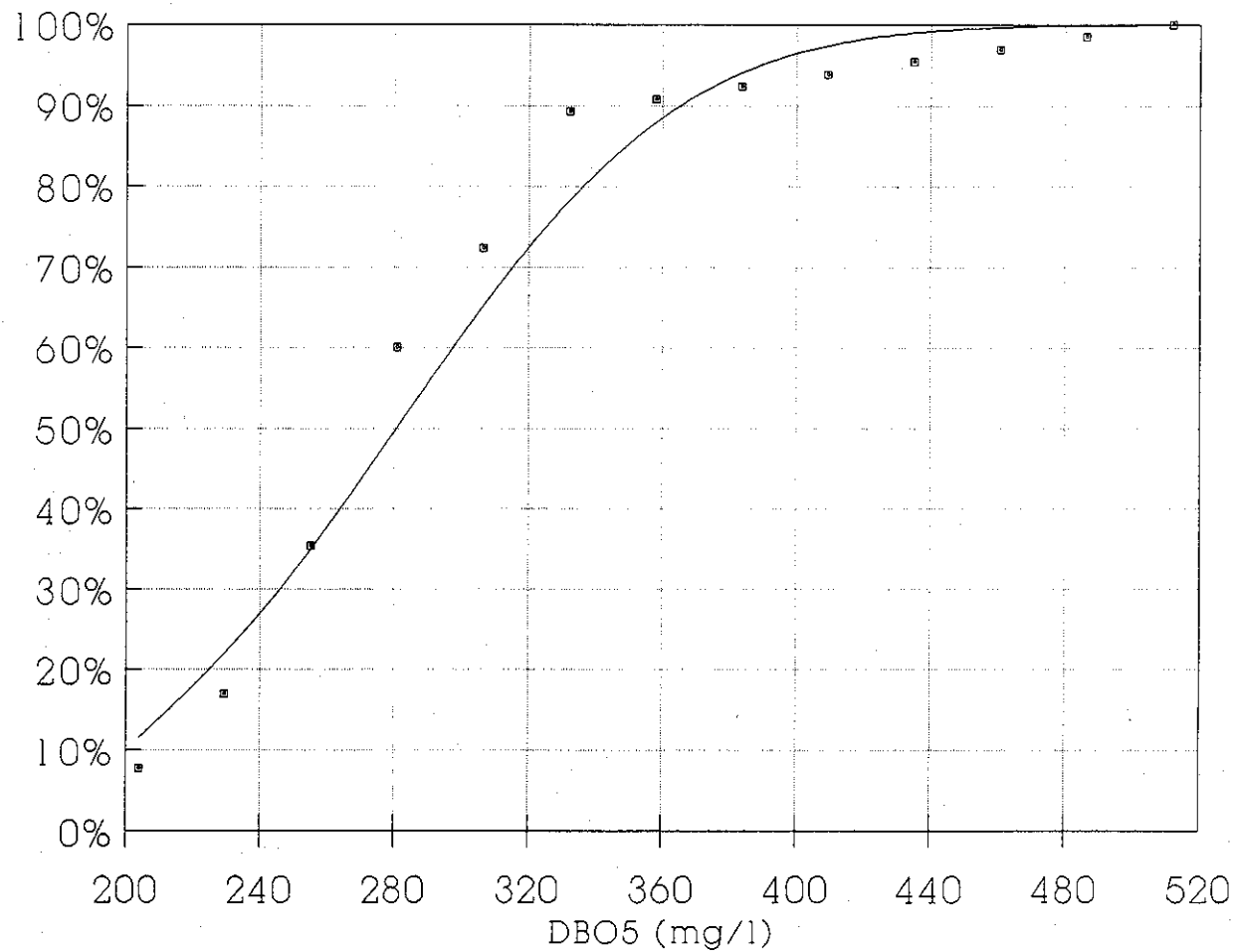


GRAFICO II-II
DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS ACUMULADAS
DE DBO5 EN EL CRUDO

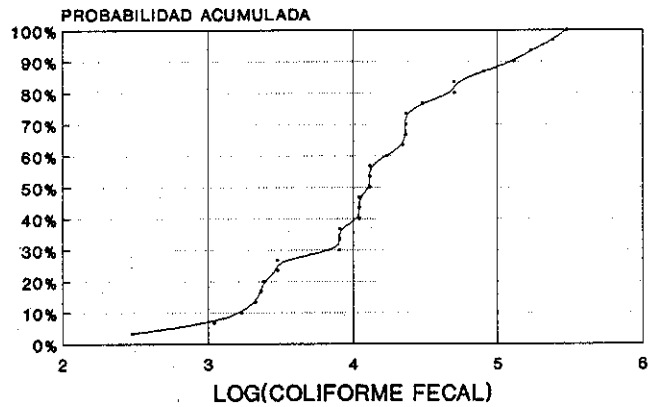


x = 278 mg/l
- = 69 mg/l

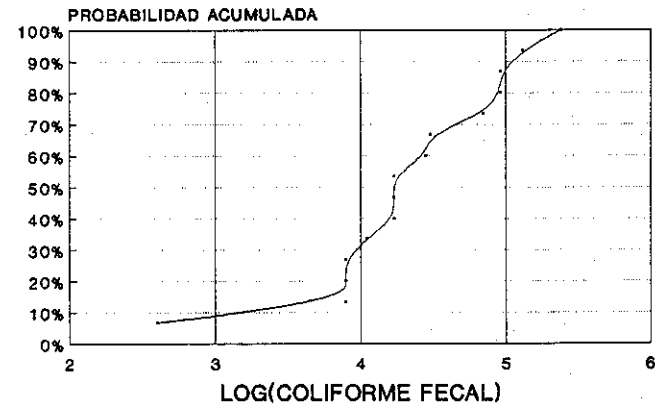
GRAFICO II-12

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD ACUMULADA DE COLIFORME FECAL - EFLUENTE TERCIARIO -

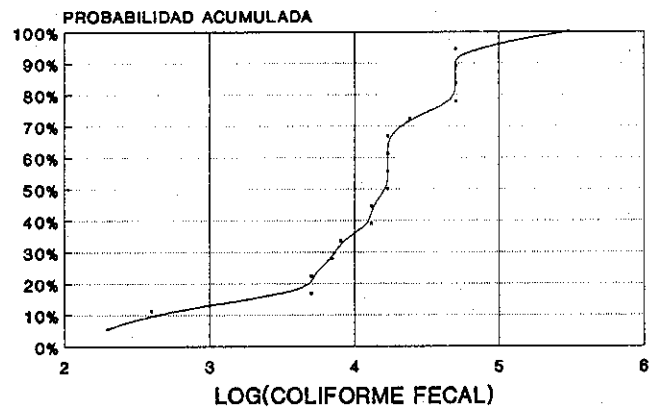
EXPERIMENTO 1



EXPERIMENTO 2



EXPERIMENTO 3



EXPERIMENTO 4

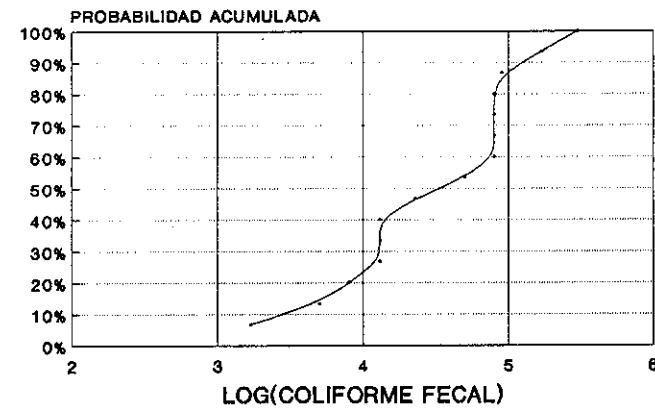
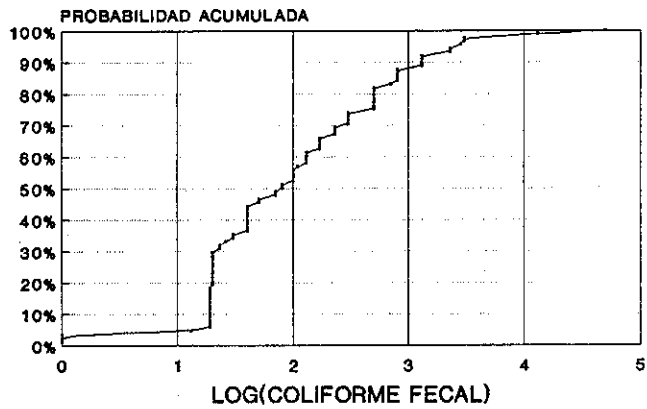


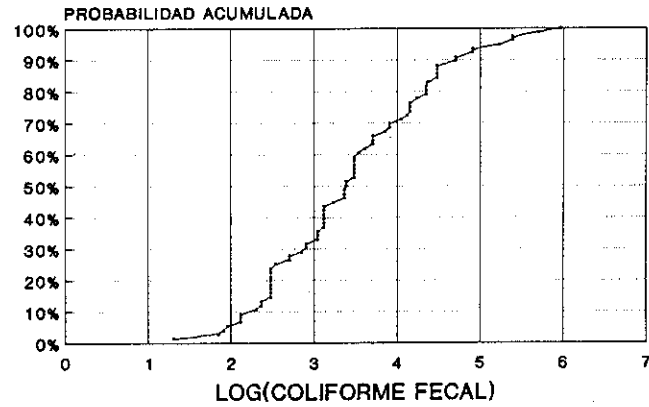
GRAFICO II-13

DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD ACUMULADA DE COLIFORME FECAL - ESTANQUES DE ACUICULTURA -

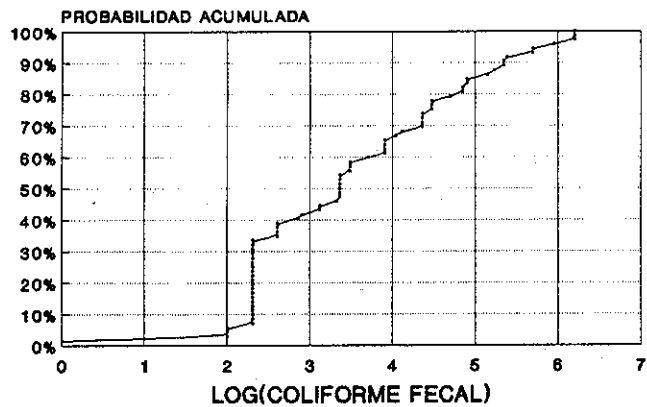
EXPERIMENTO 1



EXPERIMENTO 2



EXPERIMENTO 3



EXPERIMENTO 4

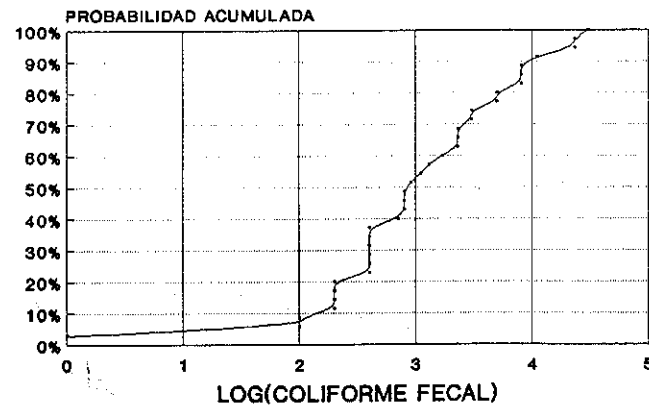
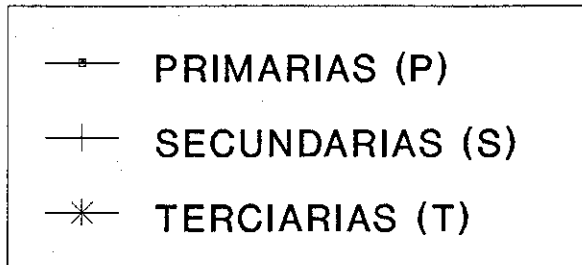


