

75  
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**"ELIMINACION DEL CARBONO ORGANICO Y  
DEL NITROGENO DE UN EFLUENTE  
ANAEROBIO UTILIZANDO UN SISTEMA DE  
NITRIFICACION Y DENITRIFICACION  
BIOLOGICA CON RECIRCULACION"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A:

**JUAN MANUEL MORGAN SAGASTUME**



1991

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE

	Página
LISTA DE TABLAS	1
LISTA DE FIGURAS	4
NOTACION	9
1. INTRODUCCION	11
1.1 Justificación de la investigación	11
1.2 Definición del problema	12
1.3 Planteamiento de la hipótesis	12
1.4 Objetivos de la investigación	13
2. FUNDAMENTOS TEORICOS	14
2.1 Fuentes y características del agua residual	14
2.2 Efectos del nitrógeno sobre el medio ambiente	17
2.2.1 El ciclo del nitrógeno	17
2.2.2 El nitrógeno como contaminante	19
2.2.3 El carbono orgánico e inorgánico como contaminantes	20
2.3 Etapas en el tratamiento de las aguas residuales	20
2.4 Procesos para la remoción de la materia orgánica del agua residual	21
2.4.1 Tratamientos químicos	21
2.4.2 Tratamientos biológicos	21
2.4.2.1 Procesos anaerobios	22
2.4.2.2 Factores que afectan al proceso anaerobio metanogénico	24
2.4.2.3 Sistemas anaerobios de tratamiento	24
2.4.2.4 Procesos aerobios	26
2.4.2.5 Tratamientos aerobios	28

2.5	Procesos para la eliminación del nitrógeno del agua residual	32
2.5.1	Tratamientos fisicoquímicos	32
2.5.1.1	Desorción de amoníaco con aire	33
2.5.1.2	Cloración hasta el punto de quiebre	34
2.5.1.3	Intercambio iónico	35
2.5.1.4	Osmosis inversa	35
2.5.2	Eliminación biológica del nitrógeno	36
2.5.2.1	Desnitrificación	36
2.5.2.2	Factores que afectan a la desnitrificación biológica	37
2.5.2.3	Nitrificación biológica	39
2.5.2.4	Factores que afectan a la nitrificación	40
2.6	Comparación entre los tratamientos aerobios y anaerobios	41
2.7	Procesos acoplados de tratamiento biológico	42
3.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	47
3.1	Descripción de la planta piloto	49
3.1.1	Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB)	49
3.1.2	Reactor desnitrificador (anóxico)	49
3.1.3	Reactor nitrificador	52
3.1.4	Sistema de bombeo y flujo	52
3.2	Descripción del experimento	54
3.3	Técnicas analíticas empleadas	56
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	58
4.1	Reactor anaerobio (UASB)	58
4.1.1	Resultados	58
4.1.2	Comportamiento del reactor	58
4.1.3	Comparación con otros estudios	66

4.2 Reactor desnitrificador	67
4.2.1 Resultados	67
4.2.2 Comportamiento del reactor	72
4.2.3 Comparación con otros estudios	79
4.3 Reactor nitrificador	86
4.3.1 Resultados	86
4.3.2 Comportamiento del reactor	86
4.3.3 Comparación con otros estudios	91
4.4 Sistema global	92
4.4.1 Comportamiento del sistema global	93
4.4.2 Comparación con otros sistemas de tratamiento a nivel piloto	100
4.4.3 Comparación con un sistema comercial para el tratamiento de aguas residuales a escala completa	108
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFIA	114
ANEXO I	122
ANEXO II	130
ANEXO III	135
ANEXO IV	143

## LISTA DE TABLAS

No. de tabla		Página
2.1	Tipificación de los diversos tipos de agua residual	14
2.2	Componentes físicos, químicos y biológicos del agua residual	15
2.3	Características típicas del agua residual doméstica	16
2.4	Clasificación general de los microorganismos en función de las fuentes de energía y de carbono	27
2.5	Procesos de tratamiento acoplados más comunes	43
2.6	Estimación de la relación de costo entre distintos procesos para la eliminación de nitrógeno	45
3.1	Caracterización fisicoquímica del agua residual	47
4.1	Reactor anaerobio (UASB): valores promedio de los parámetros en las diferentes etapas de experimentación	59

4.2	Capacidad tampón del medio anaerobio	65
4.3	Características del lodo en el reactor anaerobio	66
4.4	Comparación con otros estudios (reactor anaerobio)	67
4.5	Reactor desnitrificador: valores promedio de los parámetros en las diferentes etapas de experimentación	73
4.6	Capacidad tampón del medio anóxico	78
4.7	Características del lodo en el reactor desnitrificador	78
4.8	Comparación con otros estudios de desnitrificación	79
4.9	Reactor nitrificador : valores promedio de los parámetros en las diferentes etapas de experimentación	87
4.10	Relación de gasto de aire y agua	90
4.11	Capacidad tampón del medio aerobio (nitrificación)	91

4.12	Comparación con otros estudios de nitrificación	92
4.13	Comparación con otros sistemas de tratamiento	101
4.14	Comparación con un sistema comercial para el tratamiento de agua residual doméstica	110



## LISTA DE FIGURAS

No. de figura		Página
2.1	Ciclo del nitrógeno	18
2.2	Bioconversión anaerobia	23
2.3	Reactores anaerobios	25
2.4	Lagunas aireadas	28
2.5	Sistema de lodos activados completamente mezclado	29
2.6	Filtro rociador	31
2.7	Sistema de biodisco	31
2.8	Filtro sumergido	32
2.9	Proceso de desorción de amoniaco	33
2.10	Proceso de ósmosis inversa	36
2.11	Efecto de la temperatura y de la fuente de energía en la desnitrificación	38
3.1	Sistema anaerobio-anóxico-aerobio con recirculación	48
3.2	Reactor anaerobio (UASB)	50

3.3	Reactor desnitrificador	51
3.4	Reactor nitrificador	53
3.5	Esquema de la disposición de los reactores en las etapas de operación	55
4.1	Variación de COT Reactor Anaerobio (UASB)	68
4.2	Variación de COTs Reactor anaerobio (UASB)	68
4.3	Eficiencia de COTs Reactor anaerobio (UASB)	69
4.4	Variación de SST Reactor anaerobio (UASB)	69
4.5	Variación de SSV Reactor anaerobio (UASB)	70
4.6	Variación de N-NOx Reactor anaerobio (UASB)	70
4.7	Variación promedio del pH Reactor anaerobio (UASB)	71
4.8	Relación Carbono/nitrógeno en el desnitrificador	81
4.9	Eficiencia de N-NOx Reactor desnitrificador	81

4.10	Variación de $N-NH_4^+$ Reactor desnitrificador	82
4.11	Variación de COT Reactor desnitrificador	82
4.12	Variación de COTs Reactor desnitrificador	83
4.13	Variación de SST Reactor desnitrificador	83
4.14	Variación de SSV Reactor desnitrificador	84
4.15	Variación de N-NOx Reactor desnitrificador	84
4.16	Variación de oxígeno disuelto Reactor desnitrificador	85
4.16a	Velocidad de sedimentación de lodos	85
4.17	Relación carbono/nitrógeno en el nitrificador	94
4.18	Variación de COT Reactor nitrificador	94
4.19	Variación de COTs Reactor nitrificador	95
4.20	Variación de SST Reactor nitrificador	95

4.21	Variación de SSV Reactor nitrificador	96
4.22	Variación de N-NOx Reactor nitrificador	96
4.23	Variación de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Reactor nitrificador	97
4.24	Eficiencia de N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y N-NOx Reactor nitrificador	97
4.25	Variación de la alcalinidad Reactor nitrificador	97
4.26	Variación global de COTs en el sistema	102
4.27	Eficiencia de la remoción global de COTs	102
4.28	Variación de SST en el sistema	103
4.29	Eficiencia de remoción global de SST	103
4.30	Variación de nitrógeno total en el sistema	104
4.31	Eficiencia de la remoción global de nitrógeno	104
4.32	Composición de nitrógeno influente al nitrificador	105

4.33	Composición de nitrógeno efluente al nitrificador	105
4.34	Variación de la turbidez en el sistema	106
4.35	Eficiencia de remoción global de turbidez	106
4.36	Variación de alcalinidad en el sistema	107
4.37	TRH de los reactores UASB, nitrificador y desnitrificador	107
4.38	Sistema comercial para el tratamiento de agua residual: "The A/O System"	108

## NOTACION

$ A^- $	Concentración de una base
A. Res.	Agua residual
Alc.	Alcalinidad
$\beta$	Coefficiente de la capacidad tampón
$C_b$	Concentración de la base
$C_o$	Concentración
COT	Carbono orgánico total
COTS	Carbono orgánico total soluble
CT	Carbono total
Ct	Concentración total
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQOt	Demanda química de oxígeno
DQOs	Demanda química de oxígeno fracción soluble
EF %	Eficiencia en porciento
EF.	Efluente
$ H^+ $	Concentración de protones
$ HA $	Concentración de un ácido
INF.	Influente
IVL	Indice volumétrico de lodos
$K_a$	Constante de disociación o acidez
$N-NH_4^+$	Amonio expresado como nitrógeno
$N-NO_2^-$	Nitrito expresado como nitrógeno
$N-NO_3^-$	Nitrato expresado como nitrógeno
$N-NO_x^-$	Nitrógeno oxidado ( $N-NO_3^-$ y $N-NO_2^-$ ) expresado como nitrógeno
N-NTK	Nitrógeno total Kjeldahl expresado como nitrógeno
NTK	Nitrógeno total Kjeldahl
SSF	Sólidos suspendidos fijos
SST	Sólidos suspendidos totales
SSV	Sólidos suspendidos volátiles
Std.	Estandar
TOCA	Analizador de carbono orgánico total

<b>TRH</b>	<b>Tiempo de la retención hidráulica</b>
<b>UASB</b>	<b>Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente</b>
<b>UTN</b>	<b>Unidades técnicas de nefelometría</b>
<b>V<sub>max. sed.</sub></b>	<b>Velocidad máxima de sedimentación de lodos</b>

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 Justificación de la investigación.

En varias regiones del mundo, entre ellas México, existe escasez de agua provocada tanto por la falta de fuentes convencionales como por el deficiente tratamiento y uso de ésta.

En 1988, el flujo tratado de agua residual municipal era de 31.35 m<sup>3</sup>/seg, lo que representa 17 por ciento del flujo descargado a nivel nacional (CONADE, 1988).

Por otra parte, la Comisión Nacional del Agua (CNA, 1989) reporta que en las 650 poblaciones mayores a 10000 habitantes, existen 256 plantas de tratamiento con capacidad instalada para 14 m<sup>3</sup>/seg, que representa un 12 % del caudal evacuado. Lo más grave es que el 65% (166) de las plantas no opera, 7% (18) opera a eficiencias menores al 40%, 23% (59) logra entre un 40 y un 80% y sólo el 5% (13) alcanza eficiencias mayores al 80% (Noyola, 1990).

Para atenuar los problemas de escasez de agua y contaminación, se requiere, entre otras acciones, del desarrollo de sistemas baratos y accesibles para el tratamiento y reuso de aguas residuales.

El sistema anaerobio-anóxico-aerobio es una alternativa viable y atractiva sobre todo en los países en vías de desarrollo ya que ofrece las ventajas siguientes: menor costo de inversión, bajo costo de operación y mantenimiento, adecuada eficiencia de remoción de contaminantes, requerimiento de personal con poca especialización y baja producción de lodos.

Por otra parte, el nitrógeno provoca problemas ambientales como eutroficación acelerada (nitratos), toxicidad para la fauna acuática y demanda de oxígeno (amonio), así como la producción de



metahemoglobinemia en lactantes (nitritos).

Para incrementar la eficiencia de remoción de contaminantes utilizando el sistema anaerobio-anóxico-aerobio, es necesario implantar una recirculación entre los reactores anóxico y aerobio y determinar la relación de recirculación adecuada para obtener la máxima remoción posible de carbono orgánico y de nitrógeno del agua residual.

### 1.2 Definición del problema.

El problema a resolver se define de la siguiente forma: ¿En cuál relación de recirculación se obtiene la mayor eficiencia de remoción de nitrógeno y de carbono orgánico de las aguas residuales domésticas utilizando un sistema anaerobio-anóxico-aerobio con recirculación y con tanques separados?

### 1.3 Planteamiento de la hipótesis.

La presente investigación tiene como hipótesis principal la siguiente:

La relación de recirculación que produce una mayor eficiencia de remoción de nitrógeno y carbono orgánico de las aguas residuales domésticas al utilizar un sistema anaerobio-anóxico-aerobio con recirculación y con tanques separados puede encontrarse entre un intervalo de recirculación de 1:1 a 1:4.

Esta suposición se fundamenta en la investigación desarrollada por Jiménez (1985) con filtros sumergidos, la cual encontró una relación de recirculación adecuada entre el mismo intervalo, siendo la recirculación más conveniente la de 1:2.5 .

En este trabajo se tratará de determinar con exactitud la relación de recirculación donde se obtenga la máxima eliminación del nitrógeno y del carbono orgánico.

#### 1.4 Objetivos de la investigación.

Así, debido a la importancia que tiene el estudio de sistemas capaces de remover nitrógeno y materia orgánica de las aguas residuales, el presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

A) Objetivo general: Lograr determinar los parámetros de diseño y operación de un nuevo sistema para el tratamiento de agua residual doméstica.

B) Objetivos específicos:

1) Determinar la factibilidad técnica de un sistema de tratamiento anaerobio-anóxico-aerobio con recirculación que contenga los siguientes módulos:

- Remoción de la materia orgánica biodegradable mediante un proceso anaerobio.

- Reducción de compuestos oxidados a nitrógeno gaseoso mediante un proceso de desnitrificación anóxica y la oxidación del amonio del efluente anaerobio a nitritos y nitratos mediante un proceso aerobio de nitrificación.

2) Encontrar la relación de recirculación adecuada para lograr la máxima eliminación posible del nitrógeno al hacer uso de un empaque tubular de PVC con una relación área-volumen de  $70 \text{ m}^2/\text{m}^3$  en el reactor nitrificador.

3) Determinar y especificar los parámetros más importantes para operar la planta piloto adecuadamente.

## 2. FUNDAMENTOS TEORICOS

### 2.1 Fuentes y características del agua residual.

La cantidad y tipo de contaminantes contenidos en una descarga es función del uso que se le dio al agua. Existen tres tipos de aguas residuales: urbanas, agrícolas e industriales, siendo las urbanas junto con las industriales las que contienen una cantidad mayor de contaminantes. Las características generales de los diversos tipos de agua residual se muestran en la TABLA 2.1.

TABLA 2.1. TIPIFICACION DE LOS DIVERSOS TIPOS DE AGUA RESIDUAL.

Tipos de agua residual	Características
Urbanas	Grandes volúmenes. Alta conc. de materia biodegradable Patógenos. Poca variación en la concentración. Variación según la hora.
Industriales	Volúmenes variables. Composición diversa. Continuas o periódicas.
Agrícolas	Volumen dependiente de la lluvia y del riego. Componentes del suelo, fertilizantes y plaguicidas.

ADAPTADO: Mercado, 1985

La contaminación del agua se produce por la calidad y cantidad de constituyentes químicos, físicos y biológicos contenidos en ella. Dependiendo de la cantidad de estos constituyentes el agua residual es clasificada como de fuerza baja, media o fuerte. Las características y composición de las aguas residuales se muestran en las TABLAS 2.2 y 2.3 respectivamente.

**TABLA 2.2 COMPONENTES QUIMICOS, FISICOS Y BIOLOGICOS DEL AGUA RESIDUAL.**

Parámetro	Fuente
<b>Físico</b>	
Sólidos Temperatura Color Olor	Residuos domésticos e industriales. Residuos domésticos e industriales. Residuos domésticos e industriales. Materia en descomposición, residuo industrial.
<b>Químico</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orgánico:</li> <li>  Proteínas</li> <li>  Carbohidratos</li> <li>  Grasas y aceites</li> <li>  Tensoactivos</li> <li>  Fenoles</li> <li>  Pesticidas</li> <li>- Inorgánico:</li> <li>  pH</li> <li>  Cloruros y alcalinidad</li> <li>  Nitrógeno</li> <li>  Fósforo</li> <li>  Sulfuros</li> <li>  Compuestos tóxicos</li> <li>  Metales pesados</li> <li>- Gases:</li> <li>  Oxígeno</li> <li>  Sulfuro de hidrógeno</li> <li>  Metano</li> </ul>	Residuos domésticos y comerciales. Residuos domésticos y comerciales. Residuos domésticos, comerciales e industriales. Residuos domésticos e industriales. Residuos industriales. Residuos agrícolas.  Residuos industriales. Purificación de agua, residuos domésticos y filtración de agua en la tierra. Residuos domésticos y agrícolas. Residuos domésticos e industriales. Suministro de agua doméstica y residuo industrial. Residuos industriales. Residuos industriales.  Suministro de agua y filtración de agua en la tierra. Descomposición de materia orgánica. Descomposición de materia orgánica.
<b>Biológico</b>	
Protista Virus Plantas y animales	Residuos domésticos y de plantas de tratamiento. Residuos domésticos. Plantas de tratamiento, cuerpos de agua abiertos.

FUENTE: Metcalf y Eddy, 1979

TABLA 2.3 CARACTERISTICAS TIPICAS DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA.

Constituyentes	Concentración (mg/L)		
	Fuerte	Media	Baja
DBO	400	200	110
DQO	1000	500	250
COT	290	160	80
SST	350	220	100
SSF	75	55	20
SSV	275	165	80
NTK	85	40	20
Amonio	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total	15	8	4
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	200	100	50

FUENTE: Barnes y Bliss, 1983

La característica física más importante del agua residual doméstica es el contenido total de sólidos, que están compuestos por materia flotante, materia en suspensión, materia coloidal y materia en disolución. Otras características físicas incluyen la temperatura, el color y el olor.

Dentro de las características químicas se encuentra el contenido de materia orgánica que se deriva de los reinos animal y vegetal y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos presentes en el agua residual doméstica son proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50 %), y grasas y aceites (10 %) (Metcalf y Eddy, 1979). Un ejemplo de compuesto orgánico es la urea, que es uno de los principales constituyentes de la orina.

La materia inorgánica proviene del contacto de las aguas con las formaciones geológicas y de la contaminación provocada por los

desechos industriales.

Los gases comúnmente encontrados en el agua residual incluyen a los constituyentes de la atmósfera así como aquéllos que se generan debido a la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual.

El nitrógeno presente en el agua residual doméstica se encuentra, principalmente, en forma de sales de amonio y nitrógeno orgánico. Las proporciones están sujetas a variación, ya que establecimientos comerciales e industrias como las procesadoras de carne y leche, refinerías y plantas petroquímicas y las plantas productoras de fertilizantes y fibras sintéticas, que hacen uso de amoníaco, contribuyen en gran medida al aporte de amonio en cantidades diversas.

## 2.2 Efectos del Nitrógeno sobre el medio ambiente.

### 2.2.1 El ciclo del Nitrógeno.

El nitrógeno es un nutriente esencial para la vida pero su disponibilidad para los organismos depende del estado de oxidación en que se encuentre. El nitrógeno puede actuar con las siguientes valencias: -3 como nitrógeno orgánico y amoniacal, cero como nitrógeno molecular ( $N_2$ ), +1 como  $N_2O$ , +2 como  $NO$ , +3 como nitrito  $NO_2^-$ , +4 como  $NO_2$  y +5 como nitrato  $NO_3^-$ . La naturaleza transforma los estados de oxidación del nitrógeno por el proceso natural llamado Ciclo del Nitrógeno, FIG 2.1.

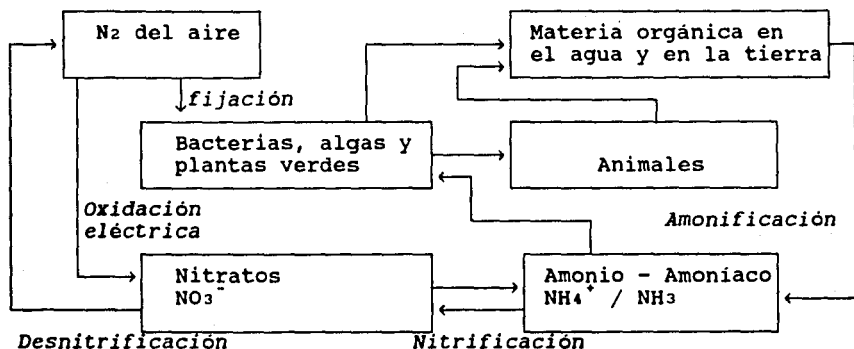
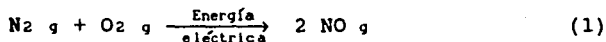


FIG. 2.1 Ciclo del Nitrógeno.

En la atmósfera, durante las tormentas, las descargas eléctricas hacen que el N<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub> reaccionen formando óxido de nitrógeno según la reacción:



El óxido de nitrógeno reacciona fácilmente con el oxígeno produciendo dióxido de nitrógeno, que a su vez reacciona con agua para producir ácido nítrico.



El nitrógeno amoniacal existe en disolución acuosa como amoniaco y amonio, según el pH del medio. De acuerdo con el equilibrio



a un pH de 7 el nitrógeno presente se encuentra en un 99.6 % como  $\text{NH}_4^+$  y el resto como  $\text{NH}_3$ .

### 2.2.2 El nitrógeno como contaminante.

Las diferentes formas en que se encuentra el nitrógeno afectan en forma distinta al medio ambiente. El amonio es tóxico para los organismos acuáticos superiores como los peces que se intoxican a concentraciones tan bajas como 0.5 mg/L.

La oxidación del nitrógeno amoniacal a nitrato consume una cantidad de oxígeno estequiométricamente igual a 4.57 veces su peso, lo que provoca una disminución en la concentración de oxígeno que afecta la vida acuática.



Los nitratos favorecen la proliferación de plantas (algas) que durante la noche consumen gran cantidad de oxígeno de los sistemas acuáticos, provocando importantes fluctuaciones en la concentración de oxígeno. Además, cuando éstas plantas mueren, los restos se depositan en el fondo, lo cual ocasiona una disminución de la profundidad del cuerpo receptor y un consumo adicional de oxígeno.

Las aguas que contengan nitratos a concentraciones mayores a 10 mg/L y que sean utilizadas para la alimentación, causarán la asfixia de lactantes debido a la oxidación del Fe (II) en la hemoglobina y el consiguiente bloqueo del transporte de oxígeno. A esta enfermedad se le denomina metahemoglobinemia.



Adicionalmente, los nitritos pueden causar cáncer debido a que forman nitrosaminas. Por otra parte, el nitrógeno amoniacal contenido en el agua disminuye la eficiencia de cloración al formar cloraminas.

### 2.2.3 El carbono orgánico e inorgánico como contaminantes.

La descarga de agua residual con alto contenido de materia orgánica en un cuerpo receptor provoca, debido a la acción de microorganismos, la disminución de la concentración de oxígeno disuelto, lo que llega a producir zonas anaerobias en algunas partes o en la totalidad del medio receptor. Lo anterior ocasiona la muerte de la flora y fauna en el sistema acuático.

### 2.3 Etapas en el tratamiento de las aguas residuales.

El tratamiento de las aguas se lleva a cabo en varias etapas:

a) Tratamiento preliminar.- Este tratamiento tiene por objeto la eliminación de sólidos de tamaño considerable (como piedras, arena, plásticos, madera etc.) o de grasas y aceites. El tratamiento se efectúa por medio de cribas, desarenadores o desgrasadores. En ciertas ocasiones se emplean trituradores para el control de desechos de gran tamaño.

b) Tratamiento primario.- Consiste en la separación de los sólidos suspendidos pesados. Se realiza en tanques circulares o rectangulares por medio de la sedimentación, utilizando la fuerza de gravedad y la coalescencia natural de las partículas.

c) Tratamiento secundario.- En esta etapa del tratamiento se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble)

así como parte del nitrógeno y del fósforo del agua residual doméstica, por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficiencia de remoción.

Para efluentes no biodegradables, una alternativa es la coagulación y floculación. Generalmente se usa  $\text{FeCl}_3$  o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  solos o con polielectrolitos.

d) Tratamiento terciario.- El tratamiento hecho en esta etapa tiende a la eliminación de contaminantes no biodegradables, biodegradables remanentes y tóxicos para los microorganismos así como a la eliminación de estos últimos para el caso en el que se desee la potabilización del agua. En las aguas que no sean destinadas al riego, se les elimina el fósforo y el nitrógeno durante esta etapa de tratamiento.

2.4 Procesos para la remoción de materia orgánica del agua residual.

2.4.1 Tratamientos químicos.

La oxidación química es empleada para la remoción de materia orgánica no biodegradable y/o tóxica, así como para terminar de oxidar la materia orgánica biodegradable pero refractante, y cuya remoción no es posible por medios biológicos.

En este proceso la materia orgánica es transformada en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Los oxidantes más comunes son el cloro, ozono, peróxido de hidrógeno y el permanganato de potasio. Para su aplicación se requiere altos costos de inversión y operación, comparados con los procesos biológicos.

2.4.2 Tratamientos biológicos.

El tratamiento biológico está fundamentado en la biodegradación que es la actividad de un sistema vivo sobre alguna sustancia para

modificar total o parcialmente su estructura. En el tratamiento del agua esta modificación tiende siempre a simplificar el compuesto.

Para que un sistema biológico pueda degradar al sustrato debe contar con las características enzimáticas y las condiciones ambientales adecuadas. En términos generales, los microorganismos degradan la materia orgánica en condiciones anaerobias y aerobias. En los procesos anaerobios, la degradación de la materia orgánica forma compuestos como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{NH}_3$ . En cambio, en el proceso aerobio se oxidan los compuestos orgánicos como carbohidratos, proteínas y compuestos orgánicos azufrados y fosfatados hasta compuestos inorgánicos más simples como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$  y fosfatos, con ayuda del oxígeno.

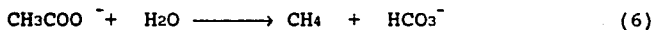
La diferencia fundamental entre los dos procesos es el aceptor final de electrones, en el caso de los aerobios es el oxígeno y en el anaerobio compuestos orgánicos e inorgánicos.

#### 2.4.2.1 Procesos anaerobios.

Se llevan a cabo por medio de bacterias heterótrofas acidogénicas y metanogénicas. Gujer y Zehnder (1983), propusieron seis etapas (FIG 2.2) para la degradación anaerobia de compuestos de alto peso molecular:

- a) Hidrólisis de proteínas, lípidos y carbohidratos.
- b) Fermentación de azúcares y aminoácidos.
- c) Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes.
- d) Oxidación anaerobia de intermediarios como ácidos grasos volátiles.
- e) Conversión de acetato a metano.
- f) Conversión de hidrógeno a metano.

La descarboxilación del acetato se representa en la siguiente reacción



y la oxidación de hidrógeno por

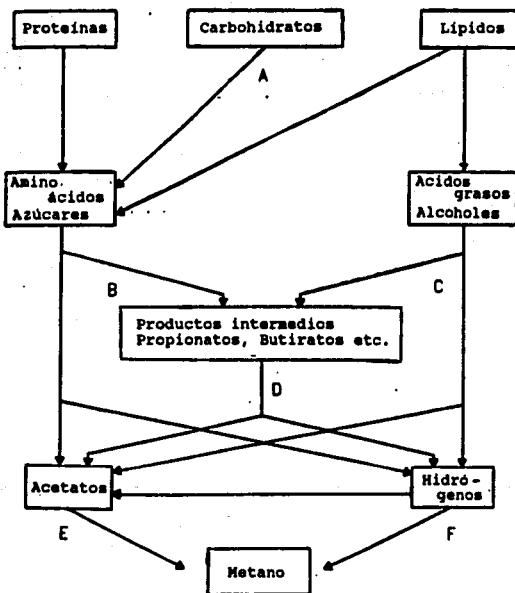


FIG. 2.2 Bioconversión anaerobia.

#### 2.4.2.2 Factores que afectan al proceso anaerobio metanogénico.

El proceso anaerobio funciona en dos intervalos de temperatura: el mesofílico de 30 a 38 °C y el termofílico de 50 a 60 °C, siendo las velocidades de reacción más altas en este último. La temperatura mesofílica óptima para el crecimiento de microorganismos anaerobios es 35 °C, sin embargo, algunos digestores han operado a temperaturas inferiores a 20 °C con buenos resultados (Stronach et al., 1986).

Los organismos metanogénicos se desarrollan en un intervalo de pH entre 6.2 y 7.8 con un óptimo cerca de 7. Las condiciones del medio a pH bajos son fuertemente dañinos a la población metanogénica y la inhibición empieza a un pH de 6.

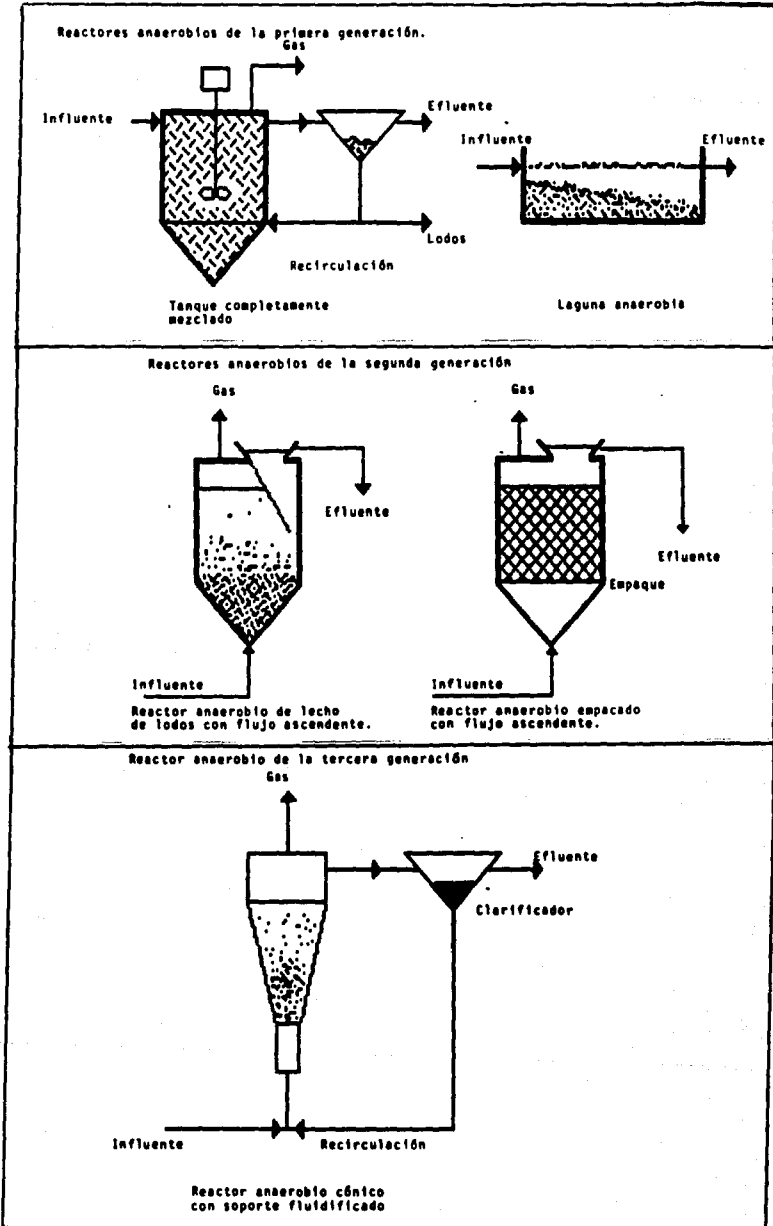
El control del pH es fundamental para el mantenimiento de un crecimiento bacteriano óptimo, así como para asegurar la metanogénesis y para tener procesos de degradación eficientes. Este control se logra mediante la adición de alcalinidad.

El azufre en su forma no ionizada (H<sub>2</sub>S) afecta considerablemente el proceso anaerobio metanogénico a concentraciones mayores de 200 mg/L (Eckenfelder, 1989). Adicionalmente, los metales pesados, detergentes, desinfectantes, preservadores y productos farmacéuticos etc. también tienen un efecto negativo.

#### 2.4.2.3. Sistemas anaerobios de tratamiento.

La tecnología anaerobia se ha desarrollado de tal forma que se pueden distinguir tres etapas en su evolución. En los reactores anaerobios de la primera generación la biomasa se encuentra en suspensión.

Los reactores de la segunda generación tienen como característica



fundamental que la biomasa es retenida en el reactor por medio de un empaque (Filtro anaerobio) o por las propiedades de sedimentación que posee (UASB, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Los reactores anaerobios de la tercera generación tienen los microorganismos adheridos en forma de biopelícula en un soporte, el cual se encuentra fluidificado o expandido. Ejemplos de estos reactores se encuentran en la FIG 2.3.

En la actualidad, los reactores más utilizados a escala industrial son los de la segunda generación, pues los de la primera tienen la desventaja de ocupar mayor volumen y tener eficiencias de operación bajas.

Los reactores de la tercera generación se encuentran actualmente a nivel piloto o semiindustrial y han sido pocas las realizaciones prácticas (Henze, 1991).

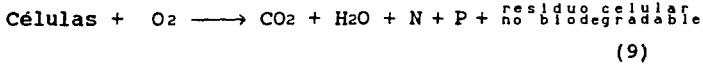
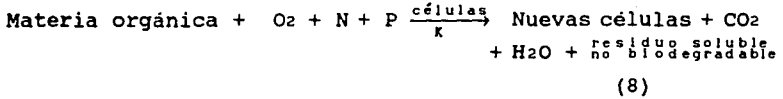
Los reactores de la segunda generación ofrecen una buena relación área de contacto/volumen ocupado. El más utilizado por su bajo costo y altas eficiencias es el reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB). La gran ventaja de este reactor es el hecho de no utilizar empaque para la retención de biomasa. Además, tiende a la formación de flóculos sedimentables con una gran actividad metanogénica.

Cabe destacar que los flóculos del reactor UASB podrían ser ligeramante fluidificados, proporcionando ventajas cercanas a las de los reactores de la tercera generación.

#### 2.4.2.4 Procesos aerobios.

Los procesos aerobios se llevan a cabo en presencia de oxígeno molecular disuelto. Durante la biodegradación, el oxígeno es consumido por los microorganismos para sintetizar material celular y producir la energía necesaria para el metabolismo. Esto se

representa por medio de las siguientes reacciones



Los elementos inorgánicos como son el nitrógeno, el fósforo y otros, a nivel traza, como el azufre, potasio, calcio y magnesio, son indispensables en la síntesis celular.

Dos de las fuentes de carbono más comunes para la síntesis celular son el dióxido de carbono (organismos autótrofos) y el carbono contenido en la materia orgánica (organismos heterótrofos). Para los autótrofos, la energía es suministrada por la luz (fotosíntesis) o por una reacción redox. En el primer caso, los organismos son denominados autótrofos fotosintéticos y en el segundo, autótrofos quimiosintéticos. Para los organismos heterótrofos, la energía es suministrada por la oxidación y la fermentación de la materia orgánica. En la TABLA 2.4 se clasifican los organismos en función de las fuentes de energía y de carbono.

TABLA 2.4 CLASIFICACION GENERAL DE MICROORGANISMOS EN FUNCION DE LAS FUENTES DE ENERGIA Y DE CARBONO.

Clasificación	Fuente de energía	Fuente de carbono
Autótrofos: Fotosintéticos. Quimiosintéticos.	Luz.	CO <sub>2</sub>
	Reacción redox inorgánica.	CO <sub>2</sub>
Heterótrofos:	Reacción redox orgánica.	Carbono orgánico.

FUENTE: Metcalf y Eddy, 1979



#### 2.4.2.5 Tratamientos aerobios.

Los sistemas aerobios más representativos son :

- a) Lagunas de aireación.
- b) Sistema de lodos activados.
- c) Filtros rociadores.
- d) Biodiscos.
- e) Filtros sumergidos.

Lagunas de aireación.- Las lagunas de aireación tienen profundidades de 2 a 5 m. El suministro de aire se lleva a cabo mecánicamente o por medio de difusores. Se caracterizan por tener tiempos de residencia altos y no tener recirculación de lodos. Existen dos clases de lagunas: las totalmente mezcladas y las facultativas en donde el suministro de aire no es lo suficientemente fuerte para suspender a la biomasa.

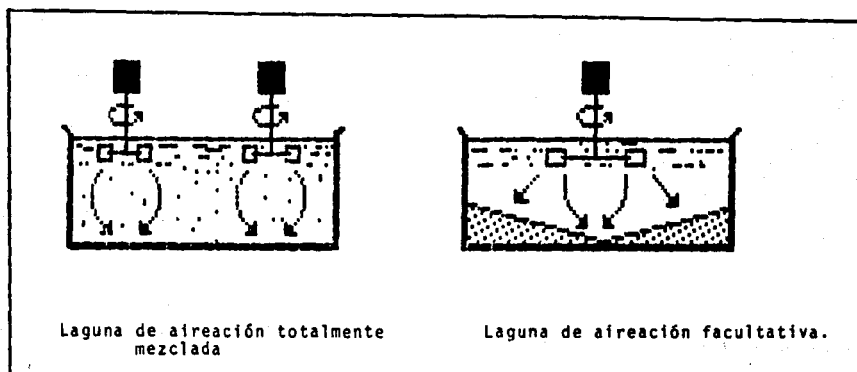


FIG. 2.4 Lagunas aireadas.

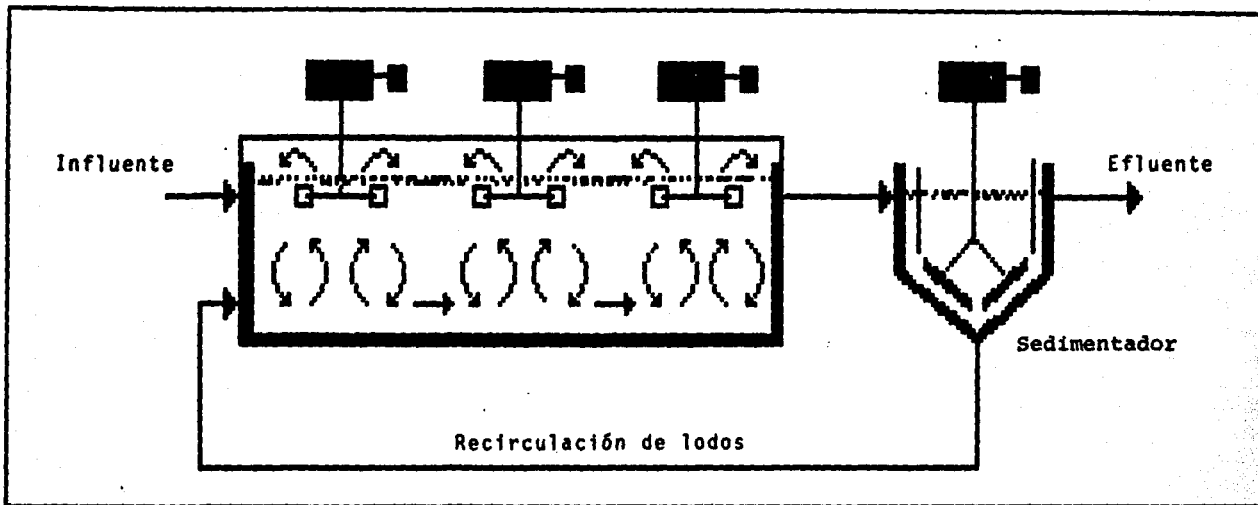


FIG.2.5 Sistema de lodos activados completamente mezclado.

En el caso de las totalmente mezcladas se tienen tiempos de residencia hidráulico y celular de 3 a 10 días y en las facultativas de 7 a 30 días (Metcalf y Eddy, 1979). La eficiencia de remoción en DBO de estos sistemas varía de 80 a 90%. En la FIG 2.4 se muestra este proceso.

Lodos activados.- Este proceso (FIG 2.5) se basa en la interacción entre una población microbiana mixta en suspensión y el agua por tratar (licor mixto). Con el objeto de aumentar la capacidad del sistema, parte de los lodos se recolectan y recirculan al tanque de aireación. Este sistema opera con un tiempo de retención promedio de 4 a 8 horas y uno celular de 5 a 15 días. Se logran eficiencias de remoción en DBO de 85 a 95 % (Metcalf y Eddy, 1979).

Filtros rociadores.- Los filtros rociadores poseen un empaque a base de roca o material sintético en el cual se desarrolla una biopelícula que remueve la contaminación del agua. El agua residual es rociada por un distribuidor giratorio sobre un empaque que no se encuentra sumergido, sino que permanece expuesto al aire. El agua desciende por el empaque y el sustrato se difunde en la biopelícula. Trabajan con cargas orgánicas que varían de 0.08 a 6 kg m<sup>3</sup>/día y con eficiencias de remoción de materia orgánica de 85 a 90 %. Poseen tiempos de retención hidráulica de 2 min en los filtros rociadores más rápidos (Metcalf y Eddy, 1979). En la FIG. 2.6 se muestra un esquema de este equipo.

