



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



251  
reje.

REMOCION BIOLOGICA DE NITROGENO Y  
FOSFORO DE LAS AGUAS RESIDUALES  
DEL INTERCEPTOR PONIENTE  
DE LA CIUDAD DE MEXICO MEDIANTE EL  
PROCESO DE LODOS ACTIVADOS EN UN  
REACTOR DE SECUENCIA BATCH

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA

P R E S E N T A :

MARIA CRUZ RANGEL CRUZ

DIRECTORES DE TESIS:

I.Q. MARGARITA ALONSO ESPINOZA

I.A. NATIVIDAD VENEGAS HERRERA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 1994

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, no permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Remoción Biológica de Nitrógeno y Fósforo de las

aguas residuales del Interceptor Poniente de la

Ciudad de México mediante el Proceso de Lodos

Activados en un Reactor de Secuencia Batch.

que presenta la pasante: María Cruz Rangel Cruz

con número de cuenta: 8100014-7 para obtener el TITULO de:  
Química Farmacéutica Bióloga

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 29 de Julio de 1994

PRESIDENTE

A. Rosa M. Gómez Molina

VOCAL

A.F.B. Marina Morales Galicia

SECRETARIO

I.Q. Margarita Alonso Espinoza

PRIMER SUPLENTE

I.A. Natividad Venegas Herrera

SEGUNDO SUPLENTE

M. en C. Stella Maris Reginensi Rivera

## **DEDICATORIAS**

Con todo cariño y respeto, dedico esta tesis, a dos seres maravillosos,  
los cuales siempre me han acompañado y apoyado  
tanto en las buenas como en las malas, y quienes son:

**MI MADRE Isabel Cruz de Rangel y**

**MI PADRE Ignacio RANGEL GARCIA**

En realidad no es posible expresar todo lo maravilloso que pudiera decirse  
acerca de mis padres. Ellos con su gran esfuerzo y cariño han sembrado en mí  
sin límite lo mejor de su vida, y ahora es tiempo de que cosechen una parte de  
lo que tanto tiempo han cuidado.

Gracias por todo lo bello que me han dado de su vida

**María Cruz Rangel Cruz**

**A MIS HERMANOS**

**SUSANA  
PATRICIA  
JAIME  
PEPE  
IVONNE  
ALEJANDRA**

**Quienes siempre me han apoyado para lograr mis propósitos,  
sin lo cual no hubiera podido terminar la meta que un día me fijé.**

**Con todo cariño**

**María Cruz Rangel Cruz**

**A MARTIN GUERRERO OLVERA**

**A tí mi vida, porque con tu amor y comprensión  
te fuiste metiendo en mi corazón, y ahora,  
eres parte de mi vida.**

**· Con todo mi amor**

**Mary Cruz**

# RECONOCIMIENTOS

A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

Por haberme dado la oportunidad de convivir con mis compañeros y profesores además de darme las herramientas necesarias para adquirir el conocimiento y sabiduría que necesita todo buen profesionista.

A MIS DIRECTORAS DE TESIS

Por haberme brindado su amistad y conocimientos, los que me ayudarán a elevarme más y más, en el largo camino de mi superación.

A

GABRIEL MARTINEZ RANGEL

ALEJANDRA RANGEL CRUZ

IVONNE RANGEL CRUZ

MARTIN GUERRERO OLVERA

Por su colaboración para la elaboración de este trabajo.

Muchas Gracias

María Cruz Rangel Cruz

A

**RODOLFO MICELI CROCKER**

Un reconocimiento muy especial  
por el gran apoyo que me brindó para la elaboración del presente trabajo.

**Gracias Miceli**

**María Cruz Rangel Cruz**



# **AGRADECIMIENTOS**

**A DIOS**

**Por permitirme seguir con vida para ver terminado  
uno de mis más grandes propósitos.**

**Maria Cruz Rangel Cruz**

Agua, principio y sostén de la vida  
Todo vive por el agua, dice un libro sagrado.  
Elemento vital que los antiguos deificaron.  
Los primeros filósofos le dieron un lugar  
predominante en la formación del mundo  
junto al fuego, el aire, la tierra. Hoy la  
ciencia natural confirma que la vida brotó  
del agua. Todo puede morir por el agua:  
cuando arrolla, inunda, ahoga y sobre todo  
cuando falta.

# INDICE

	págs.
<b>TITULO</b>	3
<b>1.0 OBJETIVO</b>	4
<b>2.0 INTRODUCCION</b>	6
2.1 Fuentes de nutrientes en los cuerpos receptores	9
2.2 El papel y el impacto de los nutrientes en los cuerpos receptores	11
<b>3.0 ANTECEDENTES DE LOS REACTORES DE SECUENCIA BATCH (SBR)</b>	14
3.1 Descripción del reactor de secuencia batch	16
3.2 Ventajas del reactor de secuencia batch	17
<b>4.0 ANTECEDENTES DE LA REMOCION BIOLOGICA DE FOSFORO Y NITROGENO MEDIANTE REACTORES DE SECUENCIA BATCH</b>	19
4.1 Remoción biológica de fósforo mediante SBR	21
4.2 Remoción biológica de nitrógeno mediante SBR	22
<b>5.0 BENEFICIOS ECONOMICOS DE LOS PROCESOS DE REMOCION BIOLOGICA DE NUTRIENTES (RBN)</b>	26
<b>6.0 DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	29
<b>7.0 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS</b>	33
<b>8.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	38
<b>9.0 APENDICE</b>	40
<b>10.0 BIBLIOGRAFIA</b>	88

# **TITULO**

**REMOCION BIOLOGICA DE NITROGENO Y FOSFORO  
DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL INTERCEPTOR PONIENTE  
DE LA CIUDAD DE MEXICO MEDIANTE EL PROCESO DE  
LADOS ACTIVADOS EN UN REACTOR DE SECUENCIA BATCH**

## **1.0 OBJETIVO**

Probar diferentes condiciones de operación para remover fósforo y nitrógeno de las aguas residuales del Interceptor Poniente de la Ciudad de México empleando Reactores de Secuencia Batch y evaluar la cantidad de fósforo y nitrógeno que se remueve en cada una. Hacer una comparación entre ellas para encontrar la más adecuada, con el fin de obtener un efluente que pueda ser utilizado para riego agrícola. Con lo cual se ahorra agua de riego y se evita que las aguas residuales lleguen al cuerpo receptor provocando la eutroficación.

**El presente trabajo experimental se realizó en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán en la Sección de Química Inorgánica en el laboratorio de Tratamiento de Aguas, bajo la dirección de:**

**I.Q. Margarita Alonso Espinosa  
I.A. Natividad Venegas Herrera**

## **INTRODUCCION**

## 2.0 INTRODUCCION<sup>(1-6)</sup>

El control de nutrientes no es necesario bajo todas las condiciones pero se considera primordial para tratar aguas residuales de origen humano que descargan directa o indirectamente en lagos o reservorios para prevenir la aceleración de la eutroficación.

Es importante definir dos términos: eutroficación y eutrófico, ya que estos se aplican a lagos, lagunas y otras aguas lentas o sin flujo.

La eutroficación es el término empleado para describir el proceso natural en el cual la productividad biológica se incrementa con la edad de un cuerpo de agua. El proceso de envejecimiento es aquel en el que cada cuerpo de agua pasa en su camino a la extinción. Durante su tiempo de vida de docenas o cientos de miles de años, los cuerpos de agua pasan a través de tres fases distintas. La primera es la fase oligotrófica, donde la productividad biológica es baja por la carga disminuida de nutrientes. Conforme la carga de nutrientes se incrementa, la fase mesotrófica de mayor productividad biológica se desarrolla. Con más y más carga de nutrientes de fuentes externas e internas que se reciclan, la tercera fase o fase eutrófica se desarrolla con sus molestas condiciones, causadas por su actividad biológica excesiva. Para las aguas con un alto grado de productividad biológica se aplica el término Eutrófico.

La etapa final antes de la desaparición puede ser una tierra húmeda, una marisma. La secuencia general del proceso de eutroficación de un lago se puede resumir en la figura 1.

La figura 2 muestra como la fertilización afecta a un gran lago. Aún, el florecimiento de algas, relativamente ligero, puede producir la acumulación substancial del desecho que decae a lo largo de un lago. Los vientos que pasan suavemente sobre el lago pueden tomar un olor a pescado de las algas que florecen. La descomposición bacteriana de estas células y lodos orgánicos asentados disminuye el oxígeno disuelto en la zona inferior.

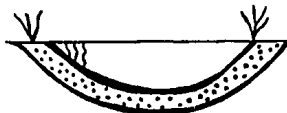
Los estudios realizados alrededor del mundo han demostrado que las aguas residuales domésticas, ciertas aguas industriales, aguas de desagüe agrícola y de áreas urbanas han acelerado enormemente la proporción de la eutroficación en cuerpos receptores, desapareciendo las especies de flora y fauna de mayor utilidad para el hombre y produciendo molestias de tipo estético impidiendo la práctica de deportes acuáticos, la pesca y la navegación entre otros, por lo que, la calidad inferior del agua imposibilita los múltiples aprovechamientos de este recurso.



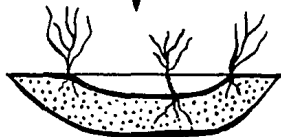
Fig. 1 Proceso de Eutroficación



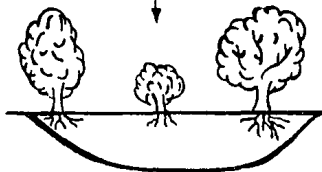
Lago oligotrófico



Lago mesotrófico

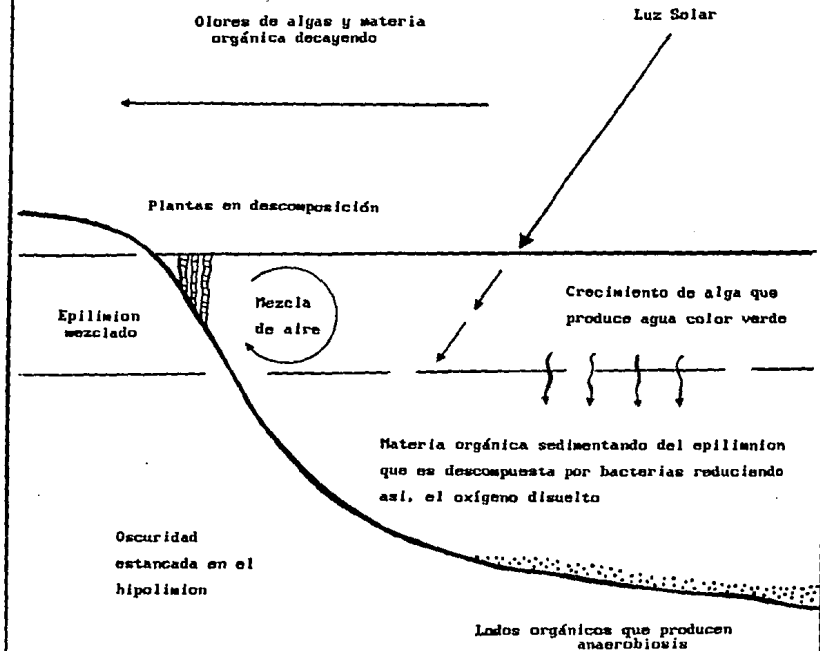


Zonas húmedas



Terreno firme

Fig 2. Lago Eutrófico



El propósito del control de nutrientes es limitar las fuentes externas tanto como sea posible y de este modo retardar el proceso de eutroficación y reducir sus efectos negativos. Además es una parte esencial en el tratamiento de aguas residuales empleadas para recargar aguas subterráneas para suministros públicos. Y también puede ser necesario cuando se tratan aguas que serán descargadas a aguas superficiales o empleadas para riego agrícola.

Realmente, la principal fuente de carbono es el bióxido de carbono. En cuanto a todas las plantas verdes, el nitrógeno se deriva principalmente del amonio y los nitratos. El ion fosfato es la única fuente de fósforo. Además, las algas que fijan el nitrógeno son capaces de usar nitrógeno gas disuelto en el agua, cuando el amonio y los nitratos están en pequeñas cantidades. Debido a que el bióxido de carbono es el nutriente principal, parecería que su control pudiera servir como medio para limitar el crecimiento algal. Pero esto es falso, porque en la mayoría de las aguas naturales existen carbonatos que están disponibles para las algas.

El nitrógeno está presente en la biomasa del alga en cantidades que promedian alrededor del 3 al 10%, en gran parte en forma de proteínas. Numerosos estudios han demostrado que el nitrógeno puede convertirse en limitante en el control del crecimiento algal en un nivel límite de 0.05 mg/l. Sobre estas bases la remoción de nitrógeno de las aguas residuales puede volverse necesaria cuando las aguas receptoras son insuficientes en cantidad para diluir los compuestos de nitrógeno al nivel límite.

Aunque el fósforo en las algas aparece en pequeñas cantidades promediando de 0.5 a 1.0% en la biomasa, se ha demostrado que es un factor limitante en el crecimiento del alga en muchos casos. Un valor de menos de 0.005 mg/l en la forma orto se reconoce como un limitante de concentración más bajo para el crecimiento.

En los casos donde el control de nutrientes se estima deseable, el control del fósforo se considera absolutamente esencial porque, cuando el nitrógeno se convierte en limitante, cualquier exceso de fósforo puede soportar el crecimiento de algas verde-azuladas que fijan nitrógeno.

Considerando la información anterior muchas autoridades creen que el problema de la eutroficación puede ser controlado por estrictos requerimientos sobre la remoción de fósforo solamente. Otros creen que un alto grado de nitrificación es también necesario para eliminar los efectos nocivos del nitrógeno amoniacal.

Esta introducción no estaría completa sin alguna referencia a la influencia de los nutrientes sobre las aguas superficiales y el uso de los efluentes de aguas residuales en la recarga de agua subterránea.

Con respecto a las aguas superficiales, el nitrógeno amoniacal puede causar serios problemas en la baja de oxígeno, cuando la nitrificación ocurre rápidamente. Este problema está limitado a su presencia en las aguas superficiales, pero se vuelve menos problema conforme aumenta la profundidad. Un segundo problema en las aguas superficiales es causado por el desarrollo de plantas acuáticas arraigadas que restringen el flujo y disminuyen las fuentes de oxígeno durante la noche. El fósforo y el nitrógeno contribuyen a este problema.

El grado de tratamiento de aguas residuales necesario para hacerlas apropiadas para la descarga en aguas subterráneas varía considerablemente.

En el presente trabajo de Tesis, se emplearon los Reactores de Secuencia Batch (SBR) como proceso de tratamiento para la remoción de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales del Interceptor Poniente de la Ciudad de México con el propósito de obtener un efluente que pueda ser utilizado para el riego agrícola y a su vez, no provoque la posible eutrofización del cuerpo receptor en el cual desemboca su descarga.

## **2.1 FUENTES DE NUTRIENTES EN LOS CUERPOS RECEPTORES**

El El fósforo es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y los microorganismos. Sin embargo, se ha demostrado que el exceso de fósforo y nitrógeno en aguas residuales tratadas está asociado con el crecimiento indeseable de plantas y algas en los cuerpos receptores.

Las principales fuentes de fósforo en el agua residual doméstica son excrementos humanos, detergentes sintéticos para lavandería, y químicos para el tratamiento del agua. El fósforo aportado por detergentes es reducido significativamente en comunidades que "prohíben el fósforo", donde los efluentes de las plantas de tratamiento tienen 50% menos de fósforo total que los sistemas de tratamiento que operan en áreas sin restricciones sobre detergentes de lavandería. En el control de la corrosión en los sistemas de abastecimiento de agua potable se emplean metafosfato de sodio o compuestos similares, los cuales también incrementan el nivel de fósforo en el agua residual.

Las formas en las cuales también se puede encontrar el fósforo en las aguas residuales son como fósforo total, fósforo unido orgánicamente, y fósforo inorgánico. El fósforo inorgánico incluye los ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ,  $\text{HPO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$ ) y los polifosfatos (con dos o más fósforos, oxígeno y en algunos casos átomos de hidrógeno combinados en una molécula compleja), y los fosfatos (que bajo hidrólisis en soluciones acuosas se convierten en ortofosfatos). La tabla 1 enlista algunos ejemplos de estos compuestos (ver Apéndice).