GRAFICO II-14

TASAS DE MORTALIDAD DE COLIFORMES FECALES EN LAGUNAS DE ESTABILIZACION



$P : K_b = 0.477 \times 1.18^{(T - 20)}$
$S : K_b = 0.904 \times 1.04^{(T - 20)}$
$T : K_b = 0.811 \times 1.09^{(T - 20)}$

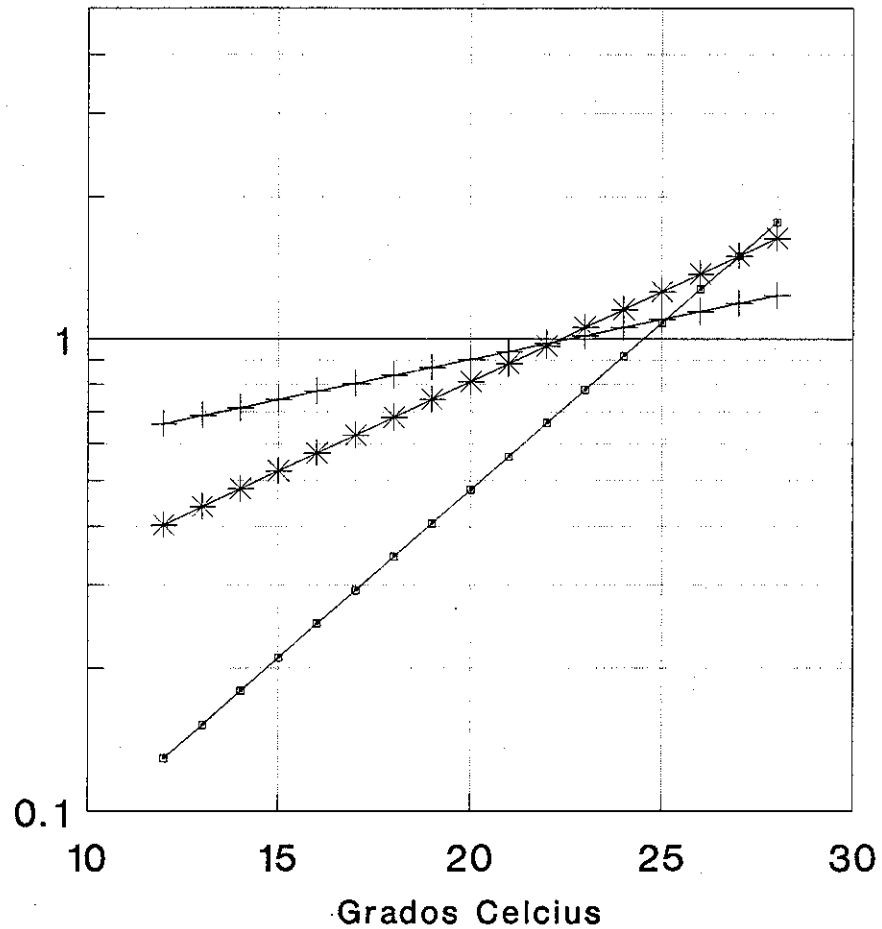
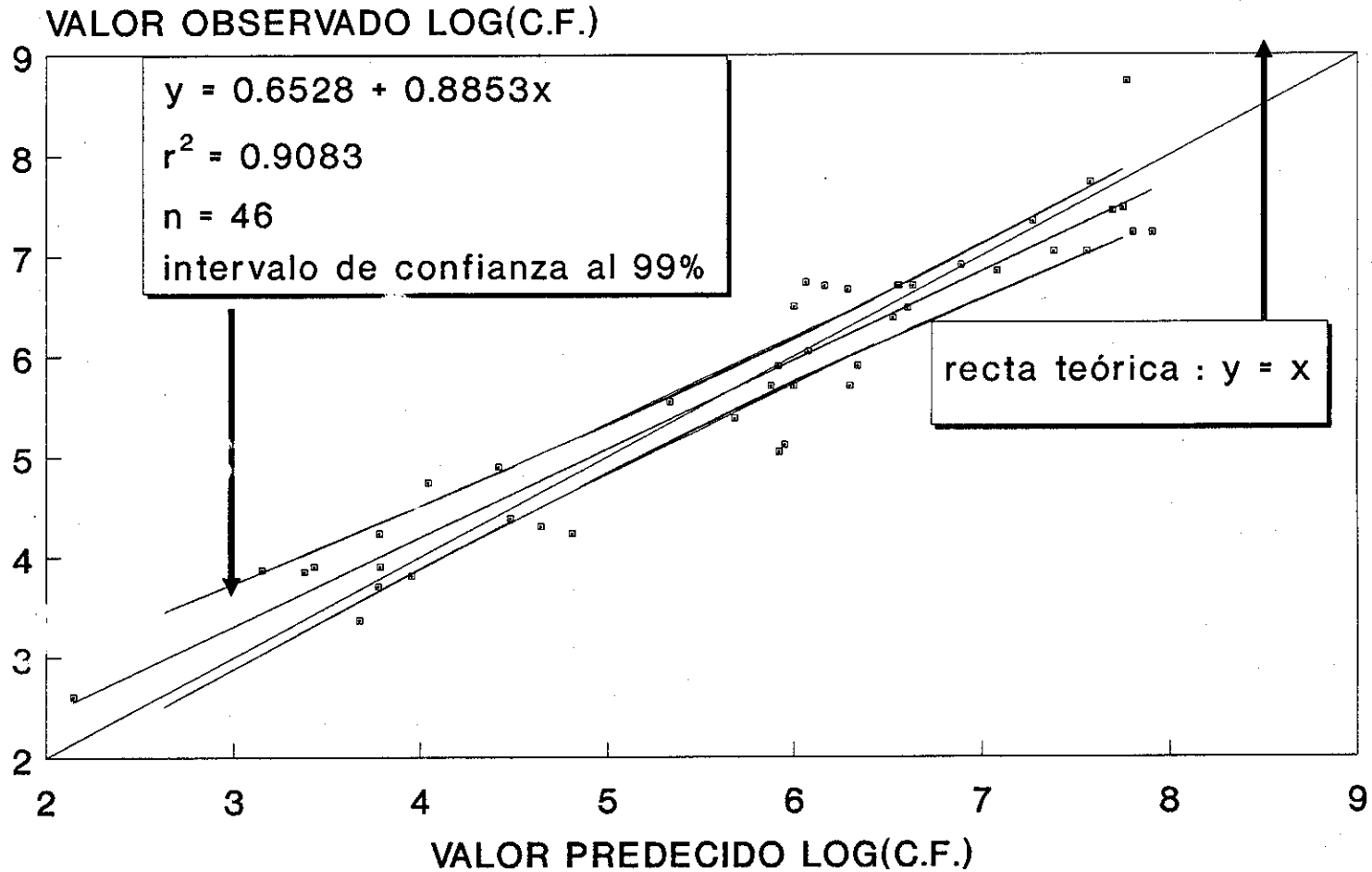
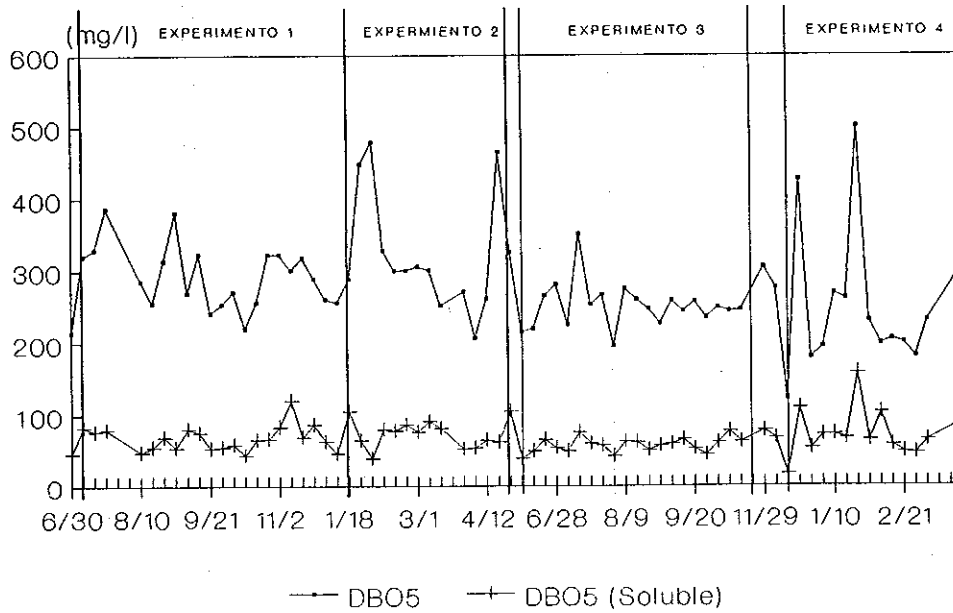


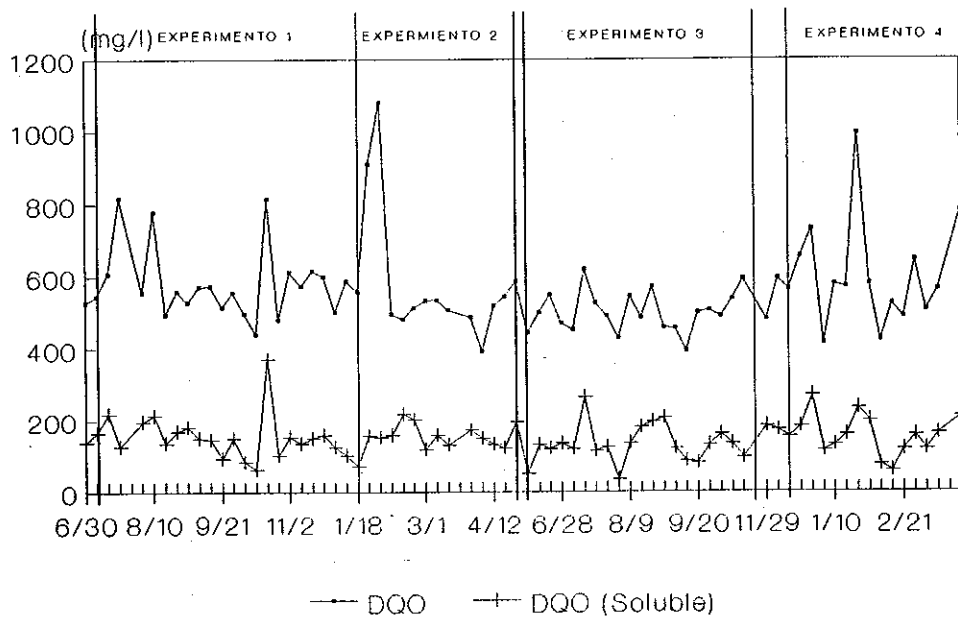
GRAFICO II-15
VALIDACION DEL MODELO DE PREDICCION
DE CALIDAD BACTERIOLOGICA DE EFLUENTES