Biodisco.- Este sistema consiste en un empaque circular giratorio en el cual se encuentra la biomasa adherida. El biodisco (FIG 2.7) rota sobre su eje lentamente (2 a 5 rpm) con un 40% de su superficie sumergida en el agua residual, mientras que el resto entra en contacto con el aire, es decir, la biopelícula interacciona con el aire y el agua en forma sucesiva. Las unidades más simples tienen 4 m de diámetro por 8 m de longitud y una

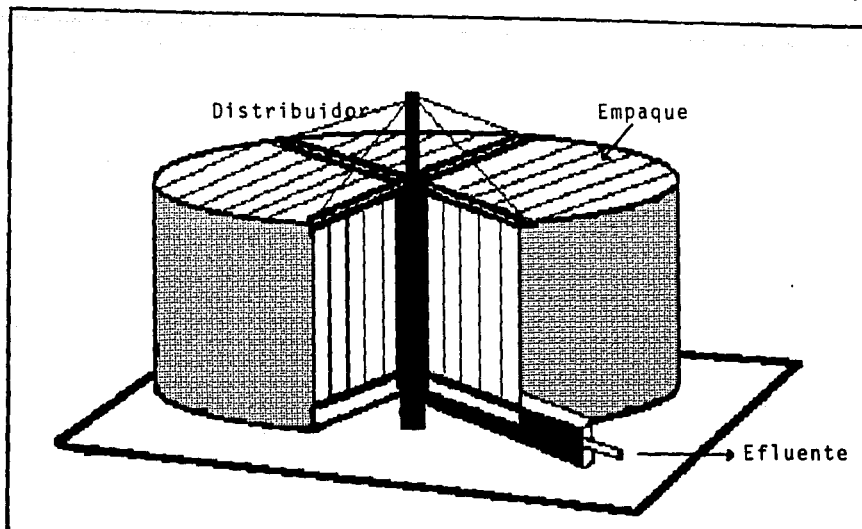


FIG. 2.6 Filtro rociador.

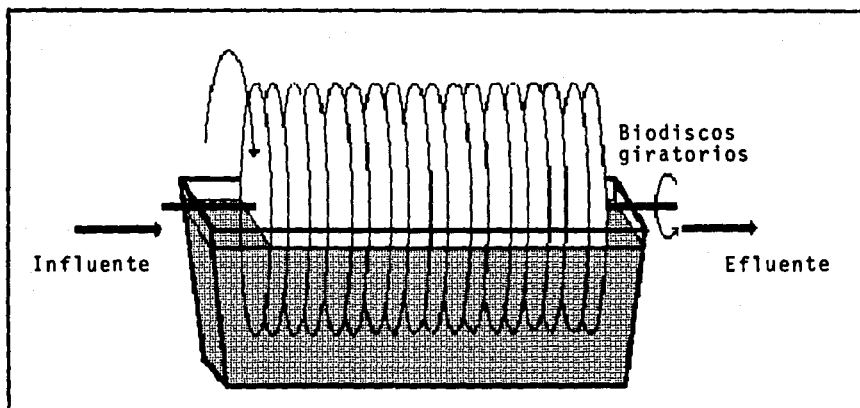


FIG. 2.7 Sistema de biodisco.

superficie de contacto mayor a  $9290 \text{ m}^2$  (Eckenfelder, 1989). Poseen una capacidad de tratamiento de 3 a  $10 \text{ g DBO}_5 / \text{m}^2 \text{ d}$ .

**Filtros sumergidos.**- Este equipo consiste en un reactor empacado con soportes entre 1 y 50 mm de diámetro que trabaja con flujo ascendente o descendente. El hecho de poseer un área superficial elevada y un empaque de tamaño pequeño, permite el tratamiento de cargas orgánicas altas y la filtración de partículas suspendidas. Al sistema se le inyecta aire para mantener un ambiente aerobio. En la FIG 2.8 se muestra un esquema de este equipo. Debido a la retención de partículas y a la formación de biomasa, los filtros sumergidos deben ser periódicamente lavados. Para ello se emplea una mezcla de agua y aire.

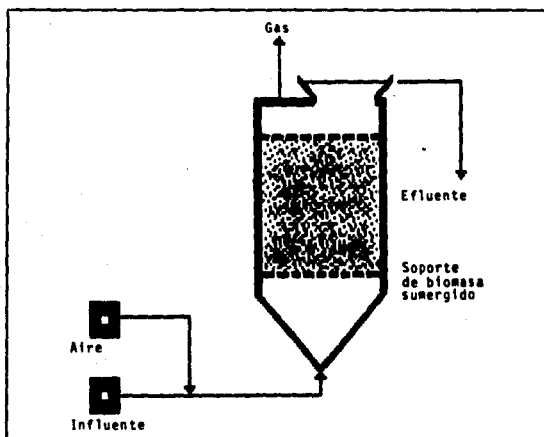


FIG. 2.8 Filtro sumergido.

## 2.5 Procesos para la remoción de nitrógeno del agua residual.

### 2.5.1 Tratamientos fisicoquímicos.

Para la remoción del nitrógeno amoniacal del agua existen cuatro procesos principales que son:

- Desorción de amoníaco con aire ("Stripping").
- Cloración hasta el punto de quiebre ("Breakpoint").
- Intercambio iónico.
- Ósmosis inversa.

#### 2.5.1.1 Desorción de amoníaco con aire.

Es un proceso de transferencia de masa. El agua residual que contiene sales de amonio es tratada para aumentar el pH y transformarlas en amoníaco. El efluente es pasado por una torre desorbedora empacada o de platos en la cual el amoníaco es transferido a una corriente de aire que fluye a contracorriente del agua. Posteriormente, el amoníaco puede ser recuperado en otra torre absorbedora mediante una disolución ácida. El esquema del proceso se presenta en la FIG 2.9.

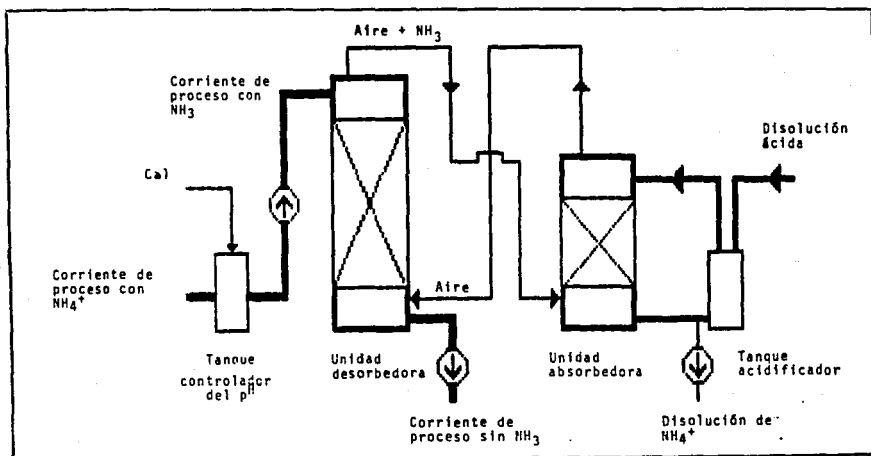
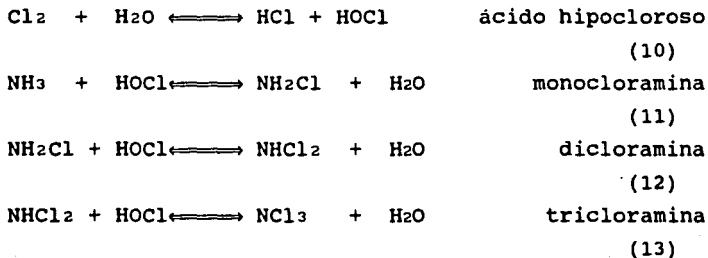


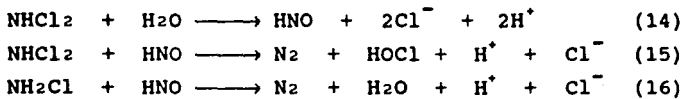
FIG. 2.9 Proceso de desorción de amoníaco.

### 2.5.1.2 Cloración hasta el punto de quiebre.

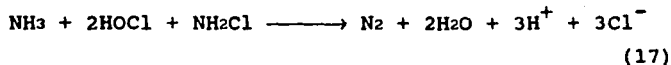
La cloración con cloro gaseoso o hipoclorito oxida el amonio para formar cloraminas y, finalmente, nitrógeno molecular, según las siguientes reacciones:



En la dicloramina, la presencia de dos átomos de cloro electronegativos forman una densidad de carga positiva en el nitrógeno, lo que produce un ataque nucleofílico por parte del agua formando el intermediario HNO (ácido hiponitroso)



El efecto neto de las reacciones (11), (12) y (14) seguidas de la (15) y la (16) se presenta en la reacción



El punto de ruptura se encuentra al lograr la neutralización de amonio y se tiene un incremento en la concentración de cloro libre.

Entre las desventajas de esta técnica se tiene que la cantidad de sólidos disueltos se incrementa y que es aproximadamente el doble de caro que la desorción. Además, las cloraminas formadas son tóxicas para el hombre (Reynolds, 1982).

#### 2.5.1.3 Intercambio iónico.

Para remover el amonio se utiliza un intercambiador catiónico de zeolita natural denominado Clinoptilolita. Un problema asociado con la eliminación de amonio del agua residual, es el taponamiento que sufren los poros de la resina debido al contenido de materia orgánica. Por ello, el agua debe ser permanentemente filtrada y sometida al contacto con carbón activado antes de ingresar a la columna. Cuando la zeolita se agota es regenerada con una disolución de NaCl.

El funcionamiento y el costo de este proceso está íntimamente relacionado con la capacidad de intercambio de la resina, la cantidad de regenerante requerido y el tiempo de vida útil (Eckenfelder, 1989).

#### 2.5.1.4 Ósmosis inversa.

La ósmosis inversa consiste en la separación del disolvente (agua) de una disolución salina por medio de la aplicación de una presión superior a la osmótica para que pase a través de una membrana semipermeable. Este proceso es usado para la eliminación de iones con concentraciones entre 3000 y 10000 mg/L.

El tipo de membrana empleado es un parámetro decisivo para la aplicación de esta técnica debido a que hay que considerar el número de veces que se debe reemplazar dicha membrana en un lapso de tiempo de operación y que determina aproximadamente del 32 % del costo total (Reynolds, 1982). En la FIG 2.10 se muestra un



dibujo del equipo utilizado.

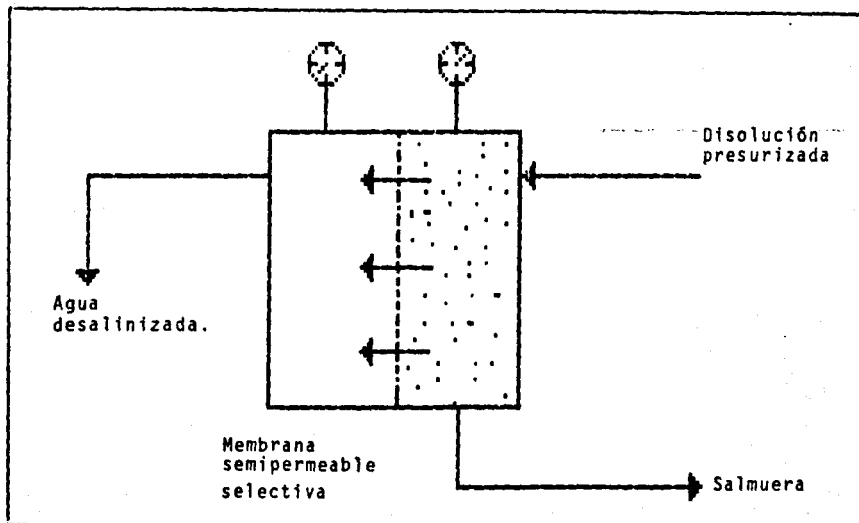


FIG. 2.10 Proceso de ósmosis inversa.

### 2.5.2 Eliminación biológica del nitrógeno.

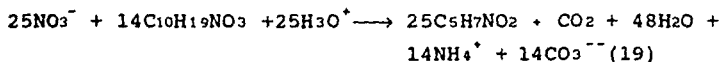
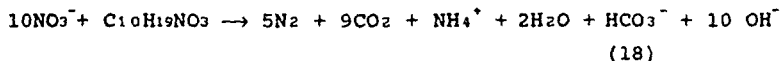
Cabe hacer notar que los sistemas biológicos descritos en los incisos 2.4.2.3 y 2.4.2.5 también son utilizados en la desnitrificación y nitrificación.

#### 2.5.2.1 Desnitrificación.

La desnitrificación es la actividad metabólica de bacterias heterótrofas y aerobias facultativas que emplean el carbono orgánico como fuente de energía y utilizan los iones nitrito y nitrato como aceptores finales de electrones. Algunas de estas bacterias son las *Pseudomonas denitrificans*, *Micrococcus sp.* y *Achromobacter sp.* Resulta interesante señalar que dependiendo del

tipo de bacteria la reducción se realiza en dos etapas ( $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2$ ) o en una sola.

Cuando el sustrato utilizado por las bacterias proviene del carbono orgánico contenido en las aguas residuales domésticas, las reacciones de respiración y de síntesis (Barnes y Bliss, 1983) se pueden representar mediante las siguientes reacciones:



De acuerdo con la ecuación (18) se requiere una relación estequiométrica de carbono orgánico-nitrógeno de 0.857 mgCOTs/mgN oxidado. Cabe destacar que los distintos procesos biológicos de tratamiento de aguas existentes para la remoción de nitrógeno transforman el nitrógeno en nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ), forma que no es contaminante del medio ambiente.

#### 2.5.2.2 Factores que afectan a la desnitrificación biológica.

Fuente de energía.- Para que se lleve a cabo la desnitrificación, es necesaria la presencia de un donador de electrones, es decir, una fuente de energía. Esta fuente la constituyen los compuestos orgánicos biodegradables. Generalmente, se utiliza metanol, pero debido al costo se han propuesto otras opciones. Rhee y Fuhs (1978) demostraron la utilidad del metano como fuente de energía y Skrinde y Bhagat (1982) propusieron la utilización de levadura, suero, maíz y azufre, obteniendo altas eficiencias de desnitrificación (>90 %) con el maíz y la levadura. En este trabajo se utilizó como fuente de energía la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual doméstica. En la FIG. 2.11 se muestra el efecto de la temperatura y de la fuente de carbono en la desnitrificación.

**Oxígeno disuelto.**- Es necesario evitar la presencia de oxígeno disuelto en el medio, pues inhibe la desnitrificación por sustitución del aceptor final de electrones. Nakajima (1984) y Jiménez (1986) mostraron que la tasa de desnitrificación es inversamente proporcional a la concentración de oxígeno, encontrando un valor crítico de 1 mg/L por arriba del cual la desnitrificación no es aceptable. Sin embargo, Voets et al. (1975) encontraron tasas altas de desnitrificación en condiciones aerobias. Focht y Chang (1975), explican este fenómeno, aclarando que los procesos anóxicos pueden llevarse a cabo en medios aerobios debido a la formación de microsítios sin oxígeno. En efecto, la concentración de oxígeno disuelto en flóculos es función del radio, la tasa de consumo de oxígeno y la rapidez de difusión en el flóculo, pudiendo ser que en el interior exista una concentración nula de oxígeno. Esto explica porqué para ciertos procesos la nitrificación y la desnitrificación se puede llevar a cabo en un solo reactor.

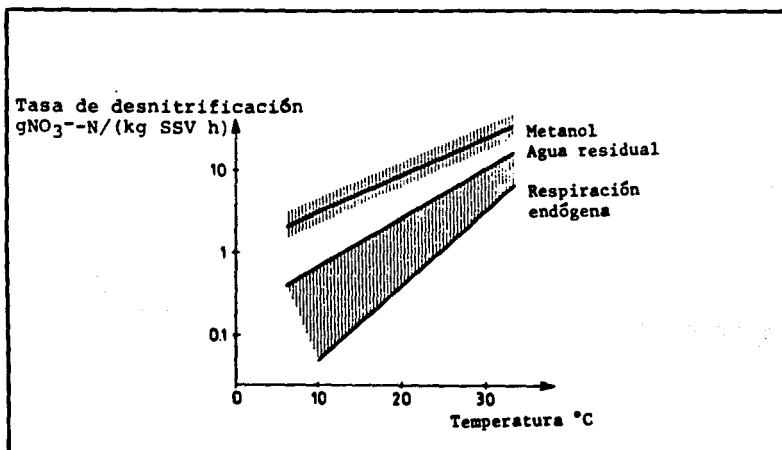


FIG. 2.11 Efecto de la temperatura y de la fuente de energía en la desnitrificación.

pH.- Russel et al. (1978) señalan un intervalo de pH óptimo entre 6.5 y 7.5. La reacción de desnitrificación provoca un incremento en la alcalinidad del medio de acuerdo con la reacción (18).

Temperatura.- La relación entre tasa de desnitrificación y la temperatura se expresa mediante la Ley de Arrhenius, cuya forma simplificada es

$$k_t = k_{20} e^{(T-20)} \quad (20)$$

donde

$k_{20}$  : tasa de desnitrificación a 20 °C.

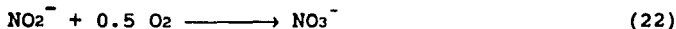
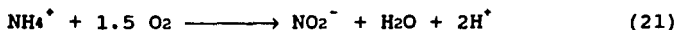
$k_t$  : tasa de desnitrificación a la temperatura T en °C.

$e$  : 1.06 para temperaturas entre 5 y 30 °C.

Como se observa, el incremento en la tasa de desnitrificación es proporcional a la temperatura dentro de un cierto intervalo. Dawson y Murphy (1973) mostraron que la desnitrificación se inhibe, casi en su totalidad, a temperaturas menores a 3 °C, y que las máximas tasas se obtienen entre 35 y 50 °C.

### 2.5.2.3 Nitrificación biológica.

Nitrificación es la oxidación biológica del nitrógeno amoniacal para producir nitratos. En este proceso se presenta un intermediario: el ión nitrito. La reacción se lleva a cabo por medio de bacterias aerobias autótrofas de los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* según las reacciones siguientes que muestran que



La oxidación total del amonio requiere de 4.57 mgO<sub>2</sub>/mgN.

#### 2.5.2.4 Factores que afectan a la nitrificación.

Oxígeno disuelto.- La tasa de nitrificación es significativamente afectada a concentraciones entre 0.3 y 4 mg O<sub>2</sub>/L. Barnes y Bliss (1983) reportan que se necesita una concentración mayor a 4 mg/L de O<sub>2</sub> para efectuar una nitrificación con alta eficiencia. Sin embargo, como requerimiento mínimo para llevar a cabo la nitrificación se menciona de 0.5 a 1 mg O<sub>2</sub>/L. Barnes y Bliss (1983) mencionan que la tasa de crecimiento de *Nitrosomonas sp.* es independiente para concentraciones superiores a 1 mg/L de oxígeno disuelto y de 2 mg/L para *Nitrobacter sp.*

Stenstrom (1979) señala que no es posible establecer un valor de concentración de O<sub>2</sub> disuelto óptimo para la nitrificación en general, ya que la nitrificación depende de muchos factores como son la temperatura, pH, sustancias tóxicas y de la difusión de O<sub>2</sub> en las bacterias. Para cada sistema nitrificante existe un valor de O<sub>2</sub> disuelto óptimo.

pH.- Barnes y Bliss (1983) recomendaron un intervalo de pH óptimo entre 7.5 y 8.5.

La alcalinidad del agua es consumida durante la oxidación del amonio a razón de 7.14 mg de CaCO<sub>3</sub>/mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> según la reacción



por lo que el pH del medio desciende.

Temperatura.- La tasa de nitrificación es función de la temperatura en un intervalo entre 5 y 35 °C con un máximo en 30 °C Shammás (1986). El efecto inhibitorio, debido a un decremento en la temperatura, es más significativo para *Nitrobacter sp.* que para *Nitrosomonas sp.*

Compuestos tóxicos.- Se ha observado que a concentraciones elevadas de amoníaco libre, del orden de 10 a 130 mg/L, la nitrificación puede ser inhibida.

El azufre, como sulfatos y otros compuestos oxidados inhiben a la nitrificación. Según Richardson (1985), el H<sub>2</sub>S a concentraciones de 1 a 5 mg/L causan del 28 al 67 % de inhibición de la nitrificación en lodos activados.

Otros compuestos como cloratos de potasio, cianuro de sodio, sulfato de hidrazina y azida de sodio, tienen efectos inhibidores notables sobre la nitrificación (Barnes y Bliss, 1983). En general, el género *Nitrosomona* es más susceptible que *Nitrobacter* a compuestos tóxicos.

## 2.6 Comparación entre los tratamientos aerobios y anaerobios.

La diferencia esencial entre estos dos tipos de tratamiento es el aceptor final de electrones, y de ello se derivan las diferencias más importantes que influyen significativamente sobre el costo y las consideraciones de tipo técnico.

El proceso anaerobio tiene una baja tasa de síntesis bacteriana, el 90% de la energía se utiliza para la producción de metano mientras que el 10% restante lo utilizan para la síntesis celular.

Por el contrario, en el proceso aerobio el 65% de la energía es utilizada para la síntesis celular, por lo que hay mayor generación de biomasa (lodos), cuyo tratamiento y disposición incrementa la dificultad técnica y el costo total del proceso.

El proceso anaerobio es un productor de energía (CH<sub>4</sub>), mientras que el aerobio es un consumidor de ésta en forma de agitación y oxigenación. Sin embargo, el proceso anaerobio es más sensible a

los cambios ambientales y requiere mucho mayor tiempo de arranque; de 2 a 3 meses, mientras que el aerobio tarda de 2 a 3 semanas. Además, el proceso anaerobio no alcanza el mismo tratamiento que los aerobios y por ello se ha propuesto acoplar a los dos procesos lo que tiene por efecto el incremento de la eficiencia de tratamiento de las aguas y una disminución en los costos de inversión y operación (Wilson et al., 1981).

## 2.7 Procesos acoplados de tratamiento biológico.

Los procesos acoplados anaerobio-aerobio aumentan la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales. En la etapa anaerobia se elimina la mayor cantidad de materia orgánica contenida en el agua residual y en la aerobia se pule el efluente anaerobio (eliminación de nitrógeno, fósforo y la materia orgánica remanente, Odegaard, 1988).

Se han desarrollado varios sistemas de tratamiento que hacen uso del acoplamiento de los procesos anaerobio y aerobio. En la TABLA 2.5 se muestran algunos de ellos.

Wilson et al. (1981) hicieron una estimación de la relación de costo entre el proceso de lodos totalmente mezclados con predesnitrificación y recirculación y otros procesos biológicos y fisicoquímicos para la eliminación del nitrógeno. En la TABLA 2.6 se muestran dichos resultados.

TABLA 2.5 EJEMPLOS DE PROCESOS DE TRATAMIENTO ACOPLADOS

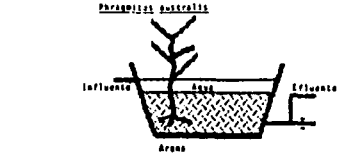
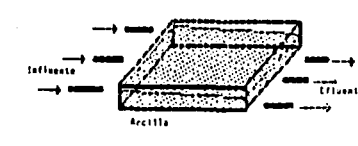
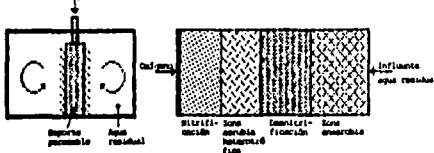
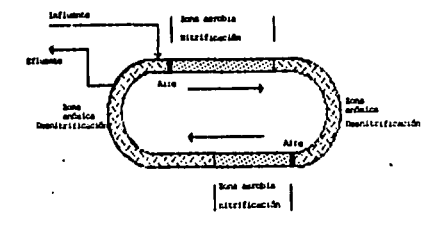
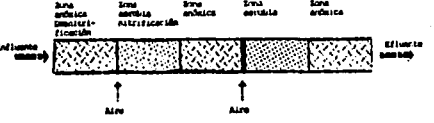
Esquema	Descripción	FIG.
	<p>Se remueve nitrógeno, fósforo y materia orgánica del agua residual al usar arena como medio filtrante con <i>Phragmites australis</i>. Hay nitrificación, desnitrificación e incorporación de N y P al tejido celular (Mathugala et al, 1978).</p>	A
	<p>El N, P y la materia orgánica es removida por la acción de mecanismos físicos, químicos y biológicos en la arcilla (Sirachky et al, 1989).</p>	B
	<p>Reactor con soporte permeable en el cual se lleva a cabo la nitrificación, desnitrificación y la remoción de materia orgánica. Los flujos a contracorriente de oxígeno y agua residual generan las zonas anaerobia, aerobia y anóxica (Timberlake et al, 1980).</p>	C
	<p>En este tanque circular de oxidación se nitrifica, desnitrifica y se remueve materia orgánica con aireaciones intermitentes a lo largo del tanque (Barnes y Bliss, 1983).</p>	D
	<p>Sistema rectangular con aireación intermitente para nitrificar, desnitrificar y renovar materia orgánica (Barnes y Bliss, 1983).</p>	E



TABLA 2.5 CONTINUACION


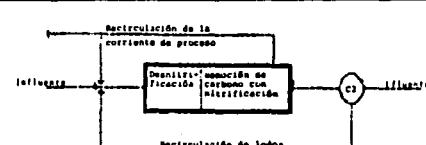
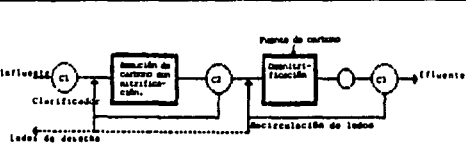

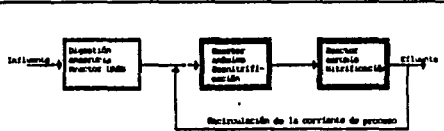
Esquema	Descripción	FIG.
	<p>Proceso PACT. Es un sistema de lodos activados totalmente mecanizado el cual se le agrega carbón activado para la remoción de material no biodegradable (Eckenfelder, 1989).</p>	F
	<p>Sistema de lodos activados con zona anóxica. Se utiliza fuente interna de carbono. Se recicla la biomasa y la corriente a tratar (Wilson et al, 1981).</p>	G
	<p>Nitrificación y desnitrificación en tanques separados. Se agrega metanol como fuente de carbono. Hace uso de un clarificador entre la zona aerobia y anóxica (C2) (Wilson et al, 1981).</p>	H
	<p>Desnitrificación en un tanque de lodos activados. Es similar al de la FIG. (H) a excepción de que el clarificador intermedio es eliminado y utiliza un solo tanque (Wilson et al, 1981).</p>	I
	<p>Sistema anaerobio, anóxico y aerobio con recirculación. Sistema estudiado en este trabajo.</p>	J

TABLA 2.6 ESTIMACION DE LA RELACION DE COSTO ENTRE DISTINTOS PROCESOS PARA LA ELIMINACION DE NITROGENO.

Proceso	VER	Relación de costo
Lodos activados con zona anóxica.	TABLA 2.5 G	1.00
Desnitrificación en un tanque de lodos activados.	TABLA 2.5 I	1.03
Nitrificación y desnitrificación en tanques separados.	TABLA 2.5 H	1.10
Lodos activados con nitrificación.	FIG. 2.5	1.28
Desorción de amoníaco	FIG. 2.9	1.32
Disposición en terreno	-----	1.44
Intercambio iónico	-----	1.54

ADAPTADO DE: Wilson et al., 1981

En la TABLA 2.6 se observa que la recirculación disminuye el costo total del tratamiento. Cabe señalar que el proceso estudiado en este trabajo es distinto al proceso que hace referencia Wilson *et al.*, (1981) en la TABLA 2.6, como el más económico, pero tiene el mismo principio.

El sistema de tratamiento estudiado en este trabajo es el anaerobio-anóxico-aerobio con recirculación, por su bajo costo y por la facilidad que presenta su manejo. Los reactores son

fisicamente independientes entre si, lo que hace su operación más fácil. El reactor nitrificador es con biomasa fija, en tanto que los otros dos (anaerobio y anóxico) son del tipo UASB con un sistema de separación sólido-líquido-gas que elimina el uso de clarificadores en el sistema.

### 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La planta piloto estuvo instalada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad Universitaria de la U.N.A.M. (PTCU), que trata agua residual proveniente de la misma ciudad universitaria y de la colonia Copilco El Alto. El agua residual que se usó en este trabajo fue tomada directamente del desarenador de la PTCU.

Según las características fisicoquímicas del agua residual presentadas en la TABLA 3.1 y al compararlas con las de la TABLA 2.3, se puede afirmar que el agua que se trató en este estudio es del tipo doméstica con una dilución significativamente grande. El contenido de nitrógeno oxidado en esta agua residual puede provenir de los centros de investigación y de los laboratorios de las facultades que hacen uso de compuestos de nitrógeno puros en C.U.. También es notoria la alta concentración de oxígeno disuelto.

TABLA 3.1 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DEL AGUA RESIDUAL.

Parámetro	Valor promedio
pH	7.5
Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L	171
DQOT mgO <sub>2</sub> /L	234
DQOs mgO <sub>2</sub> /L	134
COT mg/L	60
COTs mg/L	38
SST mg/L	131
SSF mg/L	39
SSV mg/L	92
N-NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> mgN/L	23
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	2.4
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.3
N-NTK mgN/L	34
Turbidez UTN	31
Temperatura °C	17-19
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	4

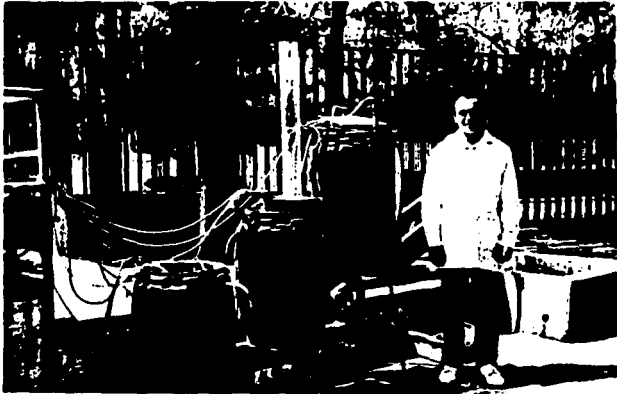
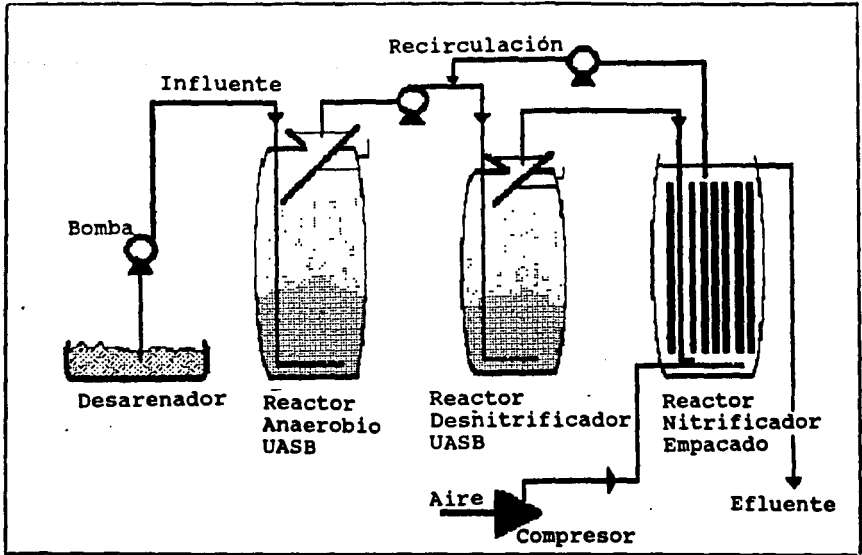


FIG 3.1 Sistema anaerobio-anóxico-aerobio con recirculación

### 3.1 Descripción de la planta piloto.

El sistema empleado consiste en un reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente UASB, un reactor nitrificador con biomasa fija y un reactor anóxico tipo UASB (FIG 3.1).

En la succión del agua residual se instaló una malla de alambre galvanizado como filtro, para que la manguera de succión no fuera obstruida por objetos voluminosos presentes en el agua residual.

A continuación se detalla cada uno de los reactores.

#### 3.1.1 Reactor anaerobio de lecho de lodos con flujo ascendente (UASB).

Este reactor tiene como función la degradación anaerobia de la materia orgánica contenida en el agua residual doméstica. El reactor está formado por un recipiente cilíndrico de polietileno de alta densidad de 120 l. En la parte superior se encuentra un sistema de separación sólido-líquido-gas, que evita el arrastre de sólidos suspendidos por el efluente y favorece la evacuación del biogás formado (FIG 3.2).

El agua residual entra al reactor por la parte inferior por medio de un tubo de PVC de 1/2 pulgada y sale por la parte superior. El reactor fue cubierto con pintura negra para evitar que la luz solar provocara la proliferación de algas en su interior y con ello la introducción de oxígeno al sistema.

#### 3.1.2 Reactor desnitrificador (anóxico).

Este reactor tiene por objeto la reducción de nitratos a nitrógeno molecular ( $N_2$ ). Posee las mismas características estructurales que el anaerobio, con excepción del volumen que es 100 l. En la FIG 3.3 se muestran los detalles del reactor con sus correspondientes

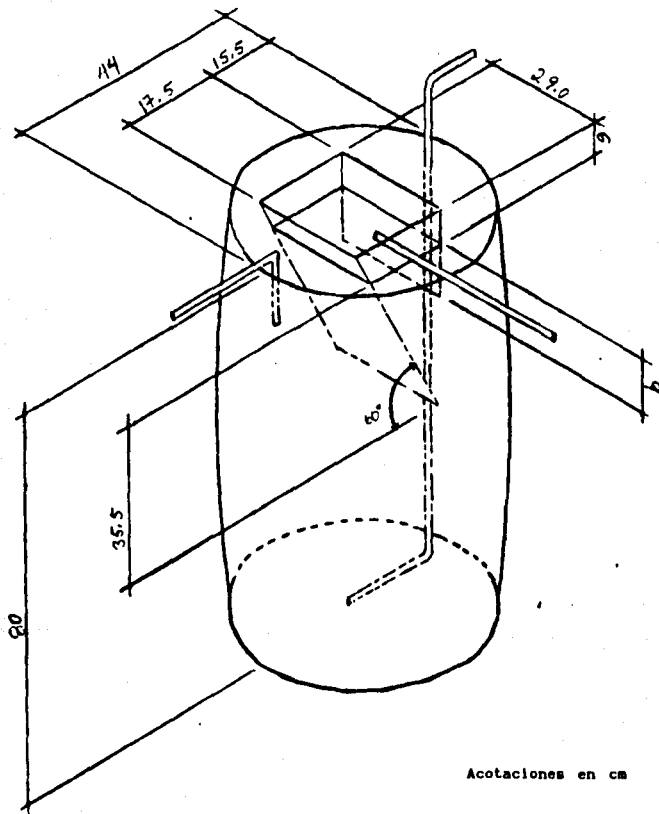
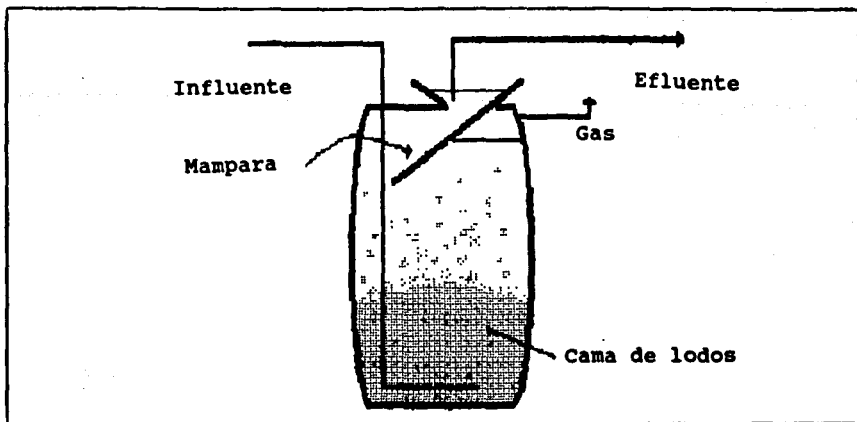


FIG 3.2 Reactor anaerobio (UASB)

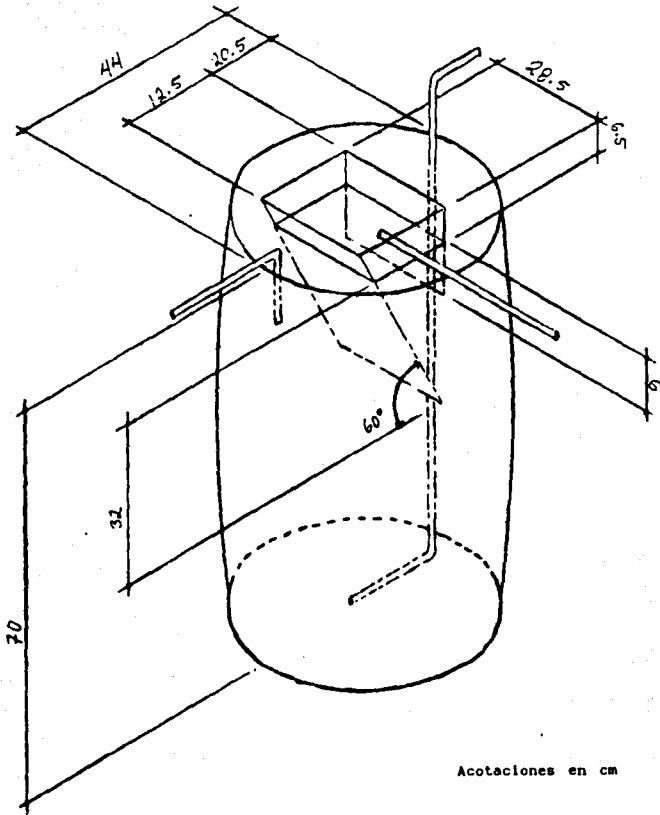


FIG 3.3 Reactor desnitrificador



dimensiones.

### 3.1.3 Reactor nitrificador.

Este reactor oxida el amonio proveniente de los reactores anaerobios a nitrito y nitrato. Está constituido por un recipiente de polietileno de alta densidad de 120 l y contiene como empaque 170 tubos de PVC de 1 pulgada de diámetro nominal, que reducen el volumen a 80 l. La relación área/volumen del empaque es de  $70 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

El reactor trabaja con flujo ascendente para evitar la pérdida de biomasa. De la misma forma que los dos reactores anteriores, está cubierto con pintura negra para evitar el crecimiento de algas y su intervención en el proceso.

En la parte inferior del reactor se colocaron dos piedras porosas de 30 cm de longitud, para difundir el aire y provocar agitación en el mismo. En la FIG. 3.4 se muestran los detalles del reactor.

### 3.1.4 Sistema de bombeo y flujo.

a) Alimentación de agua al sistema.- Se utilizaron bombas peristálticas masterflex Cole Parmer Instrument Co., con flujo controlable. Se usaron 4 cabezales (No. 18) que emplean mangueras de Tygon.

b) Flujo entre los reactores.- Para la conexión entre los reactores se utilizó manguera de latex con diámetro interior de  $1/4$  de pulgada.

c) Aireación al reactor nitrificador.- Se usó una compresora Cole Parmer modelo 07061-40, con regulación de flujo. La medición del

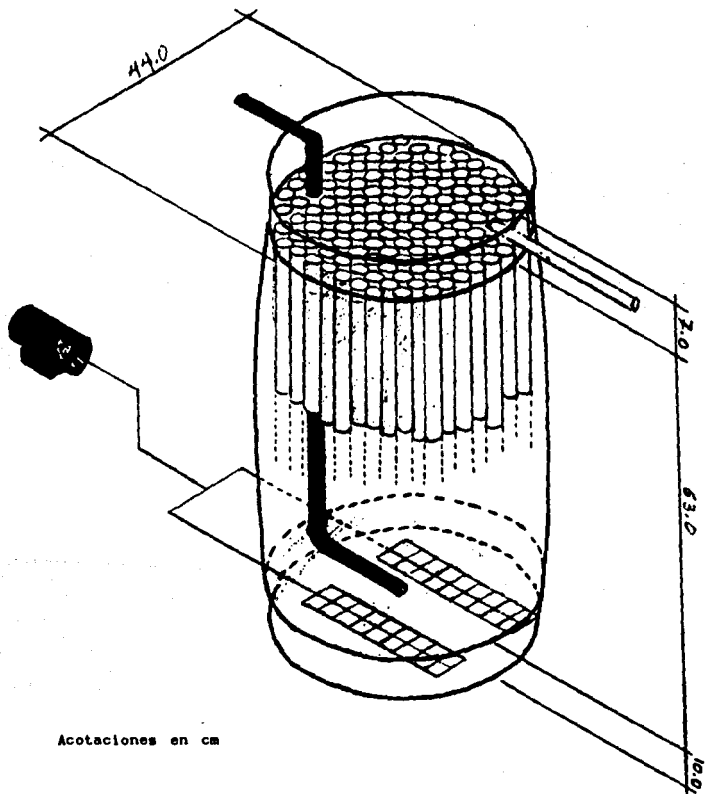
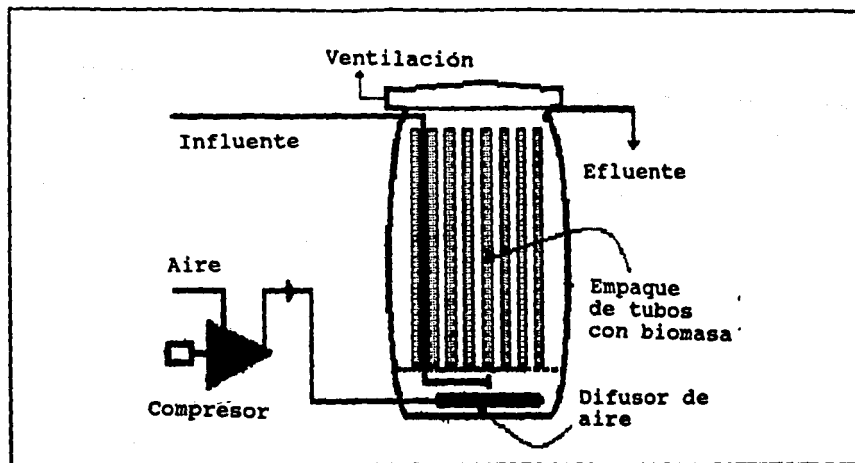


FIG 3.4 Reactor nitrificador.

gasto se efectuó con un rotámetro, con escala de 0 a 40 SCFH y precisión de 2.