La industria puede añadir, o en el caso de descargas con deficiencia de fósforo, diluir el fósforo total en aguas residuales. Las aguas industriales típicamente altas en fósforo incluyen aquellas generadas de la producción de fertilizantes, del procesamiento y empaquetado de carnes, procesamiento de la leche, lavanderías comerciales y algunos desechos del procesamiento de alimentos. Ciertos procesos en la manufactura del papel y pulpa descargan un desecho deficiente de fósforo.

Los ortofosfatos solubles son las formas más sencillas del fósforo y son los productos finales de degradación de los polifosfatos inorgánicos.

El tratamiento de aguas residuales incrementa el nivel de ortofosfato soluble de un 50 al 90% del fósforo total. La forma de ortofosfato soluble del fósforo es la que precipita más fácilmente y es la más disponible para la asimilación por algas y plantas. El efluente de sistemas de tratamiento biológico contendrá algo de fósforo unido orgánicamente con el material celular. El tratamiento primario y secundario sin precipitación química remueven poco fósforo: del 5 al 10% el tratamiento primario, y del 10 al 20% con el tratamiento secundario. Con la adición de aluminio o cloruro férrico, la remoción se incrementa del 70 al 90% con el primario, y del 80 al 95% con el tratamiento secundario. Con el tratamiento secundario se logran concentraciones de fósforo total en el efluente de 1 mg/l.

Sin embargo, el exceso del nitrógeno en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, como en el caso del fósforo, se ha demostrado que está asociado con el crecimiento indeseable de algas y plantas en aguas receptoras. Y en la forma de nitrógeno amoniacal es tóxico para los peces.

El nitrógeno entra a la corriente del agua residual doméstica principalmente como urea y combinado con heces y otro material orgánico. La urea frecuentemente ha sido considerada un compuesto orgánico nitrogenado, pero en realidad, es un derivado del bióxido de carbono, y debe ser clasificado como inorgánico. La urea es rápidamente hidrolizada por enzimas al ion amonio y bióxido de carbono.

Las formas de nitrógeno que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son: el nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal. Otras dos formas que están presentes en el agua residual doméstica son: el nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y el nitrógeno de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Las descargas industriales pueden añadir cantidades significativas de nitrógeno a las aguas residuales e incluyen aquellos generados por la producción de fertilizantes, procesamiento de carnes, procesamiento de leche, refinerías de petróleo, ciertas plantas de fibra sintética e industrias que limpian con compuestos que contienen amonio.

La forma de nitrógeno es un indicador de la edad y condición del agua residual y del agua residual fresca, como se mencionó, contiene principalmente amonio (de la urea hidrolizada rápidamente) y compuestos orgánicos de nitrógeno (proteínas, péptidos, aminoácidos, ácido cítrico y otros). Los compuestos orgánicos son lentamente descompuestos por las bacterias a amonio, bióxido de carbono y agua. Bajo condiciones aeróbicas, el amonio es oxidado a nitrito por bacterias del género *Nitrosomonas*, el nitrógeno de nitrito es un compuesto inestable que es rápidamente oxidado por las bacterias llamadas *Nitrobacter* a nitrógeno de nitrato. La oxidación del amonio a nitrito y posteriormente a nitrato se llama nitrificación, y es la base de la remoción de amonio en el tratamiento de aguas residuales. La nitrificación es un proceso de oxigenación intensivo que teóricamente requiere de 4.6 mg/l de oxígeno para nitrificar 1 mg/l de amonio.

Las remociones de nitrógeno sin tratamientos avanzados son bajas: del 10 al 20% para el tratamiento secundario, y del 5 al 10% para niveles de tratamiento primario. El tratamiento secundario con nitrificación puede obtener remociones de arriba del 30% <sup>(1,3)</sup>.

## **2.2 EL PAPEL Y EL IMPACTO DE LOS NUTRIENTES EN LOS CUERPOS RECEPTORES.**

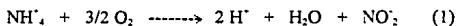
Los efectos fertilizantes del nitrógeno y fósforo en cuerpos receptores varía marcadamente a diferentes profundidades. En ríos profundos hay estimulación del fitoplancton. Plantas acuáticas arraigadas son estimuladas en aguas superficiales, playas, bahías y aguas de retorno. En general, los efectos no son serios en aguas profundas por la amplia fluctuación de niveles de agua y acciones directas que ocurren en

los ríos altamente estratificados. Pero la situación es diferente en aguas superficiales donde las raíces acuáticas obtienen suficiente luz para florecer. La estimulación del crecimiento puede servir para impedir el flujo natural y puede ocasionar el desbordamiento. Esto sucede en aguas de drenaje de un lago, donde los niveles de agua en el lago pueden volverse incontrolables. Por ello, se puede volver necesario desazolver para remover el crecimiento acuático.

El amoníaco en concentraciones arriba de 0.2 mg/l puede causar la muerte a varias especies de peces. La mayoría de los efectos notorios de nitrógeno amoniacal se relacionan con el efecto tóxico que tiene sobre los peces.

La nitrificación biológica en los sistemas de tratamiento de aguas residuales se acompaña principalmente por dos géneros de microorganismos. Estos dos géneros, Nitrosomonas y Nitrobacter, están clasificados como autótrofos porque utilizan el CO<sub>2</sub> como fuente de carbono para sintetizar su material celular y como fuente de energía para la oxidación de sustancias inorgánicas; al contrario de los organismos heterótrofos, cuya fuente de carbono son los compuestos orgánicos.

La nitrificación del nitrógeno amoniacal es un proceso de dos pasos. El primer paso, es la conversión del amonio a nitrito, que es mediada por las Nitrosomonas. El segundo paso es la conversión del nitrito a nitrato mediada por los microorganismos Nitrobacter. Las ecuaciones 1 y 2 demuestran la conversión del amonio a nitrato en dos pasos:



Las ecuaciones 1 y 2 son reacciones que producen energía. Las Nitrosomonas y Nitrobacter usan esta energía para su mantenimiento y crecimiento celular. En las reacciones anteriores el oxígeno sirve como aceptor de electrón en la oxidación bioquímica del NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y el NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. El oxígeno es el único aceptor de electrón que Nitrobacter o Nitrosomonas pueden usar. Un ambiente aeróbico es además una condición necesaria para que proceda la nitrificación. El número de reacciones que se llevan a cabo está en relación directa a la población de bacterias nitrificantes. Así, es posible que la reacción pueda ser tan lenta que la proporción de la reareación del agua compense la demanda de oxígeno y que no ocurra una baja de oxígeno notable. La razón para la diferencia en el comportamiento del amonio en los ríos, ha sido relacionada a la diferencia en las poblaciones nitrificantes. Usualmente, se ha notado la nitrificación

extensa y rápida en las aguas superficiales y proporciones lentas en las profundas. Hasta hoy, la hipótesis aceptada para explicar esta anomalía es como sigue: en aguas naturales o que fluyen, la población de bacterias nitrificantes es muy pequeña porque las bacterias nitrificantes están creciendo muy lentamente.

La nitrificación biológica es aplicable en aquellos casos donde se requiere una remoción de amonio sin necesidad de remover completamente el nitrógeno. Es también, el primer paso en la nitrificación/desnitrificación biológica. La nitrificación puede ser lograda por procesos de crecimiento suspendido donde los organismos nitrificadores están suspendidos en un licor mezclado por algunos mecanismos de mezclado. Estos son denominados bacterias heterótrofas porque pueden metabolizar sustancias orgánicas complejas. Estas bacterias son capaces de usar el oxígeno molecular o el oxígeno del nitrato como un aceptor terminal de electrón cuando estas oxidan los compuestos orgánicos. Bajo condiciones anóxicas, las bacterias nitrificantes reducen el nitrato por un proceso llamado desasimilación de nitrato o nitrito substituyendo el oxígeno en la respiración celular. El proceso de la desasimilación del nitrato ocurre a través de una compleja serie de reacciones catalizadas por enzimas. Por tanto, simplemente se establece que la desasimilación del nitrato se lleva a cabo en dos pasos.

Primero, el nitrato es reducido a nitrito a través de la transferencia de dos electrones del substrato orgánico produciendo energía para la síntesis celular. En un segundo paso, el nitrito es reducido a monóxido de nitrógeno (NO), bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) o nitrógeno gas (N<sub>2</sub>) siendo los productos predominantes.

Las bacterias nitrificantes pueden también utilizar parte del material nutriente por el proceso conocido como asimilación del amonio y convertirlo en nuevo material celular microbiano. Esto no ocurre normalmente si el amonio presente en las aguas residuales es suficiente para obtener los requerimientos de su crecimiento <sup>(1)</sup>.



**ANTECEDENTES DE LOS**

**REACTORES SBR**

### **3.0 ANTECEDENTES DE LOS REACTORES DE SECUENCIA BATCH (SBR).**

En 1914 y 1915 Arden y Lockett fueron los primeros en discutir las nociones fundamentales de el proceso de lodos activados<sup>(7)</sup>. Inventaron el término de "lodo activado" para describir la masa biológica<sup>(8)</sup> compuesta por microorganismos además de materia orgánica en un ambiente rico de oxígeno que mantiene a los microorganismos en un ambiente líquido controlado<sup>(9)</sup>. Quizás sorpresivamente el proceso de lodos activados fue establecido en un sistema batch de llenado y vaciado. Los sistemas de flujo continuo fueron desarrollados y reemplazaron a los esquemas de tratamiento de llenado y vaciado, primeramente por la atención operacional elevada y por los problemas de obstrucción del difusor<sup>(7)</sup>, dificultades con la operación de válvulas, etc. Como resultado de esto, los sistemas batch nunca se volvieron populares en las plantas de tratamiento municipales. En 1920, cuando grandes instalaciones fueron construidas, los sistemas batch no eran considerados los más viables<sup>(8)</sup>.

Los tiempos cambiaron. El primer resurgimiento notable de mayor interés en el tratamiento biológico batch ocurrió a principio de los años cincuentas. Este resurgimiento fue de vida corta y fue dirigido principalmente a la industria ganadera. El segundo resurgimiento está actualmente en progreso en la Universidad de Notre Dame, Indiana. Estos estudios son dirigidos para investigar el uso del tratamiento biológico batch, como una alternativa al tratamiento convencional de flujo continuo<sup>(7,10)</sup>.

Después que Irvine y Davis describieron su operación en 1971, el reactor de secuencia batch ha recibido considerable atención; en los Estados Unidos, Oeste de Alemania, Canadá y Japón; a la vez que esta tecnología puede ser considerada una nueva aplicación de las viejas configuraciones del reactor de llenado y vaciado empleadas para desarrollar los procesos de lodos activados. Ahora se ha demostrado que el reactor de secuencia batch es capaz de lograr la remoción de nitrógeno y fósforo<sup>(8,11,12)</sup>.

### 3.1 DESCRIPCION DEL REACTOR DE SECUENCIA BATCH (SBR).

Un sistema SBR puede estar compuesto de uno o más tanques. En el tratamiento de desechos biológicos, cada tanque en el sistema tiene cinco modos básicos de operación o periodos, cada uno de los cuales es nombrado de acuerdo a su función primaria. Los periodos son: llenado, reacción, sedimentación, vaciado y reposo en una secuencia de tiempo. El llenado (la recepción del desecho crudo) y el vaciado (la descarga del efluente tratado) deben ocurrir en cada ciclo completo para un tanque dado. La reacción (el tiempo para completar las reacciones deseadas), la sedimentación (el tiempo para separar los organismos del efluente tratado), y el reposo (el tiempo después de la descarga del tanque y antes de volver a llenar), que puede ser eliminado dependiendo de los requerimientos de tratamiento del problema <sup>(13)</sup>. Un ciclo es la suma de estos cinco periodos <sup>(14)</sup>.

Durante el periodo de llenado, el volumen del líquido dentro del tanque se incrementa de un volumen mínimo en respuesta a la variación de la proporción del flujo del influente hasta que un volumen máximo predeterminado se alcanza. El mezclado o el mezclado y la aereación pueden efectuarse durante todo el periodo de llenado y proveer condiciones de crecimiento selectivo para la biomasa microbiana. Durante el periodo de reacción, el flujo al tanque es discontinuado por cesación de la producción de residuo. La aereación se provee para completar las reacciones de estabilización biológica; los sólidos son desechados del tanque conforme se requiere para mantener la biomasa a niveles manejables. Durante la sedimentación toda la energía suministrada al tanque es detenida y la biomasa flocula y sedimenta bajo condiciones de reposo. Después de un periodo específico de sedimentación, el sobrenadante tratado es decantado del tanque a un nivel de volumen líquido. El tanque permanece así hasta que la producción del líquido de desecho es reducida.

## 3.2 VENTAJAS DEL REACTOR DE SECUENCIA BATCH.

La principal ventaja de los reactores de secuencia batch es la flexibilidad. Todos los ciclos de operación (llenado, reacción, sedimentación, vaciado y reposo) pueden ser regulados para producir la calidad deseada del efluente.

Porque el modo de operación de los reactores de secuencia batch es discontinuo (periódico), la compensación del flujo, el tratamiento, y la sedimentación se pueden lograr en el mismo reactor. Esto elimina la necesidad de reactores y clarificadores separados. Los regímenes de flujo continuo o discontinuo pueden ser simulados controlando la magnitud del ciclo de llenado; pueden ser modificadas las condiciones ambientales controlando la magnitud del ciclo, la concentración del oxígeno disuelto y el mezclado. El contenido de los reactores puede ser mezclado completamente para asegurar el contacto organismo/substrato. La naturaleza periódica elimina el corto circuito <sup>(15,16)</sup>

Además, entre las ventajas sobresalientes de los reactores de secuencia batch encontramos que:

La descarga del efluente es periódica; dentro de los límites, el efluente puede ser mantenido hasta lograr los requerimientos específicos.

Debido a diferentes patrones de alimentación y llenado, es posible someter a los microorganismos a ambientes químicos ampliamente diferentes.

Un reactor de secuencia batch puede ser diseñado fácilmente para acomodar estrategias de control.

El equipo que forma un reactor de secuencia batch es compacto, por lo que reduce mucho el espacio ocupado.

No son necesarios trabajos de mantenimiento profesional puesto que la configuración del sistema de reactores de secuencia batch es relativamente simple.

El proceso de reactores de secuencia batch es más fácil de operar comparado con los procesos convencionales de flujo continuo, filtros rociadores, etc..

La separación sólido-líquido ocurre bajo condiciones casi ideales de reposo, etc. <sup>(8,14,17)</sup>

**ANTECEDENTES DE LA**  
**REMOCION BIOLÓGICA**  
**DE FOSFORO Y NITROGENO**  
**MEDIANTE SBR**

## **4.0 ANTECEDENTES DE LA REMOCION BIOLOGICA DE FOSFORO Y NITROGENO.**

Los sistemas de remoción de nutrientes que se diseñaron anteriormente para remover nitrógeno o fósforo, y que posteriormente se emplearon para remover ambos nutrientes, incluyen a los Procesos Bardenpho, A/O y PhoStrip.

El Proceso Bardenpho se inventó en el National Institute for Water Reserch en Pretoria, Africa del Sur. Es una modificación del proceso de lodos activados que se diseñó para remover del 80 al 90% de todo el nitrógeno en un agua residual doméstica y comprende de una serie de cámaras anóxicas y aeróbicas.

La experimentación mostró que el proceso Bardenpho proporciona el 85% de la remoción del fósforo, y que para que esto se logre, la bacteria debe pasar a través de un período corto de fermentación. El lodo residual es regresado a su primera línea de fermentación, también como algo del agua residual cruda o sedimentada mientras el licor mezclado de la base de aereación es reciclado a la primera base anóxica.

El proceso A/O aplica una secuencia de contacto anaeróbica-aeróbica para desarrollar una población biológica que pueda lograr altos niveles de remoción de fósforo via el lodo de desecho.