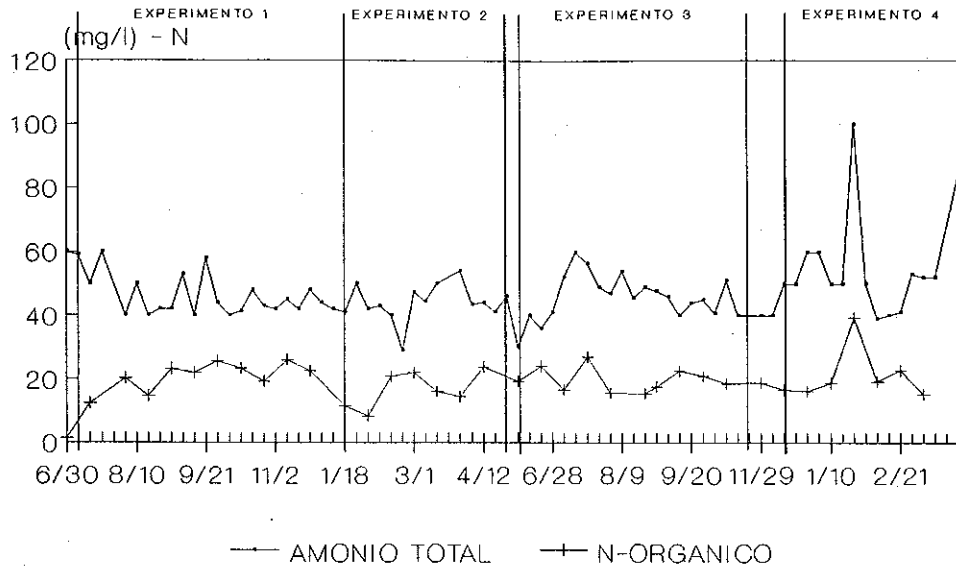
A-1 VARIACION DE DBO EN EL CRUDO



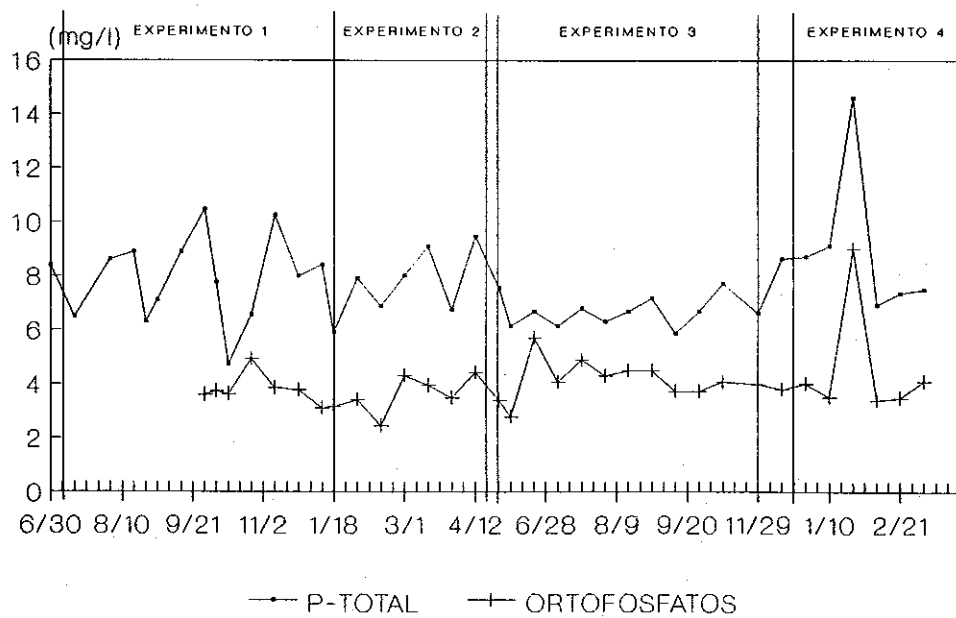
A-2 VARIACION DE DQO EN EL CRUDO



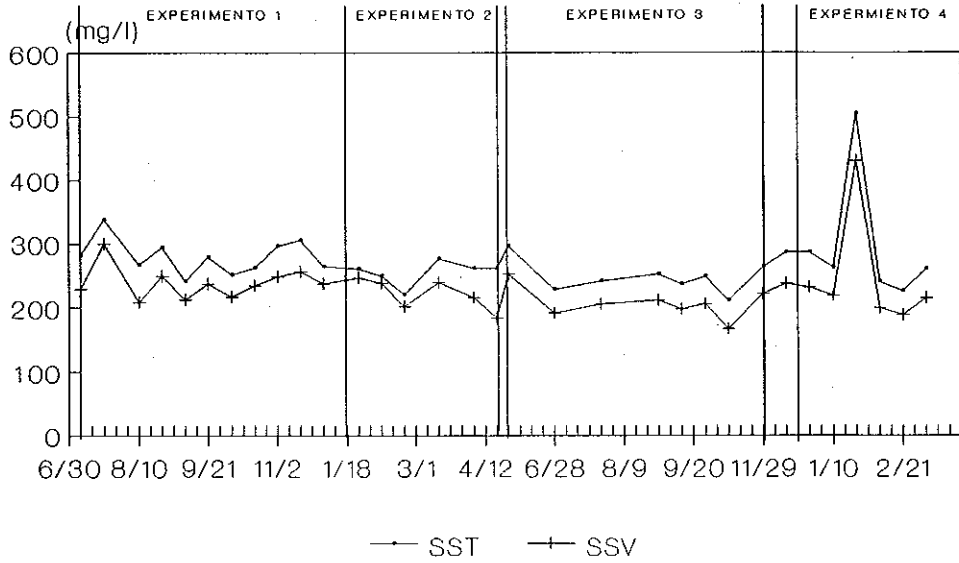
A-3 VARIACION DE NITROGENO AMONICAL Y ORGANICO EN EL CRUDO



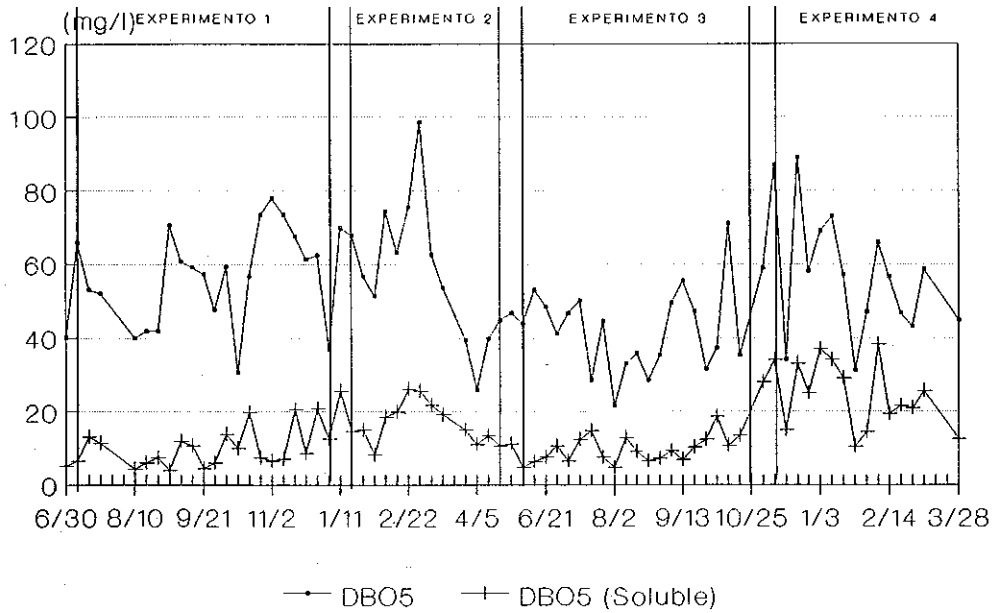
A-4 VARIACION DEL FOSFORO EN EL CRUDO



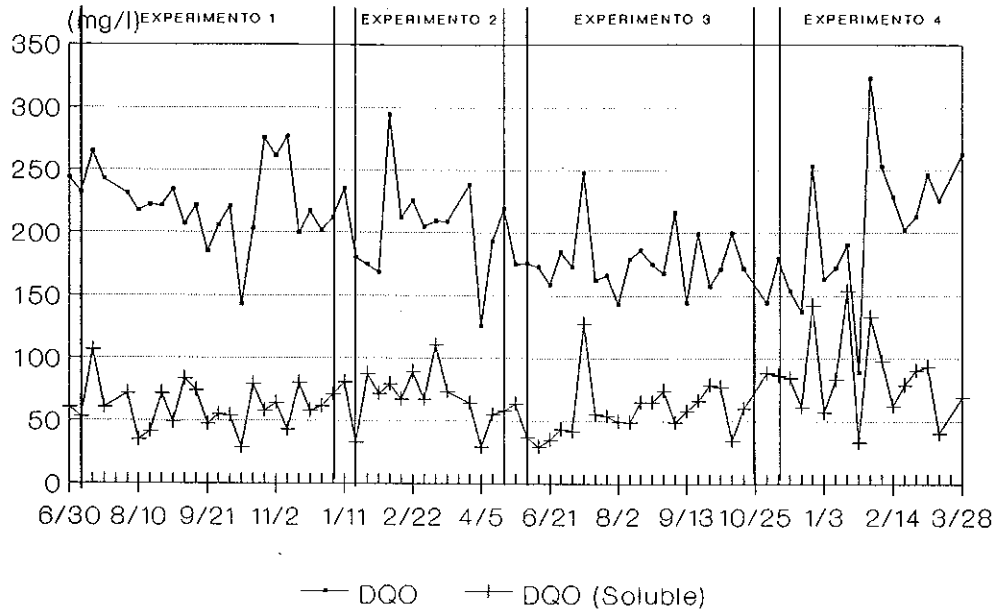
A-5 VARIACION DE SOLIDOS EN SUSPENSION EN EL CRUDO



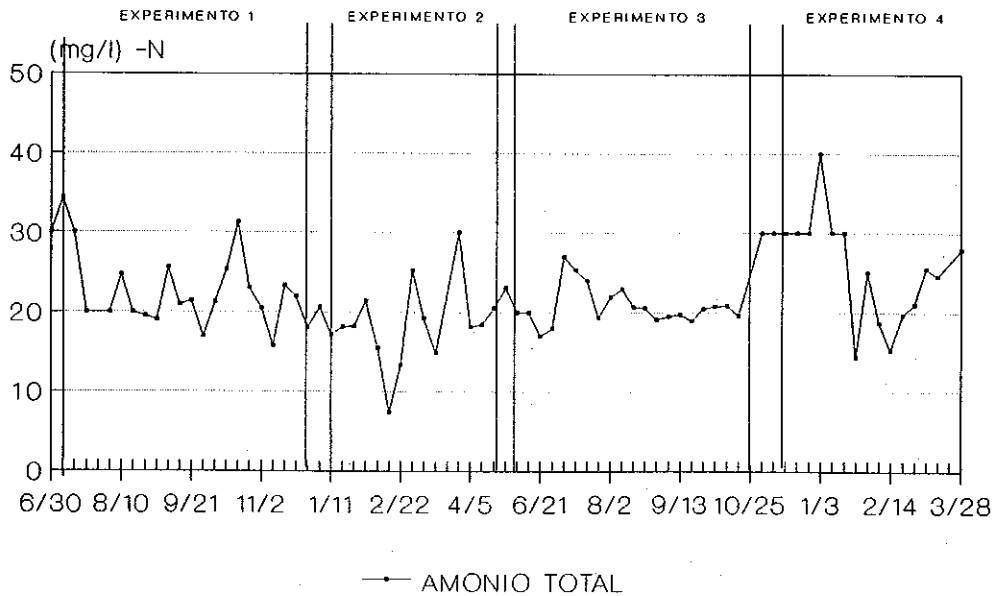
A-6 VARIACION DE DBO EN EFLUENTE PRIMARIO