### 3.2 Descripción del experimento.

Los reactores anaerobio y nitrificador fueron arrancados y estabilizados por Lemus (1990), en un trabajo previo. Por ello esta investigación se orientó a añadir el reactor desnitrificador y acoplarlo a los otros dos.

Para lograr lo anterior, la investigación se dividió en siete etapas, las cuales se describen a continuación, y de ellas se presenta un esquema en la FIG 3.5.

1 etapa.- Se arrancó el reactor nitrificador hasta obtener una operación estable.

2 etapa.- Se arrancó el reactor desnitrificador y se acopló en serie al anaerobio y al nitrificador, con el siguiente orden: anaerobio, aerobio y anóxico. Se alimentó el reactor desnitrificador con agua residual bruta como fuente de energía.

3 etapa.- Se cambió el orden de los reactores a anaerobio, anóxico y aerobio. Se estableció una corriente de recirculación entre los reactores aerobio y anóxico con una relación 1:1. Se eliminó la adición de agua residual bruta al desnitrificador.

4 etapa.- Se incrementó la relación de recirculación a 1:2.

5 etapa.- Se incrementó la relación de recirculación a 1:3.

6 etapa.- Se incrementó la relación de recirculación a 1:4.

7 etapa.- Se incrementó la relación de recirculación a 1:5.

Con excepción de la primera etapa, siempre se determinó la relación materia orgánica biodegradable/nitrógeno total oxidado (COTs/N-NO<sub>x</sub>) en el influente al reactor desnitrificador.

Una vez arrancado y estabilizado todo el sistema, se instaló una

corriente de recirculación entre los reactores nitrificador y desnitrificador para incrementar la eficiencia global del sistema (etapa 3). Se estudió la relación de recirculación óptima, es decir, encontrar una relación de recirculación en la cual la remoción de nitrógeno y materia orgánica sea máxima.

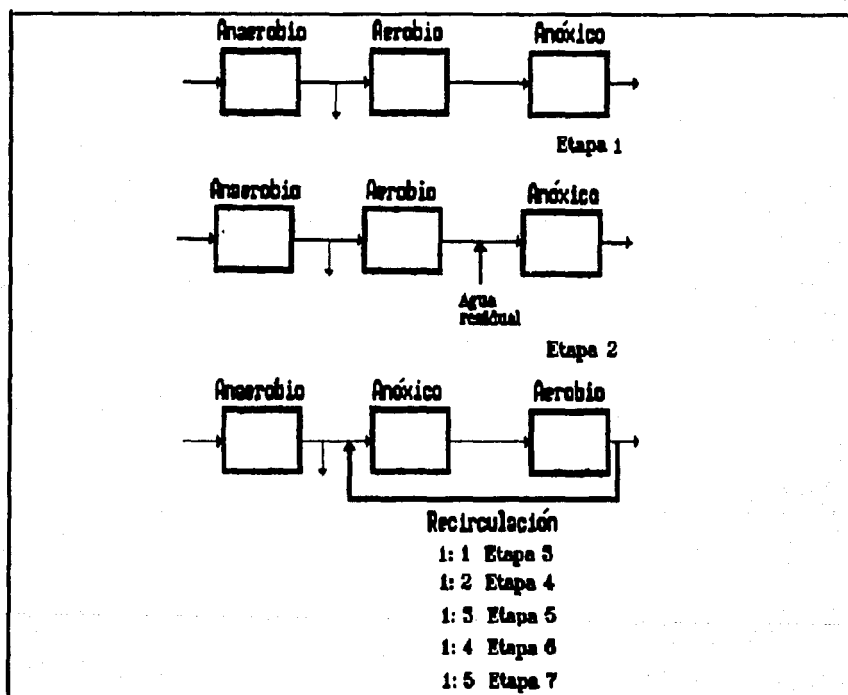


FIG. 3.5 Esquema de la disposición de los reactores en las etapas de operación.

Un parámetro que se varió, para optimarlo en cada una de las

etapas, fue el flujo de aire suministrado al reactor nitrificador pues la concentración de oxígeno disuelto afecta a este reactor y al desnitrificador.

### 3.3 Técnicas analíticas empleadas.

Para hacer un seguimiento de los cambios acaecidos en cada uno de los reactores y en el sistema, se elaboraron análisis fisicoquímicos en los influentes y efluentes de cada uno de los reactores. Dichos análisis fueron los siguientes: DQO, COT, nitrógeno amoniacal ( $N-NH_4^+$ ), nitritos ( $N-NO_2^-$ ), nitratos ( $N-NO_3^-$ ), NTK, SST, SSF, SSV, pH, alcalinidad, turbidez, oxígeno disuelto y temperatura. Los análisis citados se realizaron de acuerdo con los *Standard Methods* (1980).

a) DQO.- Se realizó con la técnica de reflujó con dicromato de potasio en ampolletas (508 B).

b) COT.- Se utilizó un aparato TOCA (Total Organic Carbon Analyzer) Beckman Industrial, modelo 915B, el cual funciona por el método de combustión-infrarojo. Este aparato determina el contenido total de carbono orgánico e inorgánico en la muestra. La diferencia entre estos dos valores proporciona el contenido de carbono orgánico. Técnica 505.

c) Nitrógeno amoniacal.- Se utilizó la técnica colorimétrica con el reactivo de Nessler (417 B). Las lecturas de absorbancias se realizaron en un espectrofotómetro PERKIN ELMER  $\lambda$ 3B.

d) Nitritos.- Se utilizó la técnica colorimétrica 419, que emplea el reactivo de NED (dihidrocloruro de N-1-naftiletileno diamina).

e) Nitratos.- Se determinó por medio de la técnica 418C, que hace uso de una columna reductora de cadmio en la cual se reducen los nitratos a nitritos y estos últimos se determinan

colorimétricamente (419).

f) NTK.- Se determinó por la técnica Kjeldahl semimicro 420B. Se usó un digestor y una unidad de destilación rápida LABCONCO.

g) SST, SSF, SSV.- Para su determinación se emplearon las técnicas gravimétricas 209A y 209D. El papel filtro empleado fue del tipo Whatman GFA/A 5.5 cm.

h) pH.- Este parámetro fue medido electrométricamente con un potenciómetro de campo EXTECH (OYSTER), el cual tiene un electrodo combinado de Ag/AgCl.

i) Alcalinidad.- Se aplicó la técnica 403, en la cual se realiza una titulación potenciométrica con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02N.

j) Turbidez.- Se utilizó la técnica 214. Se usó el nefelómetro HF Instruments, modelo DRT15B.

K) Oxígeno disuelto.- Se empleó la técnica electrométrica con un aparato YSI, modelo 54 A.

l) Temperatura.- Se utilizó un termómetro de vidrio BRANNAN guardado de -10 a 100 °C.

m) Índice volumétrico de lodos (IVL).- Se aplicó la técnica 2710 D.

n) Velocidad máxima de sedimentación.- Se empleó la técnica 2710 E.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION.

En este capítulo se describen los resultados y el comportamiento de cada uno de los reactores, así como el sistema global de tratamiento en cada una de las etapas de operación.

##### 4.1 Reactor anaerobio (UASB).

###### 4.1.1 Resultados.

La TABLA 4.1 muestra los valores promedio de los parámetros obtenidos durante las siete etapas de operación y en el ANEXO 1 se presentan los resultados experimentales. En los anexos se omiten los valores de DQO debido a que este parámetro fue determinado muy pocas veces con el único fin de tener una relación entre CT/DQO<sub>t</sub> y COT/DQO<sub>s</sub>. Los valores de DQO fueron determinados con dichas relaciones. Para el análisis de resultados los valores de CT y COT suplen a los de DQO.

###### 4.1.2 Comportamiento del reactor.

Este reactor trabajó con un tiempo de retención hidráulica de 6 h y con un gasto de 20 l/h en cada una de las siete etapas de operación. Debido a que el sistema estuvo expuesto a las variaciones del medio ambiente, la temperatura osciló entre 15 y 20°C.

El comportamiento del reactor estuvo fuertemente influenciado por la dilución progresiva que sufrió el agua residual en el transcurso del experimento, esto debido a la época de lluvias que coincidió con la experimentación. En las FIGURAS 4.1 y 4.2, se observa este comportamiento. La máxima concentración medida en el agua residual fue 91 mg COT/L y la mínima de 36 mg COT/L.

TABLA 4.1 REACTOR ANAEROBIO (UASB): VALORES PROMEDIO DE LOS PARAMETROS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE EXPERIMENTACION.

Parámetro	1 Etapa		2 Etapa		3 Etapa	
	INF.	EF.	INF.	EF.	INF.	EF.
pH Valor promedio	7.8	7.5	7.9	7.6	7.7	7.5
Desviación Std.	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	231	207	226	204	138	131
	43	25	30	18	22	6
DQOt mgO <sub>2</sub> /L	224	85	241	111	214	74
	26	40	48	45	35	15
DQOs mgO <sub>2</sub> /L	221	60	68	52	133	63
	132	23	17	12	17	18
COT mg/L	79	16	91	38	65	39
	24	4	30	21	26	26
COTs mg/L	42	14	59	29	40	27
	17	5	24	20	18	18
SST mg/L	206	26	180	20	165	27
	171	18	120	12	75	27
SSV mg/L	146	19	134	20	100	19
	113	10	79	9	48	17
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	35	27	33	30	22	15
	15	13	12	12	10	5
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.46	0.12	0.41	0.22	0.26	0.08
	0.16	0.14	0.13	0.20	0.12	0.09
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	2.9	0.8	2.9	0.52	3.1	0.85
	1.3	0.6	1.2	0.46	1.6	0.50
N-NTK mgN/L	40.5	30.8	35.5	36.7	31.8	16.8
	15.4	16.1	12.0	17.4	15.3	6.6
Temperatura °C	17	17	18	19	18	18
	2	2	2	1	2	2
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	4.0	0.2	4.0	0.2	4.0	0.2
	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1
Turbidez UTN	44.2	19.8	54.2	22.8	28.6	14.9
	19.4	9.8	20.3	8.0	12.8	9.6
T.R.H h	6		6		6	
Gasto L/h	20		20		20	
Periodo de	15/1/90		26/2/90		10/4/90	
operación	a	23/2/90	a	9/4/90	a	12/6/90



TABLA 4.1 CONTINUACION

Parámetro	4 Etapa		5 Etapa		6 Etapa	
	INF.	EF.	INF.	EF.	INF.	EF.
pH Valor promedio	7.3	7.3	7.3	6.8	7.5	7.2
Desviación Std.	0.7	0.4	0.5	0.3	0.3	0.3
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	134	132	142	145	144	159
	27	29	51	56	75	80
DQot mgO <sub>2</sub> /L	223	107	226	144	237	58
	67	26	135	126	144	35
DQOs mgO <sub>2</sub> /L	127	84	155	116	159	53
	25	24	109	110	101	51
COT mg/L	45	18	36	36	36	19
	32	8	16	14	32	6
COTs mg/L	39	18	35	26	27	12
	17	10	21	11	13	10
SST mg/L	162	33	60	30	61	19
	121	21	25	24	40	16
SSV mg/L	107	19	46	25	45	18
	83	12	23	22	28	5
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	17	14	16	19	15	18
	7	6	6	4	7	7
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.24	0.13	0.31	0.12	0.18	0.03
	0.11	0.11	0.24	0.14	0.13	0.02
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	2.5	0.6	2.4	0.66	1.5	0.73
	1.4	0.7	0.9	0.75	0.9	0.90
N-NTK mgN/L	30.2	16.8	39.0	22.4	32.9	23.7
	16.4	5.4	22.9	8.1	13.8	6.8
Temperatura °C	18	18	18	18	18	18
	1	2	2	2	2	2
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	4.0	0.2	4.0	0.2	4.0	0.2
	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1
Turbidez UTN	24.2	18.5	26.4	27.0	18.8	18.8
	14.4	12.6	10.5	10.3	9.9	10.9
T.R.H h	6		6		6	
Gasto L/h	20		20		20	
Periodo de	13/6/90		8/8/90		7/9/90	
operación	a	7/8/90	a	6/9/90	a	8/10/90

TABLA 4.1 CONTINUACION

Parámetro	7 Etapa	
	INF.	EF.
pH Valor promedio Desviación Std.	7.5 0.2	7.4 0.1
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	182 19	201 15
DQOt mgO <sub>2</sub> /L	270 131	42 24
DQOs mgO <sub>2</sub> /L	76 18	41 29
COT mg/L	38 21	14 9
COTs mg/L	24 10	10 7
SST mg/L	80 64	10 5
SSV mg/L	63 51	8 3
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	18 6	16 7
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.27 0.12	0.01 0.02
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	1.6 0.4	0.2 0.1
N-NTK mgN/L	25.4 9.0	20.5 10.6
Temperatura °C	18 2	18 2
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	4.0 0.5	0.2 0.1
Turbidez UTN	16.5 4.8	6.18 5.2
T.R.H h Gasto L/h Periodo de operación	6 20 9/10/90 a 9/11/90	

En la FIGURA 4.1, se observa una digestión hasta una concentración mínima en el efluente de 14 mg COT/L y en la FIGURA 4.2 de 10 mg COTs/L. Sin embargo, el efluente del reactor, durante las siete etapas de operación, presenta una concentración promedio de 20 mg COTs/L, sin importar la concentración de carbono orgánico influente al reactor. Esto es significativo pues este reactor fue incapaz de disminuir la concentración por debajo de este límite. Lemus (1990) reporta el mismo valor límite de 20 mg COTs/L (80 mg DQOs/L).

Una hipótesis acerca de la causa de este fenómeno es que para degradar la materia orgánica a bajas concentraciones, los microorganismos necesitan una cantidad mayor de energía que la que podrían obtener de su digestión. De ser así, sería un gasto de energía innecesario, por lo que los microorganismos no degradan a la materia orgánica por debajo de este límite. También pueden presentarse limitaciones a la transferencia de sustrato. Ambos fenómenos están incluidos en el concepto de afinidad del microorganismo por el sustrato (constante  $K_s$ ). Dos factores que también deben tomarse en cuenta son: que el agua residual doméstica trae consigo material no biodegradable y que la muerte de los organismos dentro del reactor genera material refractario, que es contabilizado al determinar la cantidad de materia total (DQOT y CT).

En la FIGURA 4.3 se grafica el perfil de eficiencias en COTs del reactor anaerobio, durante las siete etapas de operación.

Se ha observado que los reactores anaerobios trabajan con eficiencias entre 70 y 85 %, cuando tratan aguas residuales domésticas. En tal caso, como se ha mencionado, estas eficiencias son influenciadas en forma significativa, por la concentración de materia orgánica influente al reactor.

En las FIGURAS 4.4 y 4.5 se presentan las variaciones de SST y SSV

durante la experimentación. En ambas figuras se observa una disminución en la concentración de SST y SSV presentes en el agua residual influente al reactor. Sin embargo, no sucede lo mismo con su efluente, pues se presenta una concentración de sólidos suspendidos totales y volátiles, casi constante, de 25 y 20 mg/L respectivamente.

De las FIGURAS 4.4 y 4.5, se deduce que el reactor es eficiente en la retención de sólidos suspendidos. Dado que parte de ellos no son biodegradables, esto en un tiempo prolongado de operación, su acumulación puede disminuir el volumen activo del reactor, lo que hará necesario efectuar una purga en el mismo.

Durante el experimento, el reactor no produjo una cantidad importante de biogás debido a que el agua residual utilizada no es lo suficientemente concentrada para lograr la producción del metano gaseoso. Lemus (1990) presenta la variación inversa entre la concentración de materia orgánica y la fracción de metano disuelto en el efluente anaerobio; a concentraciones menores de 200 mg DQOt/L, el metano se encuentra disuelto casi en un 100 %. Se necesitan valores de DQOt mayores a 500 mg/L para obtener fracciones de disolución menores al 10 %. Esto explica la baja producción observada de metano gaseoso en el reactor.

Este reactor tuvo una tasa máxima de eliminación de materia orgánica de 0.464 Kg DQOt/  $m^3_{\text{reac.d}}$  y trabajó con una carga máxima correspondiente a la cuarta etapa de experimentación de 0.892 Kg DQOt/  $m^3_{\text{reac.d}}$ .

Otros factores importantes que afectaron el funcionamiento de este reactor fue la presencia de nitrógeno oxidado (3 mg N-NOx/L) y de oxígeno disuelto (4 mg O<sub>2</sub>/L) en el agua residual influente al reactor. En la FIGURA 4.6, se muestra que de hecho existe desnitrificación reduciendo la concentración de N-NOx del influente a un valor promedio de 0.7 mg N-NOx/L.

Se observó un potencial redox de -234 mv en el medio (lodo) del reactor anaerobio. Albagnac (1990) y Guyot (1990) mencionan tres condiciones básicas para tener una digestión anaerobia adecuada: anaerobiosis estricta, condiciones reductoras rigurosas (<-330 mv) y ausencia de aceptores finales de electrones de origen mineral ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{SO}_4^{--}$  por ejemplo) que favorezcan otras vías metabólicas competidoras de la metanogénesis. Ninguna de las tres condiciones fueron realmente cumplidas.

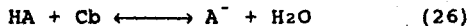
El pH efluente varía en un intervalo de 6.8 a 7.6 (FIGURA 4.7) que es aceptable para la digestión anaerobia. En este intervalo predominan las especies  $\text{CO}_2$  y  $\text{HCO}_3^-$ , par ácido base que tiene el mayor efecto tamponante en el medio. A continuación se deduce la ecuación que permite calcular la capacidad que tiene el medio de resistir cambios de pH.

$$C_o = |\text{HA}| + |\text{A}^-| \quad (24)$$

$$K_a = \frac{|\text{A}^-| |\text{H}^+|}{|\text{HA}|} \quad (25)$$

donde  $C_o$  : concentración total del tampón.

$K_a$  : constante de disociación del ácido.



$\text{Cb}$  : concentración de la base.

en el equilibrio se tiene que

$$|\text{HA}| = C_o - \text{Cb} \quad (27)$$

$$|A^-| = C_b \quad (28)$$

$$K_a = \frac{C_b |H^+|}{C_o - C_b} \quad (29)$$

se define

$$\beta = \frac{d C_b}{d pH} = \frac{d C_b}{d H^+} \times \frac{d H^+}{d pH} \quad (30)$$

$$\beta = \frac{-K_a C_o}{(|H^+| + K_a)^2} \times (-2.303 |H^+|) \quad (31)$$

donde

$$C_o = \frac{C_t |H^+|}{10^{-10.3} + |H^+|} \times (1 + 10^{6.35 - pH}) \quad (32)$$

y

Ct : alcalinidad mg CaCO<sub>3</sub>/L

En la TABLA 4.2 se muestra la capacidad tampón del reactor en las siete etapas de operación.

TABLA 4.2 CAPACIDAD TAMPON DEL MEDIO ANAEROBIO.

ETAPA	pH	Ct Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L	β
1	7.5	207	31.4
2	7.6	204	24.9
3	7.5	131	19.9
4	7.3	132	30.6
5	6.8	145	87.4
6	7.2	159	45.2
7	7.4	201	37.8
			prom. 39.6

Como se puede observar, la variación de  $\beta$  no es significativa, lo cual indica que la capacidad tampón del medio del reactor anaerobio fue casi constante.

En la TABLA 4.3 se muestran las características del lodo anaerobio al término de la experimentación.

TABLA 4.3 CARACTERISTICAS FINALES DEL LODO EN EL REACTOR ANAEROBIO.

pH	6.9
Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L	1460
DQOt mg O <sub>2</sub> /L	14698
DQOs mg O <sub>2</sub> /L	698
SST mg/L	66925
SSF mg/L	25945
SSV mg/L	40980
N-NTK mg N/L	228.9
IVL ml/g	14.94
V <sub>max</sub> . sed. m/h	14.97
Tamaño de flóculo $\mu\text{m}$	462

#### 4.1.3 Comparación con otros estudios.

En la TABLA 4.4, se exponen los resultados obtenidos en distintas experiencias con este tipo de reactor. Se observa la similitud en eficiencias de remoción en DQOt y SST para tiempos de retención hidráulica similares.

TABLA 4.4 COMPARACION CON OTROS ESTUDIOS.

Volumen L	Temp. °C	TRH h	Entrada		Salida		Ef.		REFERENCIA
			DQOt mg/L	SST mg/L	DQOt mg/L	SST mg/L	DQOt %	SST %	
229	31	6	---	---	---	---	60	12	Moya, 1990
106	20	4	424	189	169	58	60	69	Vieira, 1986
120	12-16	24	688	---	150	---	78	---	Lettinga, 1983
120000	21-25	6.5	273	160	113	39	59	76	Vieira, 1990
50000	20-21	5.3	613	---	161	---	73	---	Rico y Lorenzo, 1990
110	12-18	18	465	153	161	41	65	73	Briones et al., 1988
120	18-20	6.8	521	98	116	17	78	83	Lemus, 1990
120	15-20	6	241	180	111	20	54	88	Experimental, 2 Etapa

El tratamiento anaerobio de aguas residuales por medio de reactores tipo UASB se considera como una tecnología en expansión y desarrollo. Se ha demostrado la factibilidad de tratamiento en un gran número de efluentes industriales así como en el tratamiento de las aguas residuales domésticas. Ejemplo de ello es la aplicación que se ha hecho al tratar efluentes de ingenios azucareros y beneficios de café en Cuba, Brazil, Guatemala y México y en muchas otras industrias como las papeleras y cerveceras, así como en el tratamiento de aguas residuales domésticas, en donde en Bucaramanga, Colombia, hay un ejemplo notable de la aplicación de reactores UASB para este fin.

#### 4.2 Reactor desnitrificador.

##### 4.2.1 Resultados.

La TABLA 4.5 muestra los valores promedio de los parámetros obtenidos en las siete etapas de experimentación y en el ANEXO 2 se presentan los resultados experimentales.



## VARIACION DE COT REACTOR ANAEROBIO (UASB)

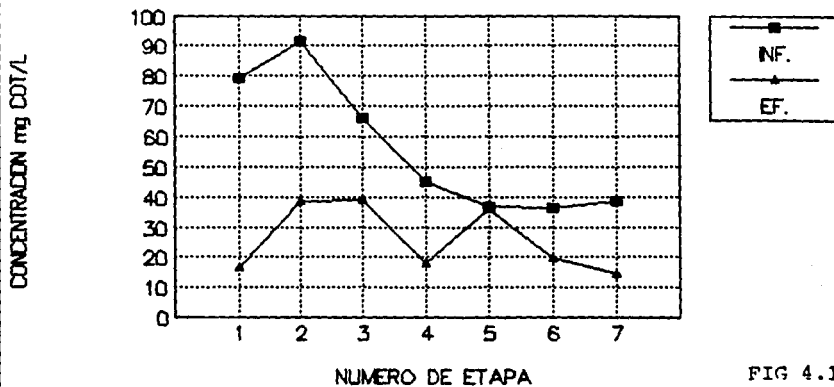


FIG 4.1

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## VARIACION DE COTS REACTOR ANAEROBIO (UASB)

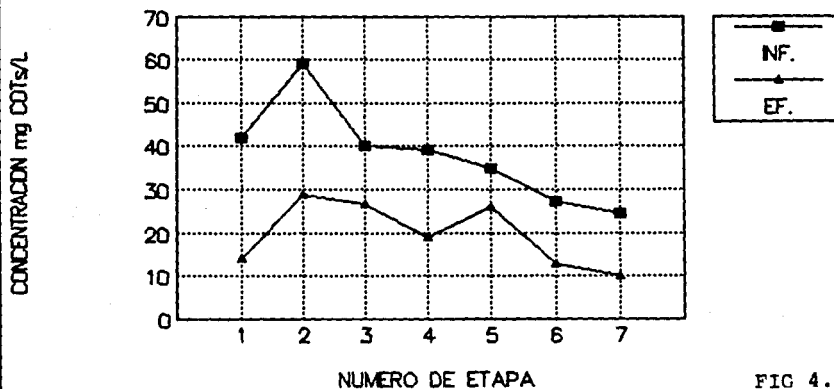


FIG 4.2

## *EFICIENCIA DE COTS* *REACTOR ANAEROBIO (UASB)*

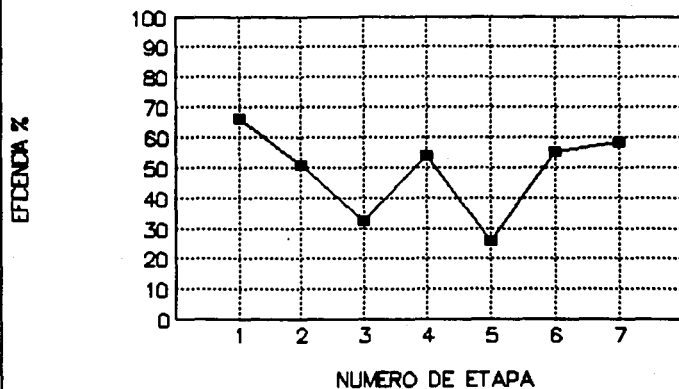


FIG 4.3

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## *VARIACION DE SST* *REACTOR ANAEROBIO (UASB)*

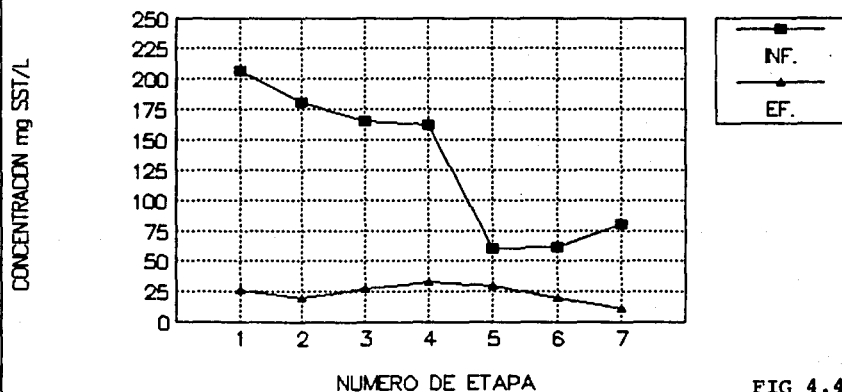


FIG 4.4

## VARIACION DE SSV REACTOR ANAEROBIO (UASB)

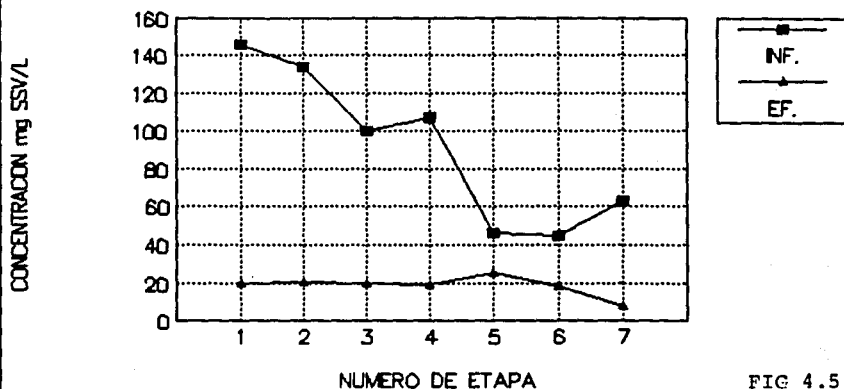


FIG 4.5

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## VARIACION DE N-NO<sub>x</sub> REACTOR ANAEROBIO (UASB)

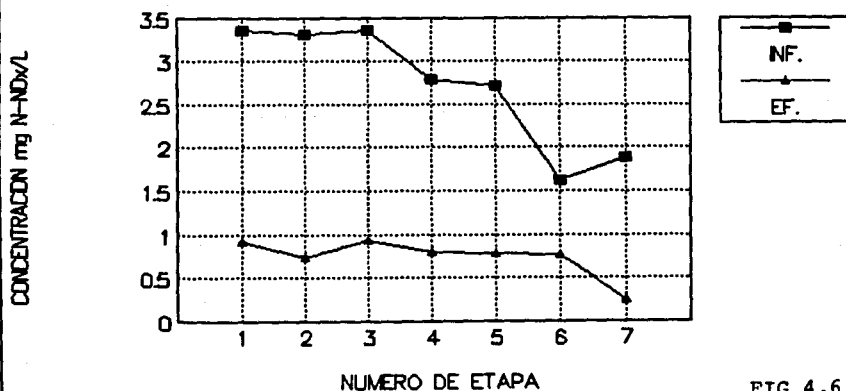


FIG 4.6

## VARIACION PROMEDIO DEL pH REACTOR ANAEROBIO (UASB)

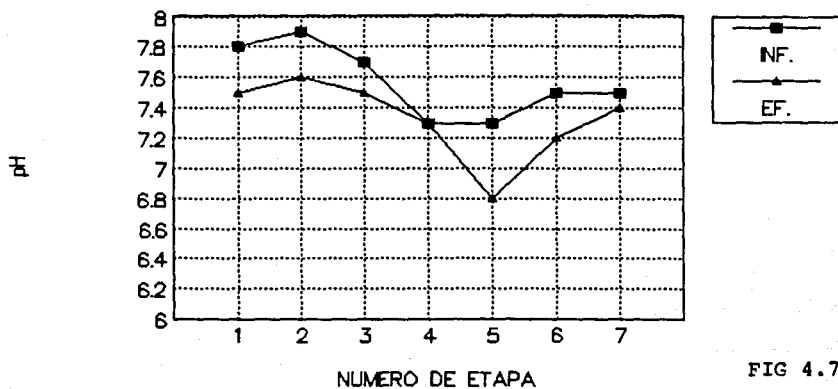


FIG 4.7

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

#### 4.2.2 Comportamiento del reactor

El funcionamiento de este reactor estuvo determinado, básicamente, por tres parámetros que son el contenido de oxígeno disuelto, la relación carbono/nitrógeno en el influente y el tiempo de la retención hidráulica. En la FIGURA 4.8, correspondiente a la etapa 1, se observa una relación carbono-nitrógeno en el influente al desnitrificador de 0.4 como promedio que es inferior al requerimiento estequiométrico (0.857 mg COTs/mg N-NOx). Como consecuencia de la falta de una fuente de energía, el reactor operó con una eficiencia de desnitrificación muy baja (21 %), como se muestra en la FIGURA 4.9. En la primera etapa, se planteó la necesidad de un incremento en la relación COTs/N-NOx en el influente al reactor desnitrificador para poder operar a eficiencias más altas. La relación se incrementó a 2.8 al añadir agua residual bruta a la corriente influente del reactor. Este hecho incrementó la concentración de amonio y de materia orgánica en el efluente (FIGURAS 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 en la etapa 2). La eficiencia de desnitrificación aumentó de 21 a 50 %.

Con el objeto de incrementar la eficiencia global del sistema, se estableció una recirculación entre los reactores desnitrificador y nitrificador. El efluente del reactor anaerobio se dirigió al desnitrificador (eliminando la adición de agua residual bruta) y la salida del desnitrificador se conectó con el nitrificador. Del efluente de este último reactor se obtiene la corriente de recirculación dirigida al desnitrificador así como el agua tratada del sistema. El arreglo se muestra en la FIGURA 3.5.

A partir de la tercera etapa hasta la última, el comportamiento del reactor estuvo determinado por el tiempo de retención hidráulica y la concentración de oxígeno proveniente del reactor nitrificador.

TABLA 4.5 REACTOR DESNITRIFICADOR: VALORES PROMEDIO DE LOS PARAMETROS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE EXPERIMENTACION.

Parámetro	1 Etapa		2 Etapa		3 Etapa	
	INF.	EF.	INF.	EF.	INF.	EF.
pH Valor promedio Desviación Std.	7.7 0.2	7.8 0.3	7.7 0.1	7.7 0.1	7.6 0.1	7.5 0.2
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	138 36	204 58	182 --	184 21	120	123 15
DQOt mgO <sub>2</sub> /L	32 0	48 16	134 --	55 20	49 --	35 12
DQOs mgO <sub>2</sub> /L	27 4	48 16	43 --	38 16	40 --	21 13
COT mg/L	12 5	11 4	52 --	23 9	30 --	28 25
COTs mg/L	10 4	10 5	34 --	19 8	21 --	15 12
SST mg/L	27 15	12 9	95 --	14 5	21 --	11 6
SSV mg/L	18 10	7 5	71 --	14 6	15 --	8 4
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	3.1 3.0	16.6 7.4	20.2 --	18.0 11.0	9.1 --	12.0 6.0
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.15 0.18	1.06 1.8	0.4 --	0.33 0.15	0.11 --	0.07 0.06
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	26.8 7.2	21.0 7.2	11.75 --	5.6 4.6	9.3 --	2.0 1.1
N-NTK mgN/L	11.7 6.3	18.3 8.3	30.2 --	20.8 13.2	11.03 --	13.8 6.6
Temperatura °C	17 2	17 2	18 2	19 2	18 2	18 2
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	3.5 0.5	0.2 0.1	3.7 --	0.1 0.1	1.8 --	0.2 0.1
Turbidez UTN	5.8 5.0	3.4 2.0	28.3 --	6.8 3.0	8.6 --	11.2 6.8
T.R.H h Gasto L/h Periodo de operación	11.1 9 15/1/90 a 23/2/90		5.5 18 26/2/90 a 9/4/90		5.5 18 10/4/90 a 12/6/90	

TABLA 4.5 CONTINUACION

Parámetro	4 Etapa		5 Etapa		6 Etapa	
	INF.	EF.	INF.	EF.	INF.	EF.
pH Valor promedio	7.5	7.4	7.1	7.2	7.3	7.5
Desviación Std.	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	116	120	130	130	115	122
	--	22	--	31	--	55
DQot mgO <sub>2</sub> /L	53	39	46	32	38	33
	--	22	--	21	--	19
DQOs mgO <sub>2</sub> /L	53	38	33	32	17	21
	--	20	--	21	--	14
COT mg/L	14	9	15	12	12	10
	--	6	--	8	--	4
COTs mg/L	12	8	11	8	7	5
	--	6	--	4	--	3
SST mg/L	23	15	17	14	16	13
	--	10	--	9	--	7
SSV mg/L	13.6	7	13	11	10.5	9
	--	5	--	8	--	5
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	8	7.1	8.2	6.8	6.5	6.8
	--	4.6	--	3.1	--	3.0
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.12	0.13	0.13	0.29	0.09	0.22
	--	0.08	--	0.17	--	0.01
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	3.8	1.9	4.4	2.6	3.7	2.8
	--	1.8	--	1.1	--	2.3
N-NTK mgN/L	11.0	9.6	13.3	11.0	13.3	12.1
	--	5.1	--	5.0	--	2.3
Temperatura °C	18	18	18	18	18	18
	1	2	2	2	2	2
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	2.4	1.0	3.0	2.0	3.2	2.0
	--	0.2	--	0.5	--	0.5
Turbidez UTN	7.3	3.1	7.6	4.0	4.5	1.8
	--	1.4	--	3.3	--	0.6
T.R.H h	3.7		2.8		2.2	
Gasto L/h	27		36		45	
Periodo de	13/6/90		8/8/90		7/9/90	
operación	a	7/8/90	a	6/9/90	a	8/10/90

TABLA 4.5 CONTINUACION

Parámetro	7 Etapa	
	INF.	EF.
pH Valor promedio	7.5	7.5
Desviación Std.	--	0.1
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	156	150
	--	10
DQOt mgO <sub>2</sub> /L	42	45
	--	18
DQOs mgO <sub>2</sub> /L	15	15
	--	10
COT mg/L	10	11
	--	6
COTs mg/L	7	8
	--	4
SST mg/L	13	12
	--	8
SSV mg/L	9	9
	--	6
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	5.7	6.1
	--	4
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.05	0.09
	--	0.04
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	5.5	4.7
	--	1.0
N-NTK mgN/L	10.8	10.0
	--	5.2
Temperatura °C	18	18
	2	2
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	4.2	2.5
	--	0.5
Turbidez UTN	1.9	1.9
	--	0.4
T.R.H h	1.8	
Gasto L/h	54	
Periodo de	9/10/90	
operación	a	9/11/90



La relación carbono-nitrógeno oxidado permaneció con un valor superior al mínimo requerido (FIGURA 4.8). Sin embargo, se observó una pronunciada disminución, que se atribuye al efecto de dilución debido al incremento en la relación de recirculación (de 3 a 1.3 COTs/N-NOx).

En la FIGURA 4.9, se muestra un decremento en la eficiencia de operación del reactor a partir de la tercera etapa, al aumentar la recirculación. Este fenómeno se explica por la disminución del tiempo de retención hidráulica y el aumento de la concentración de oxígeno disuelto en el influente (FIGURA 4.16).

Al comparar las FIGURAS 4.9 y 4.16, se observa que existe desnitrificación aún cuando exista una concentración de oxígeno apreciable en el reactor. Esto se debe, seguramente, a la formación de micrositios anóxicos dentro de los flóculos.

Nakajima et al., (1984), reportó una tasa de desnitrificación de 5 a 20  $\mu\text{mol}/(\text{g-SSV})\text{h}$  a concentraciones de oxígeno disuelto de 1 mg/L. Por otra parte, Jiménez (1986) encontró una eficiencia de desnitrificación casi del 100 % a 1 mg  $\text{O}_2/\text{L}$  y del 50 % a 1.7 mg  $\text{O}_2/\text{L}$ .

El reactor desnitrificador operó con una tasa máxima de desnitrificación de 0.031 Kg  $\text{N-NO}_3^-/\text{m}^3_{\text{reac.d}}$  y con una carga de sustrato de 0.04 Kg  $\text{N-NO}_3^-/\text{m}^3_{\text{reac.d}}$ .

Es necesario hacer notar que al comparar el valor mínimo de la concentración de sustrato en el influente del reactor (3.7 mg  $\text{N-NO}_3^-/\text{L}$ , 6 etapa), con el valor de la constante de saturación ( $K_s$ ), la cual Barnes y Bliss (1983) reportan con un valor general de 0.08 mg/L a 17 °C, se deduce que la tasa de desnitrificación es independiente de la concentración de sustrato (orden cero con respecto al sustrato) y que tiene una dependencia de primer orden con respecto a la concentración de biomasa según el modelo de

Monod.

$$\frac{dX}{dt} = \frac{k_o X S}{K_s + S} \quad (33)$$

para

$$S \gg K_s \quad (34)$$

$$\frac{dX}{dt} = k_o X \quad (35)$$

donde S : Concentración de sustrato.  
 X : Concentración de biomasa.  
 k<sub>o</sub>: Máxima tasa específica de crecimiento.  
 K<sub>s</sub>: Constante de saturación de sustrato.

En las FIGURAS 4.11 y 4.12 se muestra la variación de COT y COTS en el influente y efluente del reactor. Se observa la tendencia que tienen las curvas a intersectarse en un punto (séptima etapa), fenómeno que es provocado por la creciente disminución del tiempo de retención hidráulica. Con base en la información de estas figuras, se afirma que la remoción de materia orgánica a un tiempo de retención menor a 1.8 h (séptima etapa) es nula.

La misma tendencia se observa en la variación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, SST y SSV (FIGURAS 4.10, 4.13 y 4.14). Sin embargo, la concentración de sólidos en el efluente del reactor tiende a ser constante (12 mg/L de SST y 10 mg/L de SSV), mismo fenómeno que se aprecia en la variación de COT, COTS y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (11, 8 y 6.1 mg/L respectivamente).

En la TABLA 4.6 se muestra la variación de la capacidad tampón del medio anóxico que resulta inferior al del reactor anaerobio (39.6 para el anaerobio y 21.9 para el desnitrificador).

TABLA 4.6 CAPACIDAD TAMPON DEL MEDIO ANOXICO.

ETAPA	pH	Ct Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L	$\beta$
1	7.8	204	16.0
2	7.7	184	18.0
3	7.5	123	18.7
4	7.4	120	22.5
5	7.2	130	37.0
6	7.5	122	18.5
7	7.5	150	22.8
			prom. 21.9

En la TABLA 4.7 se dan a conocer las características del lodo anóxico al término de la experimentación y en la FIG. 16a se presenta la velocidad de sedimentación del lodo anaerobio comparado con el lodo anóxico.

TABLA 4.7 CARACTERISTICAS FINALES DEL LODO EN EL REACTOR DESNITRIFICADOR

pH	6.9
Alcalinidad mg CaCO <sub>3</sub> /L	910
DQOt mg O <sub>2</sub> /L	11450
DQOs mg O <sub>2</sub> /L	523
SST mg/L	21758
SSF mg/L	8357
SSV mg/L	13401
N-NTK mg N/L	152
IVL ml/g	58.80
V <sub>max. sed.</sub> m/h	1.77
Tamaño de flóculo $\mu$ m	177

#### 4.2.3 Comparación con otros estudios.

En la TABLA 4.8 se muestran los resultados que obtuvieron diversos autores en estudios similares. Se observa que en los reactores de tipo UASB se presenta un intervalo de variación en la eficiencia de reducción de nitrógeno de 80 al 98 %. Los reactores de lecho fluidificado tienen eficiencias de remoción más altas. Hay que tener ciertas reservas al comparar eficiencias de un tipo de reactor a otro, debido a que éstas dependen fuertemente de las concentraciones influentes y efluentes del reactor.

TABLA 4.8 COMPARACION CON OTROS ESTUDIOS DE DESNITRIFICACION.