Observaciones posteriores mostraron que la remoción del fósforo se logró en varias plantas aún cuando estas plantas no fueron diseñadas para la remoción del fósforo.

La remoción del fósforo usando una combinación del tratamiento biológico y químico es la base del Proceso PhoStrip. La ventaja del sistema son sus procesos unitarios de lodos activados para remover el fósforo del agua residual y entonces liberarlo en la corriente secundaria en la forma de ortofosfato. El segundo paso consiste en precipitar el fosfato de esta corriente secundaria por medio de adición de cal.

El tratamiento con cal es entonces aplicado para la precipitación del fósforo y disposición final del fósforo via el lodo con cal (ya que algo de fósforo es removido con el desecho del lodo activado).

Trabajando con un tiempo de retención del lodo suficientemente largo, el Proceso PhoStrip mantiene las bacterias nitrificantes en una concentración suficientemente alta para que sean capaces de lograr la oxidación de amonio a nitrato.

Aunque se requiere un tanque de desnitrificación para que el sistema PhoStrip logre la remoción tanto del fósforo como la del nitrógeno, el sistema no depende de aditivos químicos (fuentes orgánicas como metanol para lograr la desnitrificación, por el contrario, las impurezas orgánicas en el influente de agua residual se usan como fuente de carbono. Se informa que se logra el 70% de remoción de nitrógeno cuando se usa la modificación de este proceso. El promedio de remociones de fósforo total es del 88 al 99% <sup>(1,18)</sup>.

Aunque en la década pasada se desarrollaron tecnologías sobre la remoción simultánea de fósforo y nitrógeno por Reactores de Secuencia de Flujo Continuo (CFS), recientemente se señaló que la remoción de fósforo y/o nitrógeno es posible si las condiciones de operación del SBR se modifican apropiadamente para introducir reacciones anóxicas y aeróbicas durante el llenado en un esquema de tiempo de ciclos batch sin añadir tanques separados o líneas de reciclaje <sup>(17)</sup>. También es probable que el fósforo y el nitrógeno puedan ser removidos por procesos con lodos activados en un SBR si los tratamientos aeróbicos y anaeróbicos son incorporados dentro de un ciclo de operación batch <sup>(18)</sup>. La remoción biológica del fósforo y nitrógeno en algunas instalaciones municipales se ha demostrado en sistemas que simplemente alternan zonas anóxicas y aeróbicas <sup>(13,19)</sup>.

Murthy et al. (1987), demostraron que las estrategias de operación diferentes tales como un mezclado sin aireación (mezclado llenado), pueden asegurar el contacto organismo/substrato <sup>(16)</sup>, se logran fácilmente y pueden ser usados para mejorar la sedimentabilidad del lodo y la remoción biológica de nutrientes. Encontraron que las operaciones en tanques sin aireación remueven aproximadamente el 70% de nitrógeno y el 40% de fósforo, mientras que en tanques con período de aireación la remoción para el nitrógeno fue del 80% y para el fósforo del 50%; operando con una concentración de sólidos suspendidos de licor mezclado de 2000 mg/l.

Estudios realizados en Notre Dame han demostrado que la extensión de organismos filamentosos en el sistema (y por consiguiente las características de sedimentación de los sólidos) son fácilmente controlados por las condiciones anóxicas durante el período de llenado.

En algunas instalaciones municipales se ha demostrado la remoción biológica de fósforo y nitrógeno en sistemas que simplemente alternan zonas anóxicas y aeróbicas <sup>(13)</sup>.

La remoción simultánea de fósforo y nitrógeno del agua residual es posible mediante la operación del SBR, en el cual las reacciones sin aireación son introducidas durante el llenado <sup>(17)</sup>.

La remoción biológica de fósforo provee un beneficio económico obvio por medio de la reducción o eliminación de la adición química para la remoción de fósforo. Si el estándar requerido de efluente es de 1.0mg/l o más, la remoción biológica de nutrientes eliminará la necesidad de la adición química para remover el fósforo de la mayoría de las aguas residuales. Si la concentración requerida del efluente es menor que 0.5mg/l, la adición química adicional probablemente se necesitará para lograr el requerimiento del efluente, a menos que se practique la filtración<sup>(1)</sup>.

Los SBR han demostrado producir remociones suficientes y también han demostrado reducir costos de capital. Además de que los esquemas diseñados para la desnitrificación sin adición de carbono extra reducen marcadamente los costos de operación.

## 4.1 REMOCION BIOLÓGICA DE FOSFORO MEDIANTE SBR.

En 1955, Greenberg et al., propusieron que el lodo activado podría elevar el fósforo a un nivel más allá de sus requerimientos de crecimiento microbiano. Srinath et al. reportaron sobre experimentos batchs en 1959 y concluyeron que una aereación vigorosa del lodo activado podría causar la concentración de fósforo soluble en el licor mezclado para decrecer rápidamente abajo de 1mg/l. Levin y Shapiro emplearon el término de "ventilación de lujo" de fósforo para describir niveles altos de remoción de fósforo de un agua residual municipal con aereación vigorosa. Lograron una remoción de fósforo de arriba del 80% en su experimento. Ellos reportaron que una pequeña cantidad de 2,4 dinitrofenol inhibió la ventilación del fósforo indicando que la remoción fue de origen biológico. También observaron gránulos de volutina en las células bacterianas, los cuales reporta la literatura de la microbiología que contienen polifosfatos. En condiciones anaeróbicas altos niveles de fósforo escapan de las células biológicas existentes. Barnard observó la necesidad de ciclos anaeróbicos-aeróbicos para la remoción biológica del fósforo dentro del sistema de lodos activados<sup>(29,30,31)</sup>.

En un estudio realizado por Tanaka et al. (1987), para investigar la aplicabilidad y la disponibilidad del proceso anaeróbico-aeróbico en comparación con el proceso convencional de lodos activados, los autores hallaron que la eficiencia en la remoción de fósforo por el proceso anaeróbico-aeróbico en comparación con el proceso convencional es más alto. El promedio de remoción de fósforo obtenido fue del 80 -90% y la



concentración del fósforo del efluente fue más baja de 1 mg/l. El proceso anaeróbico-aeróbico no sólo es efectivo para mejorar la sedimentación del lodo sino también para permitir el tratamiento de agua residual con menos cantidad de aire (aproximadamente el 20% de reducción. Aún, incluyendo la energía consumida para el periodo de mezclado empleado en el proceso anaeróbico aeróbico, éste emplea menos energía (aproximadamente 12%) que el proceso convencional. Y de los resultados que obtuvieron asumieron que aplicando el proceso anaeróbico-aeróbico es posible lograr la sedimentación del lodo en las instalaciones de la planta de tratamiento de desecho donde el abultamiento del lodo tiende a ocurrir<sup>(2,25,26)</sup>.

La capacidad del proceso de lodos activados para remover el fósforo de aguas residuales sin la adición de químicos es un descubrimiento reciente favorable. Bajo condiciones aeróbicas estos organismos acumulan más fósforo que el que requieren para crecer, mientras que bajo un ambiente anóxico, el exceso de fósforo es regresado a la fase líquida. De esta forma, la remoción del fósforo se logra mediante la habilidad de los lodos activados para recaudar y liberar fósforo como una función de su reciclamiento a través de zonas anóxicas y aeróbicas<sup>(20)</sup>.

## **4.2 REMOCION BIOLÓGICA DE NITROGENO MEDIANTE SBR.**

Varios procesos se han desarrollado para la remoción del nitrógeno y sus compuestos de las aguas residuales y los cuerpos de agua receptores de ellas. Principalmente se han usado tres métodos para este fin siendo éstos los siguientes:

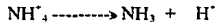
- a) Remoción del amoníaco con aire a un pH alto.
- b) Remoción de nitratos y amoníaco por intercambio iónico.
- c) Nitrificación Biológica seguida de una desnitrificación.

Otros procesos que han sido utilizados son:

- a) Tratamiento electroquímico.
- b) Electrodiálisis.
- c) Osmosis inversa.

#### d) Destilación.

La remoción con aire es una modificación al proceso de aereación usado para la remoción de gases en el agua. Los iones amonio en las aguas residuales están en equilibrio con el amoniaco y los iones hidrógenos representándose como sigue:



Cuando el pH de los desechos es incrementado a valores mayores de 7.0, el equilibrio representado en la ecuación anterior se desplaza hacia la derecha. A valores del pH mayores de 10.0, aproximadamente el 85% del amoniaco presente puede ser liberado como gas por agitación de las aguas de desecho en presencia de aire.

El proceso se lleva a cabo generalmente, en una torre cerrada, empacada y equipada con un dispersor de aire.

En aguas residuales no tratadas, arriba del 90% del nitrógeno está presente como amonio o en compuestos que se transforman fácilmente en amonio. En procesos de tratamiento secundario el nitrógeno amoniacal es convertido a nitratos pero el costo que representa este proceso es mayor que el descrito anteriormente.

El intercambio iónico es un proceso unitario en el cual los iones de una sustancia son desplazados desde un material insoluble por iones de diferentes sustancias en solución. En la practica, un material de intercambio de iones es colocado en un lecho por el que se hace pasar a través de él, el desecho que va a ser tratado.

El material de intercambio, el cual puede ser natural o sintético, es absorbente y cargado con grupos iónicos. El intercambio de un ion depende de la habilidad del ion-contrario (ion de carga opuesta) a ser reemplazado o intercambiado por otro ion de la misma carga. Cuando todos los iones de carga contraria han sido intercambiados, el material intercambiador se somete a una regeneración con soluciones de ion-contrario original.

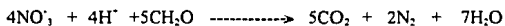
El ion nitrato puede ser removido por intercambio con una resina aniónica y el ion amonio por contacto con una resina de intercambio catiónico. Se han obtenido eficiencias del orden del 80-90% en remoción de amonio, sin embargo se presentan taponamientos en la resina debido a la materia orgánica disuelta.

En sus estudios de laboratorio y plantas piloto, Mercer (1970) obtuvo una remoción del 99% del nitrógeno amoniacal en los efluentes de tratamientos secundarios con dos

columnas de zeolita en serie y concentraciones de nitrógeno amoniacal del orden de 10 a 19 mg/l.

Se ha demostrado que la desnitrificación biológica es probablemente el método más seguro y de costo efectivo para la remoción de nitrógeno de las aguas residuales, llevada a cabo bajo condiciones anaeróbicas por bacterias heterótrofas facultativas las que obtienen la energía necesaria para su crecimiento, de la oxidación de compuestos orgánicos obteniendo el carbono del  $\text{CO}_2$  y su ATP y poder reductor de un sustrato inorgánico. El carbono orgánico necesario para lograr las reacciones de desnitrificación es suministrado por fuentes internas, principalmente agua cruda.

La desnitrificación biológica es un proceso anaerobio donde el ion nitrato desempeña el papel que ocupa el oxígeno en la respiración aerobia, que es el de aceptor del ion hidrógeno. Los nitratos son reducidos a nitrógeno gaseoso y los compuestos de carbono son oxidados. Esta reacción está representada por la siguiente ecuación:



La desnitrificación se puede llevar a cabo principalmente por medio de tres procesos:

- a) Lodos activados
- b) Filtros biológicos
- c) Lagunas

El SBR mediante el proceso de lodos activados es apropiado para efectuar la desnitrificación, ya que debido a su flexibilidad se elimina la necesidad de reactores y clarificadores separados.

Hoeper y Schroeder (1986), propusieron operar el SBR de un modo que promoviera la acumulación de carbono y la subsecuente desnitrificación. Irvine et al., obtuvieron eficiencias altas de remoción de nitrógeno (90%) usando agua residual, y notaron que la proporción de la desnitrificación fue proporcional a la carga orgánica aplicada. Alleman (1980), demostró que la formación de productos de acumulación durante la desnitrificación fue inducida agitando los contenidos de los SBR bajo condiciones anóxicas durante el ciclo de llenado. La secuencia operacional, que incluyó ciclos de 3 horas anóxicas y 3 horas de aireación, presentó una eficiencia de remoción de nitrógeno mayor del 92%.

Los objetivos de esta investigación fueron para demostrar la aplicabilidad de los procesos SBR con lodos activados para la desnitrificación con lodo primario como única

fuelle de carbono orgánico, y optimizar la operación de los SBR para producir un efluente de concentraciones bajas de nitrógeno amoniacal y fósforo total <sup>(16,21,22)</sup>.

Palis e Irvine (1985) alternaron una secuencia anóxica durante el llenado y obtuvieron entre el 86% y el 94% de la remoción del nitrógeno, lo que indicó una eficiencia mayor que cuando se empleó el periodo anóxico después del llenado, y que cuando se empleó un periodo de llenado anóxico/aeróbico.

En la década pasada se reportaron varias estrategias de procesos que acentuaron la alternativa de condiciones anóxicas y aeróbicas <sup>(23)</sup>.

## **BENEFICIOS ECONOMICOS** **DE LOS PROCESOS DE RBN**

## **5.0 BENEFICIOS ECONOMICOS DE LA REMOCION BIOLÓGICA DE NUTRIENTES (RBN).**

La utilización de los procesos de remoción biológica de nutrientes (RBN) para el tratamiento de aguas residuales es potencialmente más económico que el tratamiento convencional de lodos activados o que métodos que incorporan procesos químicos o fisicoquímicos.

En 1979, Dennis e Irvine presentaron las herramientas iniciales acerca de las investigaciones de laboratorio relacionados con los sistemas Batch realizados en Notre Dame. De los resultados de estos estudios ellos señalan que el prototipo de secuencia batch se puede construir a un costo inicial no muy elevado y posiblemente a un costo más bajo que un sistema de lodo activado Convencional, y que el sistema de secuencia Batch proporciona efluentes de calidad significativamente más alta a aproximadamente el mismo costo de operación y mantenimiento <sup>(24)</sup>.

Odegaard et al. (1991), apoyados en un programa de investigación establecieron que las descargas municipales de nutrientes pueden reducirse hasta un 60-65% en un proceso fisicoquímico, y en un 67-75% en un proceso biológico. Donde su análisis de costos demostró que un proceso de remoción biológico de nutrientes es más barato que los procesos fisicoquímicos <sup>(1,2,3)</sup>.

Aunque no existe un método para predecir la cantidad del ahorro de energía para la remoción de nutrientes para cualquier proceso de tratamiento dado, se estima un ahorro de energía del 10% para un proceso biológico.

## **DESARROLLO EXPERIMENTAL**

## 6.0 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Con el fin de encontrar las condiciones óptimas de operación para obtener un efluente que pueda ser utilizado para riego agrícola y no provoque la eutroficación del cuerpo receptor que recibe su descarga, se realizaron nueve experimentos con diferentes condiciones de operación.

Se tomaron muestras del agua residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México (cuyas características son dadas a conocer en las tablas 2 y 3, ver Apéndice) para determinar el porcentaje de remoción de nitrógeno y fósforo para cada experimento, la cual se deposita en un tanque de alimentación de 120 l. el cual abastece el agua residual cruda (Influente) a tres reactores cilíndricos de acrílico transparente de 0.60 m. de alto por 0.20 m. de diámetro y de 18 l. de capacidad mediante una bomba peristáltica (Master Flex modelo 7014-20). El mezclado fue acompañado por un agitador magnético (Thermolyne Type 7200). El aire comprimido fue suministrado a cada reactor a través de piedras de difusión (con una bomba de aereación Elite modelo 801) localizadas cerca del fondo de cada reactor. La alimentación y la aereación fueron discontinuas durante la fase de sedimentación. El líquido sobrenadante, que corresponde al agua residual tratada es desechada (Efluente) durante el tiempo de vaciado mediante una válvula solenoide (Asca Red-Hat II) que se cierra cuando el nivel del líquido del reactor alcanza el nivel del puerto de descarga. Las válvulas solenoides y las bombas de alimentación fueron controladas por un Timer controlador electrónico (timing Motor modelo 4001-00, Paragon Electric Co., Inc.). Ver figura 3.