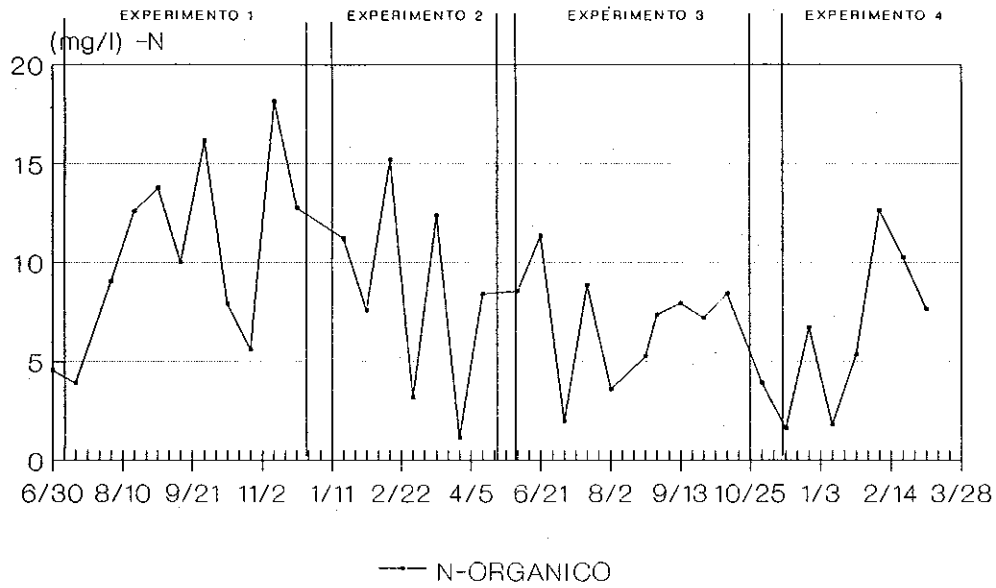
A-7 VARIACION DE DQO EN EFLUENTE PRIMARIO



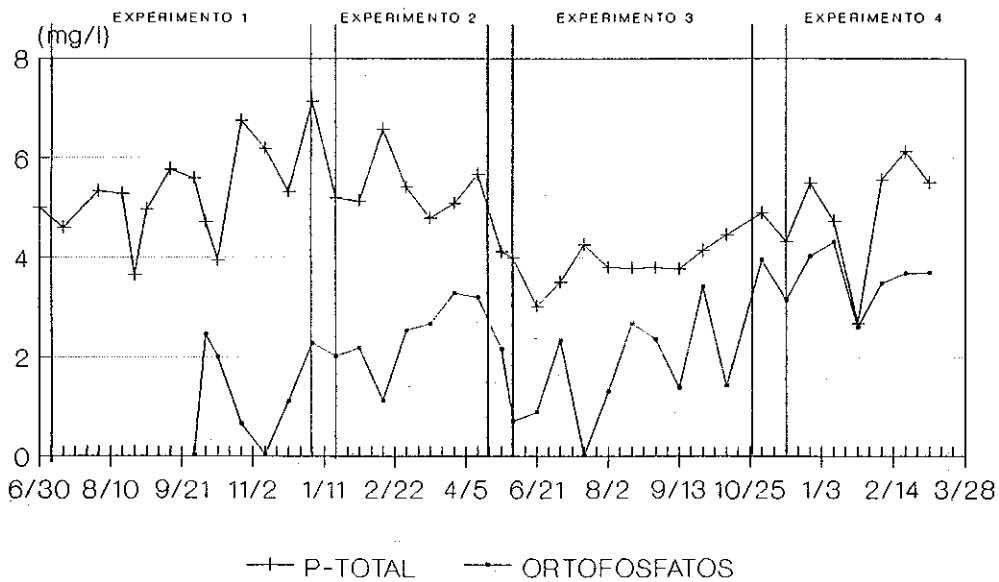
A-8 VARIACION DEL NITROGENO AMONICAL EN EL EFLUENTE PRIMARIO



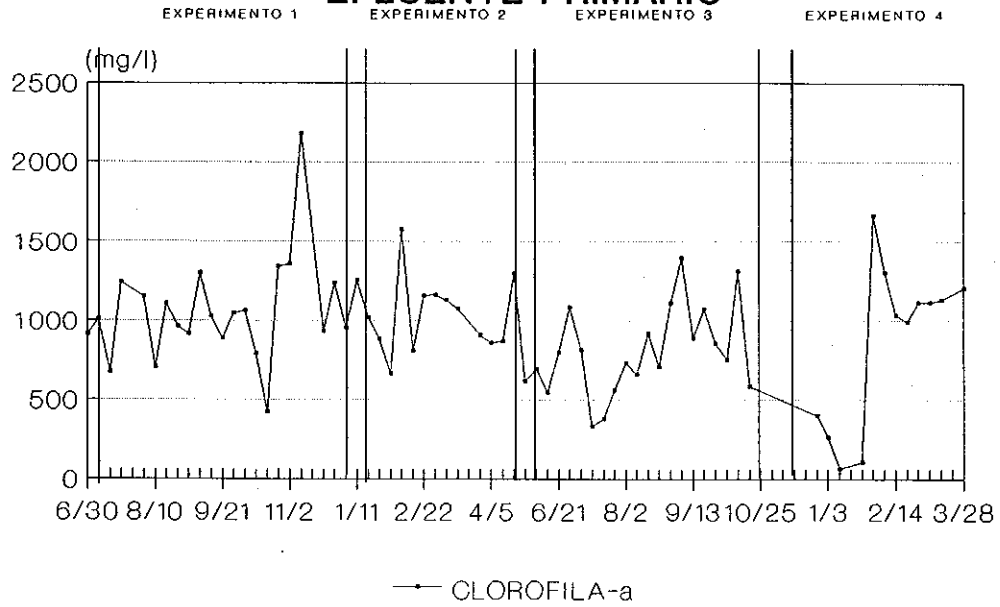
A-9 VARIACION DEL NITROGENO ORGANICO EN EL EFLUENTE PRIMARIO



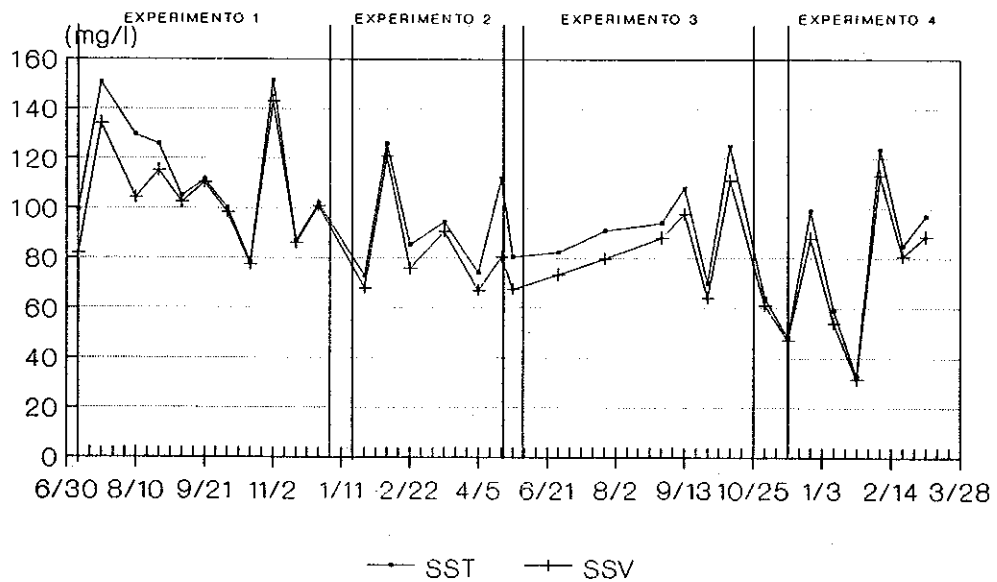
A-10 VARIACION DE FOSFORO EN EL EFLUENTE PRIMARIO