Referencia	Skrinde y Bhagat (1982)	Jeris y Owens (1975)	Granbinska et al., (1985)	Narkis (1979)	Lemus (1990)	Experimental 3ra etapa
Tipo reactor	L.F.	L.F.	UASB	UASB	UASB	UASB
Vol. (L)	2	3124	2.7	5	100	100
Temp. (°C)	20	25	20	20	15-20	15-20
TRH (h)	0.075	0.1	65	1.5	9.5	5.5
Rem N (%)	89	99	98	87	56.7	80
Rem DQOt (%)	44	---	94	95	57.5	29.1
<b>INFLUENTE</b>						
SST mg/L	---	---	---	---	68	21
DQOt mgO <sub>2</sub> /L	75	---	1700	550	113	49
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	---	---	0.8	---	0.8	9.1
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	---	6.5	0.01	---	0.12	0.11
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	25	15	600	---	36	9.3
<b>EFLUENTE</b>						
SST mg/L	---	---	---	5-20	9	11
DQOt mgO <sub>2</sub> /L	44	---	110	30	48	35.5
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	---	---	0.5	0.01	10	12
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	---	0.05	3.0	0.09	0.63	0.07
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	2.7	0.15	13	5.5	15	2

Vol. = Volumen    Temp. = Temperatura  
TRH. = Tiempo de retención hidráulica  
Rem. = remoción  
L.F. = Lecho fluidificado

TABLA 4.8 CONTINUACION: VALORES DE TASAS DE DESNITRIFICACION EN DISTINTOS PROCESOS.

Tasa de desnitrificación.	Tipo de proceso	Referencia
1.5 Kg N-NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac.d</sub>	Lecho fluidificado	Barnes y Bliss (1983)
4.0 Kg N-NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac.d</sub>	Lecho fluidificado	Jeris y Owens (1975)
0.88 Kg N-NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac.d</sub>	Filtro sumergido	Jiménez (1985)
0.06 Kg N-NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac.d</sub>	Lodos activados metano = energía	Werner y Kayser (1990)
0.15 Kg N-NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac.d</sub>	Filtro rociador metano = energía	Werner y Kayser (1990)
0.55 Kg N-NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac.d</sub>	Lecho fluidificado metano = energía	Werner y Kayser (1990)
0.01 Kg N-NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac.d</sub>	Lodos activados F.interna de energía	Christensen y Harremoes (1977)
0.03 Kg N-NO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac.d</sub>	UASB	Experimental

Por otra parte, se presenta una comparación con tasas de desnitrificación obtenidas en distintos sistemas de tratamiento (TABLA 4.8 CONTINUACION). Se observa que en aquellos tratamientos donde existe un empaque se obtienen altas tasas de desnitrificación (Lechos fluidificados y sumergidos principalmente); pero hay que tomar en cuenta que el empaque (Y fluidificación de éste) añade un incremento al costo total del equipo.

Ya que es bastante difícil encontrar un estudio que se haya realizado bajo las mismas condiciones que éste, se dificulta su comparación, pero en términos generales se puede decir que el

## *RELACION CARBONO/NITROGENO EN EL DESNITRIFICADOR*

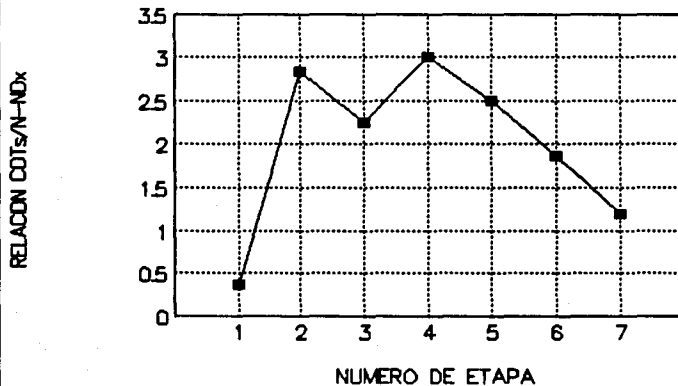


FIG 4,8

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## *EFICIENCIA DE N-NO<sub>x</sub> REACTOR DESNITRIFICADOR*

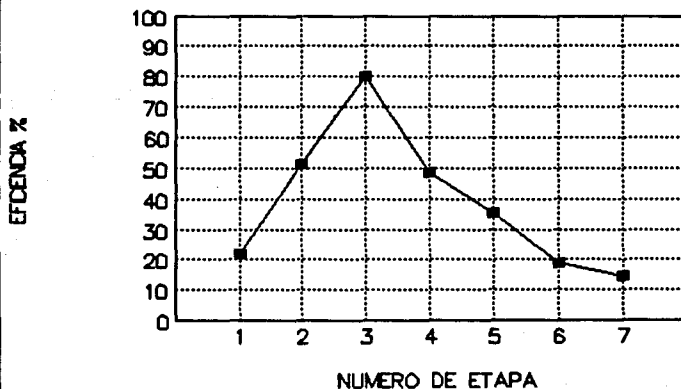


FIG 4,9

## VARIACION DE N-NH<sub>4</sub> REACTOR DESNITRIFICADOR

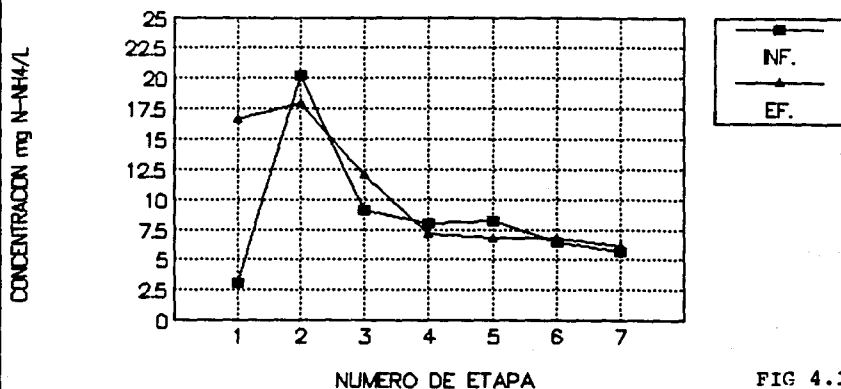


FIG 4.10

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## VARIACION DE COT REACTOR DESNITRIFICADOR

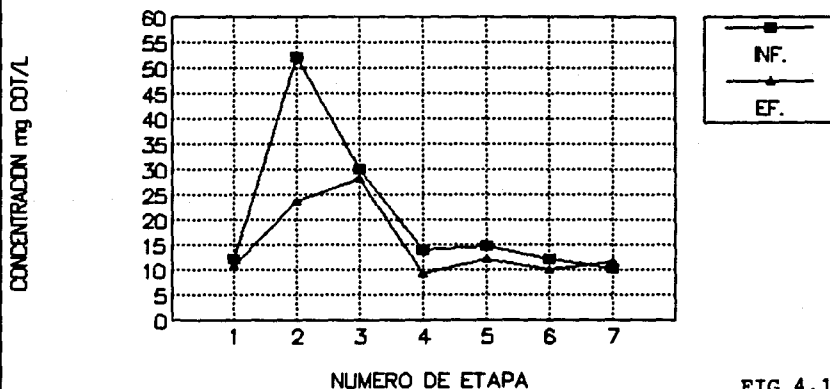


FIG 4.11

## VARIACION DE COTS REACTOR DESNITRIFICADOR

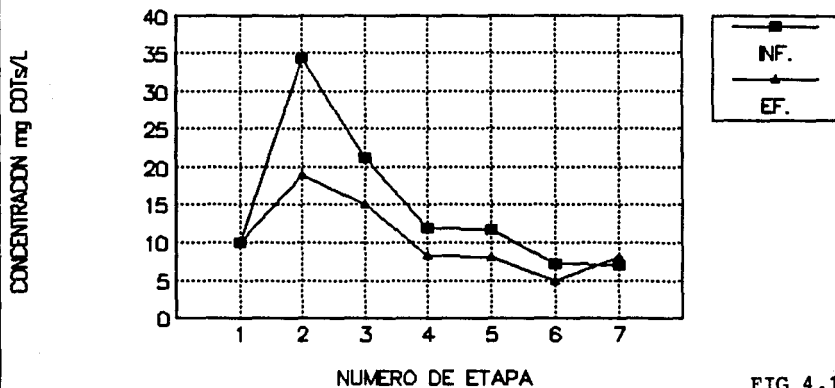


FIG 4.12

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## VARIACION DE SST REACTOR DESNITRIFICADOR

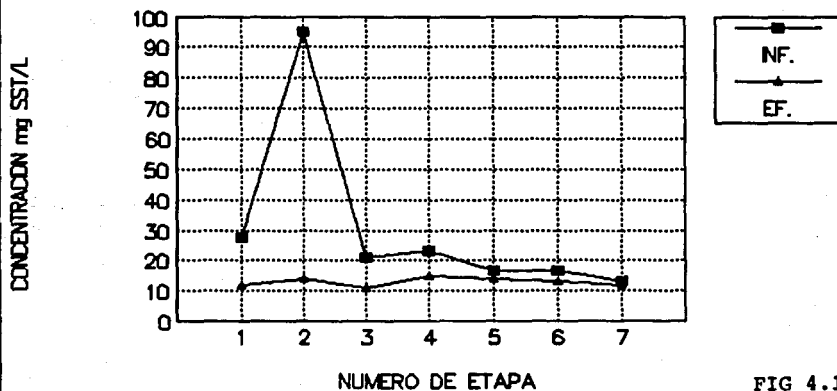


FIG 4.13



## VARIACION DE SSV REACTOR DESNITRIFICADOR

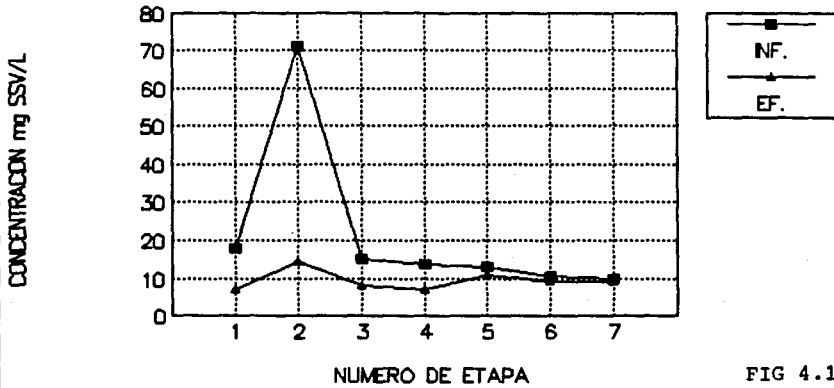


FIG 4.14

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## VARIACION DE N-NO<sub>x</sub> REACTOR DESNITRIFICADOR

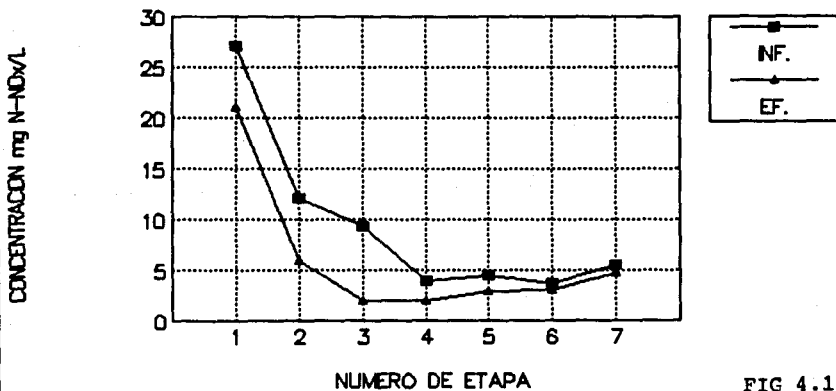


FIG 4.15

## VARIACION OXIGENO DISUELTO REACTOR DESNITIFICADOR

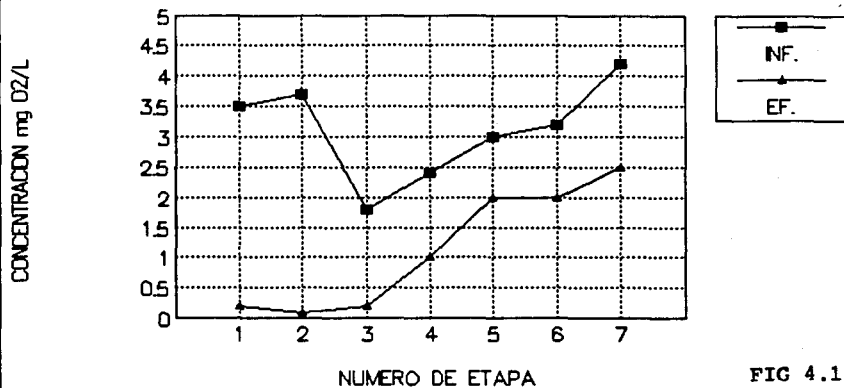


FIG 4.16

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## VELOCIDAD DE SEDIMENTACION DE LODOS

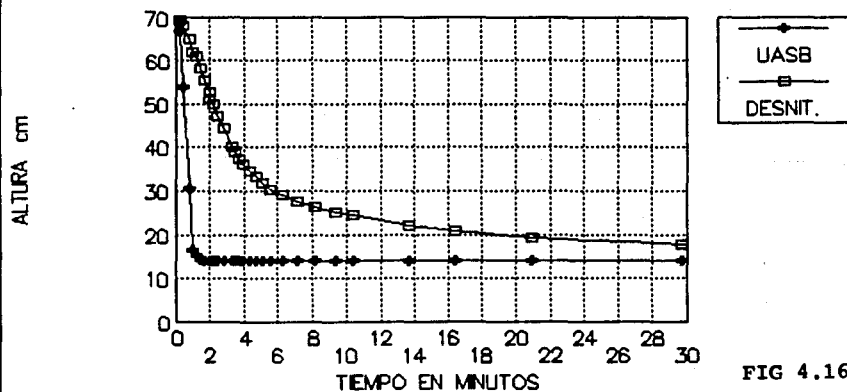


FIG 4.16a

comportamiento del reactor desnitrificador es aceptable.

#### 4.3 Reactor nitrificador.

##### 4.3.1 Resultados.

En la TABLA 4.9 se muestran los resultados promedio de los parámetros obtenidos en las siete etapas de operación. En las FIGURAS (4.17 a 4.25) se presentan algunos parámetros importantes y en el ANEXO 3 los resultados experimentales.

##### 4.3.2 Comportamiento del reactor.

El comportamiento de este reactor estuvo determinado básicamente por dos parámetros que son el tiempo de retención hidráulica y el oxígeno disuelto en el reactor.

En las FIGURA 4.17 se presenta el perfil de variación de la relación  $COTs/N-NH_4^+$  influente al reactor. Esto se considera importante, pues un valor elevado perjudica el desarrollo de las bacterias autótrofas nitrificadoras y favorece el desarrollo de bacterias heterótrofas. La relación  $COTs/N-NH_4^+$  permaneció casi constante con un valor promedio a 1.

Adicionalmente, se presentan las variaciones de materia soluble y en suspensión en el influente y efluente del reactor (FIGURAS 4.18 a 4.21). Estas figuras tienen como característica común que la concentración en el efluente llega a ser igual en algunos casos y, mayor o menor, en otros, que la concentración del mismo parámetro medido en el influente al reactor. Esto indica que la remoción de SST, SSV, COT y COTs es muy variable debido a que existe biomasa en suspensión dentro del reactor. Para evitar una mayor suspensión de la biomasa se dispuso de un flujo ascendente.

TABLA 4.9 REACTOR NITRIFICADOR: VALORES PROMEDIO DE LOS PARAMETROS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DE EXPERIMENTACION.

Parámetro	1 Etapa		2 Etapa		3 Etapa	
	INF.	EF.	INF.	EF.	INF.	EF.
pH Valor promedio	7.5	7.7	7.6	7.7	7.5	7.7
Desviación Std.	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	207	138	204	138	123	109
	25	36	19	26	15	15
DQOt mgO <sub>2</sub> /L	85	32	111	27	35	25
	40	0	45	6	12	9
DQOs mgO <sub>2</sub> /L	60	27	52	18	21	19
	33	5	12	3	13	13
COT mg/L	16	12	38	13	28	21
	4	5	21	7	25	16
COTs mg/L	14	10	29	10	16	16
	9	5	20	7	12	13
SST mg/L	27	28	20	10	11	15
	18	15	12	10	6	9
SSV mg/L	20	19	20	9	8	11
	10	10	9	7	4	6
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	27	3.1	30	6.7	11.7	2.9
	13	3.8	12	7.6	5.9	2.9
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.12	0.15	0.41	0.39	0.07	0.14
	0.14	0.18	0.13	0.22	0.06	0.10
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.8	26.8	0.52	20.6	2	17.1
	0.6	7.2	0.46	7.5	1	5.0
N-NTK mgN/L	30.8	11.7	36.7	16.6	13.8	5.6
	16.1	6.3	17.4	14.4	6.6	2.9
Temperatura °C	17	17	18	19	18	18
	2	2	2	2	2	2
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	0.2	3.5	0.2	3.5	0.2	3.5
	0.1	0.5	0.1	0.5	0.1	0.5
Turbidez UTN	19.8	5.8	22.8	2.5	11.2	2.2
	9.8	5.0	8	0.9	6.8	1.5
T.R.H h	8.8		8.8		4.4	
Gasto L/h	9		9		18	
Período de	15/1/90		26/2/90		10/4/90	
operación	a	23/2/90	a	9/4/90	a	12/6/90

TABLA 4.9 CONTINUACION

Parámetro	4 Etapa		5 Etapa		6 Etapa	
	INF.	EF.	INF.	EF.	INF.	EF.
pH Valor promedio	7.4	7.7	7.2	7.5	7.5	7.5
Desviación Std.	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	120 22	109 25	129 31	126 39	122 55	105 55
DQOt mgO <sub>2</sub> /L	39 22	27 27	32 21	23 11	33 18	33 34
DQOs mgO <sub>2</sub> /L	38 20	20 6	32 21	23 11	20 14	9 8
COT mg/L	9 6	12 6	12 8	8 4	10 4	10 10
COTs mg/L	8 6	8 5	8 5	7 4	5 3	5 2
SST mg/L	15 10	18 11	15 9	12 7	13 7	16 12
SSV mg/L	7 5	11 7	11 8	9 6	9 4	9 8
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	7.1 4.6	4.5 1.7	6.8 3.1	4.6 1.5	6.8 3.0	3.6 1.2
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.13 0.08	0.12 0.12	0.29 0.17	0.14 0.17	0.22 0.08	0.11 0.2
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	1.9 1.8	5.4 3.1	2.6 1.1	5.7 2.0	2.8 2.3	4.5 3.3
N-NTK mgN/L	9.6 5.1	8.2 4.0	11.0 5.0	10.3 4.2	12.1 2.3	10.7 3.8
Temperatura °C	18 1	18 2	18 2	18 2	18 2	18 2
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	1.0 0.2	3.5 0.5	2.0 0.5	4.0 0.5	2.0 0.5	4.0 0.5
Turbidez UTN	3.1 3.5	1.7 1.4	4.0 3.3	1.2 0.8	1.8 0.6	0.9 0.2
T.R.H h Gasto L/h Periodo de operación	3.0 27 13/6/90 a 7/8/90		2.2 36 8/8/90 a 6/9/90		1.8 45 7/9/90 a 8/10/90	

TABLA 4.9 CONTINUACION

Parámetro	7 Etapa	
	INF.	EF.
pH Valor promedio	7.5	7.7
Desviación Std.	0.2	0.2
Alcalinidad mgCaCO <sub>3</sub> /L	150 10	148 12
DQOt mgO <sub>2</sub> /L	45 18	42 22
DQOs mgO <sub>2</sub> /L	15 10	10 8
COT mg/L	12 6	10 6
COTs mg/L	8 4	6 3
SST mg/L	12 9	16 9
SSV mg/L	9 6	10 5
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	6.1 3.9	3.5 1.3
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	0.09 0.04	0.06 0.02
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mgN/L	4.7 1.0	6.6 1.0
N-NTK mgN/L	10.0 5.2	8.9 4.6
Temperatura °C	18 2	18 2
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	2.5 0.5	5.0 0.5
Turbidez UTN	1.9 0.4	1.1 0.4
T.R.H h	1.5	
Gasto L/h	54	
Periodo de	9/10/90	
operación	a	9/11/90

Otro parámetro importante que se controló fue el suministro de aire para oxigenar el reactor. El suministro de aire depende fuertemente de la capacidad que tenga el difusor de formar burbujas con diámetro bajo y de esparcir las en el reactor. El flujo de aire suministrado varió en un intervalo de 7.5 a 15 L/min para poder mantener concentraciones de oxígeno de 3 a 5.5 mg O<sub>2</sub>/L. La concentración de oxígeno disuelto en el agua es fuertemente influenciada por la temperatura y ya que ésta fue variable durante el experimento, se dificultó el control de este parámetro. En la TABLA 4.10 se dan los valores de la relación gasto de aire/gasto de agua para cada etapa de experimentación. Esta relación es específica para este reactor y tiene una dependencia fuerte con respecto al difusor de aire. Por otro lado, el exceso de O<sub>2</sub> disuelto en este reactor provoca una disminución en la eficiencia del reactor desnitrificador, ya que existe una línea de recirculación entre los dos. Esta es otra razón para controlar la relación gasto de aire y agua.

TABLA 4.10 RELACION DE GASTO DE AIRE Y AGUA.

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{Q_{\text{aire}}}{Q_{\text{agua}}}$	30.6	30.6	15.3	10.2	7.66	6.13	5.11

En las FIGURAS 4.22 y 4.23 se presentan las variaciones del N-NO<sub>x</sub> y del N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, respectivamente. En las FIGURAS 4.23 y 4.24 se observa una creciente disminución en la actividad nitrificante en función directa con la disminución en el tiempo de retención hidráulica y con el abatimiento de la concentración de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en el influente.

El reactor trabajó con una tasa máxima de nitrificación de 0.0475 Kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>react.d y con una carga correspondiente a esta tasa de 0.063 Kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/m<sup>3</sup>react.d (3ra etapa).

La FIGURA 4.25 muestra la disminución de alcalinidad en el efluente del reactor. Al comparar la reacción de nitrificación (23) con las reacciones de síntesis y respiración en la desnitrificación (18 y 19), se observa que la tasa de producción de alcalinidad en la desnitrificación es 2.25 veces mayor que la tasa de consumo de alcalinidad en la nitrificación. Esto indica que el acoplamiento anóxico-aerobio no regula el pH del medio. El efecto tamponante en el reactor estuvo determinado, como en el caso de los dos reactores anteriores, por el par  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$ . En la TABLA 4.11 se muestra la capacidad tampón del reactor durante la operación.

La capacidad tampón de este reactor es menor que la de los reactores anteriores, y esto se debe a que la producción de protones durante la nitrificación destruyen el efecto tampón del  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$ .

TABLA 4.11 CAPACIDAD TAMPON DEL MEDIO AEROBIO (NITRIFICACION)

ETAPA	pH	Ct Alcalinidad mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$	$\beta$
1	7.7	138	13.5
2	7.7	138	13.5
3	7.7	109	10.7
4	7.7	109	10.7
5	7.5	126	19.1
6	7.5	105	15.9
7	7.7	148	14.5
			<i>prom. 13.9</i>

#### 4.3.3 Comparación con otros estudios.

La nitrificación como la desnitrificación son procesos que han sido estudiados con cierta amplitud. Algunos resultados obtenidos



por diversos autores son mostrados en la TABLA 4.12 y como se puede apreciar son similares a los obtenidos en la primera etapa del trabajo.

TABLA 4.12 COMPARACION CON OTROS ESTUDIOS DE NITRIFICACION.

Referencia	Huang et al., (1989)		Saintpierre, (1988)	Lemus, (1990)	Experi- mental. 1 etapa
	F.P.	F.P.	B.F.P.	B.F.P.	
Tipo de R.					
V (L)	50	50	300	55	80
Temp. °C	22-27	22-27	20	15-20	15-20
TRH (h)	6.3	2.7	0.6	9.5	8.8
Ef. N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (%)	59	90	73.4	96.6	88.5
Rem. DQOT (%)	---	---	27.9	2.5	62.3
<b>INFLUENTE</b>					
DQOT mgO <sub>2</sub> /L	---	---	66.5	116	85.3
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	81.1	15.2	26.7	24	27
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	2.6	1.1	---	0.05	0.12
N-NO <sub>3</sub> mgN/L	6.8	6.4	0.3	0.4	0.8
Alc. mgCaCO <sub>3</sub> /L	720	370	276	191	207
<b>EFLUENTE</b>					
DQOT mgO <sub>2</sub> /L	---	---	47.9	113	32.1
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mgN/L	33.1	1.5	7.1	0.8	3.1
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mgN/L	38.3	10.5	---	0.12	0.15
N-NO <sub>3</sub> mgN/L	33.1	12.3	20.3	36	26.8
Alc. mgCaCO <sub>3</sub> /L	711	91.9	149	122	138

Ef. N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = Eficiencia de nitrificación con base en el amonio.  
 BFP = Biomasa fija con empaque de plástico (Filtro sumergido).  
 FP = Filtro percolador con empaque de plástico.

#### 4.4 Sistema global.

En esta parte se presenta un análisis de los resultados en el sistema global de tratamiento. Para ello se hizo un balance que, en el caso de la primera y segunda etapas se realizó desde el influente del reactor anaerobio hasta el efluente del reactor desnitrificador (ver la FIG 3.5). En el caso de las demás etapas,

el balance se realizó desde el influente del reactor anaerobio hasta el efluente del reactor nitrificador. El efluente del sistema se obtuvo del nitrificador debido a que posee una cantidad de oxígeno disuelto superior al del reactor desnitrificador (3.5 vs 1 mg/L).

TABLA 4.12 CONTINUACION: VALORES DE TASAS DE NITRIFICACION EN DISTINTOS PROCESOS.

Tasa de nitrificación	Tipo de proceso	Referencia
0.018 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac</sub> .d 0.0002 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> .d	Filtro rociador	Barnes y Bliss (1983)
0.006 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> .d	Filtro rociador empaque de piedra.	Parker y Richards (1986)
0.001 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> .d	Biodisco	Barnes y Bliss (1983)
0.001 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> .d	Biodisco	Gonenc y Harremoes (1985)
0.15 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac</sub> .d 0.0015 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> .d	Filtro sumergido	Barnes y Bliss (1983)
0.17 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac</sub> .d	Filtro sumergido	Rusten (1984)
0.58 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac</sub> .d	Lodos activados	Lewandowski (1985)
0.047 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>3</sup> <sub>reac</sub> .d 0.00067 Kg N-NH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> .d	UASB	Experimental 1ra etapa

#### 4.4.1 Comportamiento del sistema global.

En las dos primeras etapas de operación, se estabilizan los reactores, y, en las subsecuentes, se implanta el sistema de tratamiento con recirculación.

El hecho de tener esta disposición de reactores y recircular agua

## *RELACION CARBONO/NITROGENO EN EL NITRIFICADOR*

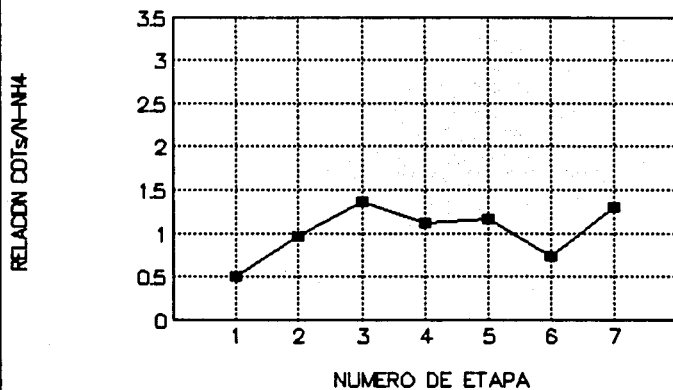


FIG 4.17

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## *VARIACION DE COT REACTOR NITRIFICADOR*

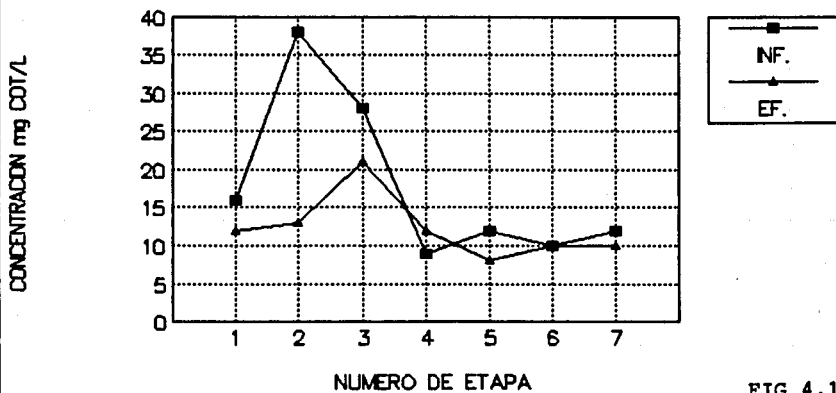


FIG 4.18

## VARIACION DE COTS REACTOR NITRIFICADOR

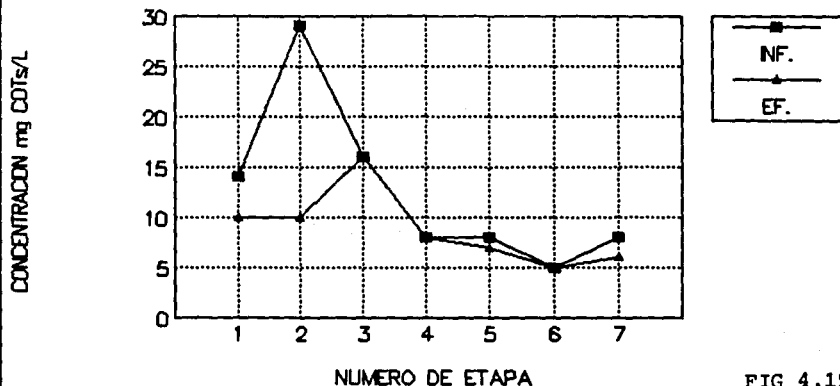


FIG 4.19

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## VARIACION DE SST REACTOR NITRIFICADOR

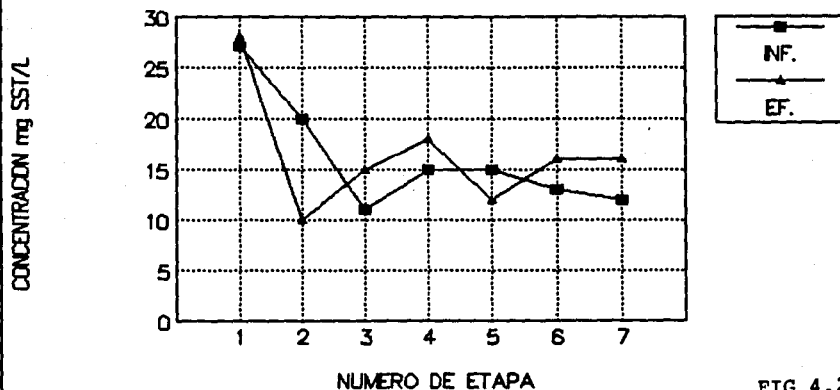


FIG 4.20

## VARIACION DE SSV REACTOR NITRIFICADOR

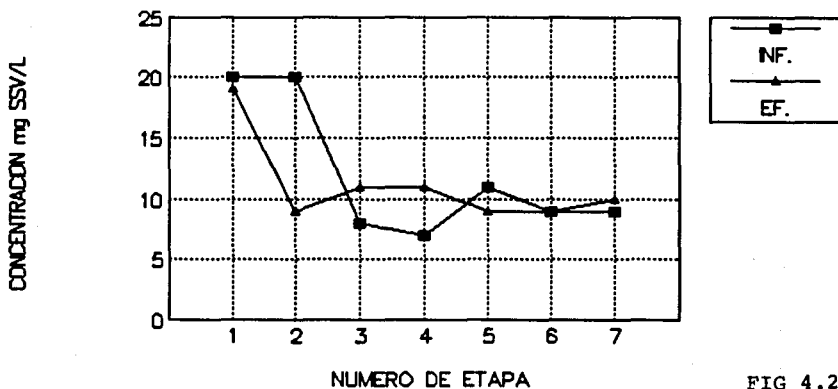


FIG 4.21

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## VARIACION DE N-NO<sub>x</sub> REACTOR NITRIFICADOR

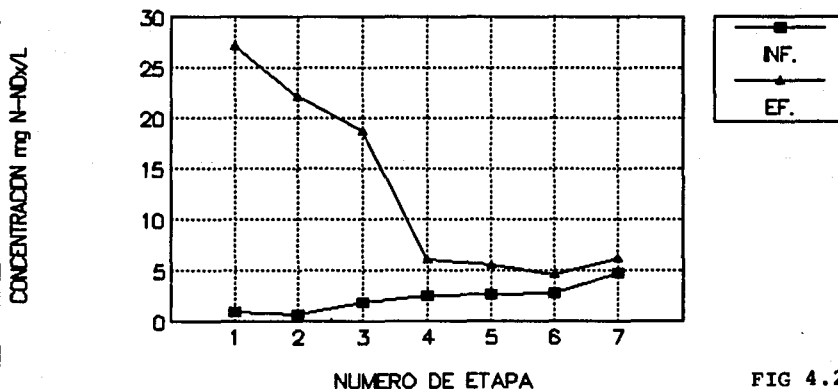


FIG 4.22

## VARIACION DE $N-NH_4$ REACTOR NITRIFICADOR

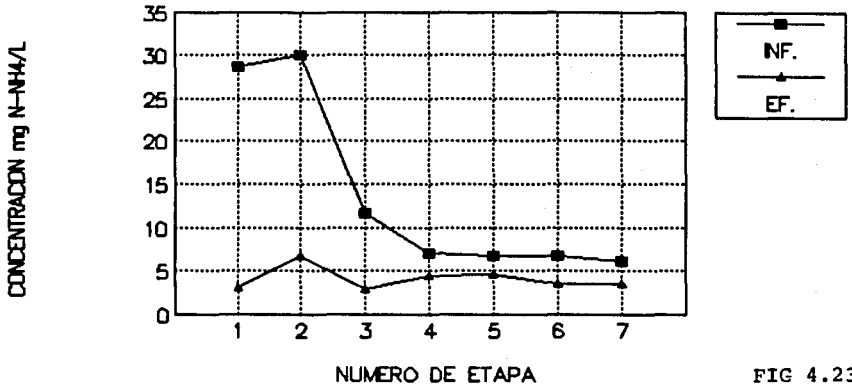


FIG 4.23

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## EFICIENCIA DE $N-NH_4$ Y $N-NO_x$ REACTOR NITRIFICADOR

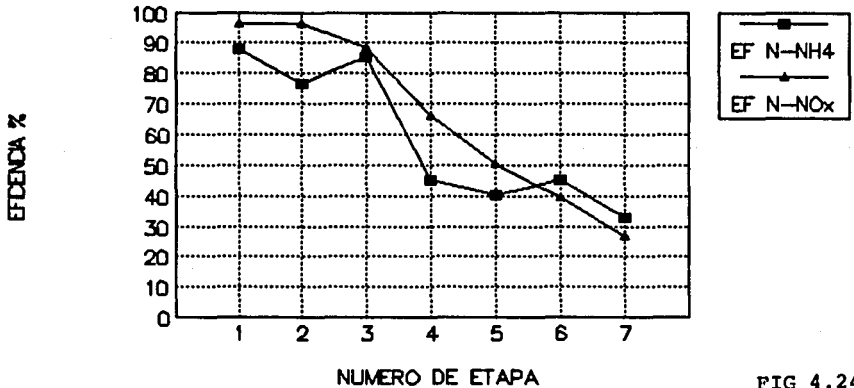


FIG 4.24

# VARIACION DE LA ALCALINIDAD REACTOR NITRIFICADOR

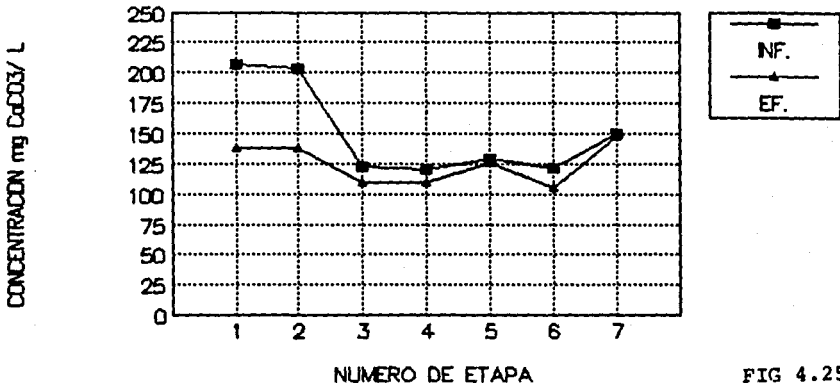


FIG 4.25

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

entre el nitrificador y desnitrificador genera las siguientes ventajas:

a) Se diluye el oxígeno disuelto que proviene del nitrificador y entra al desnitrificador, puesto que el efluente del nitrificador se mezcla con el efluente anaerobio, lo cual favorece el medio anóxico.

b) El efluente del reactor anaerobio, combinado con el efluente del reactor nitrificador, sustentan una relación carbono orgánico-nitrógeno oxidado que varía en el intervalo 1.2 a 3 mg COTs/mg N-NOx. Como consecuencia, es posible la eliminación de la adición de agua residual bruta u otra sustancia que sirva como fuente de energía para la desnitrificación.

c) La concentración de materia orgánica en el influente al nitrificador es baja, lo que favorece el desarrollo de bacterias nitrificantes (autótrofas).

d) El hecho de establecer como efluente global del sistema el efluente del reactor nitrificador permite una concentración de oxígeno disuelto aceptable en dicho efluente global, lo que evita un consumo adicional de oxígeno en el cuerpo receptor de la descarga.

El reactor nitrificador tiene la biomasa adherida a un empaque y los dos reactores restantes poseen lodos con buena sedimentabilidad (FIGURA 16a), lo que favorece su retención. Esto último es importante pues no es necesaria la aplicación de sedimentadores en el sistema. La concentración máxima de SST observada en el efluente del sistema, durante la experimentación, fue 18 mg/L con un promedio de 15 mg/L. Seguramente este buen resultado es también función de la baja tasa de crecimiento de los microorganismos nitrificantes.



Los reactores contienen medios muy distintos entre si y en el caso del reactor nitrificador y desnitrificador incompatibles. El hecho de contener estos medios en tanques separados facilita en gran manera su operación y estabilización.

En las FIGURAS 4.26 y 4.28 se muestran las variaciones de COTs y SST en el sistema durante las siete etapas de operación. En las FIGURAS 4.27 y 4.29 se dan los perfiles de eficiencia de remoción de materia orgánica y sólidos. Como se observa, la eficiencia es muy estable y alcanza un punto máximo (81 %) con una recirculación de 1:4 (6ta etapa).

En las FIGURAS 4.30 y 4.31 se muestra la variación del nitrógeno y la eficiencia de remoción de éste respectivamente. Se observa que con una recirculación de 1:3 (etapa 5) se presenta la máxima remoción de nitrógeno (62 %). Sin embargo, esta eficiencia se considera baja y la concentración de nitrógeno en el efluente del sistema es alta (13.6 mgN/L). La relación de recirculación encontrada como la más eficaz, comprueba como verdadera la hipótesis formulada en este trabajo, ya que ésta relación de recirculación, se encuentra dentro del intervalo supuesto (1:1 a 1:4).

Sin embargo, esta baja eficiencia de operación se explica y tiene su causa en la relación que hay entre los reactores nitrificador y desnitrificador y la relación área-volumen en el reactor nitrificador. En las FIGURAS 4.32 y 4.33 se muestra el porcentaje de nitrógeno como  $N-NO_2^-$ ,  $N-NO_3^-$  y  $N-NH_4^+$  en el influente y efluente del reactor nitrificador. La capacidad de oxidación del  $N-NH_4^+$  (FIGURA 4.33), disminuye conforme aumenta la recirculación y baja el tiempo de retención hidráulica en el reactor. Al disminuir la capacidad nitrificante, se afecta la operación del reactor desnitrificador pues se disminuye el sustrato a las bacterias desnitrificantes.

El empaque utilizado en el reactor nitrificador ofrece una relación área-volumen de  $70 \text{ m}^2/\text{m}^3$  que después de la experiencia en la operación del sistema, se considera baja. Se deduce que la baja disponibilidad de área para la formación de biopelícula provoca una concentración de microorganismos nitrificantes insuficiente, lo que conduce a una eficiencia pobre de remoción de nitrógeno. Para incrementar esta eficiencia se debe utilizar un empaque que ofrezca una relación área-volumen mayor a la utilizada y, de preferencia superior a  $150 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Además, se debe considerar que sea accesible y barato en la localidad en la cual operará el sistema.

Así, con un empaque más adecuado se aumentará la tasa de conversión y, por lo tanto, el sustrato en el reactor desnitrificador. Por otra parte, el comportamiento de la gráfica de eficiencia de remoción de nitrógeno, es independiente del empaque que se utilice, y muestra como se incrementa la eficiencia al instalar una corriente de recirculación entre los reactores nitrificador y desnitrificador.

#### 4.4.2 Comparación con otros sistemas de tratamiento a nivel piloto.

En la TABLA 4.13 se exponen los resultados obtenidos en trabajos similares a este. Hay que hacer notar que el trabajo de filtros sumergidos y el de lodos activados (Jiménez, 1985 y Picard, 1980) no poseen un tratamiento anaerobio sino solamente un sistema anóxico y aerobio con recirculación.

Como se observa, la comparación de los resultados obtenidos en este estudio con los de las referencias citadas, presentan semejanza en cuanto a la recirculación adecuada. Las eficiencias de remoción de nitrógeno discrepan; en el caso de este trabajo se obtiene la menor debido a los argumentos antes expuestos.

También es posible observar que la concentración de SST en los efluentes, tanto en este estudio como en el de filtros sumergidos, son muy parecidos, lo que implica la posibilidad obtener bajas concentraciones de SST en reactores anaerobios y anóxicos sin la necesidad de tener la biomasa fija en un empaque.