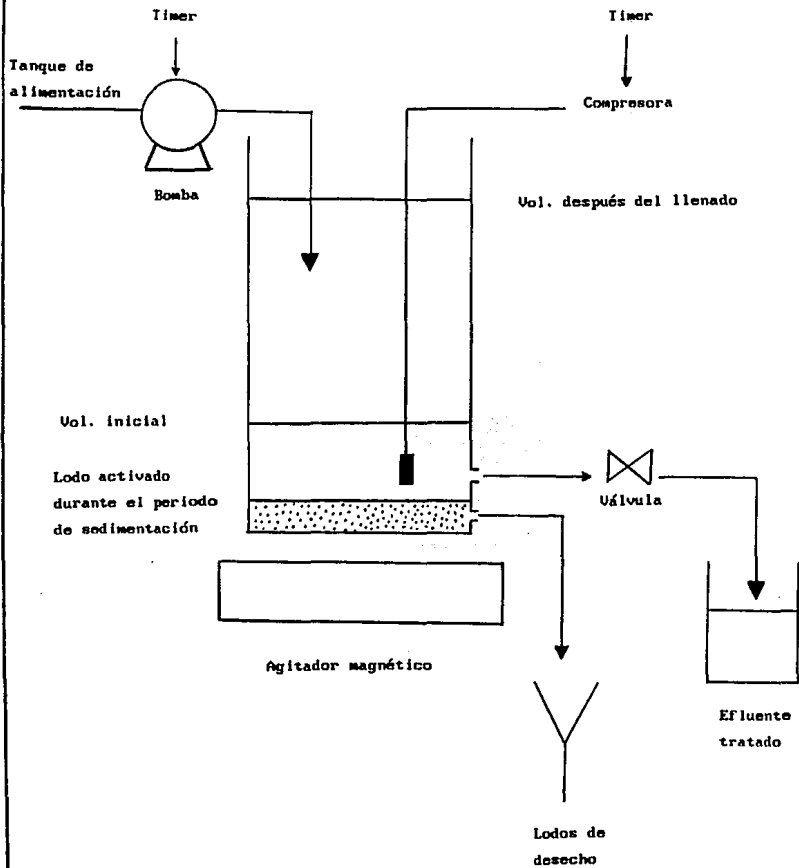
Para algunos experimentos se excluyó la opción del agitador magnético. A cada reactor se le fueron asignando diferentes condiciones de trabajo con ciclos de operación de doce y veinticuatro horas. En el reactor uno ( R-1 ) se probaron los experimentos I, II y III. Para el reactor dos (R-2) los experimentos IV y V, y para el reactor tres (R-3) se probaron los experimentos VI, VII, VIII y IX. Además se incorporó la flexibilidad de los SBR en el estudio experimental para permitir cualquier combinación (ver Apéndice, tabla 4). A continuación se describen las condiciones de operación para cada uno de los experimentos involucrados:

Experimento I (del 22 de Junio al 31 de Agosto de 1993).

La duración del ciclo fue de veinticuatro horas, incluyendo una hora y media de alimentación combinada con una hora y media de aereación, una hora de sedimentación, media hora de vaciado, y una hora de reposo. El tiempo total de aereación fue de veintiuna horas y media.



Fig. 3. Diagrama del reactor de secuencia Batch



Experimento II (del 31 de Agosto al 25 de Octubre de 1993).

Ciclo de doce horas. Incluye una hora y media de alimentación combinada con una hora y media de mezclado, siete horas de aireación, una hora de sedimentación, media hora de vaciado y dos horas de reposo.

Experimento III (del 25 de Octubre al 17 de Diciembre de 1993).

Ciclo de doce horas. Incluye dos horas y media de alimentación combinada con dos horas y media de mezclado, siete horas de aireación, una hora de sedimentación, una hora y media de vaciado y media hora de reposo.

Experimento IV (del 22 de Junio al 17 de Agosto de 1993).

Ciclo de doce horas. Incluye una hora y media de alimentación combinada con una hora y media de aireación, una hora de sedimentación, media hora de vaciado y una hora de reposo. Se incluyen dos líneas de aireación. El tiempo total de aireación fue de nueve horas y media.

Experimento V (del 18 de Agosto al 17 de Diciembre de 1993).

Ciclo de doce horas. Incluye una hora y media de alimentación, ocho horas de aireación, una hora de sedimentación, media hora de vaciado y una hora de reposo.

Experimento VI (del 22 de Junio al 30 de Agosto de 1993).

Ciclo de doce horas. Incluye una hora y media de alimentación combinada con una hora y media de aireación, una hora de sedimentación, media hora de vaciado y una hora de reposo. El tiempo total de aireación fue de nueve horas y media.

Experimento VII (del 19 de Octubre al 5 de Noviembre de 1993).

Ciclo de doce horas. Incluye cuatro horas de alimentación combinada con cuatro horas de mezclado, cuatro horas y media de aireación, una hora de sedimentación, media hora de vaciado y dos horas de reposo.

Experimento VIII (del 6 de Noviembre al 15 de Noviembre de 1993).

Ciclo de doce horas. Incluye cuatro horas de alimentación, cinco horas y media de aireación, una hora de sedimentación, una hora de vaciado y media hora de reposo.

Experimento IX (del 23 de Noviembre al 17 de Diciembre de 1993).

Ciclo de doce horas. Incluye cuatro horas de alimentación combinada con dos horas de aireación, una hora de sedimentación, media hora de vaciado y dos horas de reposo. El tiempo total de aireación fue de seis horas y media. Se aumentó el gasto de un valor final de seis litros a un volumen final de ocho litros.

Durante el periodo que comprende del 1º de Septiembre al 4 de Octubre (periodo de lluvias), el agua residual proveniente del Interceptor Poniente de la Ciudad de México presentaba gran cantidad de sólidos suspendidos y por lo tanto, los Efluentes que se obtenían de los reactores no eran de buena calidad. Por lo que se optó porque éstos no funcionarán durante ese periodo.

Se les determinó Fósforo Total y Nitrógeno Amoniacal a 200 muestras de agua residual cruda (Influente) del Interceptor Poniente de la Ciudad de México y a 200 muestras de agua residual ya tratada (efluente).

El Fósforo Total se cuantificó mediante las técnicas 4500-P B y 4500-P C del Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 15th. ed. Esta técnica tiene un error relativo de 0.4 y una desviación estandar relativa de 7.0.

En cuanto el Nitrógeno Amoniacal, este se cuantificó mediante las técnicas 4500-NH B y 4500-NH E del Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 15th. ed. La desviación estandar relativa para esta técnica es de 21.6 y el error relativo es de 2.6.

Ambas técnicas son Métodos Normalizados y Estandarizados <sup>(32)</sup>.

**RESULTADOS**  
**Y**  
**ANALISIS DE RESULTADOS**

## **7.0 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS**

Los resultados obtenidos en el presente estudio acerca de la remoción de fósforo y nitrógeno se enlistan en las tablas 5 a la 22 y se ilustran en las figuras correspondientes (ver Apéndice).

### **EXPERIMENTO I (DEL 22 DE JUNIO AL 31 DE AGOSTO DE 1993).**

La concentración más alta para el fósforo del Influyente fue de 18 mg/l y para el Efluente >1.0 mg/l. Se observaron algunos días en los cuales la concentración de fósforo fue mayor la del Efluente que la del Influyente, esto es debido a que las válvulas de descarga no operaron adecuadamente y los lodos del reactor contaminaron el Efluente tratado. El porcentaje de remoción más alto fue del 90%, pero el porcentaje promedio estuvo entre el 50%.

La concentración más alta para el nitrógeno del Influyente fue de aproximadamente 23.0 mg/l y la más baja para el Efluente de 0.3 mg/l. Se observa que en los primeros días del experimento, la concentración de nitrógeno del Influyente es más alta en comparación a los otros días. El porcentaje de remoción más alto para este experimento fue del 100.0%, aunque el porcentaje promedio estuvo entre el 95.0%.

### **EXPERIMENTO II (DEL 31 DE AGOSTO AL 28 DE OCTUBRE DE 1993).**

La concentración más alta para el fósforo del Influyente fue de aproximadamente 19.0 mg/l y para el Efluente >1.0 mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue del 93%, y el porcentaje promedio estuvo entre el 60%.

La concentración más alta para el nitrógeno del Influyente fue de aproximadamente 16.0 mg/l y la más baja para el Efluente de aproximadamente 4.0 mg/l. El porcentaje de remoción más alto en este caso fue de aproximadamente 70% y el porcentaje promedio fue de aproximadamente el 40%.

### **EXPERIMENTO III (DEL 9 DE NOVIEMBRE AL 17 DE DICIEMBRE DE 1993).**

La concentración más alta para el fósforo del Influyente fue de aproximadamente 30.0 mg/l y la más baja para el Efluente fue >0.5 mg/l. El porcentaje de remoción más alto para este experimento fue del 100%, pero el porcentaje promedio fue del 50%. La concentración más alta para el nitrógeno del Influyente fue de aproximadamente de 35 mg/l y la más baja para el Efluente fue de aproximadamente 5.0mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue aproximadamente del 90%, pero el porcentaje promedio fue del 30%.

#### EXPERIMENTO IV (DEL 22 DE JUNIO AL 17 DE AGOSTO DE 1993).

La concentración más alta para el fósforo del Influyente fue de aproximadamente de 18.0 mg/l y la concentración más baja para el Efluente fue  $>0.5$  mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue del 100%, en alguna ocasión no se observó remoción debido a que los lodos estaban muy abultados y rebasaron el puerto de descarga durante el periodo de vaciado. El porcentaje de remoción promedio para este experimento fue del 40%.

La concentración más alta para el nitrógeno del Influyente fue de aproximadamente 22.0 mg/l y la concentración más baja para el Efluente fue de 0.3 mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue de aproximadamente el 98%, aunque la tendencia de los resultados es decreciente, posteriormente se observa un ascenso, esto es debido a que la sedimentabilidad del lodo no era la adecuada y contaminaba el Efluente tratado. Pero el porcentaje promedio en este caso fue de aproximadamente el 75%.

#### EXPERIMENTO V (DEL 18 DE AGOSTO AL 17 DE DICIEMBRE DE 1993).

La concentración más alta para el fósforo del Influyente fue aproximadamente de 30 mg/l y para el Efluente, la concentración más baja fue de  $>1.0$  mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue del 100% pero el porcentaje promedio fue de aproximadamente el 75%.

La concentración más alta para el nitrógeno del Influyente fue de aproximadamente 35.0 mg/l y para el Efluente fue  $>1.0$  mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue del 100%. El porcentaje de remoción promedio fue de aproximadamente el 95%. Se observa una marcada caída en la eficiencia de la remoción, esto es, porque los lodos se comenzaron a abultar por lo que se optó por dejarlos sedimentar más tiempo (una hora más), y suministrarles más aire, ya que este no era suficiente.

#### EXPERIMENTO VI (DEL 22 DE JUNIO AL 30 DE AGOSTO DE 1993).

La concentración más alta para el fósforo del Influyente fue aproximadamente de 18.0 mg/l y para el Efluente fue  $>1.0$  mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue del 100% pero el porcentaje promedio fue aproximadamente del 50%.

La concentración más alta para el nitrógeno del Influyente fue de aproximadamente 23.0 mg/l y para el Efluente fue de aproximadamente 0.5 mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue del 100% y el porcentaje promedio fue del 85%.

#### EXPERIMENTO VII (DEL 19 DE OCTUBRE AL 5 DE NOVIEMBRE DE 1993).

La concentración más alta para el fósforo del Influyente fue de aproximadamente 19.0 mg/l y para el Efluente fue de aproximadamente 0.6 mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue del 87% y el porcentaje promedio fue aproximadamente del 38%.

La concentración más alta para el nitrógeno del Influyente fue de aproximadamente 16.0 mg/l y para el Efluente fue de 2.5 mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue aproximadamente del 82%, y el porcentaje promedio fue aproximadamente del 33%. Tanto para el fósforo como para el nitrógeno se observaron algunas ocasiones en donde no hubo remoción, debido a que las mangueras de alimentación se obstruyeron.

**EXPERIMENTO VIII (DEL 6 DE NOVIEMBRE AL 15 DE NOVIEMBRE DE 1993).** La concentración más alta para el fósforo del Influyente fue de aproximadamente 14.0 mg/l y para el Efluente fue aproximadamente de 3.0 mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue de aproximadamente el 70%, y el porcentaje promedio fue del 37%. La concentración más alta para el nitrógeno del Influyente fue aproximadamente 11.0 mg/l y para el Efluente fue de 5.0 mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue aproximadamente del 46%.

En este experimento se observa una tendencia decreciente debido a que el reactor se perforó al calentarse con la parrilla del mismo agitador y éste sufrió un desperfecto y comenzaron a desestabilizarse los lodos.

**EXPERIMENTO IX (DEL 23 DE NOVIEMBRE AL 17 DE DICIEMBRE DE 1993).** La concentración más alta para el fósforo del Influyente fue aproximadamente 30 mg/l y para el Efluente fue >1.0 mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue del 100%, pero el porcentaje promedio fue aproximadamente del 74%. La concentración más alta para el nitrógeno del Influyente fue aproximadamente 30.0 mg/l y para el Efluente fue aproximadamente 6 mg/l. El porcentaje de remoción más alto fue aproximadamente del 78% y el porcentaje promedio fue del 40%.

Las gráficas 23 y 24 ilustran los resultados obtenidos del porcentaje de remoción para el fósforo total y el nitrógeno amoniacal para los nueve experimentos (ver Apéndice).

Con respecto al fósforo total, la gráfica 23 muestra que los experimentos donde se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción fueron la II (60%), V (75%) y la IX (74%). Las características entre estos tres experimentos son el que: el Experimento V a diferencia del Experimento IX, no combinó la alimentación con la aereación, además de que su gasto volumétrico y su tiempo de alimentación fueron menores. En el caso del Experimento II, a diferencia del Experimento V, si tuvo periodos combinados (una hora y media de alimentación y una hora y media de mezclado), pero con referencia al experimento IX, fue menor el tiempo de alimentación (una hora y media contra cuatro horas).

En tanto para el nitrógeno amoniacal, la gráfica 24 muestra que los experimentos donde se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción fueron la I (95%), V (95%) y la VI (85%). Las características entre estos tres experimentos son: que la Experimento I al igual que el Experimento VI combinaron una hora y media de alimentación con una hora y media de aereación, aunque el Experimento I a diferencia del Experimento VI fue de veinticuatro horas, y obtuvo un porcentaje de remoción un poco mayor al del Experimento VI. Esto puede ser debido a que el Experimento I tenía más horas totales de aereación que el Experimento VI, lo que provocaba un mayor desplazamiento de

nitrógeno amoniacal por el oxígeno. En el caso del Experimento V, a diferencia de los Experimentos I y VI, presenta un tiempo de trabajo más prolongado, lo que permite que los microorganismos trabajen más eficientemente, debido a que se encuentran acoplados a su medio ambiente.

En base a las observaciones anteriores, podemos sugerir que: los Experimentos II, V y IX son los más apropiados para la remoción de fósforo y que los Experimentos I, V, y IV son los más apropiados para la remoción de nitrógeno. Y que en caso de que se desee la remoción conjunta del fósforo y del nitrógeno, la mejor opción sería el Experimento V.



## **CONCLUSIONES Y** **RECOMENDACIONES**

## **8.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El objetivo de esta tesis fue la remoción de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales del Interceptor Poniente de la Ciudad de México mediante un proceso de lodos activados utilizando Reactores de Secuencia Batch, con el fin de obtener un Efluente que pueda ser utilizado como agua de riego agrícola y para evitar la posible eutroficación del cuerpo receptor que recibe su descarga.

La remoción de fósforo y nitrógeno se logró por un proceso biológico (sin la necesidad de adición de reactivos químicos).

La alternación de condiciones aeróbicas y anaeróbicas en reactores de secuencia batch puede simultáneamente remover fósforo y nitrógeno sin la adición de reactivos químicos.

El tiempo o extensión de cada período en cada ciclo de operación son parámetros operacionales y de diseño.

Las operaciones en las cuales el llenado del agua residual se realizó sin aereación mostraron el mejor funcionamiento para la remoción de fósforo.