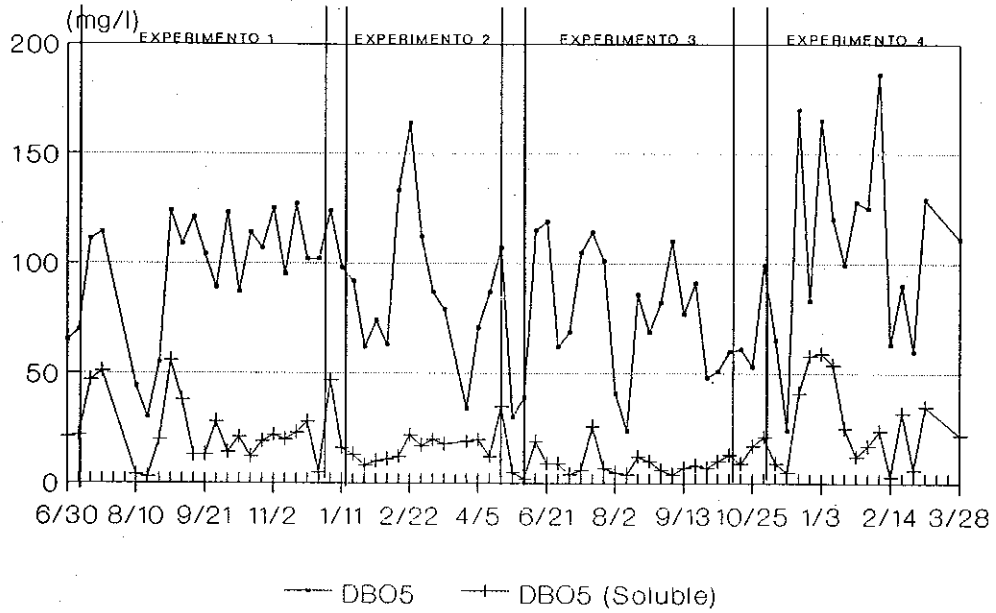
A-11 VARIACION DE CLOROFILA EN EL EFLUENTE PRIMARIO



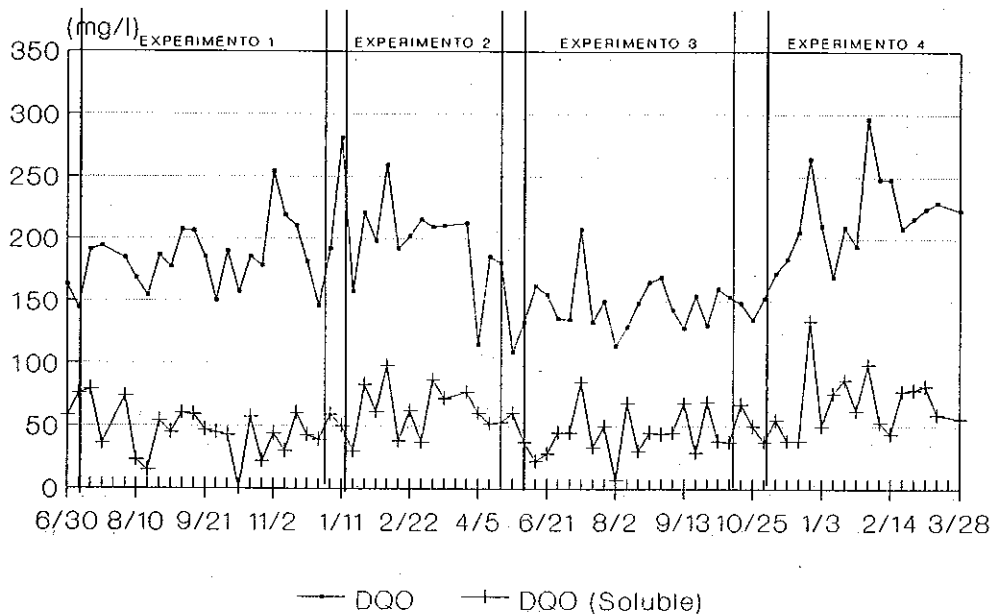
A-12 VARIACION DE SOLIDOS EN SUSPENSION EN EL EFLUENTE PRIMARIO



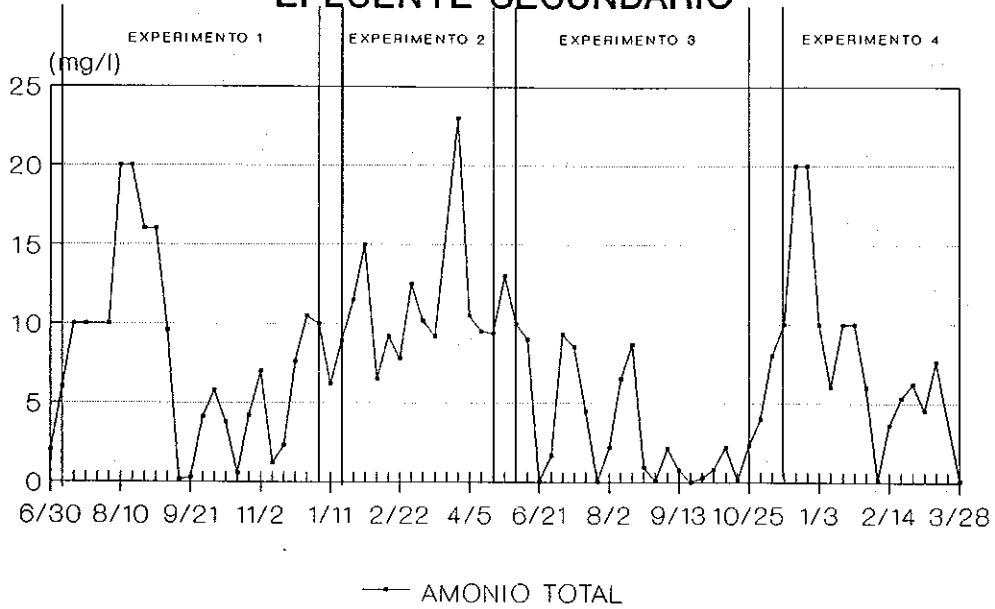
A-13
VARIACION DEL DDO EN EFLUENTE SECUNDARIO



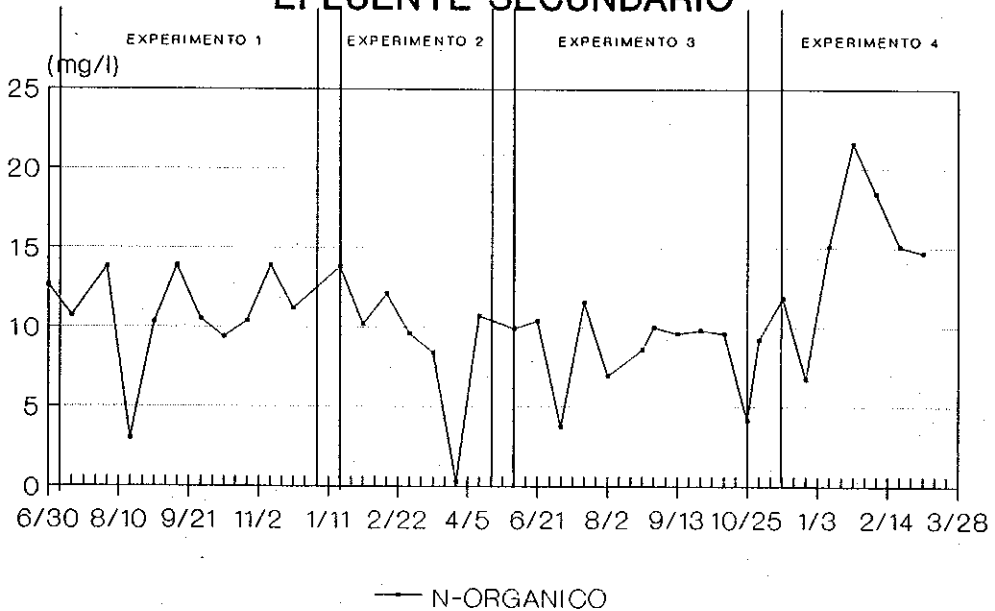
A-14
VARIACION DE DQO EN EFLUENTE SECUNDARIO