TABLA 4.13 COMPARACION CON OTROS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

Referencias	Jiménez, 1985	Picard, 1980	Experimental 2a. etapa
Tipo de tratamiento.	Filtros sumergidos	Lodos activados	A.A.A.
Tipo de agua residual.	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Recirculación adecuada	1:2 a 1:3	1:4	1:2 a 1:3
Flujo L/h	6.0	1.4	9.0
Rem N total (%)	80	73	62
Rem DQot (%)	90	---	90
<b>INFLUENTE</b>			
DQot mgO <sub>2</sub> /L	568	531	226
SST mg/L	187	---	60
N-NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg N/L	34	---	16
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg N/L	0	---	0.31
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg N/L	0	---	2.4
N-NTK mg N/L	47	51	39
<b>EFLUENTE</b>			
DQot mgO <sub>2</sub> /L	56.8	---	23.3
SST mg/L	9.3	---	12
N-NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg N/L	---	0	4.6
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg N/L	---	---	0.14
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg N/L	---	6.7	5.7
N-NTK mg N/L	2.35	7.1	10.3

A. A. A. = Anaerobio-anóxico-aerobio

## VARIACION GLOBAL DE COTS EN EL SISTEMA

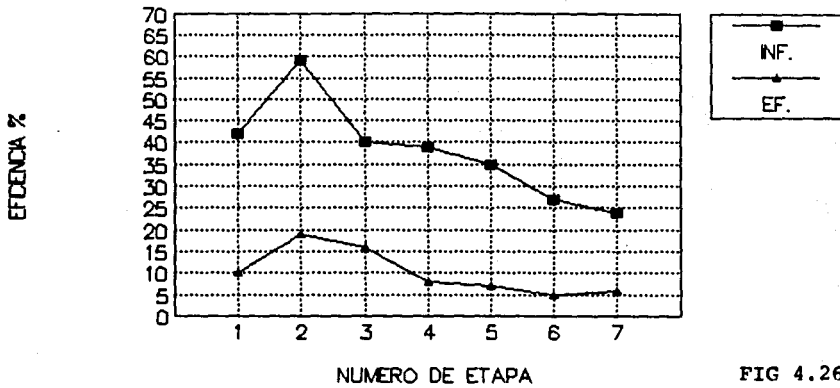


FIG 4.26

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## EFICIENCIA DE LA REMOCION GLOBAL DE COTS

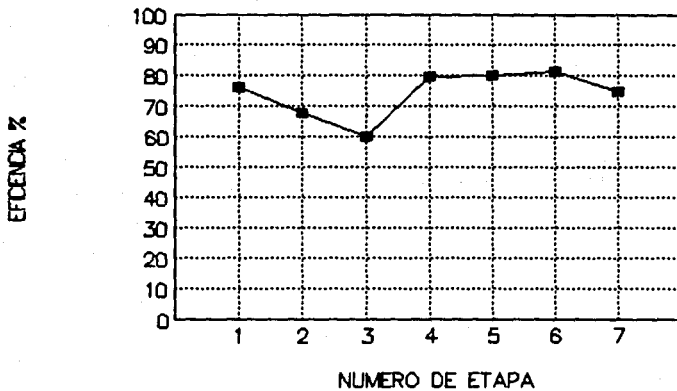


FIG 4.27

## VARIACION DE S.S.T EN EL SISTEMA

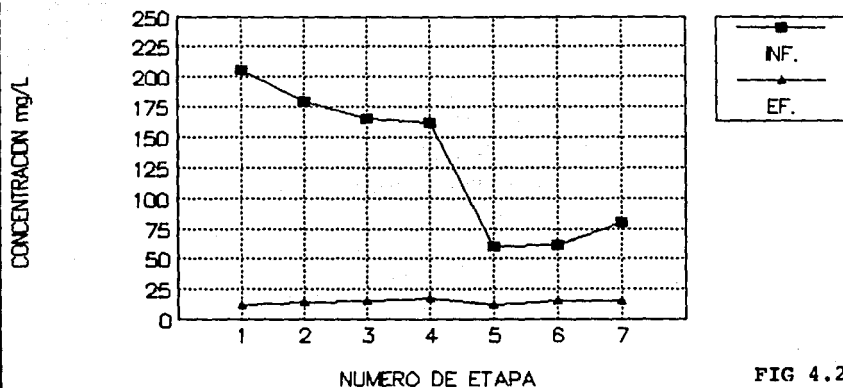


FIG 4.28

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## EFICIENCIA DE REMOCION GLOBAL DE S.S.T.

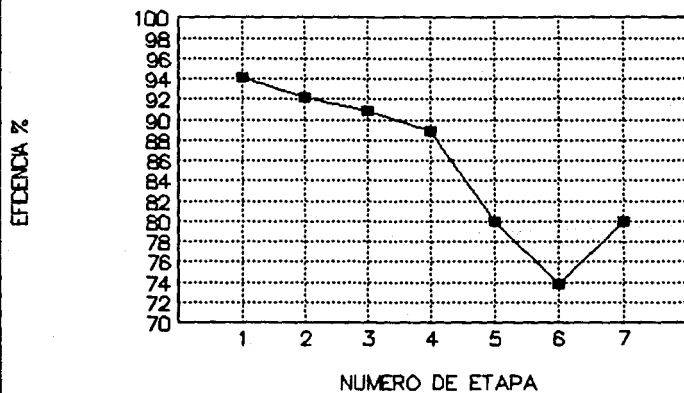


FIG 4.29

## VARIACION DEL NITROGENO TOTAL EN EL SISTEMA

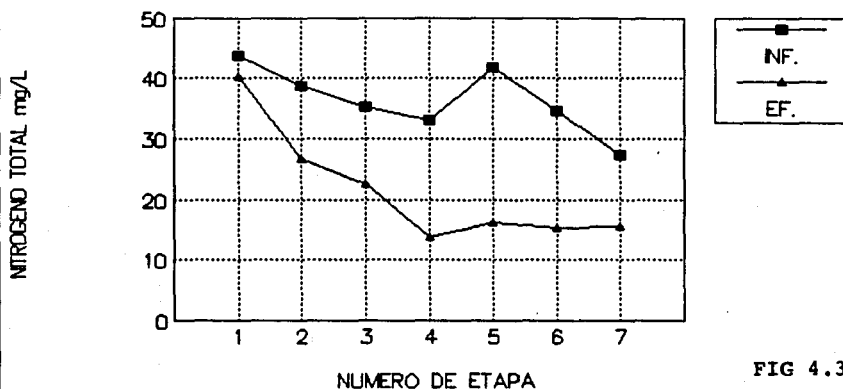


FIG 4.30

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## EFICIENCIA DE LA REMOCION GLOBAL DE NITROGENO

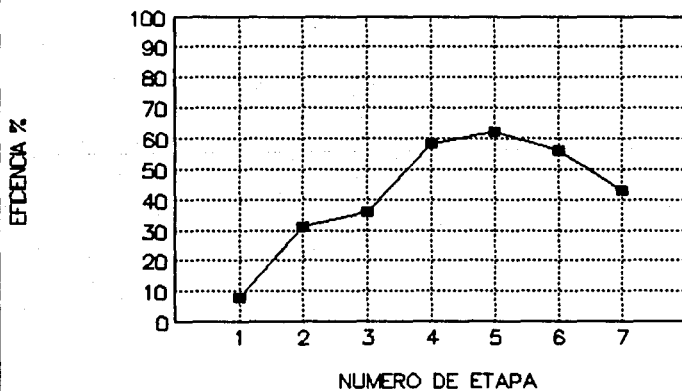
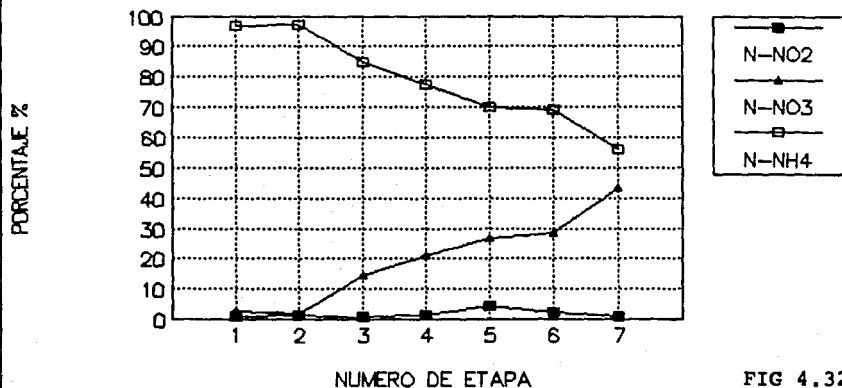


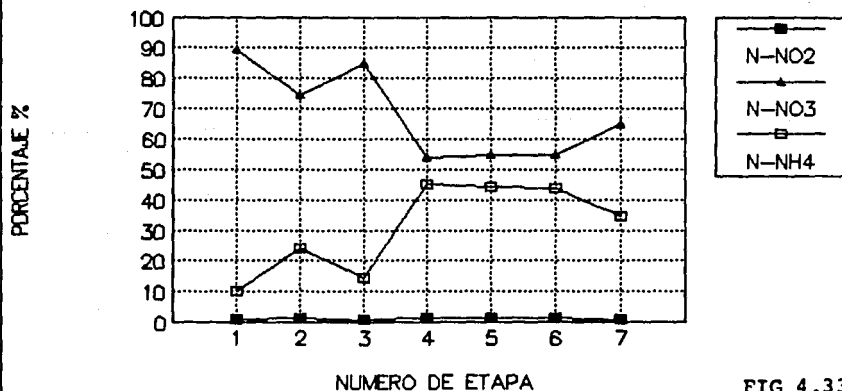
FIG 4.31

## COMPOSICION DE NITROGENO INFLUENTE AL NITRIFICADOR



Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## COMPOSICION DE NITROGENO EFLUENTE DEL NITRIFICADOR



## VARIACION DE LA TURBIDEZ EN EL SISTEMA

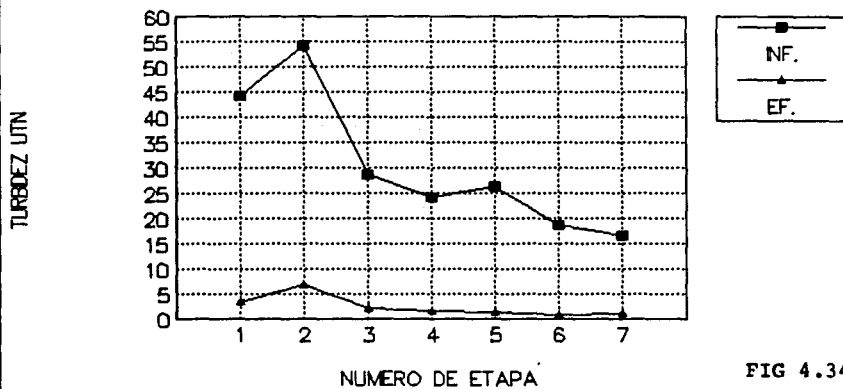


FIG 4.34

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## EFICIENCIA DE REMOCION GLOBAL DE TURBIDEZ

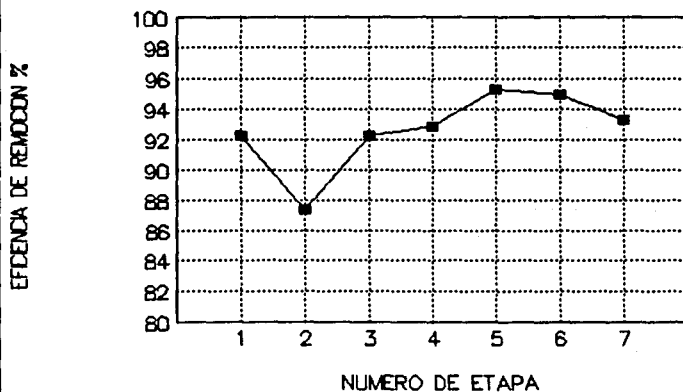


FIG 4.35



## VARIACION DE ALCALINIDAD EN EL SISTEMA

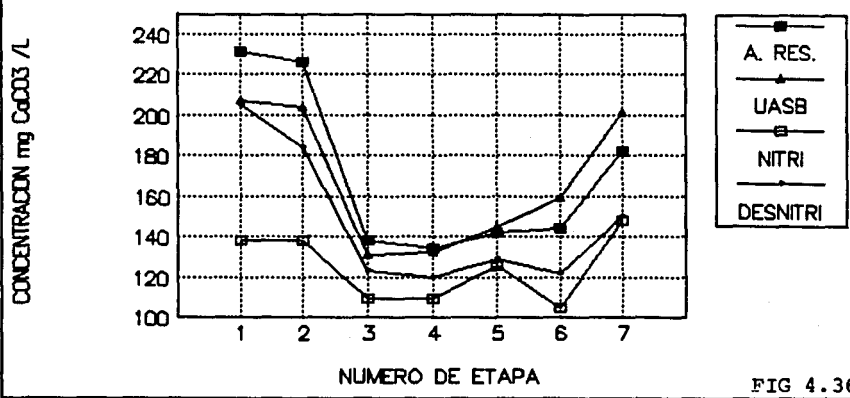


FIG 4.36

Etapa	1	2	3	4	5	6	7
Recirculación	-	-	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5

## T.R.H. DE LOS REACTORES UASB, NITRI. Y DESNITRI.

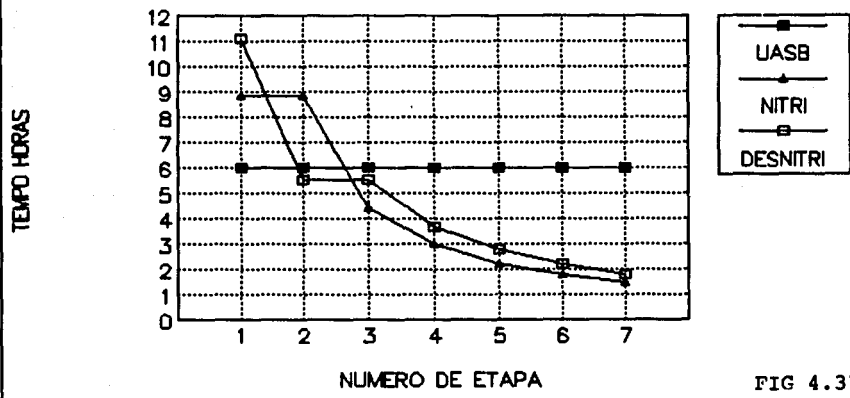


FIG 4.37

#### 4.4.3 Comparación con un sistema comercial para el tratamiento de aguas residuales a escala completa.

En la TABLA 4.14 se compara el proceso desarrollado en este trabajo contra un sistema comercial para la eliminación de nitrógeno. Este sistema es del tipo de lodos activados y posee una sección anaerobia, otra anóxica y una aerobia en un solo tanque (FIG 4.38).

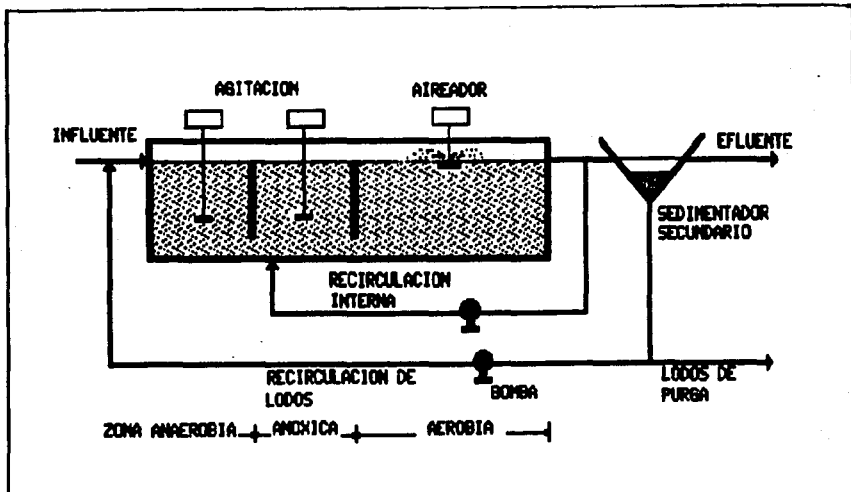


FIG. 4.38 Sistema comercial para el tratamiento de aguas residuales: "The A/O System"

Los parámetros a comparar son la energía y el volumen de los reactores. Estos parámetros son importantes, pues poseen una relación directa con el cálculo del costo de operación e inversión respectivamente.

Los datos para el dimensionamiento de los reactores del sistema comercial fueron tomados directamente de los parámetros de diseño reportados en el folleto de publicidad de dicho sistema (ver *Air Products and Chemicals, Inc.*, 1987). La potencia de las bombas no fue calculada rigurosamente, pues no se cuenta con la información adecuada para tal caso. Esta estimación se realizó con base en la información de plantas de tratamiento similares en operación e información proporcionada por el folleto de publicidad del sistema comercial (ANEXO IV).

Para elaborar una comparación lo más cercana a la realidad, se fijó un gasto de  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$  de agua residual doméstica que posee las mismas características fisicoquímicas del agua residual utilizada en este trabajo.

De la TABLA 4.14 se desprenden las observaciones siguientes: el sistema desarrollado en este trabajo es capaz de ahorrar un 86% de energía bajo las condiciones de operación especificadas anteriormente. Sin embargo, se obtiene un volumen total cinco veces mayor al sistema comercial. Los volúmenes de los reactores del sistema desarrollado en este trabajo, fueron determinados tomando como base las tasas de remoción del contaminante específico a ser eliminado en cada reactor. Estas tasas son bajas, debido a los problemas y condiciones de operación presentados durante la experimentación y expuestas con anterioridad. El reactor desnitrificador presenta un sobrediseño muy grande; es posible la disminución del volumen de este reactor al optimar el nitrificador. Es claro que al mejorar las condiciones de operación en el reactor nitrificador y al proporcionar un agua residual con características convenientes para los reactores, se obtendrán tasas mayores a las reportadas en este trabajo y como consecuencia se requerirán volúmenes menores en los reactores.

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es que el proceso comercial es capaz de remover fósforo, aspecto que en ésta

investigación no fue tratado.

**TABLA 4.14 COMPARACION CON UN SISTEMA CONVENCIONAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA.**

Parámetro	A.A.A.	A.A.A. Convencional "A/O System"
<b>Energía</b>	<b>Kw-h</b>	<b>Kw-h</b>
Recirculación interna	2	2
Recirculación de lodos	No existe	20
Aireación	25	139
Mezclado en zona anaerobia	No existe	11
Motor de la rastra en el sedimentador secundario	No existe	10
Energía asociada al tratamiento de lodo (Si es requerido)	No existe	10
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>192</b>
<b>Volumen de reactores</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>m<sup>3</sup></b>
Zona anaerobia	4152	360
Zona anóxica	10479	360
Zona aerobia	8603	2160
Sedimentador	No existe	1300
Reactor anaerobio para el tratamiento de lodo (Si es requerido)	No existe	172
<b>TOTAL</b>	<b>23234</b>	<b>4352</b>

A.A.A. = Anaerobio-Anóxico-Aerobio

La comparación que se hace entre estos dos sistemas es importante al tomar en consideración que se está comparando un sistema aún sin optimar, contra un sistema de tratamiento ya operando a escala industrial y de amplia demanda. Por el momento, el sistema desarrollado en este trabajo tiene desventaja al tener volúmenes de reactor más grandes que el sistema comercial, sin embargo es clara la ventaja que posee en cuanto al ahorro de energía se refiere.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### - CONCLUSIONES

Con base en los resultados de la experimentación se han obtenido las conclusiones siguientes:

#### a) Conclusión principal

- El establecimiento de una corriente de recirculación entre los reactores nitrificador y desnitrificador eleva la eficiencia de remoción del nitrógeno del agua (de 31 a 62 %). La recirculación adecuada a establecer en el sistema es 1:3. Esto confirma como verdadera la hipótesis formulada, debido a que este valor está en el intervalo supuesto.

#### b) Conclusiones secundarias

- El reactor anaerobio UASB estuvo limitado en su operación por la calidad del agua residual alimentada. Esta agua contenía una baja concentración de materia orgánica, lo cual dificultó la producción de biogás. Además, esta agua residual contenía nitrógeno oxidado y oxígeno disuelto lo cual provocó que no se obtuvieran condiciones anaerobias en el medio. Sin embargo, se obtuvo una remoción de materia orgánica soluble de 60 % en COTs.

- En el reactor anaerobio se observó una degradación de materia orgánica hasta una concentración mínima límite (20 mg COTs/L), sin importar la concentración en su influente.

- En el reactor desnitrificador se observó un bajo rendimiento de operación (21%) con una relación carbono-nitrógeno en su influente menor a 1 mgCOTs/mg N-NOx.

- Se demuestra la factibilidad de desnitrificación a concentraciones apreciables de oxígeno en el seno del reactor.

- El reactor nitrificador trabajó con eficiencias de remoción mayores a 90 %, con tiempos de retención hidráulica superiores a 4.4 horas. Este reactor presenta mayores dificultades de operación que los reactores UASB. Se concluyó que la baja relación área-volumen del empaque utilizado en este reactor es la causa de la baja remoción de nitrógeno del sistema.

- El sistema de tratamiento desarrollado en este trabajo es capaz de ahorrar un 86 % de energía si se compara contra un sistema convencional, tipo lodos activados, para la eliminación de nitrógeno con un flujo de agua residual doméstica a tratar de 0.1 m<sup>3</sup>/s.

#### - RECOMENDACIONES

Con base en la experiencia obtenida en la operación de este sistema se recomiendan los siguientes puntos para mejorarlo:

a) El agua residual doméstica por tratar debe tener una concentración de materia orgánica aceptable, además de no contener concentraciones altas de oxígeno y compuestos que no favorezcan el medio anaerobio.

b) Utilizar un empaque en el reactor nitrificador con una relación área-volumen mayor a 70 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Este empaque debe ser accesible y barato en la localidad en la cual se instalará el sistema.

c) Instalar un difusor de aire capaz de proporcionar un diámetro de burbuja pequeño y que distribuya adecuadamente el flujo de aire en el reactor nitrificador.

**BIBLIOGRAFIA**

- Air Products and Chemicals, Inc., (1987)  
The A/O System: Selector Technology for Wastewater Treatment.
- Albagnac G. (1990)  
"Anaerobic processes for wastewater treatment".  
Memorias de la serie de conferencias sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas residuales en América Latina, Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F., pp. 73-82
- APHA-AWNA-WPCF. (1980)  
Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 15th. Edition.
- Barnes D. y Bliss P. (1983)  
"Biological control of nitrogen in wastewater treatment".  
E. & F.N. Spon.
- Briones R., Rodríguez D. y Noyola A. (1988)  
"Tratamiento de un agua residual de tipo doméstico con reactores anaerobios avanzados y lirio acuático".  
Memorias de I Simposio Nacional Sobre Ingeniería Ambiental, Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F., pp. 215-224
- Christensen H. y Harremoes P. (1977)  
"Biological denitrification of sewage: a literature review".  
Prog. Wat. Tech., Vol. 8, No. 415, pp. 509-555
- Comisión Nacional del Agua (1989)  
Inventario Nacional sobre Uso del Agua y Aguas Residuales en Poblaciones mayores a 10000 Habitantes.
- Comisión Nacional de Ecología (1988)  
Informe General de Ecología



Dawson J. y Murphy K. (1973)

"Factors affecting biological denitrification of wastewater".  
Advances in Water Pollution Research. Ed. Pergamon Press.  
Inglaterra.

Eckenfelder J. (1989)

"Industrial Water Pollution Control".  
Mc Graw Hill International Editions.

Focht D. y Chang A. (1975)

"Nitrification and denitrification processes related to  
wastewater treatment".

Adv. Appl. Microbiol. 19, pp. 157-186.

Gonenc E. y Harremoes (1985)

"Nitrification in rotating disc systems-I".  
Water Res., Vol. 19, No. 9, pp. 1119-1127

Granbinska A., Slomczynski T. y Kanska Z. (1985)

"Denitrification studies with glycerol as a carbon source".  
Water Res. Vol. 19, No. 12, pp. 1471-1477

Gujer W. y Zehnder A. (1983)

"Anaerobic biochemistry".  
Water Sci. Technol. 15:127.

Guyot J. (1990)

"Introducción a la microbiología de los digestores anaerobios".  
Memorias de la serie de conferencias sobre Tratamiento Anaerobio  
de Aguas Residuales en América Latina, Instituto de Ingeniería,  
UNAM, México D.F., pp. 83-95

Henze M. (1991)

"Capabilities of biological nitrogen removal processes from wastewater".

Wat. Sci. Tech., Vol. 23, pp 669-679

Huang J., Hao C., Wu C. y Molof A. (1989)

"Nitrification of activated sludge effluent in a cross-flow medium trickling filter system".

Journal WPCF, Vol. 61, No. 4, pp. 461-467

Jeris J. y Owens R. (1975)

"Pilot-scale, high rate biological denitrification".

Journal WPCF, Vol. 47, No. 8, pp. 2043-2057

Jiménez B. (1985)

"Nitrification-denitrification par couplage de deux filtres immergés".

L'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. These pour l'obtention du Doctorat, No.7

Jiménez B. (1986)

"Influencia del oxígeno disuelto y del carbono orgánico sobre la desnitrificación".

Memorias del V congreso nacional del SMISA, Puebla, pp. 129-130

Lemus A. (1990)

"Remoción del carbono orgánico y del nitrógeno por vía anaerobia-aerobia de un agua residual doméstica".

Tesis de licenciatura en Ingeniería Química, F.Q. UNAM.

Lettinga G. et al., (1983)

"Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed UASB reactor".

Biotechnol. Biog., Vol. 25, pp. 1701-1723

Lewandowski Z. (1985)

"Nitrification process in activated sludge with suspended marble particles".

Water Res., Vol. 19, No. 4, pp. 535-539

Mercado J. (1985)

"Tratamiento biológico de aguas residuales".

Prospectiva de la biotecnología en México. Fundación José Barros Sierra, CONACYT, pp. 259-283

Metcalf y Eddy (1979)

"Wastewater engineering: Treatment Disposal, Reuse".

Mc Graw Hill, Vol. I y II

Moya A. (1990)

"Comportamiento de una descarga de agua residual de matadero mediante el tratamiento anaerobico UASB-Filtro anaerobico".

Memorias de la serie de conferencias sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina, Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F., pp. 69-107

Nakajima M., Hayamizu T. y Nishimura H. (1984)

"Inhibitory effect of oxygen on denitrification and denitrification in sludge from an oxidation ditch".

Water Res., Vol. 18, No 3, pp. 339-343

Narkis N. (1979)

"Denitrification of various carbon to nitrogen ratios".

Water Res., Vol. 13, pp. 93-98

Noyola A. (1990)

"Tratamiento anaerobio de aguas residuales: una experiencia de adaptación de tecnología en México".

Memorias de la serie de conferencias sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina, Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F., pp. 337-358

Odegaard H. (1988)

"Treatment of anaerobically pretreated effluents".

5th. International Symposium on Anaerobic Digestion. IAWPRC Anaerobic Digestion, pp. 606-613

Parker D. y Richards T. (1986)

"Nitrification in trickling filters".

Journal WPCF, Vol. 58, No. 9, pp. 896-902

Picard M. (1980)

"Nitrification et dénitrification des eaux résiduaires urbaines avec zone d'anoxie".

T.S.M.-L'EAU, pp. 131-134

Reynolds T. (1982)

"Unit Operations and Processes in Environmental Engineering".

Brooks/Cole Engineering Division, Wadsworth Inc.

Rhee G. y Fuhs G. (1978)

"Wastewater denitrification with one-carbon compounds as energy source".

Journal WPCF, september 1978, pp. 2111-2119

Richardson O. (1975)

"Nitrification inhibition in the treatment of sewage"

Publ. The Royal Soc. of chemistry, London, UK, pp.103-110

Rico M. y Lorenzo G. (1990)

"Parámetros de operación de un reactor anaerobio de flujo ascendente".

Memorias de la serie de conferencias sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina, Instituto de Ingeniería, UNAM, México D.F., pp. 359-375

Russel L., Wesner M. y Culp G. (1978)

"Nitrogen removal".

Handbook of Advanced Wastewater Treatment. 2d Edition, Van Nostrand Reinhold Company, pp. 349-375

Rusten B. (1984)

"Wastewater treatment with aerated submerged biological filters".

Journal WPCF, Vol. 56, No. 5, pp. 424-431

Saintpierre O. (1988)

"Lit bacterien immergé de nitrification tertiaire sur materiaux plastique".

Environmental Technology Letters., Vol. 9, pp. 1059-1072

Shammas N. (1986)

"Interactions of temperature, pH and biomass on the nitrification processes".

Journal WPCF, Vol. 58, No 1, pp. 52-59

Skrinde J. y Bhagat S. (1982)

"Industrial wastes as carbon source in biological denitrification".

Journal WPCF, Vol. 54, No. 4, pp. 370-377

Stenstrom M. (1979)

"The effect of dissolved oxygen concentration on nitrification".  
Water Res., Vol.14, pp. 643-649

Stronach S., Rudd T. y Lester J. (1986)

"Anaerobic digestion processes in industrial wastewater treatment".  
Biotechnology Monographs, Vol. II, Springer-Verlag.

Timberlake D., Strand S. y Williamson K. (1988)

"Combined aerobic heterotrophic oxidation, nitrification and denitrification in a permeable-support biofilm".  
Wat. Res., Vol. 22, No. 12, pp. 1513-1517

Vieira S. (1986)

"Domestic sewage treatment by UASB reactor in Brazil".  
Memorias de la serie de conferencias sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina, Instituto de Ingenieria, UNAM, México D.F., pp. 267-287

Voets J., Vanstaen H. y Verstraeta W. (1975)

"Removal of nitrogen from highly nitrogenous wastewaters".  
Journal Wat. Pollut. Control Fed. 47, pp. 394-398

Wathugala A., Suzuki T. y Kurihara Y. (1987)

"Removal of nitrogen, phosphorus and COD from wastewater using sand filtration system with *Phragmites Australis*".  
Wat. Res., Vol. 21, No. 10, pp. 1217-1224

Werner M. y Kayser R. (1991)

"Denitrification with biogas as external carbon source".  
Wat. Sci. Tech., Vol. 23, pp. 701-708

Wilson R., Murphy K., Sutton P. y Lackey S. (1981)

"Design and cost comparison of biological nitrogen removal processes".

Journal WPCF, Vol. 53, No. 8, pp. 1294-1302

Zirschky J., Crawford D., Norton L. y Deemer D. (1989)

"Ammonia removal using overland flow".

Journal WPCF, Vol. 61, No. 7, pp. 1225-1232

**A N E X O I**  
**RESULTADOS EXPERIMENTALES CON RELACION AL**  
**REACTOR ANAEROBIO (UASB)**



**REACTOR ANAEROBIC CURVED**  
**Datos experimentales.**

**ETAPA 1 INFLUENTE**

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ UTN	N-NH <sub>2</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>x</sub> mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SSF mg/l	COT mg/l	COTa mg/l	CT mg/l
1.0	15/1/90	7.9	212	34	0.3	4.1	53.4	-	-	-	-	60.5	-	95.0
2.0	16/1/90	8.4	228	42	0.9	3.6	52.2	-	-	-	-	126.9	-	172.0
3.0	17/1/90	6.1	210	50	0.6	0.5	40.1	-	-	-	-	98.0	-	117.0
4.0	18/1/90	7.9	228	30	0.5	1.4	57.3	-	-	-	-	53.9	-	122.3
5.0	19/1/90	7.9	214	30	0.7	0.9	45.4	-	-	-	-	48.0	36.6	166.1
6.0	22/1/90	8.1	230	40	0.7	0.4	23.8	25.0	200	5.4	254.0	92.3	39.7	118.0
7.0	23/1/90	6.3	230	30	0.5	3.1	47.5	50.3	0	12	12	71.0	46.3	84.9
8.0	24/1/90	7.6	234	100	0.3	1.7	5.28	26.8	146	44	190	54.0	39.7	174.0
9.0	25/1/90	7.9	230	40	0.5	3.6	44.7	50.3	56	18	74	80.5	54.4	109.4
10.0	26/1/90	8.4	230	30	0.5	0.5	46.9	14.6	88	16	104	61.0	48.0	102.1
11.0	29/1/90	7.9	214	34	0.5	4.0	49.7	49.7	-	-	-	70.0	37.1	109.1
12.0	30/1/90	6.2	230	35	0.4	0.9	46.8	50.3	74	24	98	81.4	15.7	147.0
13.0	31/1/90	6.0	452	32	0.4	3.1	49.3	51.4	338	159	476	145.6	30.3	186.7
14.0	1/2/90	7.2	40	40	0.2	4.6	7.4	4.6	74	20	94	54.2	44.5	98.1
15.0	2/2/90	7.8	220	32	0.4	3.0	58.5	63.4	64	6	90	58.4	21.0	118.0
16.0	6/2/90	7.8	216	100	0.5	3.6	47.6	-	234	262	558	94.2	23.5	162.8
17.0	7/2/90	7.5	240	60	0.5	1.7	38.0	45.3	180	52	232	105.6	27.3	134.0
18.0	8/2/90	7.9	228	30	0.5	2.1	28.5	31.4	110	68	178	98.5	75.4	109.2
19.0	9/2/90	6.0	208	70	0.9	2.2	16.8	24.3	346	148	494	58.1	43.2	122.2
20.0	12/2/90	6.0	212	40	0.5	4.7	40.4	50.3	76	36	112	11.2	8.7	115.4
21.0	13/2/90	7.7	216	44	0.4	4.1	-	196	96	86	282	60.2	-	157.7
22.0	14/2/90	7.7	236	32	0.4	6.8	43.2	53.8	106	28	106	5.4	3.2	91.0
23.0	15/2/90	7.7	236	38	0.3	4.2	39.0	46.9	94	34	128	4.5	-	106.6
24.0	16/2/90	7.4	244	45	-	-	-	-	458	162	620	9.8	-	91.0
25.0	19/2/90	7.2	180	50	0.4	3.1	43.0	51.4	130	54	184	83.7	35.7	147.6
26.0	20/2/90	7.8	224	32	0.3	3.2	16.8	23.9	47.3	10	57.3	105.0	83.7	149.0
27.0	21/2/90	6.1	208	40	0.9	3.5	34.5	45.9	80	40	130	82.0	41.7	129.0
28.0	22/2/90	6.0	220	30	0.4	2.6	12.6	19.6	55	10	65	113.0	89.0	153.0
29.0	23/2/90	7.9	220	34	0.3	1.6	55.0	61.3	58	16	74	45.7	29.7	107.0

**EFLUENTE**

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ UTN	N-NH <sub>2</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>x</sub> mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SSF mg/l	COT mg/l	COTa mg/l	CT mg/l
1.0	15/1/90	7.2	220	28	0.04	0.3	25.1	-	-	-	-	4.6	-	48.4
2.0	16/1/90	7.7	152	15	0.04	1.2	82.4	-	-	-	-	10.8	-	48.4
3.0	17/1/90	7.0	40	40	0.4	0.9	22.4	-	-	-	-	15.8	-	47.0
4.0	18/1/90	7.7	228	12	0.04	0.2	46.7	-	-	-	-	5.0	-	62.0
5.0	19/1/90	7.7	208	4.8	0.05	0.2	39.3	-	-	-	-	14.8	10.7	32.9
6.0	22/1/90	7.4	226	24	0.00	1.2	7.5	15.3	30	2	32	19.0	16.9	43.0
7.0	23/1/90	7.8	212	5.5	0.3	34.7	40.4	0.4	6	4	20	19.0	14.3	32.9
8.0	24/1/90	7.6	200	26	0.02	0.9	4.5	10.6	32	6	38	16.5	3.3	40.8
9.0	25/1/90	7.6	212	6	0.01	1.0	30.7	32.4	14	4	10	11.8	7.5	36.2
10.0	26/1/90	6.2	216	4.6	0.00	0.2	38.1	46.7	10	6	16	9.8	7.3	24.7
11.0	29/1/90	7.9	272	32	0.05	0.7	50.0	50.2	10	10	50	14.8	9.2	64.4
12.0	30/1/90	7.3	30	30	0.5	0.8	42.6	50.2	40	10	50	14.8	8.5	64.4
13.0	31/1/90	6.2	193	18	0.3	2.3	40.2	50.2	26	28	28	14.7	4.8	47.4
14.0	1/2/90	7.7	276	18	0.00	0.4	24.9	25.1	20	12	32	10.0	7.3	47.4
15.0	2/2/90	7.5	160	44	0.4	0.5	44.2	50.2	32	38	38	20.7	14.5	39.5
16.0	6/2/90	7.6	204	20	0.03	0.4	18.1	23.6	16	12	28	19.2	16.2	83.2
17.0	7/2/90	7.3	192	40	0.2	0.4	12.9	20.5	8	12	20	18.9	12.0	62.9
18.0	8/2/90	7.7	204	7	0.5	0.9	00.0	11.4	20	4	24	25.0	16.7	62.9
19.0	9/2/90	7.7	204	2	0.2	3.1	13.4	20.3	26	12	38	20.7	17.9	73.1
20.0	12/2/90	7.4	208	30	0.1	0.6	10.2	17.8	20	2	18	11.1	7.6	55.3
21.0	13/2/90	7.5	204	24	0.2	1.1	36.4	-	48	36	84	11.0	-	74.8
22.0	14/2/90	7.4	208	26	0.1	0.6	34.9	45.7	15	3	18	6.2	3.0	57.8
23.0	15/2/90	7.7	204	26	0.2	0.5	37.4	44.9	22	4	18	17.0	9.0	52.8
24.0	16/2/90	7.2	188	10	0.1	0.7	16.0	23.9	8	3	14.0	14.0	11.0	59.5
25.0	19/2/90	7.6	188	22	0.06	0.7	16.0	23.9	12	2	14	21.7	13.0	67.8
26.0	20/2/90	7.6	212	12	0.02	0.8	13.3	16.9	10	0	10	25.7	17.7	63.8
27.0	21/2/90	7.0	160	10	0.06	1.1	38.9	45.3	12	0	12	23.7	15.7	71.0
28.0	22/2/90	6.0	208	9.2	0.1	0.9	12.8	21.3	11	1	11	21.7	17.7	63.8
29.0	23/2/90	7.8	228	24	0.01	0.2	50.0	60.0	11	4	15	19.7	17.7	63.8

REACTOR FARMACOBIO CURSOS  
Datos experimentales.

ETAPA 2 INFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NO3 mg/l	N-NO4 mg/l	N-NH4 mg/l	SSU mg/l	SSP mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COTs mg/l	CT mg/l
1.0	26/2/90	7.9	224	54	0.9	1.3	53.7	55.0	84	22	106	65.3	37.5	123.0
2.0	27/2/90	8.0	229	40	0.4	2.7	42.0	45.1	66	15	101	65.5	38.1	106.0
3.0	28/2/90	7.8	196	40	0.5	3.2	57.5	60.0	83	13	76	65.5	45.8	106.0
4.0	1/3/90	8.1	240	52	0.5	3.2	53.0	55.0	117	5	172	116.5	59.0	161.0
5.0	2/3/90	7.8	249	120	0.05	0.1	89.7	91.0	394	170	544	124.1	69.0	192.0
6.0	3/3/90	8.0	224	28	0.4	4.5	41.3	42.3	75	24	99	105.5	50.8	172.0
7.0	6/3/90	8.0	212	40	0.4	3.5	43.6	45.3	71	20	91	79.6	57.2	123.6
8.0	7/3/90	7.3	220	46	0.6	3.1	40.0	43.2	91	28	117	86.0	53.0	123.7
9.0	8/3/90	7.3	180	30	0.3	4.0	41.0	19.2	90	43	133	95.0	55.0	147.0
10.0	9/3/90	8.0	212	50	0.4	4.2	22.8	25.3	105	14	119	69.0	46.7	123.6
11.0	12/3/90	8.0	252	66	0.6	1.1	5.4	12.3	163	53	216	97.4	53.8	141.3
12.0	13/3/90	8.0	248	50	0.5	2.2	26.8	35.0	154	52	206	96.2	78.0	131.7
13.0	14/3/90	8.4	244	64	0.4	2.5	17.3	23.9	154	70	234	177.5	145.0	200.0
14.0	15/3/90	8.1	228	60	0.3	3.5	26.1	28.4	126	32	158	100.7	76.0	127.9
15.0	16/3/90	8.1	240	72	0.6	1.5	20.4	25.4	210	74	284	90.2	60.2	152.7
16.0	19/3/90	8.0	252	40	0.3	5.0	37.8	39.0	104	23	127	124.2	79.7	144.0
17.0	20/3/90	8.4	264	38	0.3	3.9	36.5	38.0	91	24	115	106.1	65.0	147.0
18.0	22/3/90	8.5	284	80	0.6	3.3	43.3	45.0	156	68	224	126.3	83.8	173.0
19.0	26/3/90	-	-	80	-	-	20.4	-	328	172	500	59.0	47.1	110.7
20.0	29/3/90	7.3	200	56	-	-	41.4	-	130	42	172	54.9	26.7	108.6
21.0	2/4/90	-	34	-	-	-	30.7	-	85	20	106	54.8	27.7	110.0
22.0	3/4/90	7.7	224	64	-	-	2.5	-	110	25	135	46.8	30.0	108.0
23.0	4/4/90	7.7	212	-	-	-	32.2	-	-	-	-	36.9	34.6	110.0
24.0	9/4/90	7.7	140	40	0.2	1.2	24.2	28.0	87	31	118	84.6	46.6	102.0

EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NO3 mg/l	N-NO4 mg/l	N-NH4 mg/l	SSU mg/l	SSP mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COTs mg/l	CT mg/l
1.0	26/2/90	7.5	196	9.6	0.2	0.6	17.7	23.9	16	4	20	10.0	10.0	64.9
2.0	27/2/90	7.7	220	14	0.01	0.2	37.8	44.9	10	0	12	16.3	10.5	68.8
3.0	28/2/90	7.9	204	10	0.01	0.6	69.8	71.0	11.3	0.7	12	16.3	14.0	64.9
4.0	1/3/90	7.9	208	14	0.2	0.6	53.7	60.3	22.6	4	26.6	39.9	24.2	86.5
5.0	2/3/90	7.8	224	10	0.08	0.2	52.7	58.9	14	2	16	22.1	14.3	84.5
6.0	3/3/90	7.6	216	23	0.05	0.2	25.4	33.9	18	0	18	30.0	30.0	80.6
7.0	6/3/90	7.3	200	20	0.3	1.7	28.9	33.2	16.7	1.3	18	22.5	28.4	76.5
8.0	7/3/90	7.7	208	22	0.4	1.4	30.4	37.3	20.6	4.3	22	31.9	41.0	67.7
9.0	8/3/90	7.8	200	22	0.3	0.4	19.2	21.3	22.6	11.3	11.3	36.9	28.7	70.4
10.0	9/3/90	7.7	192	34	0.3	1.6	4.5	10.5	24.6	12	12.7	24.1	19.0	74.5
11.0	12/3/90	7.5	196	32	0.01	0.2	32.7	37.3	14.7	2.7	17.3	33.1	29.7	68.7
12.0	13/3/90	7.8	208	30	0.2	0.8	27.1	34.1	22.2	0.7	22.7	44.7	46.0	80.1
13.0	14/3/90	7.8	200	28	0.4	0.6	23.1	25.0	20	4.7	24.7	54.8	43.7	82.0
14.0	15/3/90	7.8	200	30	0.7	0.1	23.5	31.4	22.6	5.3	28	70.0	61.2	99.0
15.0	16/3/90	7.8	216	26	0.3	0.2	0.3	5.4	22	3.3	25.3	37.4	25.9	91.6
16.0	19/3/90	7.6	216	26	0.02	0.4	26.6	31.8	83	5	19	85.5	80.0	82.4
17.0	20/3/90	7.8	220	32	0.1	0.3	28.3	31.2	32	4.7	36.7	45.6	31.4	104.0
18.0	22/3/90	7.7	208	28	0.6	0.3	32.2	48.9	35	2	37	47.5	31.4	110.7
19.0	26/3/90	-	-	24	-	-	19.6	-	13	0	13	30.0	25.0	64.3
20.0	29/3/90	7.6	224	20	-	-	35.4	-	17	4	21	20.0	10.0	86.5
21.0	2/4/90	-	-	18	-	-	22.2	-	20	1	21	20.0	20.0	52.3
22.0	3/4/90	7.6	204	25	-	-	23.0	-	12	0	12	32.7	20.7	42.1
23.0	4/4/90	7.4	200	-	-	-	25.6	-	-	-	-	15.0	10.0	30.0
24.0	9/4/90	7.5	129	9	0.2	1.0	10.0	20.0	13	12	1	21.6	6.4	30.0

RESPIRATOR PERFORMANCE STUDY  
 Dates experimental.