En base a las observaciones anteriores, podemos sugerir que: los Experimentos II, V y X son los más apropiados para la remoción de fósforo y que los Experimentos I, V, VI son los más apropiados para la remoción de nitrógeno. Las características más importantes se resumen en las tablas 25 y 26 (ver Apéndice).

En caso de que se desee la remoción conjunta del fósforo y nitrógeno, la mejor opción sería emplear el experimento V, como lo apoya la gráfica 27 que resume los resultados obtenidos (ver Apéndice).

## RECOMENDACIONES

De acuerdo con la experiencia hasta ahora realizada en el laboratorio, los resultados fueron buenos, pero es posible seguir investigando para obtener una estrategia que evite altas y bajas en los resultados.

En este proceso de tratamiento biológico se puede caer en problemas de filamentosas, el cual, va asociado a cualquier proceso de tratamiento biológico y por consiguiente es necesario seguir investigando para evitar ese problema.

La remoción biológica es una alternativa viable al tratamiento químico y debe ser considerado para el diseño de nuevas plantas de tratamiento.

## **APENDICE**

**TABLA 1. LISTA DE ALGUNOS COMPUESTOS  
QUE CONTIENEN FOSFORO**

GRUPO	COMPUESTO
ORTOFOSFATOS	$H_3PO_4$ $HPO_4^{2-}$ $H_2PO_4^-$ $PO_4^{3-}$ $HPO_4^{2-}$ COMPLEJOS
POLIFOSFATOS	$H_6P_2O_7$ $H_5P_2O_7^-$ $H_2P_2O_7^{2-}$ $HP_2O_7^{3-}$ $P_2O_7^{4-}$ $HP_2O_7^{3-}$ COMPLEJOS
FOSFATOS ORGANICOS	incluyendo fosfolípidos, fosfatos de azúcar, nucleótidos, fosfámidas

**TABLA 2. FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
RESULTADOS DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (mg/l)  
DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL INTERCEPTOR PONIENTE**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE	REACTOR-1	REACTOR-2	REACTORS
22/06/93	1	562	15	368	53
30/06/93	2	229	15	37	15
02/07/93	3	----	30	22	52
06/07/93	4	----	7	29	36
07/07/93	5	----	24	56	64
09/07/93	6	----	47	63	110
13/07/93	7	118	63	78	----
14/07/93	8	----	39	55	----
16/07/93	9	126	8	24	24
20/07/93	10	185	40	40	56
22/07/93	11	----	16	8	16
23/07/93	12	----	8	16	32
27/07/93	13	253	24	95	72
28/07/93	14	----	32	110	----
02/08/93	15	150	16	63	----
04/08/93	16	----	9	26	60
05/07/93	17	----	9	51	----
10/08/93	18	329	17	43	61
11/08/93	19	299	62	44	62
13/08/93	20	363	8	24	32
17/08/93	21	203	63	70	117
18/08/93	22	140	39	70	78
19/08/93	23	172	16	23	63
20/08/93	24	304	24	32	56
23/08/93	25	528	7	8	32
24/08/93	26	272	32	----	56
26/08/93	27	134	----	39	63
27/08/93	28	80	8	8	24
20/10/93	29	395	139	77	100
21/10/93	30	567	399	----	----
27/10/93	31	170	32	8	48
28/10/93	32	176	79	55	119
08/11/93	33	298	48	41	----
10/11/93	34	211	8	8	81
12/11/93	35	355	78	63	78
22/11/93	36	254	39	55	----
24/11/93	37	211	73	24	121
26/11/93	38	505	189	158	102
01/12/93	39	552	----	----	40
10/12/93	40	613	48	24	48
14/12/93	41	281	124	47	----
15/12/93	42	303	63	143	63
18/12/93	43	272	24	40	72

**TABLA 3. FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
RESULTADOS DE LOS SOLIDOS VOLATILES DE LICOR MEZCLADO  
DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL INTERCEPTOR PONIENTE**

FECHA	No. DE MUESTRA	REACTOR 1 CONC. (mg/l)	REACTOR 2 CONC. (mg/l)	REACTOR 3 CONC. (mg/l)
22/06/93	1	1140	1135	1440
25/06/93	2	1115	915	1825
01/07/93	3	795	800	1245
05/07/93	4	840	685	960
07/07/93	5	1080	870	1210
09/07/93	6	995	790	945
12/07/93	7	725	710	995
14/07/93	8	715	540	1020
16/07/93	9	920	925	1025
19/07/93	10	425	335	420
21/07/93	11	675	615	620
23/07/93	12	675	620	780
27/07/93	13	710	800	640
29/07/93	14	670	615	1135
30/07/93	15	950	550	1030
02/08/93	16	705	----	1235
04/08/93	17	962	1055	1125
06/08/93	18	610	680	940
09/08/93	19	795	940	1075
12/08/93	20	684	1065	1505
19/08/93	21	336	336	740
23/08/93	22	1204	1204	1152
25/08/93	23	1208	1208	1684
30/08/93	24	1072	----	1120
13/10/93	25	----	----	708
15/10/93	26	----	----	920
19/10/93	27	----	----	1450
03/11/93	28	2135	----	3105
13/11/93	29	1785	----	1210
14/11/93	30	1280	----	----
15/11/93	31	1136	----	1575
19/11/93	32	1255	----	----
22/11/93	33	1720	----	885
24/11/93	34	885	----	770
26/11/93	35	2220	----	2560
29/11/93	36	2060	----	2530
02/12/93	37	1610	----	2160
07/12/93	38	1645	----	2135
14/12/93	39	1565	----	1595
17/12/93	40	1675	----	2025

**TABLA 4. RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE OPERACION EMPLEADAS PARA LOS REACTORES DE SECUENCIA BATCH**

NUMERO DE EXPERIMENTO	PERIODOS (EN HORAS)						PERIODOS COMBINADOS (EN HORAS)
	AL	ME	AE	SE	VA	RE	
I 22 JUN - 31 AGO	1.5	----	21.5	1.0	0.5	1.0	1.5AL - 1.5 AE
II 31 AGO - 25 OCT	1.5	1.5	7.0	1.0	0.5	2.0	1.5AL - 1.5ME
III 25 OCT - 17 DIC	2.5	2.5	7.0	1.0	0.5	1.0	2.5AL - 2.5ME
IV* 22 JUN - 17 AGO	1.5	----	9.5	1.0	0.5	1.0	1.5AL - 1.5AE
V 18 AGO - 17 DIC	1.5	----	8.0	1.0	0.5	1.0	-----
VI 22 JUN - 30 AGO	1.5	----	9.5	1.0	1.0	0.5	1.5AL - 1.5AE
VII 19 OCT - 5 DIC	4.0	4.0	4.5	1.0	0.5	2.0	4.0AL - 4.0ME
VIII 6 NOV - 15 NOV	4.0	----	5.5	1.0	1.0	0.5	-----
IX** 23 NOV - 17 DIC	4.0	----	6.5	1.0	0.5	2.0	4.0AL - 2.0AE

\* Se instalaron dos líneas de aeración.

\*\* Se aumentó el gasto a 8 litros

AL alimentación  
ME mezclado  
AE aeración

SE sedimentación  
VA vaciado  
RE reposo



**TABLA 5. REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR I  
EXPERIMENTO I (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)  
(22 JUN - 31 AGO)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
24/06/93	1	9.50	4.53	52.00
30/06/93	2	8.94	7.37	17.00
02/07/93	3	13.99	9.46	32.00
05/07/93	4	8.85	8.59	3.00
06/07/93	5	14.41	12.25	15.00
07/07/93	6	0.40	0.22	45.00
08/07/93	7	0.99	0.57	42.00
09/07/93	8	3.71	3.88	0.00
13/07/93	9	3.88	1.68	56.00
14/07/93	10	4.58	3.01	34.00
15/07/93	11	2.24	0.22	90.00
16/07/93	12	1.20	1.16	3.00
19/07/93	13	4.75	2.94	38.00
20/07/93	14	4.01	1.48	59.00
21/07/93	15	4.91	2.23	54.00
22/07/93	16	3.26	0.69	78.00
23/07/93	17	4.01	1.61	59.00
26/07/93	18	4.36	1.72	60.00
27/07/93	19	8.94	5.03	43.00
28/07/93	20	10.75	1.27	88.00
29/07/93	21	4.68	1.34	71.00
30/07/93	22	7.20	4.41	38.00
02/08/93	23	11.38	5.45	52.00
03/08/93	24	1.89	6.78	0.00
04/08/93	25	3.01	2.84	5.00
05/08/93	26	2.49	1.27	48.00
06/08/93	27	3.88	3.08	20.00
10/08/93	28	14.52	8.24	43.00
11/08/93	29	16.96	7.54	55.00
12/08/93	30	12.43	7.82	37.00
13/08/93	31	14.87	9.57	35.00
16/08/93	32	17.31	8.42	51.00
17/08/93	33	9.99	8.94	10.00
18/08/93	34	8.59	3.43	60.00
19/08/93	35	3.88	3.18	18.00
20/08/93	36	4.06	3.18	21.00
23/08/93	37	15.57	5.10	67.00
24/08/93	38	18.18	7.54	58.00
25/08/93	39	8.17	8.17	0.00
26/08/93	40	12.43	11.73	5.00
27/08/93	41	8.59	7.20	16.00

**TABLA 6. REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR I  
EXPERIMENTO II (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. ME)  
(31 AGO - 28 OCT)**

<b>FECHA</b>	<b>No. DE MUESTRA</b>	<b>INFLUENTE CONC. (mg/l)</b>	<b>EFLUENTE CONC. (mg/l)</b>	<b>% REMOCION</b>
19/10/93	1	9.81	9.29	5.00
20/10/93	2	10.16	5.10	49.00
21/10/93	3	12.78	10.34	73.00
22/10/93	4	16.09	7.96	50.00
25/10/93	5	11.38	4.58	59.00
26/10/93	6	3.36	0.22	93.00
27/10/93	7	5.10	1.79	64.00
28/10/93	8	18.83	2.20	88.00

**TABLA 7. REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 1  
EXPERIMENTO III (2.5 Hrs. AL - 2.5 Hrs. ME)  
(9 NOV - 17 DIC)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
09/11/93	1	11.73	0.00	100.00
10/11/93	2	11.73	0.00	100.00
11/11/93	3	11.38	0.00	100.00
12/11/93	4	14.35	0.00	100.00
23/11/93	5	12.60	0.00	100.00
24/11/93	6	18.71	0.92	95.00
25/11/93	7	14.52	11.73	19.00
26/11/93	8	16.27	11.73	29.00
29/11/93	9	14.35	12.43	13.00
30/11/93	10	16.09	0.00	100.00
01/12/93	11	12.78	0.00	100.00
02/12/93	12	13.54	0.00	100.00
03/12/93	13	19.06	0.00	100.00
07/12/93	14	10.68	6.15	42.00
09/12/93	15	10.96	0.57	42.00
10/12/93	16	13.82	5.10	63.00
14/12/93	17	9.99	6.50	34.00
15/12/93	18	7.54	4.58	39.00
16/12/93	19	10.30	3.99	61.00
17/12/93	20	8.94	3.18	64.00
18/12/93	21	29.72	9.01	69.00

**TABLA 8. REMOCION DE NITROGENO AMONICAL - REACTOR 1  
EXPERIMENTO I (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)  
(22 JUN - 31 AGO)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
24/06/93	1	4.92	2.20	55.00
30/06/93	2	22.60	8.31	63.00
02/07/93	3	20.81	0.69	96.00
05/07/93	4	3.38	0.77	77.00
06/07/93	5	3.15	0.30	90.00
07/07/93	6	3.77	0.00	91.00
08/07/93	7	3.46	0.30	100.00
09/07/93	8	4.46	0.61	91.00
13/07/93	9	6.16	0.77	36.00
14/07/93	10	6.16	0.53	91.00
15/07/93	11	6.23	0.38	93.00
16/07/93	12	7.31	0.77	89.00
19/07/93	13	8.70	0.46	94.00
20/07/93	14	7.16	1.54	78.00
21/07/93	15	8.23	0.30	96.00
22/07/93	16	8.47	1.54	81.00
23/07/93	17	9.08	0.92	89.00
26/07/93	18	6.62	1.54	76.00
27/07/93	19	9.47	0.69	92.00
28/07/93	20	9.85	0.38	96.00
29/07/93	21	6.46	0.38	94.00
30/07/93	22	7.54	0.53	92.00
02/08/93	23	8.70	0.38	95.00
03/08/93	24	6.85	0.23	96.00
04/08/93	25	9.31	0.38	95.00
05/08/93	26	8.00	0.23	97.00
06/08/93	27	7.93	0.00	100.00
10/08/93	28	8.47	0.15	98.00
11/08/93	29	8.47	0.30	96.00
12/08/93	30	8.54	0.23	97.00
13/08/93	31	9.24	0.46	95.00
16/08/93	32	8.54	0.30	96.00
17/08/93	33	8.62	0.23	97.00
18/08/93	34	8.08	0.30	96.00
19/08/93	35	9.85	0.23	97.00
20/08/93	36	10.39	0.30	97.00
23/08/93	37	9.24	0.38	95.00
24/08/93	38	8.93	0.38	95.00
25/08/93	39	10.24	0.15	98.00
26/08/93	40	7.77	0.53	93.00
27/08/93	41	7.13	0.46	93.00

**TABLA 9. REMOCION DE NITROGENO AMONICAL - REACTOR I  
EXPERIMENTO II (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. ME)  
(31 AGO - 28 OCT)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
19/10/93	1	14.16	6.31	55.00
20/10/93	2	15.70	4.38	72.00
21/10/93	3	13.78	10.24	25.00
22/10/93	4	13.86	10.08	27.00
25/10/93	5	8.93	7.54	15.00
26/10/93	6	9.16	5.23	42.00
27/10/93	7	10.00	5.46	45.00
28/10/93	8	10.62	6.39	39.00

**TABLA 10. REMOCION DE NITROGENO AMONIACAL - REACTOR 1  
EXPERIMENTO III (2.5 Hrs. AL - 2.5 Hrs. ME)  
(9 NOV - 17 DIC)**

<b>FECHA</b>	<b>No. DE MUESTRA</b>	<b>INFLUENTE CONC. (mg/l)</b>	<b>EFLUENTE CONC. (mg/l)</b>	<b>% REMOCION</b>
09/11/93	1	11.03	5.72	48.00
10/11/93	2	11.03	6.33	42.00
11/11/93	3	10.90	6.40	41.00
12/11/93	4	10.76	7.69	28.00
23/11/93	5	12.50	10.80	13.00
24/11/93	6	15.12	10.28	32.00
25/11/93	7	14.98	11.44	23.00
26/11/93	8	14.58	10.83	27.00
29/11/93	9	16.96	15.67	7.00
30/11/93	10	17.10	15.19	11.00
07/12/93	11	32.80	10.01	69.00
09/12/93	12	32.80	13.89	57.00
10/12/93	13	32.80	26.42	19.00
14/12/93	14	27.40	24.11	12.00
15/12/93	15	33.33	23.76	28.00
16/12/93	16	32.80	23.40	92.00
17/12/93	17	33.69	23.90	28.00
18/12/93	18	34.58	25.71	25.00

**TABLA 11. REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 2  
EXPERIMENTO IV (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)  
(22 JUN - 17 AGO)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
24/06/93	1	9.50	2.11	77.00
30/06/93	2	8.94	7.37	17.00
02/07/93	3	13.99	8.24	41.00
05/07/93	4	8.85	6.50	26.00
06/07/93	5	14.41	5.97	58.00
07/07/93	6	0.40	0.00	100.00
08/07/93	7	0.99	0.00	100.00
09/07/93	8	3.71	1.89	49.00
13/07/93	9	3.88	2.14	44.00
14/07/93	10	4.58	3.08	32.00
15/07/93	11	2.24	0.74	66.00
16/07/93	12	1.20	0.22	81.00
19/07/93	13	4.75	2.92	38.00
20/07/93	14	4.01	0.24	94.00
21/07/93	15	4.91	2.23	54.00
22/07/93	16	3.26	0.79	75.00
23/07/93	17	4.01	0.24	94.00
26/07/93	18	4.36	0.00	100.00
27/07/93	19	8.94	3.71	58.00
28/07/93	20	10.75	2.31	78.00
29/07/93	21	4.68	0.22	95.00
30/07/93	22	7.20	3.88	46.00
02/08/93	23	11.38	8.87	22.00
03/08/93	24	1.89	2.31	0.00
04/08/93	25	3.01	0.29	90.00
05/08/93	26	2.49	0.00	100.00
06/08/93	27	3.88	2.03	47.00
10/08/93	28	14.52	3.71	74.00
11/08/93	29	16.96	7.89	53.00
12/08/93	30	12.43	6.67	46.00
13/08/93	31	14.87	7.13	52.00
16/08/93	32	17.31	6.85	60.00
17/08/93	33	9.99	6.85	31.00