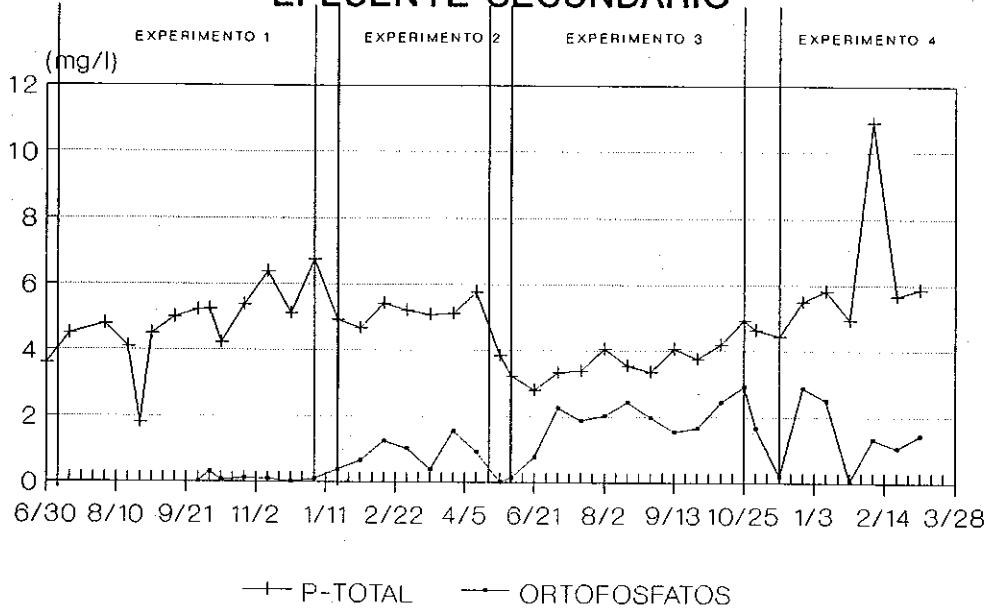
A-15
VARIACION DE NITROGENO AMONICAL EN EL
EFLUENTE SECUNDARIO



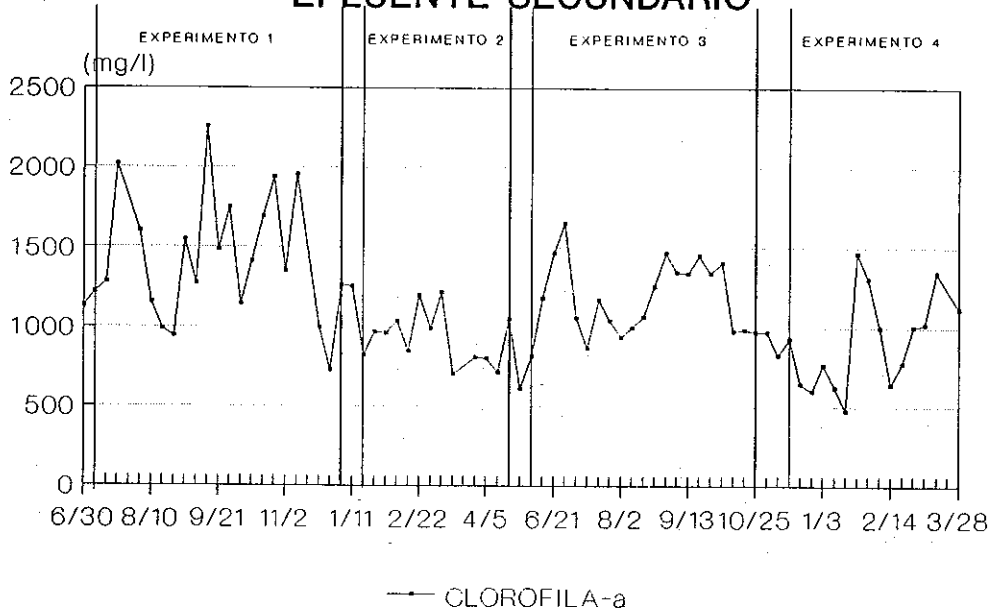
A-16
VARIACION DEL NITROGENO ORGANICO EN EL
EFLUENTE SECUNDARIO

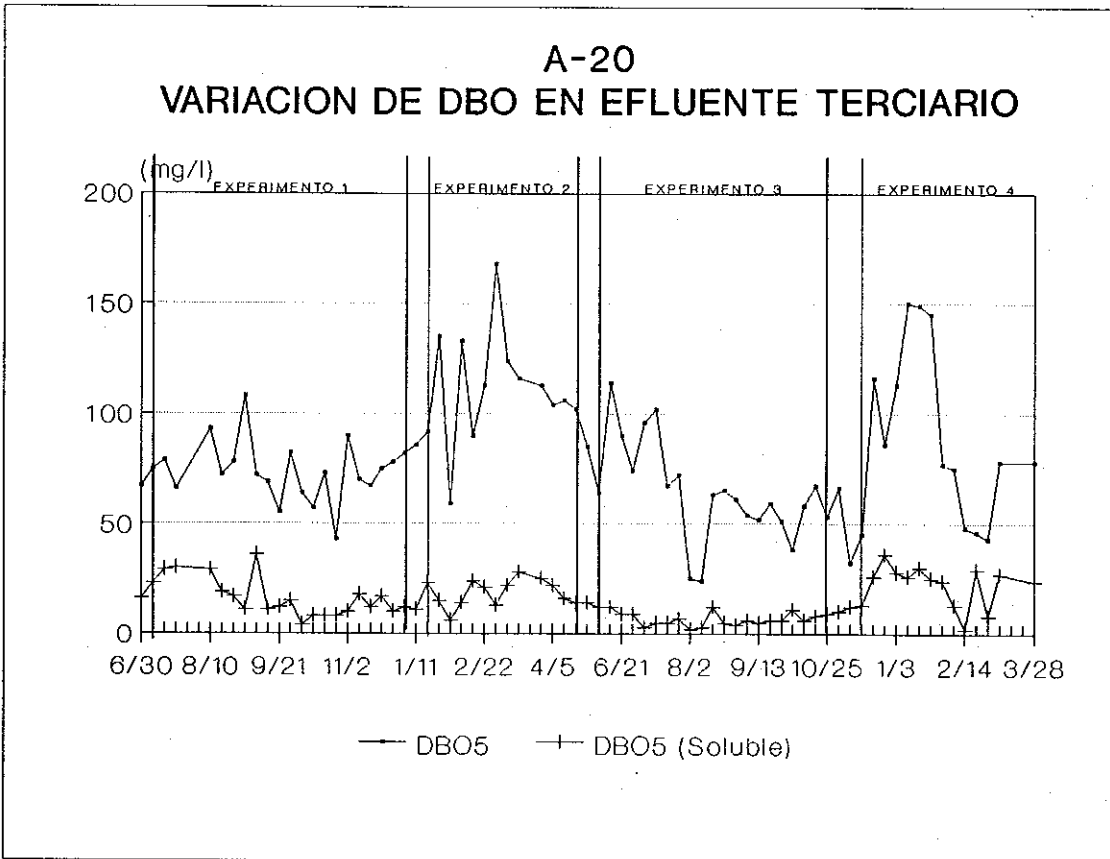
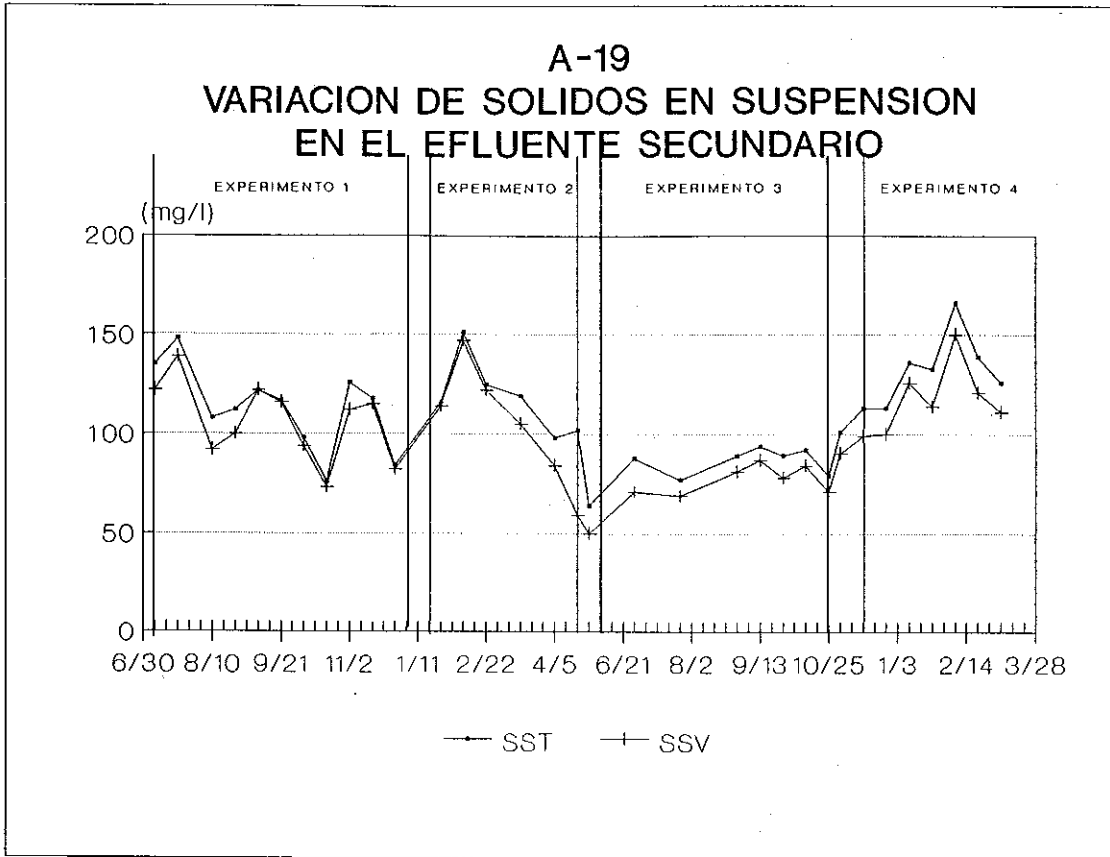


A-17
VARIACION DEL FOSFORO EN EL
EFLUENTE SECUNDARIO

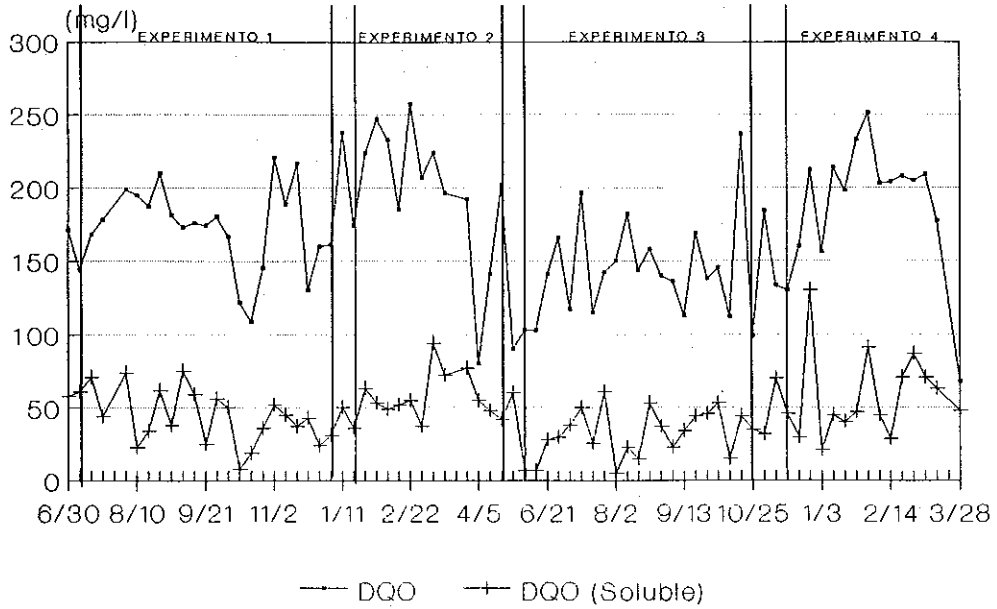


A-18
VARIACION DE CLOROFILA EN EL
EFLUENTE SECUNDARIO

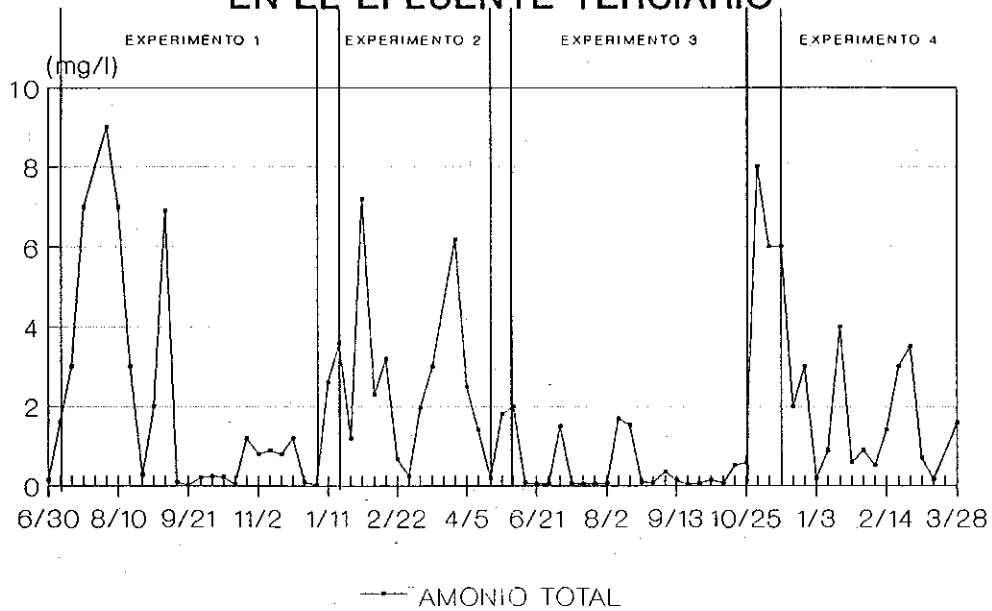




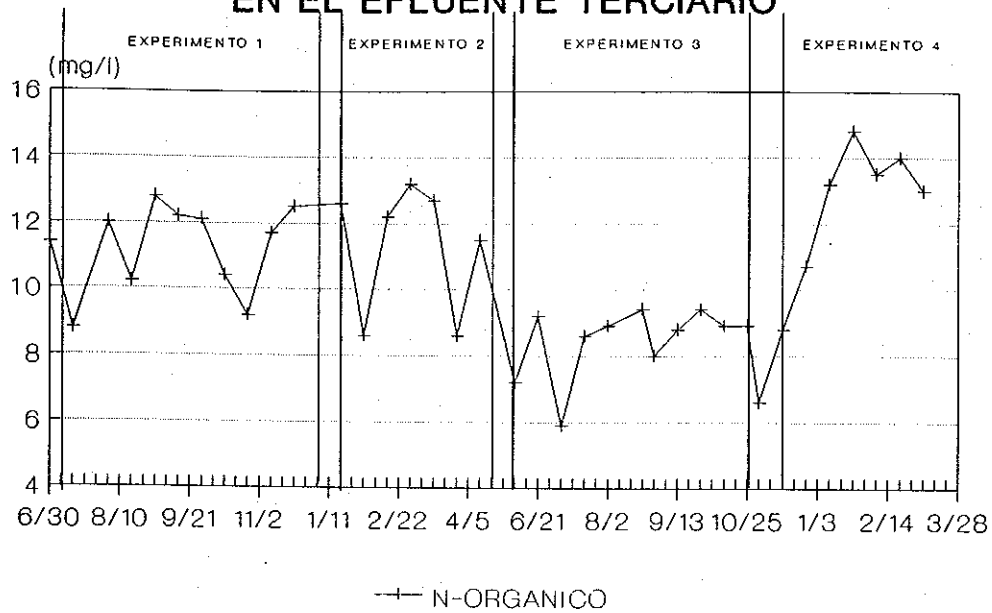
A-21 VARIACION DE DQO EN EFLUENTE TERCIARIO