STAGE 3

AMPLITUDE

No	FECHN	pH	RLC mgCO2/1	TURBINEZ UTN	N-802 mg/l	N-803 mg/l	N-804 mg/l	N-81X mg/l	SSU mg/l	SSP mg/l	SST mg/l	COF mg/l	COFe mg/l	CT mg/l
1.0	10/4/90	7.5	126	30	0.2	1.3	16.0	21.3	100	24	124	46.8	30.0	87.8
2.0	11/4/90	7.4	131	15	0.2	2.4	19.6	28.0	70	38	108	36.3	34.6	68.9
3.0	12/4/90	7.5	134	30	0.2	2.3	33.4	43.9	150	82	242	84.6	46.6	91.5
4.0	13/4/90	7.6	137	12	0.2	1.0	14.4	20.3	58	42	100	38.2	16.6	195.1
5.0	15/4/90	7.6	134	22	0.1	2.3	28.9	34.6	183	184	347	75.0	11.8	81.1
6.0	17/4/90	7.7	123	14	0.2	2.1	12.8	-	40	49	89	22.7	11.9	99.1
7.0	18/4/90	7.8	125	18	0.2	4.0	18.7	21.3	67	32	99	58.6	46.6	105.0
8.0	19/4/90	7.9	148	18	0.4	1.7	7.9	14.9	74	47	121	66.7	44.7	105.0
9.0	23/4/90	7.7	134	14	0.4	3.5	33.1	41	104	46	150	40.0	31.3	175.0
10.0	24/4/90	7.7	223	45	0.3	4.7	24.7	30.7	126	64	190	123.6	51.6	140.0
11.0	25/4/90	7.5	134	40	0.5	3.6	24.8	30.1	96	51	147	102.2	76.7	140.0
12.0	26/4/90	7.8	142	38	0.3	2.8	46.0	50.3	113	83	196	104.4	80.8	125.8
13.0	27/4/90	7.8	142	44	0.4	5.6	68.7	73.1	42	184	226	96.3	52.3	190.5
14.0	30/4/90	-	-	24	0.4	0.4	31.9	43.8	176	90	266	89.6	55.9	79.3
15.0	1/5/90	7.8	120	22	0.2	4.4	15.7	16.8	70	38	108	50.3	19.3	103.6
16.0	2/5/90	-	-	30	0.4	4.5	36.0	41.4	85	54	119	68.0	42.0	100.0
17.0	3/5/90	7.8	148	28	-	-	-	-	193	73	278	39.3	36.4	95.0
18.0	7/5/90	7.6	120	16	0.1	6.6	14.7	21.3	54	8	42	53.7	23.4	65.2
19.0	8/5/90	7.8	145	22	0.5	4.2	22.4	-	107	60	167	46.5	40.1	91.5
20.0	9/5/90	-	-	40	-	-	4.9	9.4	-	-	-	46.0	40.0	99.5

AMPLITUDE

No	FECHN	pH	RLC mgCO2/1	TURBINEZ UTN	N-802 mg/l	N-803 mg/l	N-804 mg/l	N-81X mg/l	SSU mg/l	SSP mg/l	SST mg/l	COF mg/l	COFe mg/l	CT mg/l
1.0	10/4/90	7.5	134	25	0.1	0.4	12.4	15.3	26	2	28	33.6	23.8	83.6
2.0	11/4/90	7.5	126	11	0.05	0.4	19	18.9	46	48	48	38.0	28.0	66.8
3.0	12/4/90	7.4	129	14	0.1	1.6	19.9	23.8	56	33	89	86.0	33.4	125.5
4.0	13/4/90	7.3	126	5.4	0.1	1.1	6.4	7.9	62	50	112	32.1	6.4	73.1
5.0	16/4/90	7.4	137	18	0.08	0.3	13.9	15.2	25	9	34	23.0	17.0	47.1
6.0	17/4/90	7.8	123	26	0.1	0.9	11.7	-	14	7	12	12.0	6.0	49.1
7.0	18/4/90	7.5	137	28	0.01	0.4	0.2	3.3	14	4	18	24.0	20.0	72.1
8.0	19/4/90	7.6	134	30	0.08	0.7	-	8.3	12	1	13	52.4	24.0	95.1
9.0	23/4/90	7.8	134	14	0.08	0.8	12.2	15.9	24	12	36	22.6	15.3	65.2
10.0	24/4/90	7.4	140	20	0.01	1.1	18.9	20.1	4	10	14	44.1	19.5	75.3
11.0	25/4/90	7.6	126	20	0.07	1.7	3.7	5.7	8	3	11	62.1	48.1	83.4
12.0	26/4/90	7.5	123	22	0.03	0.3	21.3	23.6	14	1	15	104.8	79.0	133.9
13.0	27/4/90	7.5	134	15	0.1	2.0	18.8	19.3	21	5	26	60.0	43.0	89.4
14.0	30/4/90	-	-	3.4	-	0.23	13.1	15.9	4	2	6	13.4	5.5	38.9
15.0	1/5/90	7.8	129	6	0.01	0.5	20.4	21.3	2	4	8	13.3	11.4	51.9
16.0	2/5/90	-	-	7.8	0.02	0.4	18.1	21.3	15.6	19	19	21.0	17.2	63.2
17.0	3/5/90	7.6	134	7.0	-	-	-	-	6	3	9	20.0	10.0	42.1
18.0	7/5/90	8.1	148	12	0.1	2.2	26.5	28.4	11	0	11	40.0	23.0	71.2
19.0	8/5/90	7.4	123	3.0	0.4	0.8	10.6	-	5	14	19	11.5	6.8	51.0
20.0	9/5/90	-	-	3	0	0.3	19.4	21.3	-	-	-	10.0	7.0	59.2

REACTOR NUMEROSOS CURSOS  
Datos experimentales.

STAPA 4

EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NO3 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NTN mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COTe mg/l	CT mg/l
1.0	13/6/90	7.5	124.0	35.0	0.3	0.7	30.5	-	-	-	-	54.9	50.0	87.7
2.0	14/6/90	7.5	171.0	22.0	0.5	1.3	35.6	-	-	-	-	152.0	109.0	195.4
3.0	15/6/90	8.5	135.0	17.0	0.2	0.9	31.6	61.7	339.0	163.0	502.0	42.1	42.2	93.7
4.0	16/6/90	7.8	135.0	22.0	0.3	1.6	23.3	-	95.0	25.0	120.0	30.6	21.3	85.7
5.0	17/6/90	7.7	124.0	24.0	0.2	2.6	23.6	231.3	225.0	130.0	355.0	48.6	48.6	47.7
6.0	20/6/90	7.6	127.0	24.0	0.2	1.6	24.3	27.7	218.0	47.0	275.0	42.2	32.6	87.7
7.0	21/6/90	7.4	130.0	26.0	.0	0.0	17.2	20.1	261.0	155.0	416.0	27.7	18.5	86.7
8.0	22/6/90	7.7	119.0	26.0	0.1	5.0	22.6	30.2	51.0	11.0	62.0	54.7	26.7	90.7
9.0	25/6/90	7.0	101.0	22.0	0.2	6.6	21.7	31.2	78.0	38.0	116.0	49.0	33.2	76.7
10.0	26/6/90	7.6	182.0	19.0	0.4	1.9	44.8	19.8	44.0	16.0	60.0	44.0	33.4	86.7
11.0	27/6/90	7.8	132.0	23.0	0.2	1.3	15.7	30.2	50.0	15.0	65.0	29.4	26.7	46.7
12.0	28/6/90	7.9	117.0	10.0	0.2	4.7	21.2	22.9	116.0	48.0	144.0	19.0	17.2	46.7
13.0	29/6/90	8.0	130.0	22.0	0.4	3.6	23.6	39.9	38.0	25.0	83.0	40.0	36.0	50.7
14.0	3/7/90	7.6	189.0	20.0	0.2	5.4	24.8	45.0	24.1	170.0	100.0	48.7	48.7	198.0
15.0	3/7/90	7.6	106.0	15.0	0.1	2.4	6.7	18.2	34.0	11.0	45.0	30.4	24.0	72.7
16.0	4/7/90	-	-	19.0	0.1	11.5	-	-	-	-	-	42.1	40.1	92.7
17.0	9/7/90	7.6	127.0	-	0.3	2.0	14.0	88.2	89.0	30.0	119.0	51.3	23.4	85.3
18.0	11/7/90	7.6	127.0	13.0	0.4	1.9	14.7	54.8	64.0	16.0	80.0	23.0	23.4	71.9
19.0	12/7/90	7.8	192.0	14.0	0.3	2.7	10.7	16.7	82.0	48.0	130.0	49.0	45.0	94.2
20.0	16/7/90	7.6	169.0	22.0	0.3	0.5	17.9	21.9	225.0	98.0	323.0	29.7	21.6	86.1
21.0	17/7/90	7.7	196.0	13.0	0.3	3.2	12.0	29.2	50.0	17.0	87.0	56.1	9.4	74.7
22.0	18/7/90	7.8	189.0	10.0	0.2	0.9	9.5	24.1	170.0	17.0	221.0	149.0	8.3	198.0
23.0	19/7/90	7.8	164.0	17.0	0.2	3.2	15.5	24.0	49.0	-	68.0	58.1	45.9	98.2
24.0	20/7/90	7.6	144.0	10.0	.0	3.7	1.1	9.6	-	-	-	37.0	35.7	82.0
25.0	23/7/90	-	156.0	18.0	0.3	1.9	15.1	-	-	-	-	42.7	28.6	87.4
26.0	25/7/90	7.4	152.0	15.0	0.2	1.1	5.3	30.2	140.0	56.0	196.0	61.9	61.9	106.8
27.0	25/7/90	7.4	152.0	25.0	0.4	1.9	12.2	14.4	96.0	31.0	127.0	52.9	48.9	89.4
28.0	26/7/90	7.6	136.0	-	.0	3.1	3.7	9.5	9.0	6.0	15.0	20.7	18.7	53.1
29.0	27/7/90	-	112.0	-	0.3	2.3	13.6	-	-	-	-	52.7	50.7	105.2
30.0	30/7/90	7.6	122.0	18.0	0.2	4.1	10.1	27.0	35.0	15.0	50.0	34.6	24.6	86.7
31.0	31/7/90	7.5	128.0	24.0	0.3	2.2	19.9	19.9	213.0	30.0	243.0	68.9	50.9	102.5
32.0	1/8/90	4.4	128.0	9.0	0.5	1.6	19.6	132.4	1309.0	18.0	1321.0	-	-	-
33.0	2/8/90	6.7	112.0	28.0	0.4	1.7	21.5	31.7	73.0	12.0	85.0	-	-	-
34.0	3/8/90	6.9	150.0	15.0	0.3	2.0	15.0	45.0	20.0	66.0	47.0	30.0	11.0	-
35.0	7/8/90	6.5	60.0	41.0	0.4	2.0	10.4	24.8	6.0	5.0	11.0	-	-	-

EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NO3 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NTN mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COTe mg/l	CT mg/l
1.0	13/6/90	7.2	130.0	24.0	.0	0.0	24.4	-	-	-	-	59.0	50.0	53.7
2.0	14/6/90	7.4	135.2	19.0	.0	0.0	23.0	-	-	-	-	152.0	109.0	69.7
3.0	15/6/90	7.8	119.6	6.1	0.1	0.4	14.9	11.9	8.0	6.0	14.0	42.0	40.0	37.7
4.0	16/6/90	7.4	127.0	12.0	0.1	0.2	17.2	8.8	25.0	5.0	30.0	23.3	18.9	47.7
5.0	17/6/90	7.5	113.8	9.5	0.1	14.3	8.3	14.5	13.0	15.0	19.0	19.9	15.4	44.7
6.0	20/6/90	7.6	152.6	13.0	0.1	0.9	15.5	15.5	22.0	53.0	75.0	40.5	20.5	83.7
7.0	21/6/90	7.4	117.0	13.0	.0	0.1	20.8	20.8	24.0	14.0	38.0	25.7	10.7	26.8
8.0	22/6/90	7.7	114.4	13.0	0.1	0.5	13.0	16.4	21.0	10.0	31.0	24.5	6.6	64.7
9.0	25/6/90	7.2	108.0	28.0	0.0	0.2	15.2	15.2	19.0	14.0	33.0	28.9	19.7	50.7
10.0	26/6/90	7.6	119.6	10.0	0.0	0.4	18.6	22.1	18.0	26.0	42.0	24.5	16.8	50.7
11.0	27/6/90	7.8	114.4	11.0	0.3	0.3	13.9	15.1	17.0	7.0	24.0	8.5	2.6	46.7
12.0	28/6/90	7.6	117.0	14.0	.0	0.1	19.5	23.2	12.0	1.0	13.0	12.7	8.9	38.7
13.0	29/6/90	7.6	106.6	20.0	.0	0.2	21.6	21.6	2.0	29.0	31.0	28.9	16.9	50.7
14.0	3/7/90	7.1	157.0	19.0	0.2	2.9	9.8	18.2	9.0	12.0	21.0	27.6	4.0	61.7
15.0	3/7/90	7.5	140.6	11.0	0.1	0.8	9.5	14.0	17.0	5.0	22.0	22.3	20.3	66.7
16.0	4/7/90	-	-	35.0	.0	.0	32.0	-	-	-	-	43.0	12.0	54.7
17.0	9/7/90	7.4	117.0	-	0.4	1.4	8.0	18.4	17.0	11.0	28.0	13.2	11.2	46.6
18.0	11/7/90	7.6	196.0	10.0	0.3	0.1	11.0	15.2	12.0	6.0	18.0	26.4	15.3	65.6
19.0	12/7/90	7.6	148.0	6.5	.0	0.5	9.3	11.5	12.0	6.0	18.0	21.3	15.2	61.8
20.0	16/7/90	7.5	196.0	10.0	0.1	0.1	9.8	14.9	20.0	2.0	22.0	21.6	13.5	63.8
21.0	17/7/90	7.8	212.0	33.0	0.1	0.2	18.5	18.5	11.0	6.0	17.0	52.0	19.0	100.3
22.0	18/7/90	7.4	152.0	10.0	0.3	0.2	9.0	9.0	9.0	12.0	21.0	27.6	9.4	61.7
23.0	19/7/90	7.6	152.0	7.9	0.4	0.7	11.1	11.1	11.0	3.0	14.0	27.6	25.6	80.0
24.0	20/7/90	7.6	144.0	12.0	0.1	2.1	12.1	12.1	-	-	-	37.0	35.8	82.0
25.0	23/7/90	-	-	7.6	0.4	0.8	8.4	-	-	-	-	48.6	30.6	79.3
26.0	24/7/90	7.4	144.0	9.0	0.0	0.1	10.1	12.2	19.0	2.0	21.0	18.8	1.3	55.1
27.0	25/7/90	7.4	144.0	9.0	0.4	0.7	7.5	8.0	17.0	2.0	19.0	48.9	22.6	86.8
28.0	26/7/90	7.6	128.0	-	0.2	1.4	4.3	4.3	-	-	-	12.5	10.6	51.0
29.0	27/7/90	-	-	-	0.3	1.2	14.3	-	-	-	-	34.5	32.6	89.4
30.0	30/7/90	7.5	120.0	6.3	0.3	1.6	5.5	15.4	17.0	4.0	21.0	20.0	20.0	60.6
31.0	31/7/90	6.8	116.0	36.0	0.1	0.2	9.3	11.0	28.0	12.0	40.0	26.0	26.0	100.0
32.0	1/8/90	6.8	116.0	48.0	0.1	0.2	9.3	13.0	40.0	13.0	53.0	104.0	44.0	150.0
33.0	2/8/90	6.0	92.0	22.0	0.0	0.2	13.0	13.0	52.0	6.0	58.0	241.0	185.0	265.0
34.0	3/8/90	6.6	156.0	41.0	.0	0.2	21.8	22.1	30.0	8.0	38.0	77.0	64.2	140.0
35.0	7/8/90	6.1	72.0	30.0	0.3	1.1	9.3	16.9	85.0	6.0	91.0	192.0	168.0	243.9

REACTOR ANAEROBIC CURVES  
 Dates experimental.

EXPERIMENT 5 INFLUENTS

No	DATE	pH	MLC. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDITY UTM	N-NH <sub>2</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SS <sub>T</sub> mg/l	COT mg/l	COT <sub>s</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	8/8/90	6.4	112.0	6.5	0.2	1.4	5.2	15.5	24.0	29.0	53.0	-	-	104.0
2.0	9/8/90	6.6	132.0	20.0	0.4	2.6	10.3	10.2	63.0	15.0	78.0	-	-	173.0
3.0	10/8/90	5.5	44.0	43.0	0.7	2.2	16.3	16.8	121.0	4.0	125.0	-	-	405.0
4.0	13/8/90	7.4	104.0	21.0	0.1	3.4	15.3	15.3	51.0	11.0	62.0	35.5	31.5	70.0
5.0	14/8/90	7.7	124.0	18.0	0.2	3.4	31.4	31.0	44.0	20.0	64.0	47.7	37.0	72.7
6.0	15/8/90	7.0	116.0	18.0	0.2	3.6	32.5	-	-	-	-	37.5	29.5	86.0
7.0	16/8/90	7.4	132.0	20.0	0.9	4.6	14.2	38.4	27.0	4.0	31.0	29.0	27.5	74.0
8.0	17/8/90	7.4	124.0	11.0	0.1	3.4	15.1	32.0	10.0	42.0	27.4	21.4	76.7	44.8
9.0	20/8/90	7.5	132.0	18.0	0.2	3.6	22.5	46.0	15.0	61.0	37.4	37.4	37.5	98.0
10.0	21/8/90	7.5	136.0	22.0	0.2	3.3	22.0	40.1	15.0	65.0	45.5	45.5	37.5	98.0
11.0	22/8/90	7.4	132.0	24.0	0.2	2.9	19.7	49.4	80.0	12.0	72.0	49.6	31.5	92.9
12.0	23/8/90	7.7	132.0	18.0	0.2	3.9	14.7	20.9	33.0	7.0	40.0	35.5	17.4	80.7
13.0	24/8/90	7.8	108.0	11.0	1.0	1.2	12.1	29.3	35.0	15.0	50.0	35.5	33.3	82.8
14.0	27/8/90	7.6	120.0	16.0	0.2	2.7	16.1	72.5	35.0	9.0	44.0	61.3	55.0	104.2
15.0	28/8/90	8.0	124.0	20.0	0.3	2.6	15.7	36.0	31.0	6.0	37.0	62.9	38.9	98.2
16.0	29/8/90	8.6	152.0	12.0	0.5	2.4	7.5	31.7	49.0	17.0	65.0	159.0	157.0	152.2
17.0	30/8/90	7.6	124.0	18.0	0.4	2.3	19.3	82.3	12.0	33.0	45.0	22.8	25.9	82.2
18.0	31/8/90	7.4	276.0	11.0	0.2	1.1	17.6	91.4	68.0	32.0	100.0	20.4	14.5	70.2
19.0	3/9/90	6.9	216.0	10.0	0.1	1.3	8.3	22.2	54.0	30.0	84.0	10.1	10.1	20.1
20.0	4/9/90	7.3	212.0	2.0	0.2	1.9	9.0	20.2	12.0	1.0	13.0	10.4	8.5	40.3
21.0	5/9/90	7.5	244.0	22.0	0.2	2.2	17.6	31.3	39.0	11.0	50.0	49.0	24.8	86.3
22.0	6/9/90	-	-	22.0	0.4	1.9	20.6	-	-	-	-	49.0	49.0	94.0

EFLUENTS

No	DATE	pH	MLC. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDITY UTM	N-NH <sub>2</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SS <sub>T</sub> mg/l	COT mg/l	COT <sub>s</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	8/8/90	7.7	132.0	13.0	0.1	3.1	6.5	6.5	75.0	8.0	83.0	59.7	31.5	102.9
2.0	9/8/90	6.3	108.0	15.0	0.3	0.7	7.2	7.2	43.0	3.0	46.0	132.2	118.2	169.4
3.0	10/8/90	5.6	76.0	22.0	.0	0.3	14.9	14.9	61.0	10.0	71.0	222.0	168.0	264.0
4.0	13/8/90	6.9	124.0	14.0	0.2	1.2	14.3	18.0	1.0	14.0	41.7	41.7	39.6	88.7
5.0	14/8/90	7.1	128.0	21.0	0.3	1.4	1.4	2.4	25.0	14.0	39.0	51.6	43.6	92.0
6.0	15/8/90	7.0	128.0	32.0	0.5	0.3	61.5	-	-	-	-	55.0	47.0	98.0
7.0	16/8/90	6.9	128.0	11.0	0.5	2.6	13.0	13.0	20.0	2.0	22.0	37.5	23.4	80.7
8.0	17/8/90	6.7	132.0	44.0	0.1	0.3	18.8	18.8	15.0	3.0	18.0	57.6	31.4	102.9
9.0	20/8/90	6.7	136.0	25.0	0.1	0.4	23.2	23.2	9.0	15.0	24.0	41.3	3.5	86.8
10.0	21/8/90	6.9	148.0	20.0	0.2	0.6	23.1	23.0	15.0	3.0	18.0	51.7	23.4	86.9
11.0	22/8/90	6.9	136.0	22.0	0.1	0.6	19.0	20.4	16.0	4.0	20.0	51.7	23.4	86.0
12.0	23/8/90	6.9	136.0	16.0	.0	0.4	27.1	29.6	82.0	12.0	94.0	45.5	31.4	94.8
13.0	24/8/90	6.8	152.0	37.0	.0	0.1	27.3	36.5	16.0	4.0	20.0	32.3	27.3	106.9
14.0	27/8/90	6.9	124.0	39.0	.0	0.3	19.3	27.0	11.0	1.0	12.0	35.3	27.1	80.2
15.0	28/8/90	6.9	116.0	27.0	.0	0.3	18.8	23.0	8.0	5.0	13.0	36.0	33.0	64.2
16.0	29/8/90	6.8	136.0	46.0	.0	0.3	23.5	21.5	10.0	5.0	15.0	24.6	14.6	70.2
17.0	30/8/90	7.0	132.0	29.0	.0	0.3	21.8	21.7	5.0	3.0	8.0	30.6	14.6	76.2
18.0	31/8/90	6.9	276.0	25.0	.0	0.2	22.4	23.9	3.0	6.0	37.0	24.3	20.4	78.2
19.0	3/9/90	6.8	60.0	44.0	0.1	0.3	20.8	24.7	15.0	13.0	28.0	14.7	12.6	55.4
20.0	4/9/90	7.0	280.0	26.0	.0	0.3	18.8	19.8	10.0	3.0	13.0	18.7	10.7	58.5
21.0	5/9/90	7.0	288.0	24.0	.0	0.5	22.6	24.6	10.0	8.0	18.0	26.9	18.8	76.6
22.0	6/9/90	-	-	24.0	.0	0.3	20.6	-	-	-	-	6.7	2.6	55.4

REACTOR NUMEROUS COURSE  
 Dates experimentales.

STAPA 6 INFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NH3 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NHx mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COTa mg/l	CT mg/l
1.0	7/3/90	7.3	212.0	5.4	0.1	0.2	12.9	61.3	21.0	8.0	29.0	14.7	10.6	58.5
2.0	11/9/90	6.4	288.0	12.0	0.2	1.6	8.2	28.7	44.0	11.0	55.0	164.0	126.0	189.2
3.0	12/3/90	7.3	48.0	24.0	0.2	1.5	22.1	34.3	46.0	9.0	55.0	30.9	11.0	98.9
4.0	13/9/90	7.6	44.0	12.0	0.2	1.5	17.4	70.9	55.0	20.0	75.0	32.6	30.8	74.6
5.0	14/9/90	7.5	48.0	-	0.1	5.5	17.0	40.1	48.0	-	-	32.6	25.0	84.7
6.0	17/9/90	7.2	44.0	1.9	0.2	1.7	15.0	30.4	35.0	15.0	50.0	38.0	12.0	54.5
7.0	18/9/90	7.3	44.0	18.0	0.1	1.2	15.9	-	40.0	8.0	48.0	22.6	14.8	64.5
8.0	19/9/90	7.6	52.0	15.0	0.1	1.8	16.0	-	36.0	7.0	43.0	28.8	22.7	68.6
9.0	20/9/90	7.7	150.0	5.0	0.2	1.3	4.7	-	34.0	8.0	42.0	8.5	6.5	48.4
10.0	21/9/90	7.4	154.0	6.5	0.1	1.0	7.8	-	-	-	-	16.7	14.7	60.8
11.0	25/9/90	8.2	184.0	15.0	0.2	0.8	9.8	23.8	50.0	15.0	66.0	36.8	30.8	74.6
12.0	27/9/90	7.7	176.0	20.0	0.3	0.7	16.8	31.8	46.0	9.0	55.0	152.0	18.6	197.8
13.0	28/9/90	7.1	140.0	5.0	0.1	0.6	4.1	14.0	9.0	8.0	17.0	12.6	6.5	52.4
14.0	1/10/90	8.0	224.0	30.0	0.7	0.2	34.9	-	-	-	-	56.9	30.9	75.6
15.0	2/10/90	7.5	204.0	26.0	0.4	1.8	15.1	42.0	55.0	12.0	67.0	45.1	36.8	94.8
16.0	3/10/90	7.1	184.0	34.0	0.3	0.9	25.6	36.9	148.0	53.0	201.0	53.2	34.7	102.9
17.0	4/10/90	7.6	232.0	36.0	0.2	1.5	27.4	35.4	60.0	17.0	77.0	59.1	36.0	108.0
18.0	5/10/90	7.0	140.0	6.8	0.1	2.9	6.2	12.9	20.0	5.0	25.0	8.6	6.5	48.4
19.0	6/10/90	7.6	176.0	19.0	0.1	2.7	12.0	27.0	32.0	8.0	40.0	34.2	22.2	67.4

EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NH3 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NHx mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COTa mg/l	CT mg/l
1.0	7/3/90	7.0	352.0	36.0	0.0	0.1	26.4	31.7	18.0	9.0	27.0	19.2	17.1	92.8
2.0	11/9/90	6.9	252.0	23.0	0.0	1.1	21.6	24.8	8.0	3.0	11.0	24.8	4.6	68.6
3.0	12/3/90	6.9	64.0	28.0	0.0	0.3	27.7	32.1	31.0	3.0	34.0	25.0	24.0	84.7
4.0	13/9/90	7.2	48.0	10.0	0.1	0.9	19.7	25.7	19.0	1.0	20.0	23.0	18.7	90.7
5.0	14/9/90	6.9	48.0	-	0.0	3.2	22.4	33.5	79.0	-	-	20.9	16.7	72.6
6.0	17/9/90	6.9	56.0	-	0.0	0.4	19.4	19.9	20.0	12.0	32.0	26.5	10.7	52.4
7.0	18/9/90	7.0	44.0	21.0	0.0	0.6	18.6	-	10.0	1.0	11.0	16.7	10.6	60.5
8.0	19/9/90	7.4	48.0	16.0	0.1	0.7	15.4	-	9.0	9.0	18.0	16.8	8.7	64.2
9.0	20/9/90	7.8	204.0	38.0	0.0	0.2	20.9	-	19.0	-	24.0	14.8	6.7	62.5
10.0	21/9/90	7.1	200.0	12.0	0.0	0.5	26.7	-	-	-	-	10.8	8.6	66.5
11.0	25/9/90	7.4	176.0	14.0	0.1	0.4	9.7	15.0	8.0	3.0	11.0	22.5	6.5	48.3
12.0	27/9/90	7.5	196.0	20.0	0.0	0.9	17.1	20.8	9.0	1.0	10.0	38.9	8.6	84.7
13.0	28/9/90	7.0	184.0	18.0	0.0	0.3	5.3	17.7	6.0	1.0	7.0	12.8	6.7	62.5
14.0	1/10/90	8.4	160.0	7.3	0.0	3.4	4.8	-	-	-	-	20.3	14.2	34.2
15.0	2/10/90	7.3	200.0	12.0	0.0	0.4	10.8	25.5	13.0	2.0	15.0	12.7	8.5	46.3
16.0	3/10/90	7.3	160.0	10.0	0.0	0.2	37.1	37.6	52.0	24.0	76.0	19.0	8.9	78.6
17.0	4/10/90	7.4	212.0	25.0	0.0	0.4	22.6	22.6	7.0	2.0	9.0	22.6	18.8	70.6
18.0	5/10/90	7.1	186.0	8.0	0.0	0.6	16.4	16.9	6.0	8.0	8.0	18.7	8.8	64.5
19.0	6/10/90	7.1	180.0	406.0	0.0	0.1	10.7	16.7	2.0	3.0	5.0	10.3	8.2	49.4

REACTOR EXPERIMENTAL CLASSED  
Datos experimentales.

ETAPA 7 IMPULSANTE

No	FECHA	pH	SLC. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ UTN	N-NH <sub>2</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT <sub>2</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	9/10/90	8.2	204.0	25.0	0.2	2.1	14.2	23.3	64.0	17.0	81.0	39.2	24.2	79.4
2.0	10/10/90	7.8	204.0	20.0	0.1	0.0	25.0	28.2	100.0	59.0	246.0	50.2	18.0	89.4
3.0	11/10/90	7.3	198.0	18.0	0.2	1.9	38.6	38.5	48.0	18.0	64.0	28.3	20.0	69.4
4.0	12/10/90	7.3	164.0	4.0	0.1	1.5	6.7	10.6	19.0	5.0	24.0	6.2	4.2	43.4
5.0	15/10/90	7.5	196.0	20.0	0.3	1.7	15.9	-	48.0	13.0	61.0	21.0	10.0	73.4
6.0	16/10/90	7.0	188.0	15.0	0.3	3.5	15.1	31.5	35.0	11.0	46.0	18.3	10.3	83.4
7.0	18/10/90	7.7	182.0	18.0	0.3	2.3	13.4	21.8	103.0	51.0	154.0	43.7	27.8	86.0
8.0	19/10/90	7.3	156.0	4.5	0.1	2.7	3.6	8.2	12.0	2.0	14.0	15.8	9.0	56.0
9.0	22/10/90	7.4	168.0	17.0	0.3	1.6	13.9	22.4	32.0	4.0	36.0	25.5	25.0	60.4
10.0	23/10/90	7.4	188.0	19.0	0.3	1.8	18.8	20.9	28.0	1.0	29.0	48.7	6.0	69.0
11.0	24/10/90	7.7	140.0	1.0	0.3	1.2	26.0	40.5	-	-	-	57.3	22.9	73.3
12.0	25/10/90	7.7	192.0	18.0	0.3	1.2	29.1	33.7	-	4.0	-	100.0	55.0	112.0
13.0	26/10/90	7.7	212.0	17.0	0.3	1.7	19.5	-	31.0	12.0	43.0	37.9	27.1	88.3
14.0	29/10/90	7.3	160.0	19.0	0.3	1.6	18.1	18.0	11.0	20.0	31.0	40.3	22.3	87.3
15.0	30/10/90	7.8	150.0	23.0	0.2	1.5	25.1	25.1	83.0	11.0	74.0	42.4	23.0	85.9
16.0	31/10/90	7.5	184.0	15.0	0.4	1.1	15.0	39.5	137.0	36.0	173.0	46.4	36.4	91.9
17.0	1/11/90	7.7	200.0	14.0	0.2	1.7	9.6	-	80.0	15.0	95.0	30.4	26.9	73.9
18.0	2/11/90	7.4	152.0	14.0	0.3	0.7	13.5	-	-	-	-	26.3	6.0	47.9
19.0	5/11/90	7.8	196.0	18.0	0.3	1.3	18.9	19.0	34.0	8.0	42.0	22.2	12.3	60.0
20.0	7/11/90	7.3	182.0	18.0	0.3	1.1	16.3	25.2	169.0	39.0	207.0	20.4	20.0	82.7
21.0	8/11/90	7.3	184.0	9.0	0.3	2.5	22.1	-	46.0	9.0	55.0	50.6	30.5	85.0
22.0	9/11/90	7.4	180.0	18.0	0.8	1.8	17.7	27.0	37.0	14.0	51.0	30.4	20.4	64.0

EXPLANTANTE

No	FECHA	pH	SLC. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ UTN	N-NH <sub>2</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT <sub>2</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	9/10/90	7.3	200.0	3.6	.0	0.3	11.7	17.3	7.0	6.0	13.0	6.1	6.2	43.4
2.0	10/10/90	7.7	200.0	3.6	.0	0.2	20.1	19.7	8.0	2.0	10.0	16.2	10.2	53.4
3.0	11/10/90	7.2	212.0	19.0	.0	0.3	14.9	46.0	9.0	2.0	11.0	8.3	2.3	56.4
4.0	12/10/90	7.3	218.0	3.8	.0	0.2	11.5	18.2	8.0	4.0	12.0	6.4	6.4	59.4
5.0	15/10/90	7.3	196.0	21.0	.0	0.2	9.5	-	5.0	1.0	6.0	2.0	1.0	40.0
6.0	16/10/90	7.4	192.0	1.8	.0	0.2	12.9	15.8	7.0	3.0	10.0	2.0	1.0	44.0
7.0	18/10/90	7.2	184.0	2.0	.0	0.2	11.9	11.2	7.0	3.0	10.0	10.0	2.0	52.0
8.0	19/10/90	7.3	182.0	2.7	.0	0.3	10.1	10.0	1.0	4.0	5.0	19.2	5.3	70.0
9.0	22/10/90	7.5	172.0	3.4	.0	0.3	3.3	11.1	8.0	4.0	12.0	10.0	9.0	43.0
10.0	23/10/90	7.4	192.0	3.0	.0	0.1	17.4	17.0	1.0	1.0	2.0	37.0	27.1	56.0
11.0	24/10/90	7.8	188.0	11.0	.0	0.4	41.2	41.2	10.0	4.0	14.0	20.7	16.0	48.1
12.0	25/10/90	7.4	208.0	2.4	.0	0.2	36.5	-	-	-	-	16.4	18.0	58.2
13.0	26/10/90	7.4	208.0	2.4	.0	0.2	14.3	-	9.0	0.0	9.0	14.3	7.8	64.8
14.0	29/10/90	7.0	220.0	14.0	.0	0.2	13.2	13.1	13.0	4.0	17.0	18.3	8.4	67.8
15.0	30/10/90	7.5	160.0	20.0	0.2	1.5	25.1	25.1	63.0	13.0	76.0	7.2	4.4	59.9
16.0	31/10/90	7.3	196.0	2.5	.0	0.3	10.3	10.3	7.0	0.0	7.0	12.4	8.4	55.7
17.0	1/11/90	7.4	200.0	4.2	.0	0.2	13.4	-	4.0	17.0	21.0	10.4	9.4	60.0
18.0	2/11/90	7.1	196.0	7.0	.0	0.1	22.8	-	-	-	-	24.4	10.4	47.1
19.0	5/11/90	7.9	204.0	4.6	.0	0.4	14.8	20.2	10.0	14.0	10.0	10.0	4.0	34.8
20.0	7/11/90	7.4	200.0	4.0	.0	0.4	18.2	18.2	9.0	1.0	10.0	22.2	10.3	60.8
21.0	8/11/90	7.4	204.0	3.8	.0	0.3	15.4	26.1	7.0	1.0	8.0	16.6	6.4	32.0
22.0	9/11/90	7.5	152.0	1.4	.0	0.3	3.4	11.1	13.0	6.0	19.0	10.2	4.3	46.7

**A N E X O II**  
**RESULTADOS EXPERIMENTALES CON RELACION AL**  
**REACTOR DESNITRIFICADOR**



REACTOR DEMITRIFICATION  
Data experimental.

RYPPA 1

INFLUENTE

No	FECHA	pH	NLC- mgCOC3/1	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NO2 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NTK mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	Cofa mg/l	CT mg/l
1.0	15/1/90	7.7	142	5	0.7	31.8	2.0	-	-	-	-	15.4	-	37.9
2.0	16/1/90	7.9	210	6	0.5	15.9	0.0	-	-	-	-	2.0	-	33.4
3.0	17/1/90	7.3	142	26	0.1	16.6	3.7	-	-	-	-	30.0	-	44.3
4.0	18/1/90	7.9	132	6	0.0	17.4	3.3	-	-	-	-	3.6	-	41.7
5.0	19/1/90	7.9	120	0.6	0.0	20.3	0.0	-	-	-	-	17.1	14.0	32.0
6.0	22/1/90	7.5	148	3	0.2	21.2	2.2	4.1	14	12	26	19.3	17.9	25.7
7.0	23/1/90	7.0	130	3	0.04	20.1	5.2	14.1	20	2	22	21.3	15.9	25.7
8.0	24/1/90	7.9	130	7	0.03	23.9	0.0	3.5	24	6	30	22.0	15.7	25.7
9.0	25/1/90	8.0	124	9	0.04	39.7	2.9	5.9	10	32	21.2	16.4	24.2	32.0
10.0	26/1/90	8.2	120	0	0.0	34.2	3.4	6.9	24	14	38	14.6	10.5	26.5
11.0	29/1/90	7.5	128	7	0.2	19.4	3.1	3.1	-	-	-	17.1	7.7	37.3
12.0	30/1/90	7.7	124	4	0.04	32.8	2.8	10.7	20	12	32	6.5	4.4	35.1
13.0	31/1/90	7.9	296	3.4	0.4	23.3	17.3	23.2	44	62	56	5.7	5.7	36.2
14.0	1/2/90	7.8	116	18	0.2	23.7	0.0	9.2	26	20	46	10.7	10.5	32.0
15.0	2/2/90	7.3	120	3.5	0.4	27.6	7.1	10.7	16	6	22	6.6	3.4	37.3
16.0	6/2/90	7.6	132	5.5	0.01	21.2	3.2	7.4	2	2	20	7.0	1.9	44.3
17.0	7/2/90	7.2	164	2.4	0.1	16.3	22.4	26.9	18	6	24	11.4	8.1	47.7
18.0	8/2/90	7.9	120	3	0.2	32.3	10.2	17.1	10	21	62	25.5	13.6	56.2
19.0	9/2/90	8.0	120	8	0.3	30.0	0.0	-	12	22	34	14.8	9.7	47.7
20.0	12/2/90	7.8	108	10	0.01	34.0	0.0	-	22	0	22	2.0	2.0	34.2
21.0	13/2/90	7.7	136	4.2	0.2	24.1	17.7	23.0	20	30	50	-	-	34.2
22.0	14/2/90	7.7	120	3	0.2	32.3	10.2	17.1	10	11	21	1.0	0.9	35.9
23.0	15/2/90	7.7	108	5.8	0.02	37.3	0.0	10.6	14	10	2.4	6.3	3.2	27.4
24.0	16/2/90	7.4	116	2	-	-	-	-	8	5	14	9.9	6.5	30.8
25.0	19/2/90	8.0	112	44.2	0.0	31.2	4.9	8.4	9.3	4.7	14	7.7	3.8	35.0
26.0	20/2/90	7.7	116	4.8	0.03	38.2	0.0	7.8	13.3	4.6	18	17.1	7.7	33.8
27.0	21/2/90	7.9	116	-	0.0	33.9	0.0	10.9	9.3	0	9.3	11.7	7.7	35.0
28.0	22/2/90	8.0	116	2.4	0.04	34.1	0.0	7.9	6.9	0	6.6	7.7	2.0	31.8
29.0	23/2/90	7.7	116	2	0.1	31.8	0.0	10.9	6	5	11	7.7	5.8	37.8

EFFLUENTE

No	FECHA	pH	NLC- mgCOC3/1	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NO2 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NTK mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	Cofa mg/l	CT mg/l
1.0	15/1/90	7.9	162	2.4	3.0	326.3	20.0	-	-	-	-	-	-	37.9
2.0	16/1/90	7.7	162	3.2	3.0	238.8	14.2	-	-	-	-	6.2	-	44.3
3.0	17/1/90	7.9	282	7	4.7	124.7	15.2	-	-	-	-	-	-	49.8
4.0	18/1/90	7.9	282	9	5.4	67.6	25.9	-	-	-	-	13.0	0.6	72.7
5.0	19/1/90	8.4	286	9	6.0	249.3	29.4	-	-	-	-	22.0	17.1	37.2
6.0	22/1/90	8.1	256	5.5	1.5	271.8	3.9	7.5	0	20	20	19.2	17.7	42.1
7.0	23/1/90	8.6	252	4.5	0.8	363.4	26.7	24.4	30	2	32	6.2	15.0	40.9
8.0	24/1/90	8.6	270	0	0.1	309.0	0.0	12.4	22	12	34	16.0	15.7	42.1
9.0	25/1/90	8.6	196	5	0.1	340.8	14.1	16.3	18	16	34	17.0	14.0	30.9
10.0	26/1/90	8.3	164	2	0.1	14.7	14.2	2.0	15	-	24	6.5	4.4	35.1
11.0	29/1/90	8.5	190	2	0.2	260.2	9.3	16.3	4	6	20	12.9	0.7	35.1
12.0	30/1/90	7.8	208	3	0.2	203.8	12.5	15.4	8	12	18	17.1	7.0	40.9
13.0	31/1/90	8.1	428	3.4	0.1	74.4	29.6	35.1	4	4	8	6.2	2.7	43.4
14.0	1/2/90	7.9	222	3	0.1	46.1	3.3	10.3	6	0	6	10.6	0.3	37.3
15.0	2/2/90	7.7	212	2	0.1	58.6	24.7	35.1	6	0	6	5.0	4.3	51.7
16.0	5/2/90	7.4	164	0.3	0.3	38.6	9.7	11.6	0	0	0	5.9	4.8	46.9
17.0	7/2/90	7.6	188	2.4	0.1	63.4	17.9	19.9	8	6	14	9.2	6.0	54.1
18.0	8/2/90	7.4	192	2.2	0.1	66.9	2.3	18.4	8	4	4	12.7	9.9	56.2
19.0	9/2/90	7.6	200	2	0.1	44.0	0.0	-	10	4	12	8.8	7.7	62.9
20.0	12/2/90	7.5	180	2.4	0.1	21.6	22.4	23.4	10	4	6	11.9	9.3	40.9
21.0	13/2/90	7.5	184	2.5	0.07	21.6	32.5	32.4	8	24	32	26.3	9.9	74.8
22.0	14/2/90	7.7	168	2	0.2	20.6	16.4	23.4	6	10	16	6.0	3.6	35.8
23.0	15/2/90	7.7	168	4.2	0.2	17.8	5.7	12.9	8	6	12	15.0	13.0	32.5
24.0	16/2/90	7.5	156	1.6	-	-	-	-	12	17	17	11.4	10.9	39.2
25.0	19/2/90	7.8	188	2.2	0.1	8.9	19.0	26.9	5.3	4	9.3	7.7	7.7	51.8
26.0	20/2/90	7.6	168	3	0.04	20.1	8.0	16.9	5.3	3.3	8.7	15.7	7.7	45.8
27.0	21/2/90	7.9	156	2.2	0.2	20.0	11.3	18.3	1.3	0	1.3	9.7	9.7	43.8
28.0	22/2/90	7.9	140	0.9	0.2	22.6	5.1	10.4	4.7	0	5.3	9.7	9.7	41.0
29.0	23/2/90	7.8	184	1.2	0.2	19.98	2.0	8.7	0	0	0	7.7	5.7	47.8

SECTOR ADMINISTRACION  
 Datos Superficiales.