**TABLA 12. REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 2  
EXPERIMENTO V (8 Hrs. AE)  
(18 AGO - 17 DIC)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
18/08/93	1	8.59	1.96	77.00
19/08/93	2	3.88	1.34	99.00
20/08/93	3	4.06	2.31	43.00
23/08/93	4	15.57	5.10	67.00
24/08/93	5	18.18	4.58	74.00
25/08/93	6	8.17	5.28	35.00
26/08/93	7	12.43	10.34	16.00
27/08/93	8	8.59	4.58	46.00
19/10/93	9	9.81	2.84	71.00
20/10/93	10	10.16	1.96	80.00
21/10/93	11	12.78	2.84	77.00
22/10/93	12	11.38	3.18	72.00
25/10/93	13	11.38	3.18	72.00
26/10/93	14	3.36	0.39	88.00
27/10/93	15	5.10	1.27	89.00
28/10/93	16	18.83	8.15	56.00
09/11/93	17	11.73	1.27	89.00
10/11/93	18	11.73	3.18	72.00
11/11/93	19	11.38	3.88	65.00
12/11/93	20	14.35	1.60	88.00
23/11/93	21	12.60	0.00	100.00
24/11/93	22	18.71	1.20	93.00
25/11/93	23	14.52	12.43	14.00
26/11/93	24	16.27	12.43	23.00
29/11/93	25	14.35	14.77	11.00
30/11/93	26	16.09	3.01	81.00
07/12/93	27	10.68	7.89	26.00
09/12/93	28	10.96	5.20	47.00
10/12/93	29	13.82	11.73	15.00
14/12/93	30	9.90	7.89	21.00
15/12/93	31	7.54	5.98	20.00
16/12/93	32	10.30	7.02	31.00
17/12/93	33	8.94	4.23	52.00
18/12/93	34	29.72	16.69	43.00



**TABLA 13. REMOCION DE NITROGENO AMONICAL - REACTOR 2  
EXPERIMENTO IV (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)  
(22 JUN - 17 AGO)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
24/06/93	1	4.92	1.07	78.00
30/06/93	2	22.60	0.77	96.00
02/07/93	3	20.81	0.30	98.00
05/07/93	4	3.38	0.30	91.00
06/07/93	5	3.15	0.53	91.00
07/07/93	6	3.77	0.30	83.00
08/07/93	7	3.46	0.50	92.00
09/07/93	8	4.46	0.38	85.00
13/07/93	9	6.16	0.77	96.00
14/07/93	10	6.16	1.84	70.00
15/07/93	11	6.23	1.61	74.00
16/07/93	12	7.31	0.84	88.00
19/07/93	13	8.70	1.30	85.00
20/07/93	14	7.16	1.77	75.00
21/07/93	15	8.23	1.61	80.00
22/07/93	16	8.47	3.61	57.00
23/07/93	17	9.08	3.54	61.00
26/07/93	18	6.62	2.15	67.00
27/07/93	19	9.47	2.61	72.00
28/07/93	20	9.85	3.31	66.00
29/07/93	21	6.46	2.54	60.00
30/07/93	22	7.54	5.23	30.00
02/08/93	23	8.70	5.92	31.00
03/08/93	24	6.85	3.00	56.00
04/08/93	25	9.31	4.62	50.00
05/08/93	26	8.00	5.08	36.00
06/08/96	27	7.93	4.23	46.00
10/08/93	28	8.47	0.38	95.00
11/08/93	29	8.47	0.38	95.00
12/08/93	30	8.54	0.46	94.00
13/08/93	31	9.24	0.61	93.00
16/08/93	32	8.54	0.53	93.00
17/08/93	33	8.62	0.23	97.00

**TABLA 14. REMOCION DE NITROGENO AMONIACAL - REACTOR 2  
EXPERIMENTO V (8 Hrs. AE)  
(18 AGO - 17 DIC)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
18/08/93	1	8.08	0.38	95.00
19/08/93	2	9.85	0.15	98.00
20/08/93	3	10.39	0.00	100.00
23/08/93	4	11.1	0.15	98.00
24/08/93	5	11.1	0.23	97.00
25/08/93	6	10.24	0.23	97.00
26/08/93	7	7.77	0.38	95.00
27/08/93	8	7.13	0.46	93.00
19/10/93	9	14.16	2.61	81.00
20/10/93	10	15.70	0.53	96.00
21/10/93	11	13.78	1.87	86.00
22/10/93	12	13.86	0.74	14.00
25/10/93	13	8.93	0.38	95.00
26/10/93	14	9.16	0.46	94.00
27/10/93	15	10.00	0.23	97.00
28/10/93	16	10.62	0.23	97.00
09/11/93	17	11.03	0.13	98.00
10/11/93	18	11.03	1.56	85.00
11/11/93	19	10.90	7.90	28.00
12/11/93	20	10.76	0.40	96.00
23/11/93	21	12.50	10.49	16.00
24/11/93	22	15.12	11.78	71.00
25/11/93	23	14.98	10.62	29.00
26/11/93	24	14.58	11.24	22.00
29/11/93	25	16.96	12.05	28.00
30/11/93	26	17.10	12.80	25.00
07/12/93	27	32.80	11.65	64.00
09/12/93	28	32.80	9.87	69.00
10/12/93	29	32.80	23.91	27.00
14/12/93	30	27.48	22.34	18.00
15/12/93	31	33.33	23.94	28.00
16/12/93	32	32.80	24.64	24.00
17/12/93	33	33.69	23.54	30.00
18/12/93	34	34.58	28.01	18.00

**TABLA 15. REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 3  
EXPERIMENTO VI (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)  
(22 JUN - 30 AGO)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
24/06/93	1	9.50	5.40	43.00
30/06/93	2	8.94	8.07	9.00
02/07/93	3	13.90	8.07	9.00
05/07/93	4	8.85	8.59	2.00
06/07/93	5	14.41	7.89	45.00
07/07/93	6	0.40	0.22	45.00
08/07/93	7	0.99	0.00	100.00
09/07/93	8	3.71	2.31	37.00
13/07/93	9	3.88	3.36	13.00
14/07/93	10	4.58	3.18	30.00
15/07/93	11	2.24	0.85	62.00
16/07/93	12	1.20	0.57	52.00
19/07/93	13	4.75	2.99	37.00
20/07/93	14	4.01	0.45	88.00
21/07/93	15	4.91	2.23	54.00
22/07/93	16	3.26	0.52	84.00
23/07/93	17	4.01	0.10	97.00
26/07/93	17	4.36	1.48	66.00
27/07/93	19	8.94	4.93	44.00
28/07/93	20	10.75	1.79	83.00
29/07/93	21	4.68	0.00	100.00
30/07/93	22	7.20	2.31	67.00
02/08/93	23	11.38	6.43	43.00
03/08/93	24	1.89	3.18	0.00
04/08/93	25	3.01	0.00	100.00
05/08/93	26	2.49	0.00	100.00
06/08/93	27	3.88	1.96	49.00
10/08/93	28	14.52	10.51	27.00
11/08/93	29	16.96	6.08	64.00
12/08/93	30	12.43	5.80	53.00
13/08/93	31	14.87	6.50	56.00
16/08/93	32	17.31	7.37	57.00
17/08/93	33	9.99	4.48	55.00
18/08/93	34	8.59	1.68	80.00
19/08/93	35	3.88	1.20	69.00
20/08/93	36	4.06	2.84	30.00
23/08/93	37	15.57	6.85	56.00
24/08/93	38	18.18	7.37	59.00
25/08/93	39	9.29	8.17	12.00
26/08/93	40	12.43	6.50	47.00
27/08/93	41	8.59	3.36	60.00

**TABLA 16. REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 3  
EXPERIMENTO VII (4.0 Hrs. AL - 4.0 Hrs. ME)  
(19 OCT - 5 NOV)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTR CONC. (mg/l)	% REMOCION
19/10/93	1	9.81	3.53	64.00
20/10/93	2	10.16	7.82	23.00
21/10/93	3	12.78	10.34	19.00
22/10/93	4	16.09	7.89	50.00
25/10/93	5	11.38	11.38	0.00
26/10/93	6	3.36	5.45	0.00
27/10/93	7	5.10	0.64	87.00
28/10/93	8	18.83	8.15	56.00

**TABLA 17. REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 3  
EXPERIMENTO VIII (5.5 Hrs. AE)  
(6 NOV - 15 NOV)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
09/11/93	1	11.73	3.36	71.00
10/11/93	2	11.73	7.37	37.00
11/11/93	3	11.38	9.46	16.00
12/11/93	4	14.35	10.68	25.00

**TABLA 18. REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 3  
EXPERIMENTO IX (4 Hrs. AL - 2 Hrs. AE VOL. 8L)  
(23 NOV - 17 DIC)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
23/11/93	1	12.60	0.00	100.00
24/11/93	2	18.71	1.55	91.00
25/11/93	3	14.52	0.57	96.00
26/11/93	4	16.27	0.57	96.00
29/11/93	5	14.35	1.27	88.00
30/11/93	6	16.09	3.18	80.00
07/12/93	7	10.68	4.93	53.00
09/12/93	8	10.96	9.29	15.00
10/12/93	9	13.82	5.87	99.00
14/12/93	10	9.99	8.07	19.00
15/12/93	11	7.54	3.01	60.00
16/12/93	12	10.30	0.90	99.00
17/12/93	13	8.94	2.14	76.00
18/12/93	14	29.72	10.08	66.00

**TABLA 19. REMOCION DE NITROGENO AMONICAL - REACTOR 3  
EXPERIMENTO VI (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)  
(22 JUN - 30 AGO)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
24/06/93	1	4.92	4.46	9.00
30/06/93	2	22.60	3.71	83.00
02/07/93	3	20.81	0.30	98.00
05/07/93	4	3.38	0.00	100.00
06/07/93	5	3.15	0.00	100.00
07/07/93	6	3.77	0.78	100.00
08/07/93	7	3.46	0.60	79.00
09/07/93	8	4.46	0.00	82.00
13/07/93	9	6.16	0.69	100.00
14/07/93	10	6.16	0.53	91.00
15/07/93	11	6.23	1.30	79.00
16/07/93	12	7.31	0.46	93.00
19/07/93	13	8.70	0.61	92.00
20/07/93	14	7.16	1.15	83.00
21/07/93	15	8.23	1.84	77.00
22/07/93	16	8.47	1.46	82.00
23/07/93	17	9.08	2.77	69.00
26/07/93	18	6.62	2.15	67.00
27/07/93	19	9.47	2.07	78.00
28/07/93	20	9.85	3.61	63.00
29/07/93	21	6.46	2.23	65.00
30/07/93	22	7.54	2.92	61.00
02/08/93	23	8.70	4.15	52.00
03/08/93	24	6.85	5.08	25.00
04/08/93	25	9.31	3.46	62.00
05/08/93	26	8.00	4.08	49.00
06/08/93	27	7.93	4.38	44.00
10/08/93	28	8.47	0.77	90.00
11/08/93	29	8.47	0.15	99.00
12/08/93	30	8.54	0.19	97.00
13/08/93	31	9.29	0.53	94.00
16/08/93	32	8.54	1.69	80.00
17/08/93	33	8.62	0.23	97.00
18/08/93	34	8.08	0.23	97.00
19/08/93	35	9.85	0.30	96.00
20/08/93	36	10.39	0.23	97.00
23/08/93	37	9.24	0.38	95.00
24/08/93	38	8.93	0.92	89.00
25/08/93	39	10.24	0.53	94.00
26/08/93	40	7.77	0.46	94.00
27/08/93	41	7.13	0.15	97.00

**TABLA 20. REMOCION DE NITROGENO AMONICAL - REACTOR 3  
EXPERIMENTO VII (4 Hrs. AL - 4 Hrs. ME)  
(19 OCT - 5 NOV)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
19/10/93	1	14.46	2.61	81.00
20/10/93	2	15.70	8.00	49.00
21/10/93	3	13.78	10.31	25.00
22/10/93	4	13.86	9.62	30.00
25/10/93	5	8.93	8.93	1.00
26/10/93	6	9.16	14.16	0.00
27/10/93	7	10.00	6.23	37.00
28/10/93	8	10.62	6.39	39.00



**TABLA 21. REMOCION DE NITROGENO AMONICAL - REACTOR 3  
EXPERIMENTO VIII (5.5 Hrs. AE)  
(6 NOV - 15 NOV)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
09/11/93	1	11.03	5.04	54.00
10/11/93	2	11.03	5.31	51.00
11/11/93	3	10.90	6.06	44.00
12/11/93	4	10.76	6.88	36.00

**TABLA 22. REMOCION DE NITROGENO AMONICAL - REACTOR 3  
EXPERIMENTO IX (4 Hrs. AL - 2 Hrs. AE VOL. 8L)  
(23 NOV - 17 DIC)**

FECHA	No. DE MUESTRA	INFLUENTE CONC. (mg/l)	EFLUENTE CONC. (mg/l)	% REMOCION
24/11/93	1	15.12	7.76	48.00
25/11/93	2	14.98	6.33	57.00
26/11/93	3	14.58	8.17	43.00
29/11/93	4	16.96	16.62	2.00
30/11/93	5	17.10	7.76	54.00
07/12/93	6	32.80	14.51	55.00
09/12/93	7	32.80	7.08	78.00
10/12/93	8	32.80	19.32	41.00
14/12/93	9	27.48	17.20	37.00
15/12/93	10	33.33	24.64	26.00
16/12/93	11	32.80	21.63	28.00
17/12/93	12	33.69	24.47	27.00
18/12/93	13	34.58	21.81	36.00

**TABLA 23. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS  
PARA CADA EXPERIMENTO  
(FOSFORO TOTAL)**

EXPERIMENTO	CONCENTRACION DE FOSFORO TOTAL (mg/l)		% PROMEDIO DE REMOCION DE FOSFORO TOTAL (%)
	INFLUENTE	EFLUENTE	
I	18.0	>0.5	50.0
II	19.0	>0.5	60.0
III	30.0	>0.5	30.0
IV	18.0	>0.5	40.0
V	30.0	>1.0	75.0
VI	18.0	>1.0	50.0
VII	19.0	>0.5	38.0
VIII	14.0	>1.0	37.0
IX	30.0	>1.0	74.0

**TABLA 24. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS  
PARA CADA EXPERIMENTO  
(NITROGENO AMONICAL)**

EXPERIMENTO	CONCENTRACION DE NITROGENO AMONICAL (mg/l)		% PROMEDIO DE REMOCION DE NITROGENO AMONICAL (%)
	INFLUENTE	EFLUENTE	
I	23.0	0.3	95.0
II	16.0	4.0	40.0
III	35.0	5.0	30.0
IV	22.0	0.3	75.0
V	35.0	>1.0	95.0
VI	23.0	0.5	85.0
VII	16.0	2.5	33.0
VIII	11.0	5.0	46.0
IX	30.0	6.0	40.0

**TABLA 25. RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE OPERACION  
SUGERIDAS PARA LA REMOCION DE FOSFORO TOTAL**

NUMERO DE EXPERIMENTO	PERIODOS (EN HORAS)						PERIODOS COMBINADOS (EN HORAS)
	AL	ME	AE	SE	VA	RE	
II	1.5	1.5	7.0	1.0	0.5	2.0	1.5AL-1.5ME
V	1.5	----	8.0	1.0	0.5	1.0	-----
IX**	4.0	----	6.5	1.0	0.5	2.0	4.0AL-2.0AE