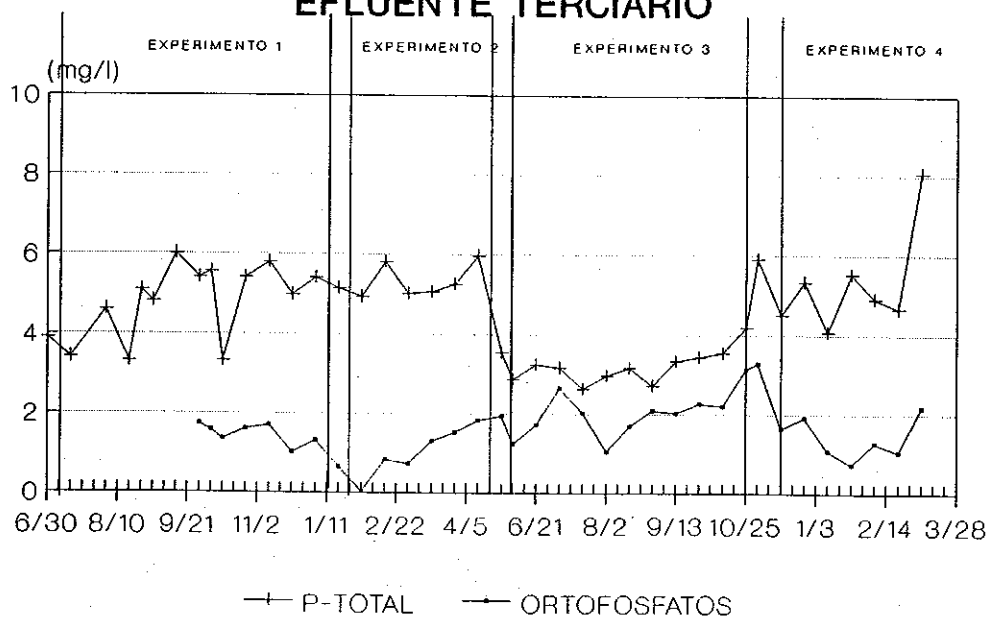
A-22 VARIACION DEL NITROGENO AMONIACAL EN EL EFLUENTE TERCIARIO



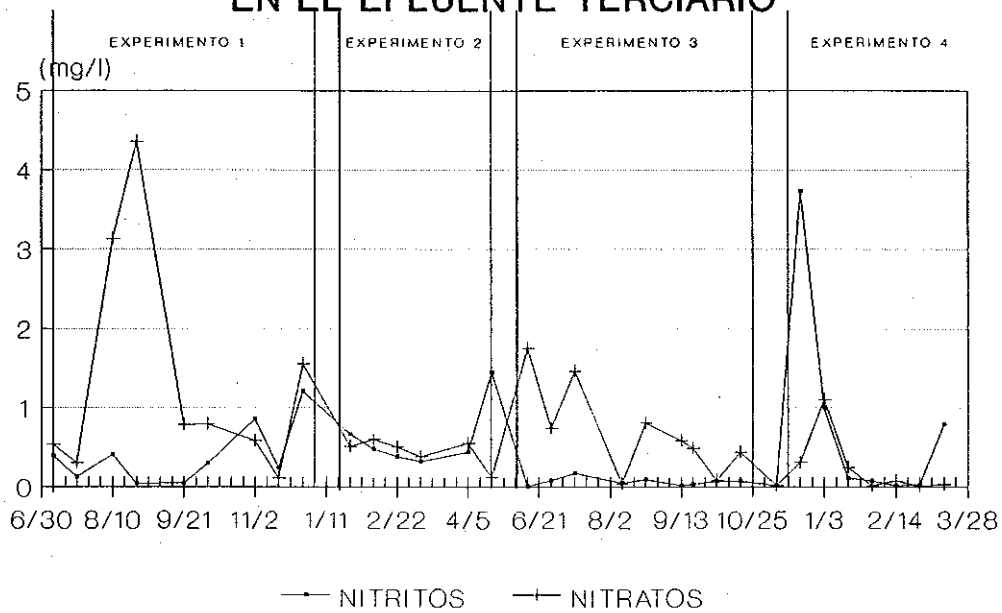
A-23 VARIACION DEL NITROGENO ORGANICO EN EL EFLUENTE TERCIARIO



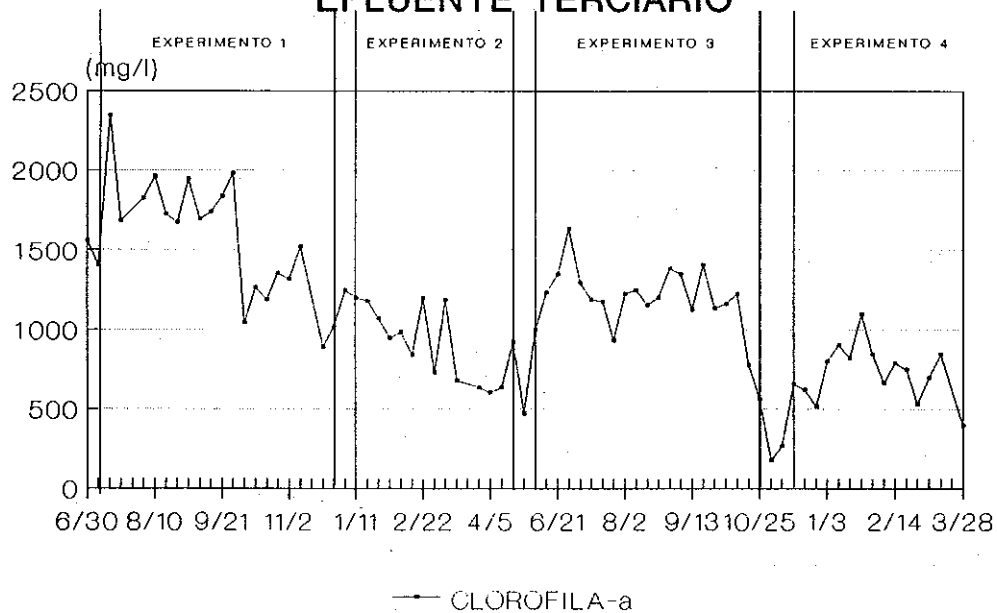
A-24 VARIACION DEL FOSFORO EN EL EFLUENTE TERCIARIO



A-25
VARIACION DE NITRITOS Y NITRATOS
EN EL EFLUENTE TERCIARIO

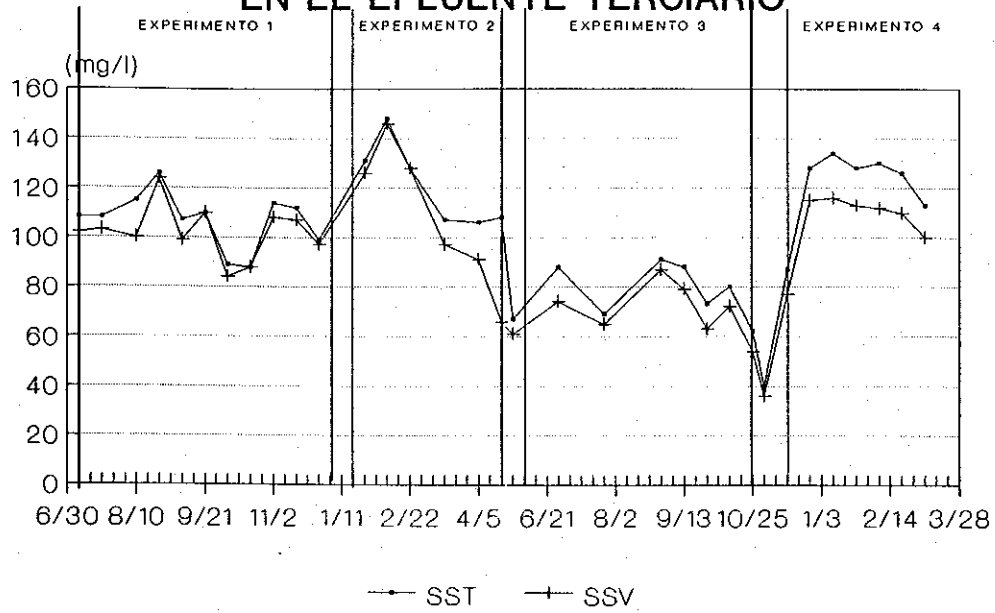


A-26
VARIACION DE CLOROFILA EN EL
EFLUENTE TERCIARIO



A-27

VARIACION DE SOLIDOS EN SUSPENSION EN EL EFLUENTE TERCIARIO



ANEXO B - 1

Análisis microbiológico de peces cultivados en el Experimento 1

ESTANQUE No.	DENSIDAD PECES/M2	MUESTRA	MUSCULO				CONTENIDO INTESTINAL				FLUIDO PERITONEAL (2)			
			SPC	mFC	CSR	SALM	SPC	mFC	CSR	SALM	SPC	mFC	CSR	SALM
1	1	a	N	N	N	N	2.5E+07	1.5E+05	1.5E+06	N	N	N	N	N
1	1	b	N	N	N	N	1.2E+07	8.7E+05	1.2E+05	N	N	N	N	N
1	1	c	N	N	N	N	7.5E+06	1.0E+04	2.7E+05	N	N	N	N	N
2	2	a	N	N	N	N	5.2E+05	9.0E+04	1.0E+08	N	N	N	N	N
2	2	c	N	N	N	N	9.5E+06	2.2E+06	1.0E+08	N	N	N	N	N
2	2	b	N	N	N	N	3.4E+05	5.0E+04	1.0E+08	N	N	N	N	N
3	3	b	N	N	N	N	1.1E+07	3.3E+05	1.0E+08	N	N	N	N	N
3	3	a	N	N	N	N	2.3E+06	2.4E+04	1.0E+08	N	N	N	N	N
3	3	c	N	N	N	N	1.3E+06	2.2E+04	1.0E+08	N	N	N	N	N
4	1	b	N	N	N	N	1.0E+05	2.2E+05	1.0E+08	N	N	N	N	N
4	1	c	N	N	N	N	4.4E+05	6.1E+04	1.0E+08	N	N	N	N	N
5	3	a	N	N	N	N	3.3E+05	6.2E+04	1.0E+08	N	N	N	N	N
5	3	b	N	N	N	N	8.5E+04	2.0E+03	1.0E+08	N	N	N	N	N
6	0.2	b	N	N	N	N	(1)	(1)	(1)	(1)	N	N	N	N
6	0.2	a	N	N	N	N	(1)	(1)	(1)	(1)	N	N	N	N
6	0.2	c	N	N	N	N	(1)	(1)	(1)	(1)	N	N	N	N
7	2	b	N	N	N	N	3.5E+06	6.0E+03	1.0E+08	N	N	N	N	N
8	3	a	N	N	N	N	2.2E+05	2.5E+04	1.0E+04	N	N	N	N	N
8	3	c	N	N	N	N	1.9E+05	1.4E+03	5.3E+05	N	N	N	N	N
8	3	b	N	N	N	N	1.4E+05	1.4E+03	5.3E+05	N	N	N	N	N
9	0.2	b	N	N	N	N	(1)	(1)	(1)	(1)	N	N	N	N
9	0.2	a	N	N	N	N	3.0E+06	2.9E+06	1.0E+08	N	N	N	N	N
10	0.02	a	N	N	N	N	1.4E+03	1.0E+02	4.5E+06	N	N	N	N	N
10	0.2	c	N	N	N	N	1.4E+03	1.0E+02	2.7E+06	N	N	N	N	N
10	0.2	b	N	N	N	N	1.4E+03	1.0E+02	2.9E+06	N	N	N	N	N
11	2	b	N	N	N	N	5.0E+05	7.0E+02	1.0E+05	N	N	N	N	N
11	2	a	N	N	N	N	3.9E+05	4.0E+02	2.9E+06	N	N	N	N	N
11	2	c	N	N	N	N	3.1E+05	4.0E+02	4.5E+05	N	N	N	N	N
12	1	b	N	N	N	N	1.4E+07	3.8E+06	1.0E+06	N	N	N	N	N
12	1	a	N	N	N	N	2.4E+07	8.9E+06	7.9E+06	N	N	N	N	N
12	1	c	N	N	N	N	9.3E+06	4.2E+06	1.0E+06	N	N	N	N	N

(1) NO SE PUDO COLECTAR CONTENIDO INTESTINAL POR ENCONTRARSE VACIO

(2) LOS ANALISIS FUERON CUALITATIVOS (AUSENCIA/PRESENCIA)

ANEXO B - 2

Análisis microbiológico de peces cultivados en el Experimento 2

ESTANQUE No.	DENSIDAD PECES/M2	MUESTRA	MUSCULO				CONTENIDO INTESTINAL (1)				FLUIDO PERITONEAL (2)			
			SPC	mFC	CSR	SALM	SPC	mFC	CSR	SALM	SPC	mFC	CSR	SALM
1	5	a	5.7E+02	N	N	N	2.1E+06	1.9E+05	2.0E+09	N	N	N	P	N
1	5	a	N	N	N	N					P	N	N	N
1	5	a	N	N	N	N					P	P	N	N
2	1	a	N	N	N	N	2.1E+06	1.9E+05	1.0E+01	N	N	N	N	N
2	1	a	N	N	N	N					N	N	N	N
2	1	a	1.1E+01	N	N	N					N	N	N	N
3	0.2	a	N	N	N	N	6.0E+07	1.4E+07	1.0E+08	N	N	N	N	N
3	0.2	a	3.0E+00	N	N	N					N	N	N	N
3	0.2	a	N	N	N	N					N	N	N	N
4	3	a	N	N	N	N	6.0E+08	3.6E+08	1.0E+01	N	N	N	N	N
4	3	a	N	N	N	N					N	N	N	N
4	3	a	N	N	N	N					N	N	N	N
5	3	b	N	N	N	N	5.4E+08	2.2E+08	2.5E+09	N	N	N	N	N
5	3	b	N	N	N	N					N	N	N	N
5	3	b	N	N	N	N					N	N	N	N
6	5	b	N	N	N	N	2.3E+06	3.2E+07	1.8E+09	N	N	N	N	N
6	5	b	N	N	N	N					N	N	N	N
6	5	b	N	N	N	N					N	N	N	N
7	5	c	6.0E+01	N	N	N	2.0E+06	4.4E+04	1.1E+07	N	N	N	P	N
7	5	c	N	N	N	N					P	N	P	N
7	5	c	2.0E+03	N	N	N					N	N	P	N