ETAPA 2 EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-N02 mg/l	N-N03 mg/l	N-N04 mg/l	N-NH4 mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT <sub>2</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	26/2/90	7.7	160	6.2	0.3	3.9	12.2	15.9	12	2	14	10.5	6.5	55.1
2.0	27/2/90	7.9	198	1.6	0.6	23.5	27.6	30.8	15.3	12.6	18	22.0	18.4	64.8
3.0	28/2/90	8.0	168	1.6	0.5	5.3	0.0	0.0	14.8	0	14.6	18.4	14.6	61.0
4.0	1/3/90	7.8	94	8.6	0.3	4.5	32.3	43.0	18	1.3	19.3	26.2	18.4	72.0
5.0	2/3/90	8.0	20	6.0	0.3	0.8	52.2	59.3	10.7	2	12.7	16.2	12.3	76.7
6.0	5/3/90	7.5	184	10	0.0	6.5	17.7	23.4	19.3	2.7	22	12.4	3.9	27.4
7.0	6/3/90	8.0	184	8.0	0.4	8.2	21.1	23.9	12	1.3	13.3	20.3	18.2	60.1
8.0	7/3/90	7.8	196	7.0	0.4	3.9	5.6	10.9	11.3	0	11.3	28.8	18.2	62.2
9.0	8/3/90	7.8	244	15	0.3	1.9	27.5	28.9	14	10	4	24.7	20.2	88.1
10.0	9/3/90	7.6	168	8.0	0.2	8.9	7.7	14.3	18.6	11.3	7.9	14.1	14.1	88.1
11.0	12/3/90	7.7	178	8.0	0.3	2.6	1.7	8.9	10.7	0	10.7	27.9	26.3	57.2
12.0	13/3/90	7.9	188	9.1	0.6	4.8	23.4	30.1	11.3	1.3	12.6	32.4	32.7	61.0
13.0	14/3/90	7.9	204	8.2	0.3	3.5	8.0	10.2	8.6	0	8.6	43.9	38.1	64.8
14.0	15/3/90	7.8	192	6.8	0.4	3.6	10	10.9	7.3	2	9.3	40.0	38.7	61.0
15.0	16/3/90	12	188	2	0.5	5.6	12.9	16.9	10.7	1.3	12	24.7	18.9	70.6
16.0	19/3/90	7.7	180	6	0.2	3.6	6.2	10.3	18	0	18	27.3	15.0	62.2
17.0	20/3/90	7.8	188	7.8	0.6	6.7	23.5	26.8	13.3	2.7	16	23.3	21.3	52.1
18.0	22/3/90	7.8	192	7.6	0.3	6.0	14.5	20.3	17	3	20	23.3	21.3	52.1
19.0	25/3/90	-	-	6	-	-	6.7	-	22	1	23	20.0	18.0	34.0
20.0	28/3/90	7.6	172	4.6	-	-	21.3	-	14	1	15	19.0	15.0	52.1
21.0	2/4/90	-	-	1.2	-	-	0.4	-	6	0	6	12.9	1.0	30.0
22.0	3/4/90	7.7	172	1.8	-	-	25.9	-	6	0	6	8.7	8.6	20.0
23.0	4/4/90	7.5	168	-	-	-	21.1	-	6	-	-	12.0	9.0	21.2
24.0	9/4/90	7.4	131	4.5	0.04	1.2	0	3.8	39	29	68	36.1	10.0	56.3

ETAPA 3 EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-N02 mg/l	N-N03 mg/l	N-N04 mg/l	N-NH4 mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT <sub>2</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	10/4/90	7.5	136.0	18.0	0.0	0.5	16.5	17.3	10.0	0.0	10.0	22.0	17.1	54.2
2.0	11/4/90	7.4	139.0	25.0	0.0	1.8	17.7	18.3	8.0	0.0	8.0	29.8	24.0	73.1
3.0	12/4/90	7.8	128.0	16.0	0.0	0.4	14.2	20.3	13.0	10.0	23.0	79.3	23.8	102.0
4.0	13/4/90	7.5	136.0	136.0	0.0	0.3	1.8	2.8	10.0	4.0	14.0	7.0	0.3	56.3
5.0	16/4/90	7.1	129.0	26.0	0.0	0.9	17.8	18.3	9.0	3.0	12.0	9.6	7.6	49.1
6.0	17/4/90	7.7	134.0	20.0	0.0	0.8	14.6	-	4.0	0.0	4.0	0.1	0.1	47.1
7.0	18/4/90	7.4	142.0	18.0	0.0	0.9	26.3	31.3	12.0	0.0	12.0	3.5	8.1	65.1
8.0	19/4/90	7.4	128.0	8.0	0.1	1.2	7.9	8.9	0.0	8.0	8.0	34.6	8.8	78.1
9.0	23/4/90	7.7	87.0	5.2	0.1	3.0	6.5	7.2	14.0	32.0	26.0	7.4	7.4	65.0
10.0	24/4/90	7.4	134.0	5.2	0.2	4.0	10.0	14.3	10.0	4.0	14.0	26.9	21.8	57.1
11.0	25/4/90	7.2	98.0	6.0	0.1	4.3	10.6	11.9	0.0	7.0	7.0	42.2	32.6	55.1
12.0	26/4/90	7.7	131.0	4.2	0.1	2.0	10.6	11.6	3.0	5.0	8.0	33.0	54.2	117.7
13.0	27/4/90	7.5	120.0	4.0	0.2	3.1	10.2	14.3	4.0	4.0	8.0	46.9	17.2	87.1
14.0	30/4/90	-	-	7.6	0.1	1.8	17.4	19.4	5.0	10.0	15.0	54.2	10.6	85.4
15.0	1/5/90	8.0	80.0	8.0	0.1	3.0	12.9	13.9	10.0	0.0	10.0	16.6	16.4	38.9
16.0	2/5/90	-	-	11.0	0.1	2.1	7.4	9.3	7.0	0.0	7.0	16.1	15.8	47.0
17.0	3/5/90	7.9	131.0	8.9	-	-	-	-	2.0	0.0	2.0	10.0	9.0	65.2
18.0	7/5/90	7.2	98.0	4.4	0.1	1.8	17.4	19.4	8.0	0.0	8.0	40.5	13.6	51.0
19.0	8/5/90	7.7	117.0	6.6	0.2	3.3	4.2	-	11.0	0.0	11.0	13.3	11.6	55.1
20.0	9/5/90	-	-	7.4	0.1	2.7	13.7	13.7	-	-	-	2.1	1.7	31.2

SECTOR DECONTAMINATION  
Dates experimental.

ETAPA 4 EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NH3 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NTN mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COTa mg/l	CT mg/l
1.0	12/6/90	8.1	127.4	1.8	0.2	4.7	4.1	-	-	-	-	11.2	8.7	37.7
2.0	14/6/90	7.8	109.2	2.2	0.1	0.5	104.3	-	-	-	-	6.7	4.4	45.7
3.0	15/6/90	7.8	88.4	1.3	0.2	0.4	5.1	1.2	1.0	5.0	5.0	9.1	6.7	45.7
4.0	16/6/90	7.6	98.0	1.2	0.1	1.6	5.1	-	2.0	2.0	4.0	13.6	11.1	29.7
5.0	19/6/90	7.6	98.8	1.4	0.2	5.3	4.2	4.7	4.0	8.0	12.0	13.4	4.5	45.7
6.0	20/6/90	7.4	98.2	1.8	0.3	2.3	4.5	9.7	2.0	6.0	15.0	19.4	2.5	45.7
7.0	21/6/90	7.5	91.0	1.8	0.3	5.1	6.8	6.8	6.0	6.0	12.0	1.0	1.0	28.7
8.0	22/6/90	7.8	88.4	1.9	0.2	6.6	4.8	7.0	1.0	3.0	4.0	9.0	4.9	36.7
9.0	25/6/90	7.5	111.8	2.4	0.0	0.3	12.2	12.2	5.0	25.0	20.0	14.1	2.7	38.7
10.0	26/6/90	7.5	105.4	2.2	0.4	2.4	4.5	17.8	3.0	29.0	3.0	7.0	1.0	34.7
11.0	27/6/90	7.7	132.6	11.0	0.0	0.1	18.5	21.0	8.0	4.0	12.0	2.3	1.0	28.0
12.0	28/6/90	7.7	124.0	19.0	0.0	0.2	25.0	25.0	6.0	3.0	9.0	1.0	1.0	26.7
13.0	29/6/90	7.7	111.3	4.0	0.2	0.5	12.6	12.6	2.0	15.0	17.0	8.5	0.9	36.7
14.0	2/7/90	7.6	117.0	2.1	0.1	10.5	10.5	9.0	1.0	4.0	10.9	2.4	2.4	44.7
15.0	3/7/90	7.5	104.0	2.2	0.1	1.5	3.3	4.4	11.0	2.0	13.0	14.9	10.3	54.7
16.0	4/7/90	-	-	1.8	0.0	0.2	7.9	-	-	-	-	14.3	2.0	54.7
17.0	3/7/90	7.4	98.8	-	0.2	1.7	4.4	7.1	8.0	3.0	11.0	21.3	0.9	47.6
18.0	12/7/90	7.6	189.0	4.2	0.1	0.3	12.7	12.7	9.0	3.0	11.0	17.3	11.2	59.7
19.0	13/7/90	7.6	152.0	2.0	0.2	0.8	5.8	5.8	5.0	2.0	7.0	9.2	5.1	41.5
20.0	16/7/90	7.5	140.0	1.4	0.1	1.5	4.2	6.3	15.0	7.0	22.0	3.3	0.7	37.4
21.0	17/7/90	7.7	140.0	1.1	0.1	3.4	2.2	9.2	2.0	1.0	3.0	19.5	13.4	37.4
22.0	18/7/90	7.6	124.0	2.2	0.2	4.0	1.4	6.5	7.0	3.0	10.0	25.6	5.7	59.7
23.0	19/7/90	7.6	136.0	1.1	0.1	3.0	0.0	8.5	1.0	4.0	5.0	11.4	9.4	53.6
24.0	20/7/90	7.5	136.0	2.6	0.1	3.2	5.2	6.1	-	-	-	27.6	21.5	63.6
25.0	23/7/90	-	-	1.8	0.1	0.4	7.1	-	-	-	-	22.7	2.0	57.1
26.0	24/7/90	7.6	136.0	6.9	0.1	3.7	5.5	11.3	7.0	7.0	14.0	51.0	16.7	63.4
27.0	25/7/90	7.5	129.0	1.8	0.2	2.9	7.2	7.2	6.0	13.0	19.0	18.7	14.6	49.0
28.0	26/7/90	7.6	128.0	-	0.1	2.3	4.7	4.7	2.0	3.0	5.0	16.6	10.4	51.0
29.0	27/7/90	-	-	-	0.1	3.5	5.6	-	-	-	-	14.5	12.4	57.1
30.0	30/7/90	7.5	112.0	4.0	0.2	4.2	3.4	17.6	4.0	3.0	7.0	19.5	17.2	40.5
31.0	31/7/90	6.8	108.0	20.0	0.1	0.8	9.3	9.2	28.0	4.0	32.0	145.0	123.0	174.0
32.0	1/8/90	7.0	124.0	42.0	0.0	0.4	5.1	5.4	15.0	2.0	17.0	47.3	20.2	72.8
33.0	2/8/90	7.0	148.0	22.0	0.0	0.3	5.6	5.6	14.0	1.0	15.0	32.7	30.6	72.5
34.0	3/8/90	7.0	160.0	2.1	0.0	0.4	7.8	7.9	14.0	1.0	16.0	31.9	26.2	94.5
35.0	7/8/90	6.5	100.0	25.0	0.1	0.3	7.4	7.3	45.0	3.0	48.0	164.0	164.0	193.5

ETAPA 5 EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NH3 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NTN mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COTa mg/l	CT mg/l
1.0	2/8/90	6.7	118.0	16.0	0.1	1.1	4.0	4.0	31.0	8.0	39.0	57.7	55.7	94.8
2.0	3/8/90	6.8	152.0	20.0	0.0	1.6	5.0	5.0	26.0	4.0	30.0	43.6	41.6	84.8
3.0	14/8/90	6.9	142.0	23.0	0.0	0.8	3.8	3.7	23.0	4.0	27.0	39.5	36.5	96.8
4.0	14/8/90	7.3	120.0	2.4	0.4	4.3	3.0	3.0	9.0	1.0	10.0	17.5	11.4	20.5
5.0	14/8/90	7.4	112.0	5.0	0.3	1.4	0.6	4.6	9.0	10.0	19.0	39.6	13.4	72.7
6.0	15/8/90	7.2	124.0	20.0	0.1	1.1	9.1	-	-	-	19.0	18.0	18.0	56.0
7.0	15/8/90	7.4	120.0	4.8	0.4	4.0	10.5	10.5	7.0	5.0	12.0	13.4	11.4	52.5
8.0	17/8/90	7.4	112.0	1.4	0.2	4.1	4.7	6.4	4.0	3.0	7.0	11.4	7.3	50.5
9.0	20/8/90	7.2	124.0	3.5	0.4	2.0	7.4	17.6	18.0	4.0	22.0	5.3	5.0	52.6
10.0	21/8/90	7.2	128.0	5.9	0.7	3.3	13.5	13.5	9.0	4.0	13.0	7.3	7.3	40.3
11.0	22/8/90	7.4	142.0	4.2	0.3	3.7	5.3	14.1	5.0	4.0	9.0	7.3	7.3	48.5
12.0	23/8/90	7.4	116.0	5.5	0.6	3.8	9.7	16.1	15.0	7.0	22.0	13.4	13.4	54.6
13.0	24/8/90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38.2
14.0	27/8/90	7.6	112.0	1.4	0.3	3.1	5.2	17.1	9.0	1.0	9.0	13.3	11.2	38.2
15.0	28/8/90	7.3	108.0	2.0	0.3	3.5	5.2	15.5	5.0	6.0	11.0	17.5	15.0	36.2
16.0	28/8/90	7.4	92.0	16.0	0.3	4.7	6.3	16.3	12.0	2.0	14.0	11.3	5.2	36.2
17.0	30/8/90	7.5	84.0	1.4	0.1	3.5	7.4	11.1	1.0	2.0	3.0	11.3	9.2	48.2
18.0	31/8/90	7.4	180.0	1.2	0.2	3.7	4.3	7.4	2.0	4.0	6.0	9.1	4.0	30.3
19.0	3/9/90	7.4	184.0	5.0	0.4	2.7	11.0	14.3	1.0	6.0	8.0	4.5	0.4	36.3
20.0	4/9/90	7.2	212.0	3.0	0.3	1.9	9.5	13.8	10.0	2.0	12.0	4.4	0.4	36.3
21.0	5/9/90	7.4	176.0	1.4	0.1	2.0	4.5	6.4	1.0	3.0	4.0	2.4	2.4	36.2
22.0	6/9/90	-	-	4.3	0.5	1.3	12.0	-	-	-	-	8.6	2.5	48.3

REACTOR DECONTAMINATION  
Status experimental.

ETAPA 6		EFLUENTE												
No	FECHA	pH	ALCALIN. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ NTU	N-NH <sub>2</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NTK mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT <sub>2</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	7/3/90	7.3	220.0	2.2	0.4	0.8	3.8	12.0	6.0	4.0	10.0	4.6	4.6	50.4
2.0	11/9/90	7.4	204.0	2.0	0.2	3.6	7.7	13.9	9.0	4.0	13.0	6.4	6.4	36.2
3.0	12/9/90	7.2	32.0	1.6	0.2	1.5	3.0	10.7	16.0	2.0	18.0	8.4	8.4	36.2
4.0	13/9/90	7.5	36.0	0.9	0.1	1.6	4.1	16.5	6.0	3.0	9.0	8.4	8.4	35.0
5.0	14/9/90	7.3	36.0	-	0.3	0.3	7.6	12.3	44.0	-	-	8.5	6.5	44.3
6.0	17/9/90	7.3	36.0	1.2	0.2	1.2	6.1	10.6	16.0	9.0	25.0	8.4	8.4	34.2
7.0	18/9/90	7.4	40.0	2.0	0.2	0.9	9.5	-	7.0	4.0	11.0	10.5	8.5	42.3
8.0	19/9/90	7.4	32.0	2.0	0.2	1.4	3.2	-	10.0	3.0	13.0	12.4	8.5	46.3
9.0	20/9/90	7.8	140.0	1.5	0.1	1.5	4.9	-	10.0	3.0	13.0	33.8	27.8	42.3
10.0	21/9/90	7.4	134.0	1.5	0.2	1.0	6.1	-	-	-	-	4.5	0.5	44.3
11.0	25/9/90	7.7	134.0	1.4	0.4	2.9	4.4	-	8.0	3.0	11.0	6.3	6.3	32.2
12.0	27/9/90	7.8	140.0	1.6	0.3	0.9	6.5	-	10.0	18.0	18.0	18.5	2.4	32.2
13.0	28/9/90	7.2	144.0	2.0	0.4	1.0	4.2	11.3	5.0	5.0	10.0	10.6	4.5	50.4
14.0	1/10/90	8.3	134.0	2.0	0.2	3.1	16.4	-	-	-	-	16.2	12.3	26.1
15.0	2/10/90	7.7	152.0	2.2	0.1	4.6	5.2	11.3	6.0	3.0	9.0	12.4	0.5	40.3
16.0	3/10/90	7.6	140.0	1.2	0.2	8.1	4.1	10.2	22.0	13.0	35.0	10.3	2.2	24.1
17.0	4/10/90	7.5	144.0	2.4	0.3	7.9	9.1	-	2.0	3.0	5.0	10.3	8.4	32.2
18.0	5/10/90	7.4	156.0	1.7	0.3	6.1	7.8	14.5	7.0	3.0	10.0	2.5	0.5	44.3
19.0	6/10/90	7.5	152.0	2.0	0.2	3.1	4.5	17.7	4.0	1.0	5.0	20.2	4.2	39.4

ETAPA 7		EFLUENTE												
No	FECHA	pH	ALCALIN. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ NTU	N-NH <sub>2</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NTK mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT <sub>2</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	9/10/90	7.6	148.0	2.0	0.1	5.5	3.9	12.5	6.0	3.0	9.0	6.1	6.1	36.4
2.0	10/10/90	7.7	152.0	2.0	0.1	5.8	4.8	13.9	15.0	10.0	25.0	12.1	10.1	35.4
3.0	11/10/90	7.6	160.0	1.6	0.2	6.9	6.0	9.1	13.0	10.0	23.0	4.2	2.1	37.4
4.0	12/10/90	7.5	156.0	2.0	0.2	6.7	4.0	6.3	10.0	2.0	12.0	6.2	6.2	43.4
5.0	15/10/90	7.6	160.0	2.0	0.1	3.5	4.5	-	9.0	2.0	11.0	3.5	3.3	35.4
6.0	16/10/90	7.9	-	2.2	0.1	4.4	4.5	9.8	8.0	6.0	14.0	10.6	2.2	36.0
7.0	18/10/90	7.5	-	2.4	0.1	4.4	3.8	11.2	29.0	12.0	41.0	14.2	1.7	48.3
8.0	19/10/90	7.3	152.0	1.4	0.1	5.2	4.1	7.1	11.0	2.0	13.0	10.0	8.0	46.0
9.0	22/10/90	7.8	152.0	2.2	.0	4.0	4.1	4.0	10.0	3.0	13.0	25.0	18.6	43.2
10.0	23/10/90	7.4	128.0	2.0	0.1	4.3	10.1	10.0	1.0	4.0	5.0	43.0	18.1	50.0
11.0	24/10/90	7.7	140.0	2.4	0.1	4.7	16.5	25.9	6.0	4.0	10.0	18.6	12.1	41.8
12.0	25/10/90	7.8	132.0	1.6	.0	6.2	13.9	13.0	-	-	-	22.9	9.9	36.7
13.0	26/10/90	7.1	172.0	1.2	.0	6.2	2.9	-	3.0	1.0	4.0	20.7	5.6	51.8
14.0	29/10/90	7.7	140.0	3.0	0.0	5.8	2.5	3.7	6.0	13.0	19.0	10.3	10.3	43.9
15.0	30/10/90	7.6	152.0	2.0	0.1	3.7	3.4	4.9	1.0	4.0	9.0	8.4	8.4	41.9
16.0	31/10/90	7.6	136.0	1.6	0.1	4.7	3.1	5.0	0.0	9.0	9.0	14.4	10.3	47.9
17.0	1/11/90	7.4	148.0	1.8	.0	4.2	-	5.0	0.0	-	0.0	6.4	6.4	36.0
18.0	2/11/90	7.3	160.0	2.4	0.1	3.7	4.6	-	-	-	-	8.4	6.4	43.9
19.0	5/11/90	7.6	148.0	2.4	0.1	3.7	4.8	6.4	6.0	4.0	10.0	10.6	10.6	41.9
20.0	7/11/90	7.6	152.0	2.0	0.1	4.3	6.1	9.5	16.0	4.0	20.0	4.5	4.5	25.2
21.0	8/11/90	7.6	156.0	1.1	0.1	2.9	11.0	17.4	2.0	1.0	3.0	10.6	6.6	26.5
22.0	9/11/90	7.7	160.0	1.8	0.1	3.7	13.6	12.8	10.0	4.0	14.0	4.6	2.4	26.5

**A N E X O III**  
**RESULTADOS EXPERIMENTALES CON RELACION AL**  
**REACTOR NITRIFICADOR**

Estos experimentales

ESTAPA 1 INFLUENTE

No	FECHA	pH	MLC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mgN/l	N-NOS mgN/l	N-NH4 mgN/l	N-NTK mgN/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SSF mg/l	COT mg/l	COTe mg/l	CT mg/l
1.0	15/1/90	7.2	220	28	0.04	0.3	25.1	-	-	-	-	60.5	-	48.4
2.0	16/1/90	7.7	152	15	0.04	1.2	62.4	-	-	-	-	124.9	-	48.4
3.0	17/1/90	7.5	225	40	0.04	0.8	48.9	-	-	-	-	98.0	-	47.0
4.0	19/1/90	7.7	228	12	0.04	0.2	46.7	-	-	-	-	53.9	-	62.0
5.0	19/1/90	7.7	208	4.8	0.05	0.2	39.9	-	-	-	-	48.0	36.4	37.3
6.0	22/1/90	7.4	225	24	0.03	1.2	7.5	-	15.3	30	2	92.3	39.7	43.4
7.0	23/1/90	7.8	212	5.5	0.01	0.3	34.7	-	40.4	24	4	32	71.0	48.3
8.0	24/1/90	7.6	200	26	0.02	0.9	4.5	-	10.6	32	6	39	54.0	33.7
9.0	25/1/90	7.5	212	5	0.03	1.0	30.7	-	32.4	14	4	80.4	54.4	36.2
10.0	26/1/90	8.2	216	4.6	0.03	0.2	38.1	-	46.7	10	6	18	61.0	49.0
11.0	29/1/90	7.3	272	32	0.05	0.7	50.0	-	55.0	-	-	-	70.0	81.0
12.0	30/1/90	7.0	218	30	0.5	0.8	42.6	-	50.2	40	10	50	81.4	15.7
13.0	31/1/90	8.2	193	18	0.3	2.3	40.2	-	50.2	25	18	145.6	30.3	47.4
14.0	1/2/90	7.6	193	18	0.00	0.4	24.9	-	25.1	20	12	32	54.2	50.2
15.0	2/2/90	7.5	160	10	0.4	0.6	41.2	-	50.2	32	6	38	58.4	41.5
16.0	6/2/90	7.5	204	20	0.03	0.4	19.1	-	23.6	16	12	28	94.2	23.5
17.0	7/2/90	7.3	192	40	0.2	0.4	12.9	-	20.5	8	20	105.6	27.3	62.9
18.0	8/2/90	7.7	204	7	0.5	0.9	00.0	-	13.4	20	24	48.5	75.4	62.9
19.0	9/2/90	7.7	204	2	0.2	3.1	13.4	-	20.3	26	12	38	58.1	43.2
20.0	12/2/90	7.4	200	30	0.1	0.6	10.2	-	17.8	20	2	18	11.2	8.7
21.0	13/2/90	7.5	204	24	0.2	1.1	36.4	-	48	36	84	60.2	-	74.8
22.0	14/2/90	7.4	208	26	0.1	0.6	34.9	-	45.7	18	3	19	5.4	3.2
23.0	15/2/90	7.7	204	25	0.2	0.6	37.4	-	44.9	22	4	18	4.5	52.8
24.0	16/2/90	7.2	188	10	-	-	-	-	-	8	3	3	9.8	59.5
25.0	19/2/90	7.6	188	22	0.06	0.7	16.0	-	23.9	12	2	14	82.7	35.7
26.0	20/2/90	7.6	212	12	0.02	0.8	13.3	-	16.9	10	0	10	105.0	87.7
27.0	21/2/90	7.0	160	10	0.06	1.1	38.9	-	45.3	12	0	12	85.0	41.7
28.0	22/2/90	8.0	208	9.2	0.1	0.9	12.8	-	21.3	11	0	11	113.0	89.0
29.0	23/2/90	7.8	228	24	0.01	0.2	50.0	-	60.0	11	4	15	45.7	29.7

EFLUENTE

No	FECHA	pH	MLC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mgN/l	N-NOS mgN/l	N-NH4 mgN/l	N-NTK mgN/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SSF mg/l	COT mg/l	COTe mg/l	CT mg/l
1.0	15/1/90	7.7	142	5	0.7	31.8	2.0	-	-	-	-	15.4	-	37.9
2.0	16/1/90	7.9	210	6	0.1	15.9	0.0	-	-	-	-	2.0	-	33.4
3.0	17/1/90	7.9	142	26	0.1	16.8	3.7	-	-	-	-	30.0	-	44.3
4.0	19/1/90	7.9	132	6	0.0	17.4	3.3	-	-	-	-	3.6	-	41.7
5.0	19/1/90	7.9	120	0.6	0.0	20.3	0.0	-	-	-	-	3.6	14.0	22.8
6.0	22/1/90	7.5	148	3	0.2	24.2	2.2	4.1	14	12	26	17.1	17.9	37.9
7.0	23/1/90	7.8	130	3	0.04	20.1	0.0	14.1	20	2	22	21.3	15.9	25.7
8.0	24/1/90	7.9	130	7	0.03	25.9	0.0	3.5	24	6	30	22.0	15.7	25.7
9.0	25/1/90	8.0	124	9	0.04	39.7	2.9	5.9	22	10	32	21.2	18.4	24.2
10.0	26/1/90	8.2	120	0	0.0	34.2	3.4	6.9	24	14	38	14.5	10.5	26.2
11.0	29/1/90	7.5	128	7	0.4	19.4	0.0	-	17.1	-	-	17.1	-	37.3
12.0	30/1/90	7.7	124	4	0.04	32.8	2.8	10.7	20	12	32	6.5	4.4	35.1
13.0	31/1/90	7.9	296	3.4	0.4	23.3	17.3	23.2	44	20	56	5.7	5.7	34.2
14.0	1/2/90	7.8	116	18	0.0	26.9	0.0	-	26	20	46	10.7	10.5	32.9
15.0	2/2/90	7.3	120	0.5	0.4	27.6	7.1	10.7	18	6	37.4	3.4	3.4	37.3
16.0	6/2/90	7.6	132	5.5	0.01	21.2	3.2	7.4	2	22	20	7.0	1.9	44.3
17.0	7/2/90	7.2	164	2.4	0.1	16.3	22.4	26.9	18	6	24	11.4	8.1	47.7
18.0	8/2/90	7.7	148	-	0.2	23.7	0.0	9.2	48	14	62	25.5	13.6	54.2
19.0	9/2/90	8.0	100	8	0.0	30.0	0.0	-	14.2	12	22	7.4	7.7	47.7
20.0	12/2/90	7.9	128	10	0.01	34.0	0.0	-	22	0	22	2.0	2.0	34.2
21.0	13/2/90	7.7	136	4.2	0.2	24.1	17.7	23.8	20	30	50	-	1.0	34.2
22.0	14/2/90	7.6	120	3	0.2	32.0	10.2	17.1	10	10	21	1.0	0.9	35.9
23.0	16/2/90	7.7	116	5.8	0.02	37.3	0.0	10.8	14	10	24	8.5	2.2	27.4
24.0	16/2/90	7.4	116	2	-	-	-	-	8	6	14	9.9	6.5	30.8
25.0	19/2/90	8.0	112	44.2	0.0	31.2	4.9	8.4	9.3	4.7	14	7.7	3.8	35.8
26.0	20/2/90	7.7	116	4.8	0.03	36.2	7.9	7.9	13.3	4.6	18	9.7	7.7	33.8
27.0	21/2/90	7.9	116	4	0.0	33.9	3.0	10.9	9.3	0	13.7	7.7	7.7	33.8
28.0	22/2/90	8.0	116	2.4	0.04	31.8	0.0	7.9	6.6	0	6.6	2.0	2.0	31.8
29.0	23/2/90	7.7	116	2	0.1	31.8	0.0	10.9	6	5	11	7.7	5.8	37.8

**REACTOR NITRIFICATION**  
**Batch experimental**

**STAGE 2**      **INFLUENT**

No	FECHA	pH	SLC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTR	N-NH2 mg/l	N-NO3 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NITR mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SSF mg/l	COT mg/l	COTa mg/l	CT mg/l
1.0	26/2/90	7.5	196	9.6	0.2	0.6	17.7	23.9	16	4	20	65.3	37.5	64.9
2.0	27/2/90	7.7	220	14.0	0.01	0.2	37.9	44.9	10	0	10	65.5	38.1	69.9
3.0	28/2/90	7.9	204	10	0.01	0.6	68.8	71.0	11.3	0.7	12	65.5	45.8	64.9
4.0	1/3/90	7.9	204	14	0.2	0.6	53.7	60.3	22.6	4	24.6	616.5	59.5	64.5
5.0	2/3/90	7.8	220	10	0.08	0.2	7	58.9	14	2	16	124.1	81.0	84.5
6.0	5/3/90	7.5	216	23	0.05	0.2	25.4	33.9	18	0	18	105.5	50.8	80.6
7.0	6/3/90	7.9	200	16	0.3	1.7	28.9	33.2	16.7	1.3	18	79.6	57.2	76.5
8.0	7/3/90	7.7	208	20	0.4	1.4	30.4	37.3	20.6	1.3	22	89.0	53.0	80.7
9.0	8/3/90	7.8	220	22	0.3	1.4	14.2	21.3	22.6	11.3	11.3	59.4	43.4	70.4
10.0	9/3/90	7.7	192	34	0.3	1.6	4.5	10.5	24.6	12	12.7	69.0	46.7	74.5
11.0	12/3/90	7.5	196	32	0.01	0.2	0.2	7.9	14.7	2.7	17.3	37.4	53.8	68.7
12.0	13/3/90	7.8	208	30	0.2	0.3	27.1	34.1	22	0.7	26.2	76.0	74.0	80.1
13.0	14/3/90	7.8	200	28	0.4	0.6	23.1	25.0	20	4.7	24.7	177.5	143.0	82.0
14.0	15/3/90	7.8	200	50	0.7	0.1	23.5	31.4	22.6	5.3	28	100.7	76.0	95.0
15.0	16/3/90	7.8	216	26	0.3	0.2	0.3	5.4	22	3.3	25.3	30.2	50.2	91.6
16.0	19/3/90	7.6	216	25	0.02	0.4	26.6	31.8	53	6	59	124.2	79.7	82.4
17.0	20/3/90	7.8	220	32	0.1	0.3	28.3	31.2	32	4.7	35.7	108.1	85.0	108.0
18.0	22/3/90	7.7	208	26	0.6	0.3	32.2	48.9	38	2	37	126.3	83.8	118.7
19.0	24/3/90	-	-	28	-	-	19.5	-	13	0	13	59.0	47.1	68.3
20.0	29/3/90	7.6	224	20	-	-	35.4	-	17	4	21	54.9	26.7	86.5
21.0	2/4/90	-	-	18	-	-	22.2	-	20	1	21	54.8	27.7	52.3
22.0	3/4/90	7.6	204	25	-	-	25.0	-	12	0	12	46.8	30.0	45.1
23.0	4/4/90	7.4	200	-	-	-	25.6	-	12	-	-	36.9	34.6	20.0
24.0	9/4/90	7.5	129	9	0.2	1.0	17.9	20.0	13	12	25	84.6	46.6	30.0

**EFLUENTE**

No	FECHA	pH	SLC. mgCaCO3/l	TURBIDEZ UTR	N-NH2 mg/l	N-NO3 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NITR mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SSF mg/l	COT mg/l	COTa mg/l	CT mg/l
1.0	26/2/90	8.0	144	2.0	0.1	16.2	4.5	10.8	38	16	54	10.5	0.8	51.1
2.0	27/2/90	7.7	152	4.2	0.3	13.6	7.2	14.3	6	1.3	7.3	0.8	0.0	37.4
3.0	28/2/90	8.1	140	4.6	0.3	17.2	10.9	14.9	4.7	0	4.2	3.0	4.2	39.4
4.0	2/3/90	7.8	168	2.6	0.3	16.2	45.3	52.3	7.3	2.7	10	8.6	8.6	49.3
5.0	2/3/90	8.0	208	2.6	0.3	3.6	51.9	59.3	5.3	1.3	6.6	4.6	4.6	49.0
6.0	5/3/90	7.7	140	2.4	0.3	15.6	4.9	12.3	3.3	11.3	14.6	8.3	6.1	43.7
7.0	6/3/90	7.9	140	2.6	0.4	18.2	15.3	16.3	0.7	0.7	1.3	6.1	6.1	43.7
8.0	6/3/90	7.9	172	7.2	0.4	14.2	21.6	23.9	7.3	0	7.3	16.8	14.3	49.3
9.0	6/3/90	7.9	172	1.8	0.5	12.7	19.6	23.1	17.3	6.7	10.7	12.3	4.2	47.8
10.0	9/3/90	7.8	136	3.0	0.2	20.1	0.5	8.3	11	8	3	12.3	6.1	47.8
11.0	12/3/90	7.9	124	2.4	0.2	16.9	0.9	4.8	5.3	0	5.3	17.0	17.0	60.0
12.0	13/3/90	7.7	116	2.5	0.7	34.4	0.8	10.8	10	0.6	10.6	25.6	19.2	38.1
13.0	14/3/90	7.9	160	3.8	0.6	20.1	20.5	21.3	7.3	3.3	10.7	30.8	28.1	47.6
14.0	15/3/90	7.5	120	3.0	0.8	30.7	3.2	5.8	8	0.87	8.6	27.4	17.3	40.0
15.0	16/3/90	7.5	112	4.2	0.8	28.8	0.0	3.9	8.7	1.3	12	14.7	10.7	41.8
16.0	19/3/90	7.8	124	3.0	0.1	25.1	1.5	8.9	17	1	18	19.2	7.2	34.0
17.0	20/3/90	7.8	124	3.0	0.6	28.0	9.9	12.9	12	0.7	12.7	17.2	15.2	42.1
18.0	22/3/90	7.6	132	2.2	0.2	21.0	3.5	10.7	3	0	3	13.2	13.2	36.0
19.0	26/3/90	-	-	0.9	-	-	1.1	-	2	0	2	10.0	10.0	38.0
20.0	29/3/90	7.6	112	1.6	-	-	4.1	-	0	0	3	11.2	9.3	48.1
21.0	2/4/90	-	-	1.5	-	-	0.5	-	0	0	0	8.9	2.8	30.1
22.0	3/4/90	7.6	14	1.2	-	-	17.8	-	7	0	7	8.7	4.7	21.0
23.0	4/4/90	7.4	120	-	-	-	2.0	-	-	-	-	-	-	20.0
24.0	9/4/90	7.5	77	2	0.01	33.0	0.7	5.3	5	5	10	10.2	5.0	20.0

REACTOR NEUTRIFICADOR  
Datos experimentales

ETAPA 3 INFLUYENTE

No	FECHA	pH	RLC. mgCCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NH3 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NHx mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COTs mg/l	CT mg/l
1.0	10/4/90	7.5	136.0	18.0	0.0	0.5	16.5	17.3	10.0	0.0	10.0	22.0	17.1	54.2
2.0	11/4/90	7.4	139.0	25.0	0.0	1.8	17.7	19.3	9.0	0.0	9.0	24.0	24.0	73.1
3.0	12/4/90	7.8	128.0	16.0	0.0	0.4	14.2	20.3	13.0	10.0	23.0	73.3	23.8	102.0
4.0	13/4/90	7.6	136.0	136.0	0.0	0.3	1.8	2.8	10.0	4.0	14.0	7.0	0.3	56.3
5.0	16/4/90	7.1	125.0	25.0	0.0	0.9	17.8	18.3	9.0	3.0	12.0	8.6	7.6	49.1
6.0	17/4/90	7.7	134.0	20.0	0.0	0.8	14.6	-	4.0	0.0	4.0	0.1	0.1	47.1
7.0	18/4/90	7.4	142.0	18.0	0.0	0.9	26.5	31.3	12.0	0.0	12.0	9.8	8.1	65.1
8.0	19/4/90	7.4	129.0	8.0	0.1	1.2	7.9	8.9	0.0	0.0	8.0	34.6	6.8	75.1
9.0	23/4/90	7.7	87.0	5.2	0.1	3.0	6.5	7.2	14.0	12.0	26.0	7.4	5.3	45.0
10.0	24/4/90	7.4	134.0	5.2	0.2	4.0	10.0	14.3	14.0	6.0	20.0	25.9	21.8	57.1
11.0	25/4/90	7.2	98.0	6.0	8.1	4.3	10.5	11.9	0.0	7.0	7.0	42.2	32.6	55.1
12.0	26/4/90	7.7	131.0	4.2	0.1	2.0	10.6	11.6	3.0	5.0	8.0	93.0	54.2	117.7
13.0	27/4/90	7.5	120.0	4.0	0.2	3.1	10.2	14.3	4.0	4.0	8.0	45.8	17.2	57.1
14.0	30/4/90	-	-	7.5	0.1	3.8	17.4	19.4	5.0	10.0	15.0	54.2	10.6	65.4
15.0	31/5/90	8.0	117.0	8.0	0.1	1.0	12.9	13.3	10.0	0.0	10.0	15.4	15.4	38.8
16.0	2/5/90	-	-	11.0	0.1	2.1	7.4	9.3	7.0	0.0	7.0	16.1	15.6	47.0
17.0	3/5/90	7.9	131.0	6.9	-	-	-	-	2.0	0.0	2.0	10.0	9.0	65.2
18.0	7/5/90	7.2	98.0	4.4	0.0	2.3	5.0	5.4	8.0	0.0	8.0	40.5	13.6	51.0
19.0	8/5/90	7.7	117.0	6.5	0.2	3.3	4.2	-	11.0	0.0	11.0	13.3	11.6	55.1
20.0	9/5/90	-	-	7.4	0.1	2.7	13.7	13.7	-	-	-	2.1	1.7	31.2