\*\* Se aumentó el gasto a 8 litros

AL alimentación  
ME mezclado  
AE aereación

SE sedimentación  
VA vaciado  
RE reposo

**TABLA 26. RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE OPERACION  
SUGERIDAS PARA LA REMOCION DE  
NITROGENO AMONICAL**

NUMERO DE EXPERIMENTO	PERIODOS (EN HORAS)						PERIODOS COMBINADOS (EN HORAS)
	AL	ME	AE	SE	VA	RE	
I	1.5	----	21.5	1.0	0.5	1.0	1.5AL-1.5AE
V	1.5	----	8.0	1.0	0.5	1.0	-----
VI	1.5	----	9.5	1.0	1.0	0.5	1.5AL-1.5AE

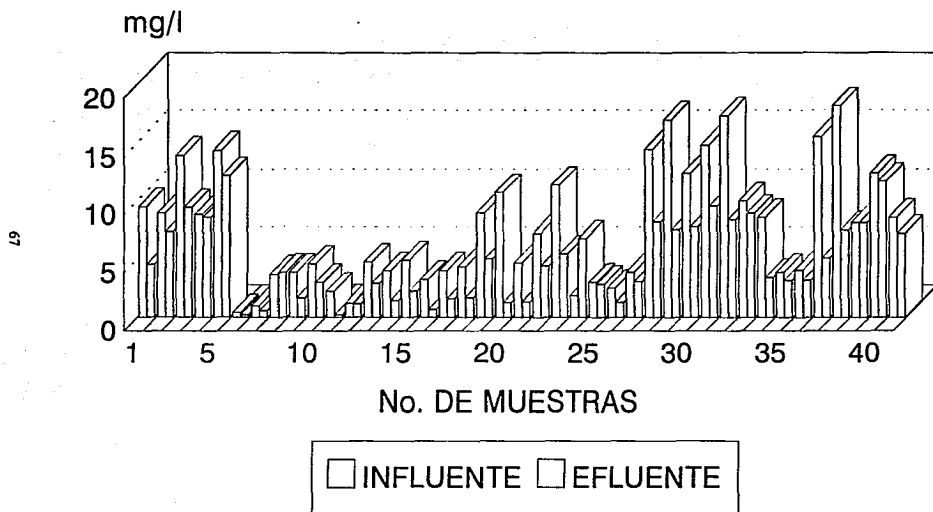
AL alimentación  
ME mezclado  
AE aereación

SE sedimentación  
VA vaciado  
RE reposo

# REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 1

EXPERIMENTO I (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)

(22 JUN - 31 AGO)



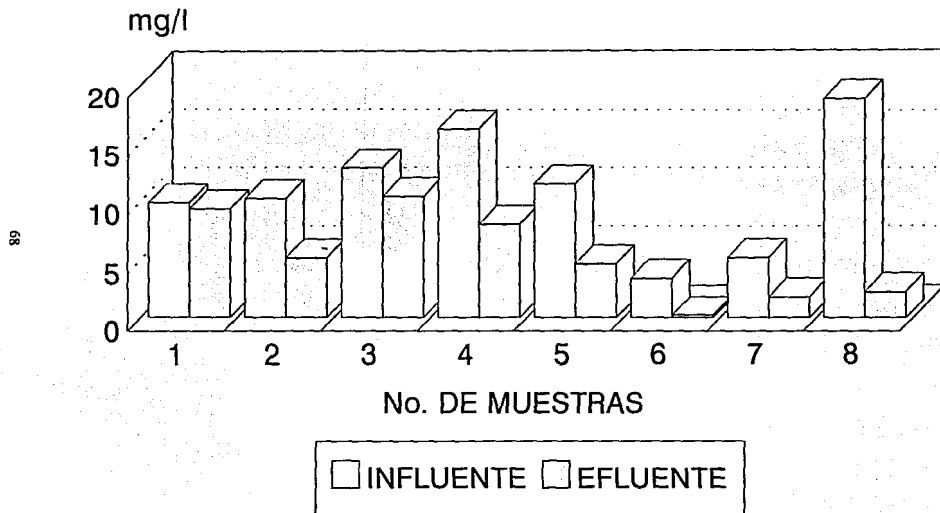
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 5

# REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 1

EXPERIMENTO II (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. ME)

(31 AGO - 28 OCT)



FES-C  
LAB. T. AGUAS

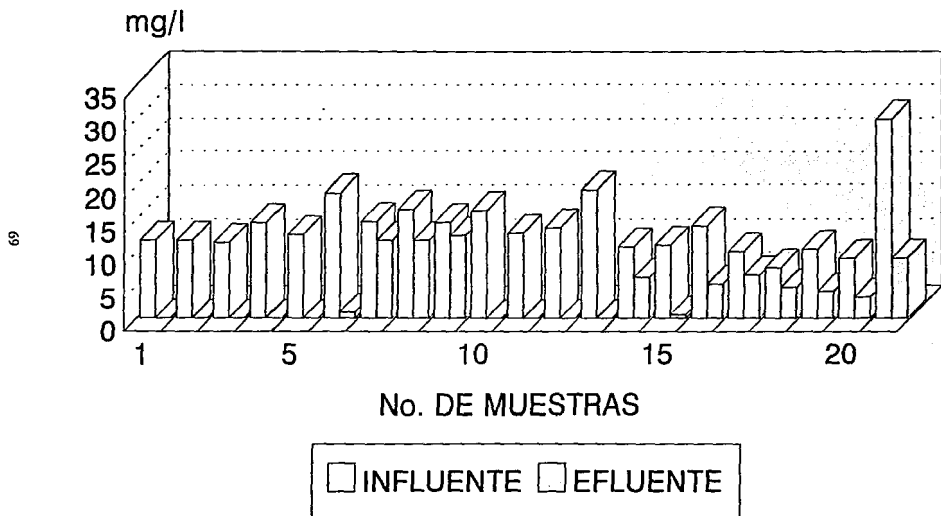
FIG. 6



# REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 1

EXPERIMENTO III (2.5 Hrs. AL - 2.5 Hrs. ME)

(9NOV - 17 DIC)



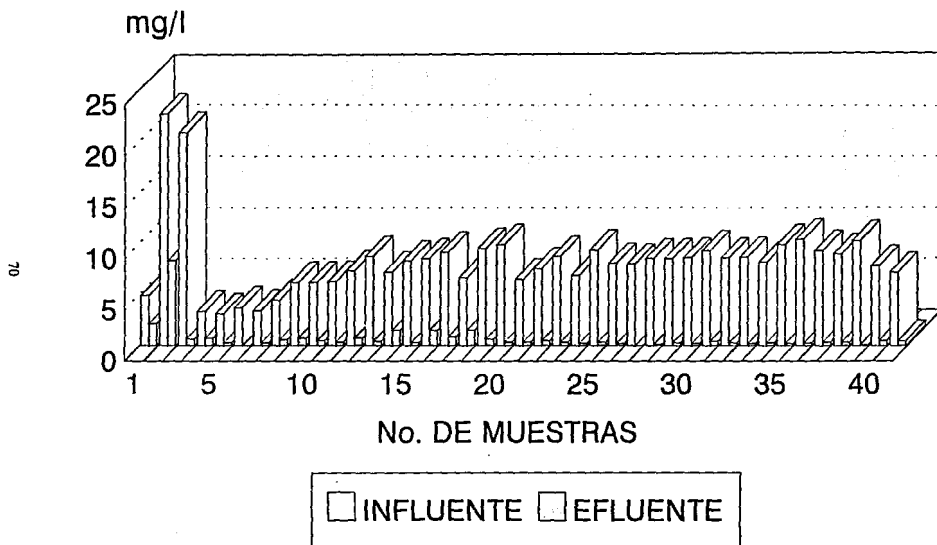
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 7

# REMOCION DE NITROGENO AMONIACAL - REACTOR 1

EXPERIMENTO I (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)

(22 JUN - 31 AGO)



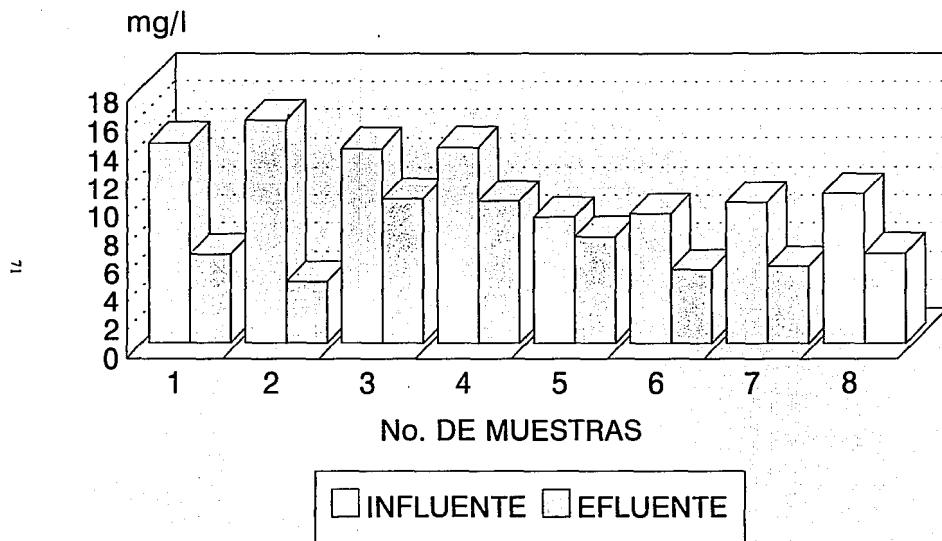
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 8

# REMOCION DE NITROGENO AMONIACAL - REACTOR 1

EXPERIMENTO II (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. ME)

(31 AGO - 28 OCT)



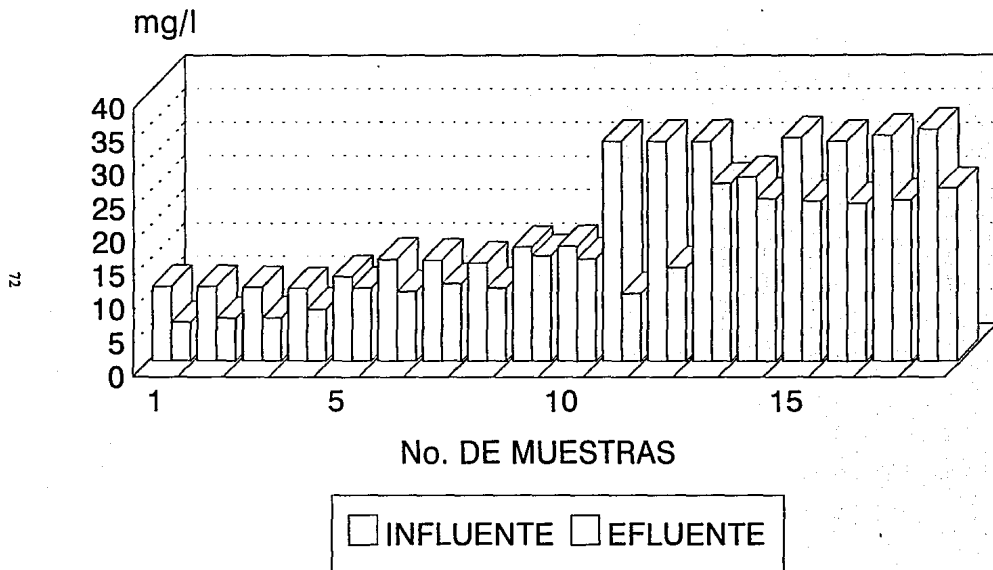
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 9

# REMOCION DE NITROGENO AMONIACAL - REACTOR 1

EXPERIMENTO III (2.5 Hrs. AL - 2.5 Hrs. ME)

(9NOV -17 DIC)



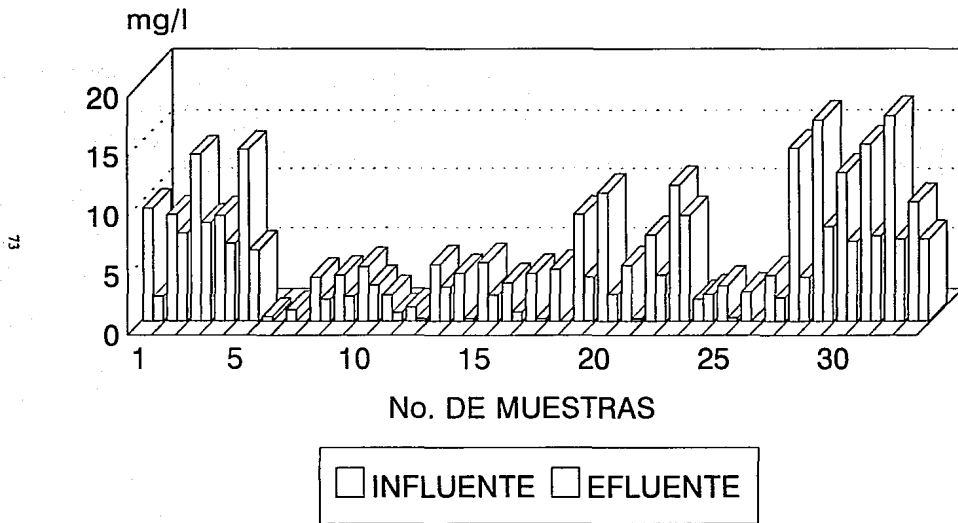
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 10

# REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 2

EXPERIMENTO IV (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)

(22 JUN - 17 AGO)



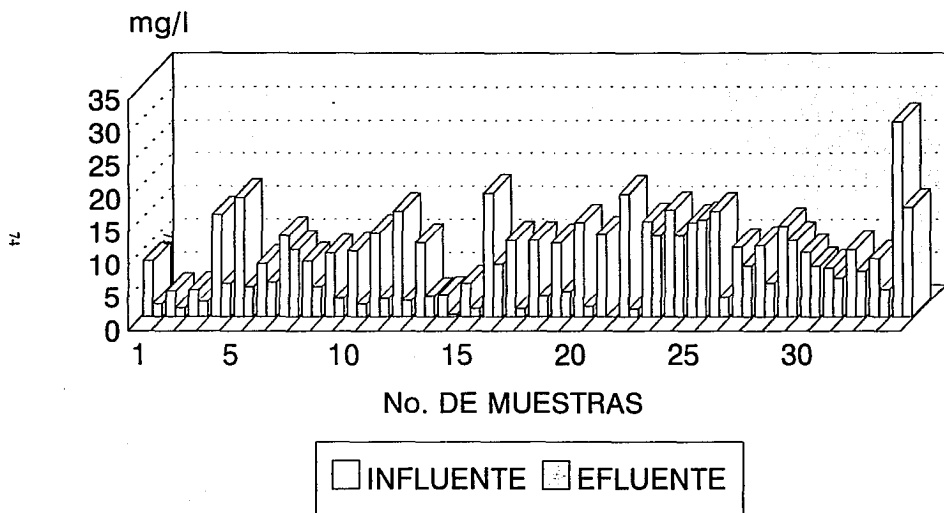
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 11

# REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 2

EXPERIMENTO V (8 Hrs. AE)

(18 AGO - 17 DIC)