8	3	c	5.0E+02	N	N	N	4.0E+08	1.5E+08	1.0E+00	N	P	P	P	N
8	3	c	N	N	N	N					P	P	P	N
8	3	c	1.4E+02	N	N	N					N	N	P	N
9	0.2	b	N	N	N	N	5.8E+07	1.2E+06	2.6E+08	N	N	N	N	N
9	0.2	b	N	N	N	N					N	N	N	N
9	0.2	b	N	N	N	N					N	N	N	N
10	0.2	c	N	N	N	N	4.8E+07	5.5E+06	4.3E+07	N	P	P	P	N
10	0.2	c	N	N	N	N					P	P	P	N
10	0.2	c	4.0E+01	N	N	N					P	P	P	N
11	1	b	N	N	N	N	4.2E+06	2.7E+05	1.0E+00	N	N	N	N	N
11	1	b	N	N	N	N					N	N	N	N
11	1	b	N	N	N	N					N	N	N	N
12	1	c	N	N	N	N	2.3E+07	4.8E+06	1.2E+07	N	P	P	P	N
12	1	c	N	N	N	N					P	P	P	N
12	1	c	1.0E+01	N	N	N					P	P	P	N

(1) LA MUESTRA DE CONTENIDO INTESTINAL SE TOMO COMO MUESTRA COMPUESTA DE LAS TRES REPETICIONES POR CADA ESTANQUE

(2) LOS ANALISIS FUERON CUALITATIVOS (AUSENCIA = N / PRESENCIA = P)

ANEXO B - 3

Analisis microbiologico de peces cultivados en el Experimento 3

ESTANQUE No.	DENSIDAD PECES/M2	MUESTRA	MUSCULO				CONTENIDO INTESITAL (1)				FLUIDO PERITONEAL (2)			
			SPC	mFC	CSR	SALM	SPC	mFC	CSR	SALM	SPC	mFC	CSR	SALM
1	5	a	N	N	N	N					N	N	N	N
1	5	b	2.0E+01	N	N	N	1.3E+07	2.5E+06	1.0E+09	N	N	N	N	N
1	5	c	N	N	N	N					N	N	N	N
2	3	a	N	N	N	N					+	+	+	N
2	3	b	2.0E+01	N	N	N	1.1E+08	2.1E+07	2.3E+07	N	+++	N	N	N
2	3	c	N	N	N	N					++	++	++	N
3	0.2	a	N	N	N	N					++	++	++	N
3	0.2	b	N	N	N	N	1.1E+07	4.4E+04	1.4E+07	N	+	+	+	N
3	0.2	c	N	N	N	N					+	+	+	N
4	1	a	N	N	N	N					+	+	+	N
4	1	b	N	N	N	N	5.3E+09	7.2E+08	2.0E+09	N	N	N	N	N
4	1	c	N	N	N	N					N	N	N	N
5	3	a	N	N	N	N					N	N	N	N
5	3	b	N	N	N	N	7.0E+09	9.0E+08	1.4E+09	N	N	N	N	N
5	3	c	N	N	N	N					+	+	+	N
6	5	a	N	N	N	N					N	N	N	N
6	5	b	N	N	N	N	1.0E+07	3.4E+06	1.0E+09	N	N	N	N	N
6	5	c	N	N	N	N					N	N	N	N
7	0.2	a	N	N	N	N					N	N	N	N
7	0.2	b	N	N	N	N	1.2E+00	4.2E+07	2.1E+09	N	N	N	N	N
7	0.2	c	N	N	N	N					N	N	N	N
8	3	a	N	N	N	N					N	N	N	N
8	3	b	N	N	N	N	5.0E+08	4.3E+06	3.0E+10	N	N	N	N	N
8	3	c	N	N	N	N					N	N	N	N
9	1	a	N	N	N	N					N	N	N	N
9	1	b	N	N	N	N	1.5E+10	3.7E+09	6.0E+10	N	N	N	N	N
9	1	c	N	N	N	N					N	N	N	N
10	0.2	a	N	N	N	N					N	N	N	N
10	0.2	b	N	N	N	N	3.6E+08	1.6E+08	1.8E+08	N	N	N	N	N
10	0.2	c	N	N	N	N					N	N	N	N
11	5	a	N	N	N	N					N	N	N	N
11	5	b	N	N	N	N	1.6E+07	2.2E+06	1.0E+10	N	N	N	N	N
11	5	c	N	N	N	N					N	N	N	N
12	1	a	2.0E+01	N	N	N					++	++	++	N
12	1	b	>50	N	N	N					+	+	+	N
12	1	c	5.0E+01	N	N	N					N	N	N	N

(1) MUESTRA COMPUESTA DEL CONTENIDO INTESITAL DE LAS TRES REPETICIONES POR ESTANQUE

(2) ANALISIS CUALITATIVOS (AUSENCIA = N / PRESENCIA = +)

- + ESCASA CANTIDAD
- ++ MODERADA CANTIDAD
- +++ ABUNDANTE CANTIDAD

ANEXO B - 4

Analisis microbiologico de peces cultivados en el Experimento 4

ESTANQUE No.	DENSIDAD PECES/M2	MUESTRA	MUSCULO				CONTENIDO INTESTINAL (1)				FLUIDO PERITONEAL (2)			
			SPC	mFC	CSR	SALM	SPC	mFC	CSR	SALM	SPC	mFC	CSR	SALM
3	1.5	a	5.0E+00	N	N	N	7.0E+06	6.3E+06	2.4E+07	N	P	N	N	N
3	1.5	b	4.0E+00	N	N	N	6.4E+07	3.7E+05	4.0E+07	N	P	N	N	N
4	2.0	a	N	N	N	N	1.4E+10	2.0E+09	4.3E+09	N	N	N	N	N
4	2.0	b	N	N	N	N	3.0E+10	4.0E+09	2.4E+10	N	N	N	N	N
5	1.5	a	N	N	N	N	6.6E+10	1.7E+10	2.1E+10	N	N	N	N	N
5	1.5	b	N	N	N	N	4.3E+10	2.2E+10	1.8E+10	N	N	N	N	N
6	0.2	a	2.0E+00	N	N	N	2.2E+10	1.2E+07	6.8E+10	N	P	N	N	N
6	0.2	b	1.0E+00	N	N	N	1.2E+10	1.1E+06	8.5E+10	N	N	N	N	N
10	1.0	a	N	N	N	N	(1)	(1)	(1)	(1)	N	N	N	N
10	1.0	b	N	N	N	N	(1)	(1)	(1)	(1)	N	N	N	N
12	1.0	a	N	N	N	N	1.0E+09	2.2E+08	5.5E+10	N	N	N	N	N
12	1.0	b	1.0E+00	N	N	N	1.5E+08	2.8E+07	2.7E+10	N	N	N	N	N

(1) NO SE PUDO COLECTAR MUESTRA POR ESTAR VACIO EL TRACTO INTESTINAL

(2) ANALISIS CUALITATIVOS (AUSENCIA = N / PRESENCIA = P)