EFLUYENTE

No	FECHA	pH	RLC. mgCCO3/l	TURBIDEZ UTN	N-NH2 mg/l	N-NH3 mg/l	N-NH4 mg/l	N-NHx mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COTs mg/l	CT mg/l
1.0	10/4/90	7.7	95.7	2.5	0	19.0	1.9	2.9	20.0	2.0	22.0	14.2	5.0	45.8
2.0	11/4/90	7.8	95.1	1.5	0.1	26.6	1.9	10.3	16.0	16.0	32.0	45.5	12.3	73.1
3.0	12/4/90	7.6	95.7	1.8	0.1	16.9	2.2	7.9	12.0	18.0	30.0	37.4	3.3	60.5
4.0	13/4/90	7.7	104.0	1.4	0.1	7.1	1.8	3.9	18.0	5.0	24.0	2.7	2.7	43.7
5.0	16/4/90	7.7	98.5	2.3	0.1	19.5	2.2	5.3	20.0	0.0	33.0	5.0	5.0	19.0
6.0	17/4/90	8.0	101.2	2.0	0.1	17.1	13.4	-	4.0	5.0	9.0	5.4	0.6	41.1
7.0	18/4/90	7.7	109.0	1.4	0.1	16.7	2.5	5.4	17.0	6.0	23.0	12.6	11.0	53.1
8.0	19/4/90	7.8	120.4	1.8	0.1	11.9	0.2	0.4	10.0	2.0	12.0	20.9	18.9	57.1
9.0	23/4/90	7.5	101.2	3.8	0.1	15.2	3.1	5.3	11.0	16.0	27.0	10.8	5.3	40.9
10.0	24/4/90	7.5	105.3	1.5	0.4	19.4	0.4	0.3	2.0	10.0	12.0	30.9	19.8	51.0
11.0	25/4/90	7.6	95.8	1.2	0.3	17.8	1.5	3.8	0.0	6.0	6.0	40.6	29.0	63.2
12.0	26/4/90	7.7	147.7	1.4	0.3	17.5	0.0	3.8	1.0	8.0	9.0	57.0	32.0	77.3
13.0	27/4/90	7.6	115.0	1.8	0.3	19.2	4.5	5.3	6.0	2.0	8.0	42.1	26.0	45.0
14.0	30/4/90	-	-	2.2	0.1	12.7	2.5	5.3	7.0	3.0	10.0	15.9	10.7	45.0
15.0	1/5/90	8.1	142.3	2.0	0.2	30.1	0.9	5.1	6.0	0.0	6.0	11.0	10.2	34.9
16.0	2/5/90	-	-	8.0	0.1	17.2	0.0	5.9	18.0	6.0	24.0	20.3	13.8	45.0
17.0	3/5/90	7.6	125.9	1.2	-	-	-	-	21.0	6.0	27.0	10.8	5.3	40.9
18.0	7/5/90	7.8	106.0	1.4	0.1	10.5	0.7	5.3	4.0	0.0	4.0	20.3	15.0	45.0
19.0	8/5/90	7.7	112.2	2.0	0.2	16.3	2.6	-	7.0	0.0	7.0	10.4	5.9	34.9
20.0	9/5/90	-	-	4.0	0.2	18.2	1.3	5.1	-	-	-	8.8	2.9	51.0



REACTOR METRIFICADOR  
Datos experimentales

ETAPA 4

EFLUENTE

No	FECHA	pH	MLC. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ UTN	N-NH <sub>2</sub> mg/l	N-NOS mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT <sub>2</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	13/6/90	8.1	127.4	1.8	0.2	4.7	4.1	-	-	-	-	11.2	11.0	37.7
2.0	14/6/90	7.8	109.2	2.2	0.1	0.5	104.3	-	-	-	-	6.7	4.4	45.7
3.0	15/6/90	7.8	88.4	1.3	0.2	0.4	5.1	1.2	1.0	5.0	5.0	9.1	6.4	45.7
4.0	18/6/90	7.8	98.8	1.2	0.2	0.2	1.1	-	2.0	2.0	4.0	13.4	11.1	26.7
5.0	15/6/90	7.6	98.8	1.4	0.2	5.9	4.2	4.7	4.0	8.0	12.0	13.4	4.6	45.7
6.0	20/6/90	7.4	96.2	1.8	0.3	2.9	4.9	0.7	9.0	6.0	15.0	19.4	2.5	45.7
7.0	21/6/90	7.5	91.0	1.8	0.3	5.1	6.8	6.8	6.0	6.0	12.0	1.0	1.0	28.7
8.0	22/6/90	7.5	98.4	1.8	0.3	7.0	7.8	7.0	9.0	9.0	9.0	1.0	1.0	45.7
9.0	25/6/90	7.5	111.8	2.4	0.3	5.3	12.2	12.2	5.0	15.0	20.0	14.1	2.7	38.7
10.0	26/6/90	7.5	101.4	2.2	0.4	2.4	4.5	17.0	4.0	29.0	33.0	7.0	1.0	34.7
11.0	27/6/90	7.7	132.6	11.0	0.0	0.1	18.5	21.0	6.0	4.0	12.0	2.3	1.0	28.0
12.0	28/6/90	7.7	124.8	18.0	0.0	0.2	25.0	25.0	9.0	2.0	3.0	1.0	1.0	26.7
13.0	29/6/90	7.7	111.9	4.0	0.2	0.2	12.6	12.6	3.0	15.0	17.0	5.5	0.9	36.7
14.0	27/7/90	7.6	117.0	2.1	0.0	0.1	10.5	10.5	3.0	1.0	4.0	10.9	2.4	44.7
15.0	3/7/90	7.5	104.0	2.5	0.1	1.5	3.3	4.4	11.0	2.0	13.0	14.9	10.3	56.7
16.0	4/7/90	-	-	1.9	0.2	0.2	7.9	-	-	-	-	14.3	2.0	54.7
17.0	5/7/90	7.4	98.8	1.7	0.4	4.4	4.4	7.1	8.0	3.0	11.0	17.9	0.9	47.6
18.0	11/7/90	7.6	188.0	4.2	0.1	0.3	12.7	12.7	6.0	3.0	11.0	17.9	11.2	59.7
19.0	12/7/90	7.6	152.0	2.0	0.2	0.8	5.8	5.8	5.0	2.0	7.0	3.2	5.1	41.5
20.0	16/7/90	7.5	140.0	1.4	0.1	1.5	4.2	6.3	15.0	7.0	22.0	3.3	0.7	37.4
21.0	17/7/90	7.7	140.0	1.1	0.1	3.4	2.2	3.2	2.0	1.0	3.0	19.5	13.4	37.4
22.0	18/7/90	7.6	124.0	2.2	0.2	2.0	1.4	6.5	2.0	3.0	10.0	25.6	17.5	59.7
23.0	19/7/90	7.6	136.0	1.4	0.2	3.0	8.5	8.5	1.0	4.0	5.0	11.4	9.4	53.6
24.0	20/7/90	7.5	136.0	2.6	0.1	3.2	5.2	6.1	-	-	-	27.6	21.6	63.8
25.0	23/7/90	-	-	1.8	0.1	0.4	7.1	-	-	-	-	22.7	2.0	57.1
26.0	24/7/90	7.6	136.0	6.8	0.8	6.8	6.8	11.3	7.0	7.0	14.0	31.0	16.5	83.4
27.0	25/7/90	7.5	128.0	1.8	0.2	2.9	7.2	7.2	6.0	13.0	19.0	17.0	14.6	49.0
28.0	26/7/90	7.6	128.0	-	0.1	2.3	4.7	4.7	2.0	3.0	5.0	16.6	10.4	51.0
29.0	27/7/90	-	-	4.0	0.1	3.3	5.6	-	-	-	-	14.5	12.4	67.1
30.0	30/7/90	7.5	112.0	-	0.2	4.4	4.4	17.6	4.0	3.0	7.0	14.5	15.2	55.7
31.0	31/7/90	6.9	100.0	20.0	0.1	0.8	9.3	5.2	28.0	4.0	32.0	145.0	123.0	174.0
32.0	1/8/90	7.0	124.0	42.0	0.0	0.4	5.1	5.4	15.0	2.0	17.0	47.3	20.2	72.5
33.0	2/8/90	7.0	148.0	22.0	0.0	0.3	5.6	5.6	14.0	1.0	15.0	32.7	30.6	72.5
34.0	3/8/90	7.0	160.0	2.1	0.0	0.4	7.8	7.8	14.0	2.0	16.0	31.9	26.2	68.5
35.0	7/8/90	6.5	100.0	25.0	0.1	0.3	7.4	7.3	45.0	3.0	48.0	164.0	164.0	193.5

EFLUENTE

No	FECHA	pH	MLC. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ UTN	N-NH <sub>2</sub> mg/l	N-NOS mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT <sub>2</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	13/6/90	7.6	85.8	0.8	0.2	5.3	8.2	-	-	-	-	15.0	11.0	45.7
2.0	14/6/90	7.7	88.4	1.1	0.1	1.9	9.0	-	-	-	-	7.3	2.8	37.7
3.0	15/6/90	8.0	85.8	2.0	0.2	5.7	3.8	0.7	8.0	4.0	12.0	18.2	9.0	65.7
4.0	18/6/90	8.0	98.8	8.0	0.1	2.8	24.3	-	15.0	17.0	15.0	27.6	9.1	45.7
5.0	19/6/90	7.9	104.0	1.6	0.1	3.7	7.6	-	17.0	30.0	15.1	9.2	43.7	
6.0	20/6/90	7.9	91.0	2.0	0.3	3.1	4.0	8.5	9.0	5.0	14.0	15.1	9.2	43.7
7.0	21/6/90	7.6	88.6	2.8	0.3	7.4	5.1	5.9	10.0	4.0	14.0	3.2	1.2	26.7
8.0	22/6/90	7.8	78.0	2.0	0.2	5.4	3.3	9.2	3.0	3.0	7.0	19.1	2.0	45.7
9.0	25/6/90	7.8	91.0	1.7	0.2	9.7	4.0	14.6	9.0	17.0	5.0	5.0	0.0	32.7
10.0	26/6/90	7.6	85.8	5.0	0.5	9.4	4.1	49.2	11.0	34.0	45.0	5.2	2.9	28.7
11.0	27/6/90	7.7	96.2	1.1	0.3	2.8	3.0	7.2	3.0	8.0	11.0	3.0	2.6	18.7
12.0	28/6/90	7.9	88.6	1.2	0.3	15.4	4.1	7.6	5.0	9.0	13.5	2.3	2.9	28.7
13.0	29/6/90	7.8	88.6	1.2	0.3	10.8	6.2	6.5	12.0	19.0	19.0	6.3	17.2	37.9
14.0	27/7/90	7.8	87.0	1.9	0.0	12.2	4.5	12.1	3.0	2.0	5.0	6.9	5.0	38.7
15.0	3/7/90	7.8	96.2	1.5	0.2	4.0	2.5	4.4	13.0	3.0	16.0	10.6	8.7	48.7
16.0	4/7/90	7.5	-	1.1	0.0	4.4	4.4	-	-	-	-	19.0	10.5	46.7
17.0	9/7/90	7.5	88.4	-	0.1	3.4	5.1	7.4	6.0	3.0	9.0	11.9	2.4	28.7
18.0	11/7/90	8.1	152.0	1.5	0.1	7.1	5.5	8.7	17.0	9.0	25.0	9.1	1.0	39.5
19.0	12/7/90	7.7	144.0	0.9	0.5	1.8	6.6	7.6	6.0	3.0	9.0	7.1	3.1	43.5
20.0	16/7/90	7.9	140.0	1.4	0.1	1.5	4.2	6.3	15.0	7.0	22.0	9.4	5.3	35.4
21.0	17/7/90	7.9	152.0	1.2	0.0	4.9	4.3	8.6	10.0	5.0	12.0	39.8	17.2	45.7
22.0	18/7/90	7.8	124.0	0.8	0.1	5.6	0.7	7.4	57.0	23.0	60.0	43.9	11.4	80.0
23.0	19/7/90	7.8	120.0	0.8	0.1	5.7	4.4	4.4	6.0	2.0	8.0	11.4	11.4	49.6
24.0	20/7/90	7.7	124.0	0.8	0.1	6.6	4.5	4.8	-	-	-	17.5	15.5	53.6
25.0	23/7/90	-	-	2.0	0.0	6.2	3.5	-	-	-	-	10.6	10.6	47.0
26.0	24/7/90	7.5	120.0	2.5	0.0	6.2	4.9	13.6	30.0	14.0	44.0	16.7	16.7	37.9
27.0	25/7/90	7.8	120.0	1.5	0.0	5.7	7.8	7.8	8.0	2.0	7.0	18.7	12.6	47.0
28.0	26/7/90	7.8	124.0	-	0.1	5.1	4.6	5.2	5.0	4.0	9.0	16.6	16.6	49.0
29.0	27/7/90	-	-	-	0.1	6.4	3.4	-	-	-	-	20.7	4.4	51.0
30.0	30/7/90	7.7	112.0	0.8	0.0	3.9	3.6	13.0	8.0	10.0	18.0	13.1	11.0	45.5
31.0	31/7/90	7.4	100.0	0.8	0.1	3.7	3.2	3.9	32.0	7.0	39.0	133.3	105.5	154.0
32.0	1/8/90	7.0	160.0	3.4	0.0	1.2	5.9	5.9	11.0	5.0	16.0	28.8	10.8	64.2
33.0	2/8/90	7.9	148.0	0.9	0.0	0.3	4.2	4.2	27.0	4.0	31.0	16.7	10.3	68.5
34.0	3/8/90	7.0	152.0	15.0	0.1	1.5	4.5	4.5	8.0	12.0	20.0	12.1	8.5	68.5
35.0	7/8/90	7.0	108.0	15.0	0.0	1.0	8.0	18.3	58.0	8.0	66.0	142.0	129.3	171.4

REACTOR NITRIFICADOR  
Datos experimentales

ETAPA 5 INFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ UTN	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	N-NO <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SSF mg/l	COT mg/l	COTe mg/l	CT mg/l
1.0	8/8/90	6.7	115.0	16.0	0.1	1.1	4.0	4.0	31.0	8.0	39.0	57.7	55.7	94.8	
2.0	9/8/90	6.8	132.0	20.0	0.0	1.6	5.0	5.0	26.0	4.0	30.0	43.6	17.4	86.8	
3.0	10/8/90	6.3	144.0	23.0	0.0	0.8	3.8	3.7	23.0	4.0	27.0	39.5	39.5	50.5	
4.0	13/8/90	7.3	120.0	2.4	0.4	4.3	3.0	3.0	9.0	1.0	10.0	17.5	11.4	58.5	
5.0	14/8/90	7.4	112.0	5.0	0.3	1.4	0.6	4.6	3.0	10.0	19.0	38.5	13.4	72.7	
6.0	15/8/90	7.8	124.0	20.0	0.1	1.1	9.1	-	-	-	-	19.0	19.0	52.0	
7.0	16/8/90	7.4	120.0	4.8	0.4	4.0	10.5	10.5	7.0	5.0	12.0	13.4	13.4	52.5	
8.0	17/8/90	7.4	112.0	1.4	0.2	4.1	4.7	6.4	4.0	3.0	7.0	11.4	7.3	50.5	
9.0	20/8/90	7.2	124.0	3.5	0.4	2.0	7.4	17.6	18.0	4.0	22.0	5.3	5.0	52.5	
10.0	21/8/90	7.2	129.0	5.0	0.7	3.9	13.7	17.6	9.0	4.0	13.0	7.3	7.3	48.5	
11.0	22/8/90	7.4	116.0	4.5	0.3	3.7	5.3	14.1	5.0	4.0	9.0	7.3	7.3	48.5	
12.0	23/8/90	7.4	116.0	5.5	0.6	3.8	9.7	16.1	15.0	7.0	22.0	13.4	13.4	54.6	
13.0	24/8/90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38.2	
14.0	27/8/90	7.6	112.0	1.4	0.3	3.1	5.2	17.1	8.0	1.0	9.0	13.3	11.2	38.2	
15.0	28/8/90	7.3	109.0	2.5	0.3	2.5	7.3	13.5	5.0	6.0	11.0	17.5	15.0	38.2	
16.0	29/8/90	7.4	92.0	16.0	0.3	4.1	6.3	16.3	12.0	2.0	14.0	11.3	5.2	38.2	
17.0	30/8/90	7.5	84.0	1.4	0.1	3.5	7.4	11.1	1.0	2.0	3.0	11.3	9.2	40.2	
18.0	31/8/90	7.4	180.0	1.2	0.2	3.7	4.3	7.4	2.0	4.0	6.0	9.1	9.1	40.3	
19.0	3/9/90	7.4	184.0	5.0	0.4	2.7	11.0	14.3	8.0	1.0	9.0	4.5	0.4	38.3	
20.0	4/9/90	7.2	212.0	3.0	0.3	1.9	9.5	13.8	10.0	2.0	12.0	4.4	0.4	38.3	
21.0	5/9/90	7.4	176.0	1.4	0.1	2.0	4.4	6.4	1.0	3.0	4.0	2.4	2.4	38.2	
22.0	6/9/90	-	-	4.3	0.5	1.3	12.0	-	-	-	-	6.6	2.5	48.3	

EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ UTN	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NO <sub>2</sub> mg/l	N-NO <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SSF mg/l	COT mg/l	COTe mg/l	CT mg/l
1.0	8/8/90	7.1	129.0	11.0	0.1	3.0	4.2	4.2	25.0	4.0	29.0	57.7	53.0	96.8	
2.0	9/8/90	7.4	144.0	3.9	0.0	2.5	3.9	3.9	16.0	4.0	20.0	33.5	15.4	80.7	
3.0	10/8/90	7.5	140.0	3.5	0.1	2.4	1.9	1.9	20.0	2.0	22.0	19.4	17.7	74.7	
4.0	13/8/90	7.5	116.0	0.6	0.2	7.6	4.0	4.0	2.0	2.0	5.0	7.5	7.5	48.5	
5.0	14/8/90	7.7	132.0	1.5	0.2	4.5	0.2	4.6	15.0	8.0	23.0	11.5	9.4	40.5	
6.0	15/8/90	7.7	116.0	1.2	0.1	4.5	4.5	-	-	-	-	11.4	9.0	46.5	
7.0	16/8/90	7.6	104.0	4.1	0.2	5.8	4.4	4.4	3.0	1.0	4.0	9.4	5.3	38.4	
8.0	17/8/90	7.5	104.0	0.7	0.1	7.8	3.3	5.8	11.0	3.0	14.0	5.3	5.3	38.4	
9.0	20/8/90	7.7	116.0	1.0	0.1	5.8	10.3	14.7	6.0	6.0	12.0	2.7	2.5	48.5	
10.0	21/8/90	7.5	109.0	1.2	0.3	10.3	4.9	13.2	6.0	4.0	10.0	7.4	1.3	38.5	
11.0	22/8/90	7.8	106.0	1.3	0.1	7.1	3.8	13.0	11.0	6.0	17.0	7.4	1.3	38.4	
12.0	23/8/90	7.6	100.0	1.3	0.0	9.0	5.3	14.0	5.0	3.0	9.0	9.4	9.4	42.5	
13.0	24/8/90	7.9	100.0	0.9	0.3	-	3.2	13.8	12.0	6.0	18.0	5.3	3.9	38.5	
14.0	27/8/90	7.7	96.0	1.0	0.0	5.4	7.3	16.0	7.0	1.0	8.0	17.4	7.4	38.2	
15.0	28/8/90	7.6	96.0	1.1	0.1	5.5	5.3	13.3	7.0	1.0	8.0	17.4	7.3	38.2	
16.0	29/8/90	7.7	88.0	0.9	0.0	4.7	5.3	15.3	9.0	2.0	9.0	5.3	3.3	38.2	
17.0	30/8/90	7.5	88.0	0.8	0.0	6.2	10.7	18.3	1.0	5.0	12.0	11.3	3.3	38.2	
18.0	31/8/90	7.5	168.0	1.2	0.1	6.3	5.3	10.6	5.0	1.0	6.0	9.1	1.2	38.2	
19.0	3/9/90	7.9	256.0	1.0	0.2	4.6	4.6	11.6	7.0	1.0	8.0	6.4	0.3	28.1	
20.0	4/9/90	7.4	176.0	0.8	0.2	4.3	4.7	11.1	6.0	6.0	12.0	6.4	0.3	38.2	
21.0	5/9/90	7.4	166.0	0.9	0.0	4.9	3.8	11.1	3.0	1.0	4.0	2.3	2.3	38.2	
22.0	6/9/90	-	-	1.0	0.4	4.8	5.2	-	-	-	-	6.4	2.4	38.2	

**REACTOR NITRIFICATION**  
**Series experimental**

**ETAPA 6**

**INFLUENTE**

No	FECHA	pH	N.C. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ UTN	N-NO <sub>2</sub> mg/l	N-NO <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT <sub>2</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	7/3/90	7.3	220.0	2.2	0.4	0.8	9.8	12.0	5.0	4.0	10.0	4.6	4.6	50.4
2.0	11/9/90	7.4	204.0	2.0	0.2	3.6	7.7	11.9	9.0	4.0	13.0	6.4	6.4	36.2
3.0	12/9/90	7.2	32.0	1.4	0.2	1.5	3.0	10.7	16.0	2.0	18.0	8.4	4.4	34.2
4.0	13/9/90	7.5	36.0	0.9	0.1	1.6	4.1	14.5	6.0	3.0	9.0	8.4	4.4	35.0
5.0	14/9/90	7.3	36.0	-	0.3	0.3	7.6	12.3	-	-	-	8.5	8.5	44.3
6.0	17/9/90	7.3	36.0	1.2	0.2	1.2	6.1	10.6	16.0	9.0	25.0	8.4	6.3	34.2
7.0	18/9/90	7.4	40.0	3.6	0.2	0.9	9.5	-	7.0	4.0	11.0	10.5	8.5	42.3
8.0	19/9/90	7.4	32.0	2.6	0.2	1.4	9.2	-	10.0	3.0	13.0	12.4	8.6	44.3
9.0	20/9/90	7.8	140.0	1.5	0.1	1.5	4.9	-	10.0	3.0	13.0	33.8	27.8	42.3
10.0	21/9/90	7.4	136.0	1.8	0.2	1.0	6.1	-	-	-	-	4.6	4.6	44.3
11.0	26/9/90	7.7	136.0	1.4	0.4	2.9	4.6	14.3	8.0	3.0	11.0	6.3	6.3	32.2
12.0	27/9/90	7.8	140.0	1.6	0.3	0.9	6.5	-	8.0	10.0	18.0	18.5	2.4	32.2
13.0	28/9/90	7.2	144.0	2.0	0.4	1.0	4.2	11.3	5.0	5.0	10.0	10.6	6.5	36.2
14.0	1/10/90	8.3	136.0	2.0	0.2	3.1	16.4	-	-	-	-	16.2	12.3	26.1
15.0	2/10/90	7.7	152.0	2.2	0.1	4.6	5.2	11.3	6.0	3.0	9.0	12.4	0.5	40.3
16.0	3/10/90	7.6	140.0	1.2	0.2	8.1	4.1	10.2	22.0	13.0	35.0	2.2	2.4	24.1
17.0	4/10/90	7.5	144.0	2.4	0.3	7.9	9.1	-	2.0	3.0	5.0	10.3	8.4	32.2
18.0	5/10/90	7.4	156.0	1.7	0.3	6.1	7.8	14.5	7.0	3.0	10.0	2.5	0.2	44.3
19.0	8/10/90	7.5	152.0	2.0	0.2	3.1	4.5	17.7	4.0	1.0	5.0	20.2	4.2	39.4

**EFLUENTE**

No	FECHA	pH	N.C. mgCaCO <sub>3</sub> /l	TURBIDEZ UTN	N-NO <sub>2</sub> mg/l	N-NO <sub>3</sub> mg/l	N-NH <sub>4</sub> mg/l	N-NH <sub>3</sub> mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT <sub>2</sub> mg/l	CT mg/l
1.0	7/3/90	7.3	200.0	1.0	0.9	2.0	7.4	11.7	33.0	15.0	48.0	4.5	0.5	44.3
2.0	11/9/90	7.4	180.0	1.2	0.1	6.2	5.4	12.7	7.0	1.0	8.0	31.0	6.4	119.0
3.0	12/9/90	7.4	32.0	0.7	0.0	6.7	3.5	12.9	5.0	2.0	7.0	4.3	2.3	30.2
4.0	13/9/90	7.5	28.0	0.6	0.0	3.0	3.0	9.0	9.0	1.0	10.0	8.4	8.3	36.2
5.0	14/9/90	7.6	32.0	-	0.1	15.4	3.2	20.5	3.0	-	-	4.6	2.5	44.3
6.0	17/9/90	7.2	36.0	0.9	0.0	2.2	4.7	12.1	16.0	12.0	29.0	40.6	8.3	64.5
7.0	18/9/90	7.5	36.0	1.4	0.1	2.6	4.4	-	4.0	1.0	5.0	6.4	6.4	34.2
8.0	19/9/90	7.6	36.0	0.9	0.1	3.4	3.2	-	2.0	3.0	3.0	8.4	8.4	34.2
9.0	20/9/90	7.8	136.0	1.1	0.0	2.3	3.4	-	5.0	2.0	7.0	32.3	6.4	62.5
10.0	21/9/90	7.5	132.0	0.8	0.0	2.0	3.1	-	-	-	-	4.4	2.4	38.3
11.0	26/9/90	7.8	120.0	0.8	0.1	2.3	3.1	10.9	6.0	6.0	12.0	8.3	0.2	24.1
12.0	27/9/90	7.8	128.0	0.7	0.1	2.0	3.5	7.1	7.0	3.0	10.0	4.3	2.3	30.2
13.0	28/9/90	7.2	128.0	1.5	0.3	1.4	2.7	9.1	7.0	0.0	11.0	4.4	4.4	38.3
14.0	1/10/90	8.6	152.0	1.0	0.0	4.0	1.5	-	-	-	-	8.3	6.0	9.0
15.0	2/10/90	7.8	136.0	1.0	0.1	5.6	3.8	11.2	5.0	7.0	12.0	6.3	4.4	38.0
16.0	3/10/90	7.3	120.0	0.9	0.1	5.6	4.6	11.3	23.0	23.0	46.0	8.3	0.3	28.2
17.0	4/10/90	7.5	128.0	10.0	0.1	9.7	2.8	10.9	8.0	7.0	15.0	8.3	8.3	30.2
18.0	5/10/90	7.4	136.0	0.7	0.1	7.4	5.0	4.6	7.0	4.0	11.0	2.4	0.3	36.2
19.0	8/10/90	7.6	140.0	0.8	0.0	4.1	2.6	8.4	1.0	5.0	6.0	24.1	4.2	33.4

REACTOR NITRIFICATION  
 Datos experimentales

ETAPA 7 EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDIDAD UTN	N-NH2 mg/l	N-NO3 mg/l	N-NO4 mg/l	N-NHx mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT2 mg/l	CT mg/l
1.0	9/10/90	7.6	140.0	2.0	0.1	6.5	3.9	12.5	6.0	3.0	9.0	6.1	6.1	35.4
2.0	10/10/90	7.7	152.0	2.0	0.1	6.0	4.0	11.9	15.0	10.0	25.0	12.1	10.1	35.4
3.0	11/10/90	7.6	160.0	1.6	0.2	6.7	6.0	9.1	13.0	10.0	23.0	4.2	2.1	37.4
4.0	12/10/90	7.6	152.0	2.0	0.2	6.7	6.0	6.3	10.0	2.0	12.0	6.2	6.2	43.4
5.0	15/10/90	7.6	160.0	2.0	0.1	3.5	4.5	-	9.0	2.0	11.0	3.5	3.3	39.4
6.0	16/10/90	7.9	-	2.2	0.1	4.4	4.5	9.0	6.0	6.0	14.0	10.6	2.2	36.0
7.0	16/10/90	7.9	-	2.4	0.1	4.4	4.4	11.2	29.0	12.0	41.0	14.2	1.7	46.0
8.0	19/10/90	7.3	152.0	2.2	0.4	5.2	4.1	7.1	11.0	2.0	13.0	10.0	6.0	46.0
9.0	22/10/90	7.8	152.0	2.2	.0	4.0	4.1	4.0	10.0	3.0	13.0	25.0	18.6	43.2
10.0	23/10/90	7.4	129.0	2.0	0.1	4.3	10.1	10.0	1.0	4.0	5.0	43.0	10.1	50.0
11.0	24/10/90	7.7	140.0	1.4	0.1	4.7	16.3	25.9	6.0	4.0	10.0	18.6	12.1	41.0
12.0	25/10/90	7.9	132.0	1.6	.0	6.2	13.9	13.0	-	-	-	22.9	3.9	36.7
13.0	26/10/90	7.1	172.0	1.2	.0	6.2	2.9	-	3.0	1.0	4.0	20.7	5.6	51.8
14.0	29/10/90	7.7	140.0	3.0	.0	6.0	2.5	3.7	6.0	13.0	19.0	10.3	10.3	43.9
15.0	30/10/90	7.6	152.0	2.0	0.1	4.7	3.4	4.3	1.0	4.0	5.0	6.4	6.4	41.9
16.0	31/10/90	7.6	136.0	1.6	0.1	4.7	3.1	5.0	0.0	9.0	14.4	10.3	10.3	47.9
17.0	1/11/90	7.9	148.0	1.8	.0	4.2	-	5.0	0.0	-	0.0	6.4	6.4	38.0
18.0	2/11/90	7.3	160.0	2.4	0.1	3.7	4.6	-	-	-	-	6.4	6.4	43.9
19.0	6/11/90	7.9	140.0	2.6	0.1	3.7	4.0	6.4	6.0	4.0	10.0	0.5	0.5	22.4
20.0	7/11/90	7.6	152.0	2.0	0.1	4.3	6.1	9.5	16.0	4.0	20.0	10.6	4.5	28.5
21.0	8/11/90	7.6	156.0	1.1	0.1	2.9	11.0	17.4	2.0	1.0	3.0	10.6	6.6	26.5
22.0	9/11/90	7.7	160.0	1.0	0.1	3.7	13.6	12.6	10.0	4.0	14.0	4.6	2.4	28.5

EFLUENTE

No	FECHA	pH	ALC. mgCaCO3/l	TURBIDIDAD UTN	N-NH2 mg/l	N-NO3 mg/l	N-NO4 mg/l	N-NHx mg/l	SSU mg/l	SSF mg/l	SST mg/l	COT mg/l	COT2 mg/l	CT mg/l
1.0	9/10/90	7.0	136.0	1.0	.0	6.3	3.6	11.9	19.0	10.0	29.0	10.0	6.1	31.4
2.0	10/10/90	7.8	140.0	1.2	.0	6.3	3.7	6.2	7.0	9.0	16.0	12.0	4.1	33.4
3.0	11/10/90	7.7	140.0	0.8	0.1	9.0	3.4	8.5	11.0	5.0	16.0	6.1	4.1	35.4
4.0	12/10/90	7.7	136.0	1.2	0.1	8.5	3.8	20.1	20.0	5.0	28.0	2.2	2.2	37.4
5.0	15/10/90	7.9	152.0	1.2	.0	4.7	3.6	10.0	11.0	3.0	14.0	2.3	2.2	36.0
6.0	16/10/90	8.0	136.0	0.9	0.1	4.5	3.6	8.0	14.0	9.0	23.0	10.4	4.8	40.0
7.0	16/10/90	7.0	140.0	2.0	0.1	4.2	1.0	7.4	21.0	7.0	28.0	6.3	6.0	40.0
8.0	19/10/90	7.6	140.0	1.2	0.1	6.6	3.4	3.8	1.0	8.0	8.0	6.0	6.0	40.0
9.0	22/10/90	7.9	132.0	0.8	.0	5.3	3.3	11.1	6.0	4.0	12.0	15.0	7.0	32.5
10.0	23/10/90	7.6	140.0	1.4	.0	6.6	5.9	3.0	3.0	2.0	5.0	22.6	12.1	34.6
11.0	24/10/90	7.9	136.0	0.9	.0	6.7	14.5	22.7	6.0	3.0	11.0	31.4	22.9	60.4
12.0	25/10/90	7.7	164.0	0.7	.0	6.2	7.3	7.2	-	-	-	9.9	3.9	36.9
13.0	26/10/90	7.3	140.0	0.6	.0	6.0	2.0	-	7.0	-	5.0	12.0	9.9	47.5
14.0	29/10/90	7.1	176.0	2.0	.0	6.4	2.3	2.3	6.0	5.0	11.0	6.4	6.4	41.9
15.0	30/10/90	7.7	160.0	1.0	0.1	7.3	2.7	5.5	9.0	0.0	9.0	6.4	6.4	40.0
16.0	31/10/90	7.1	168.0	1.6	0.1	7.1	3.9	3.8	15.0	21.0	21.0	15.0	6.4	41.9
17.0	1/11/90	7.8	152.0	0.9	0.1	6.6	2.9	-	3.0	1.0	4.0	15.0	10.3	43.9
18.0	2/11/90	7.2	152.0	1.2	0.1	5.2	18.5	-	-	-	-	6.4	2.3	40.0
19.0	6/11/90	8.3	140.0	2.0	.0	5.9	3.0	11.0	6.0	25.0	33.0	4.6	1.0	24.4
20.0	7/11/90	7.8	144.0	1.6	0.1	6.3	6.2	8.2	16.0	1.0	17.0	2.4	2.4	28.5
21.0	8/11/90	7.9	144.0	0.7	0.1	6.2	3.6	15.0	5.0	1.0	6.0	10.6	6.6	36.5
22.0	9/11/90	7.9	152.0	1.4	.0	6.1	3.4	11.1	13.0	6.0	19.0	6.5	1.0	28.5

## A N E X O I V

**CALCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE REACTORES  
CALCULOS PARA LA DETERMINACION DE POTENCIAS**

**Dimensionamiento de los reactores para el sistema desarrollado en este trabajo.**

**Reactor anaerobio:**

Tasa de eliminación de DQOt (Reactor anaerobio) =  $0.464 \text{ kg DQOt/m}^3 \text{ d}$

Flujo a tratar =  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$

Concentración de sustrato =  $223 \text{ mg DQOt/L}$

por lo tanto el flujo másico es:

$$0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{223 \text{ mg DQOt}}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$= 1926.72 \frac{\text{kg DQOt}}{\text{día}}$$

Se divide el flujo másico entre la tasa para obtener el volumen de reactor anaerobio

$$\frac{1926.72}{0.464} = 4152.41 \text{ m}^3$$

**Reactor desnitrificador**

Tasa de desnitrificación =  $0.031 \frac{\text{kg N-NO}_3^-}{\text{m}^3 \text{ día}}$

Flujo a tratar =  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$  (Incluye la recirculación)

Concentración de sustrato =  $9.4 \text{ mg N-NO}_3^-/\text{L}$

$$0.4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{9.4 \text{ mg N-NO}_3^-}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$= 324.86 \frac{\text{kg N-NO}_3^-}{\text{día}}$$

Dividiendo el flujo másico entre la tasa obtenemos el volumen del reactor desnitrificador

$$\frac{324.86}{0.031} = 10479.4 \text{ m}^3$$

### Reactor nitrificador

$$\text{Tasa de nitrificación} = 0.047 \frac{\text{kg N-NH}_4^+}{\text{m}^3 \text{ día}}$$

Flujo a tratar =  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$  (incluye la recirculación)

Concentración de sustrato =  $11.7 \text{ mg N-NH}_4^+/\text{L}$

$$0.4 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{11.7 \text{ mg N-NH}_4^+}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$= 404.35 \frac{\text{kg N-NH}_4^+}{\text{día}}$$

Dividiendo el flujo másico entre la tasa obtenemos el volumen del reactor nitrificador

$$\frac{404.35}{0.047} = 8603.2 \text{ m}^3$$

**Dimensionamiento de los reactores en el sistema comercial "A/O System".**

A continuación se listan los parámetros de diseño para el sistema comercial:

**Tiempo de retención hidráulica (hrs.)**

Anaerobio: 0.5 - 1.0

Anóxico : 0.5 - 1.0

Aerobio : 2.0 - 6.0

Uso de oxígeno, lb/lb DBO removido: 1.2 - 1.5

Recirculación de lodo, % del influente: 20 - 50

Recirculación interna, % del influente: 50 - 150

Lodo purgado, lb/lb DBO removido: 0.4 - 0.6

Energía para el mezclado (Zona anaerobia), Hp/1000 gal: 0.05

Fuente : Air products and Chemicals, Inc. (1987)

$$T.R.H = V/Q ; \quad V = (T.R.H) \times Q$$

donde Q = flujo influente

V = Volumen

Volumen de la zona anaerobia = 360 m<sup>3</sup>

Volumen de la zona anóxica = 360 m<sup>3</sup>

Volumen de la zona aerobia = 2160 m<sup>3</sup>

**Cálculo del sedimentador secundario para el sistema comercial.**

Con 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d (Valor recomendado)

$$Area = 8640 \text{ m}^3/\text{d} \times (1/20 \text{ m}^2 \cdot \text{d}/\text{m}^3) = 432 \text{ m}^2$$



Si se tiene una altura estimada de 3 m para el sedimentador, entonces el volumen es:

$$3\text{ m} \times 432\text{ m}^2 = 1296\text{ m}^3$$

*Cálculo del volumen del reactor anaerobio para el tratamiento del lodo purgado de la planta comercial.*

Concentración de materia orgánica en el agua residual a tratar  
= 168.5 mg DBO/L

$$168.5 \frac{\text{mg DBO}}{\text{L}} \times \frac{1\text{ g}}{1000\text{ mg}} \times \frac{1\text{ kg}}{1000\text{ g}} \times \frac{2.2\text{ lb}}{1\text{ kg}} = 3.707\text{ E-4 lb DBO/L}$$

$$\frac{0.6\text{ lb de lodo}}{\text{lb DBO}} \times \frac{3.707\text{ E-4 lb DBO}}{\text{L}} = 2.224\text{ E-4 lb de lodo/L}$$

$$= 1.011\text{ E-4 kg de lodo/L}$$

Y= 0.05 kg células/kg de DBO removido

Gravedad específica del lodo = 1.02

El volumen de lodo es:

$$\frac{1.011\text{E-4} \frac{\text{kg lodo}}{\text{L}} \times \frac{1000\text{ L}}{\text{m}^3} \times \frac{0.1\text{ m}^3}{\text{s}} \times \frac{3600\text{ s}}{1\text{ h}} \times \frac{24\text{ h}}{1\text{ día}}}{1.02 \times (1000\text{ kg/m}^3) \times 0.05} = 17.12\text{ m}^3/\text{día}$$

T.R.H recomendada = 10 días

$$\text{volumen de reactor} = 17.12\text{ m}^3/\text{día} \times 10\text{ días} = 171.2\text{ m}^3$$

Cálculo de la potencia para algunos servicios en los sistemas de tratamiento.

### Aireación

Para el sistema desarrollado en este trabajo:

Tomando en consideración las eficiencias de degradación de materia orgánica en el reactor nitrificador, se estima una degradación promedio de 7 mg DBO/L.

$$\frac{1.5 \text{ lb O}_2}{\text{lb DBO}} \times \frac{7 \text{ mg DBO}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} = 2.3 \text{ E-5 } \frac{\text{lb O}_2}{\text{L}}$$

$$0.4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{2.3 \text{ E-5 lb O}_2}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \text{ lb}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} = 15.12 \frac{\text{kg O}_2}{\text{hr}}$$

$$\frac{15.12 \frac{\text{kg O}_2}{\text{h}}}{0.59 \frac{\text{kg O}_2}{\text{Kw h}}} = 25.6 \text{ Kw}$$

Para el sistema comercial "A/O System" se tiene lo siguiente:

116 mg DBO/L removido

$$\frac{1.5 \text{ lb O}_2}{\text{lb DBO}} \times \frac{116 \text{ mg DBO}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} = 3.8 \text{ E-4 } \frac{\text{lb O}_2}{\text{L}}$$

$$0.4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{3.8 \text{ E-4 lb O}_2}{\text{L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.2 \text{ lb}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} = 250.0 \frac{\text{kg O}_2}{\text{hr}}$$

$$\frac{250.0 \text{ kg O}_2}{\text{h}} = 139 \text{ Kw}$$

$$\frac{1.80 \text{ kg O}_2}{\text{Kw h}}$$

Potencia para el mezclado en la zona anaerobia (Planta comercial):

$$1080 \text{ m}^3 \text{ de reactor} \times \frac{264.2 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3} = 285336 \text{ gal}$$

$$\frac{0.05 \text{ Hp}}{1000 \text{ gal}} \times 285336 \text{ gal} = 14.2 \text{ Hp} = 11 \text{ Kw}$$

Potencia para el mezclado en el reactor anaerobio destinado al tratamiento de lodos de purga de la planta comercial:

$$172 \text{ m}^3 \text{ de reactor} \times \frac{264.2 \text{ gal}}{1 \text{ m}^3} = 45442.4 \text{ gal}$$

$$\frac{0.05 \text{ Hp}}{1000 \text{ gal}} \times 45442.4 \text{ gal} = 2.2 \text{ Hp} = 1.7 \text{ Kw}$$