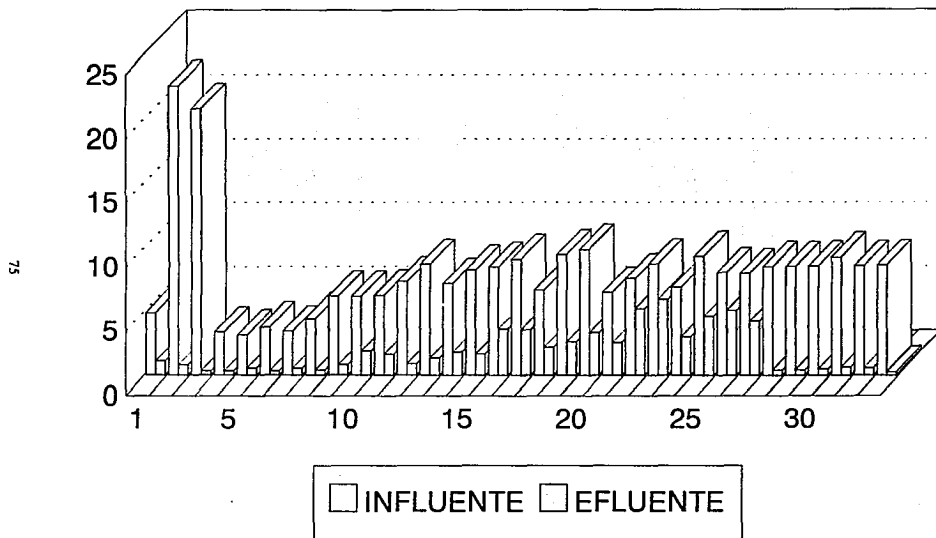
FES-C  
L. T. AGUAS

FIG. 12

# REMOCION DE NITROGENO AMONIACAL - REACTOR 2

EXPERIMENTO IV (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)

822 JUN -17 AGO



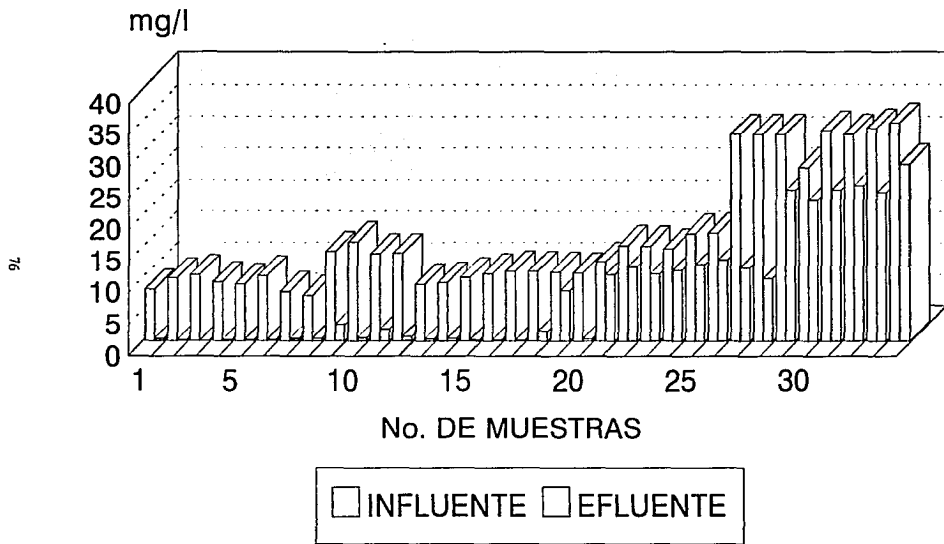
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 13

# REMOCION DE NITROGENO AMONIACAL - REACTOR 2

EXPERIMENTO V (8 Hrs. AE)

(18 AGO - 17 DIC)



FES-C  
LAB. T. AGUAS

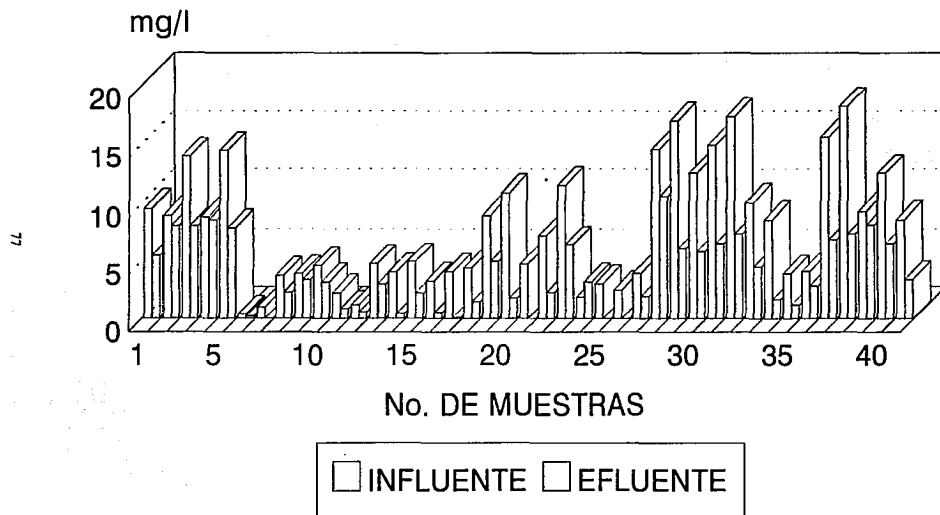
FIG. 14



# REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 3

EXPERIMENTO VI (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs. AE)

(22 JUN - 30 AGO)



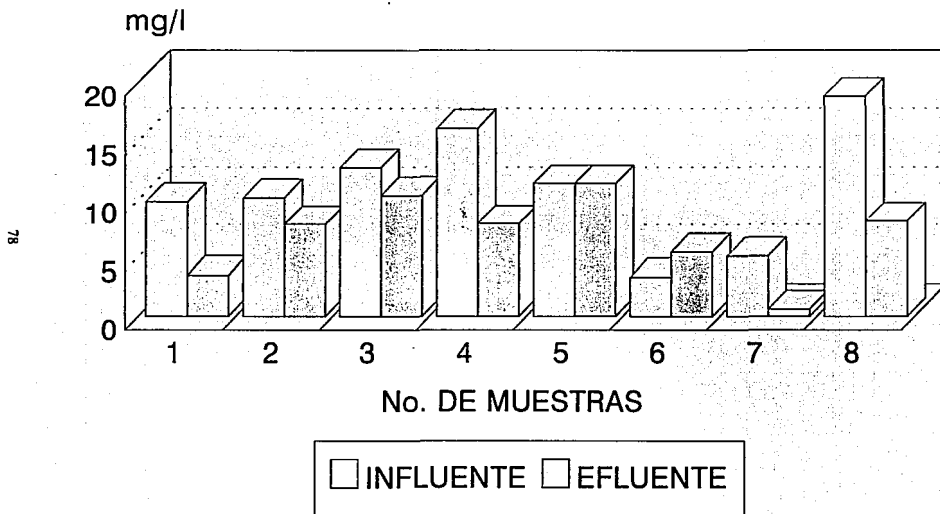
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 15

# REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 3

EXPERIMENTO VII (4.0 Hrs. AL - 4.0 Hrs. ME)

(19 OCT - 5 NOV)



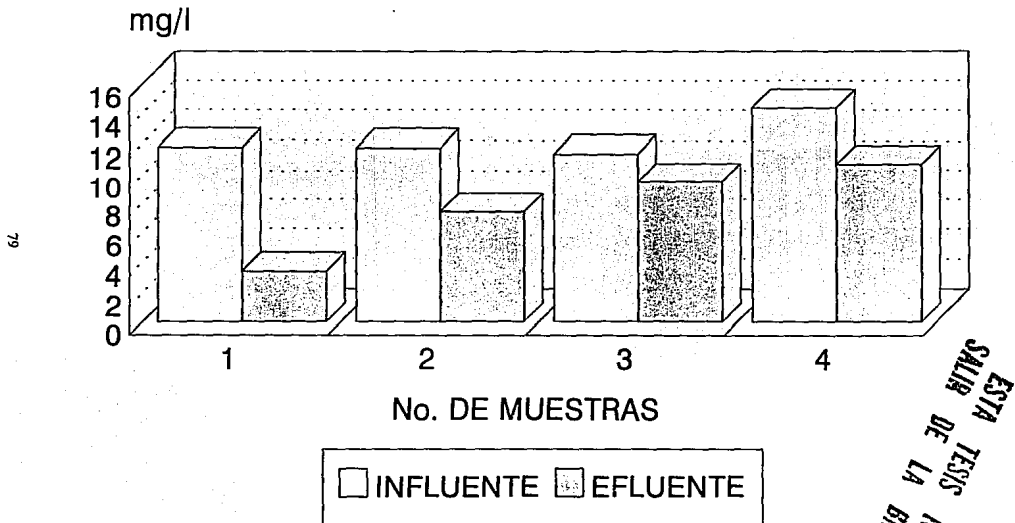
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 16

# REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 3

EXPERIMENTO VIII (5.5 Hrs. AE)

(6 NOV - 15 NOV)



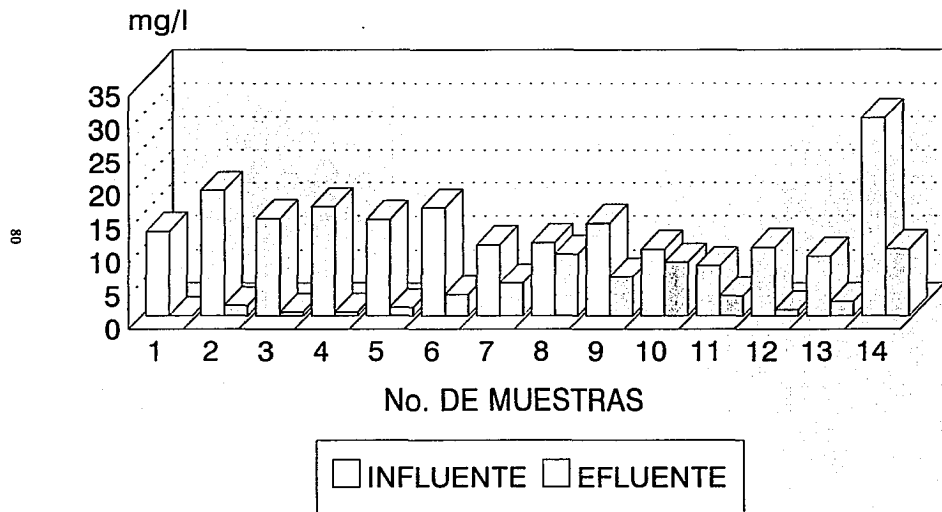
FES-C  
LAB. TRAT. AGUAS

FIG. 17

# REMOCION DE FOSFORO TOTAL - REACTOR 3

EXPERIMENTO IX (4.0 Hrs. AL - 2.0 Hrs. AE, VOL. 8L)

(23 NOV - 17 DIC)



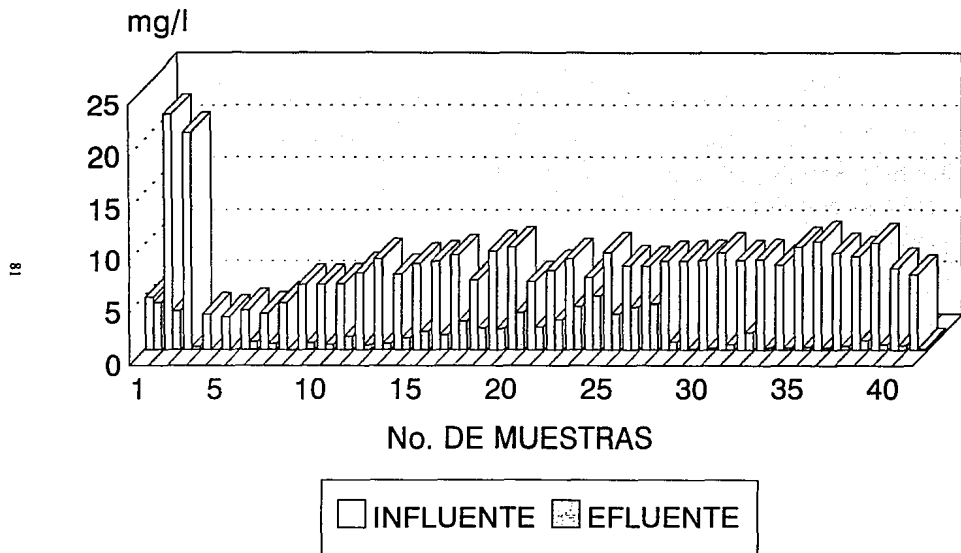
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 18

# REMOCION DE NITROGENO AMONICAL - REACTOR 3

EXPERIMENTO VI (1.5 Hrs. AL - 1.5 Hrs AE)

(22 JUN - 30 AGO)



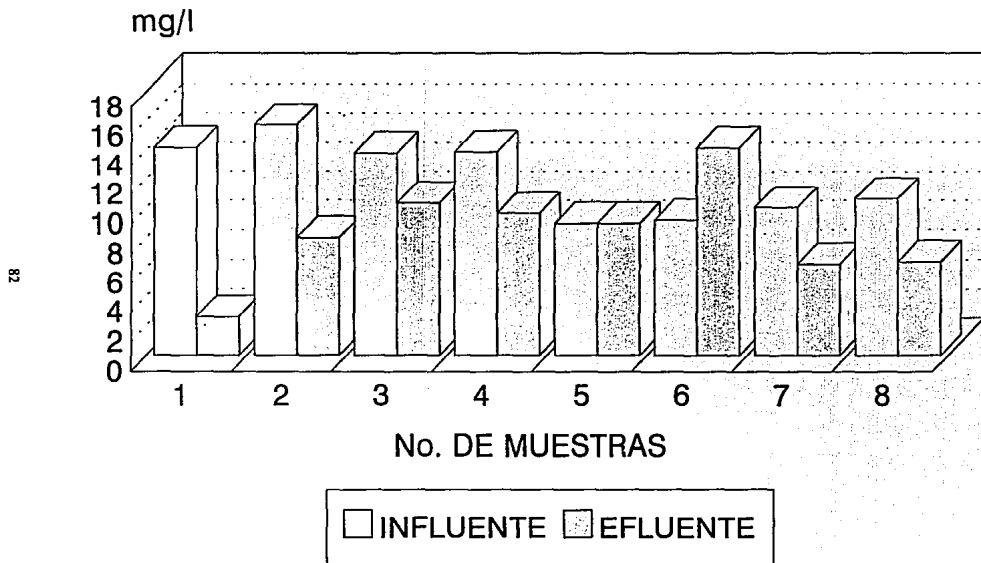
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 19

# REMOCION DE NITROGENO AMONIACAL - REACTOR 3

EXPERIMENTO VII (4.0 Hrs. AL - 4.0 Hrs. ME)

(19 OCT - 5 NOV)



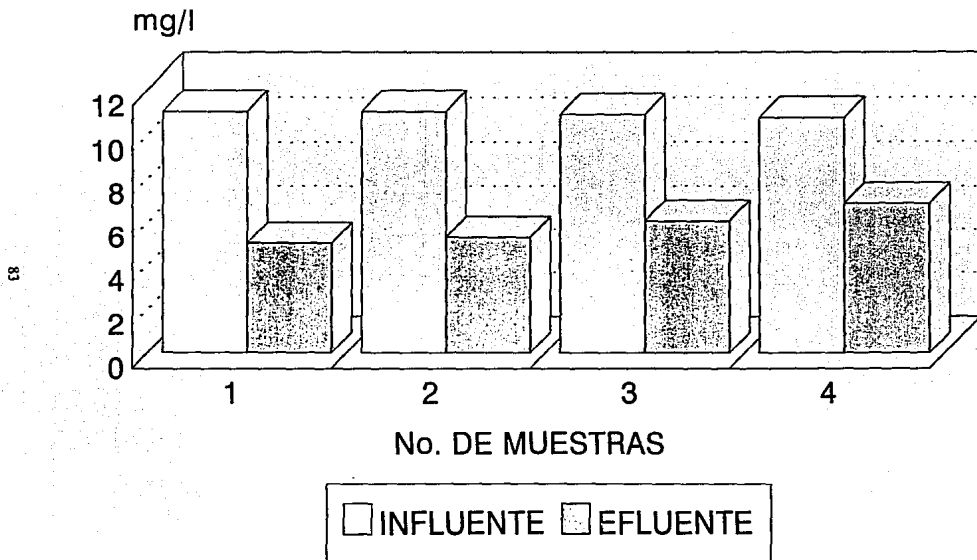
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 20

# REMOCION DE NITROGENO AMONIACAL - REACTOR 3

EXPERIMENTO VIII (5.5 Hrs. AE)

(6 NOV - 15 NOV)



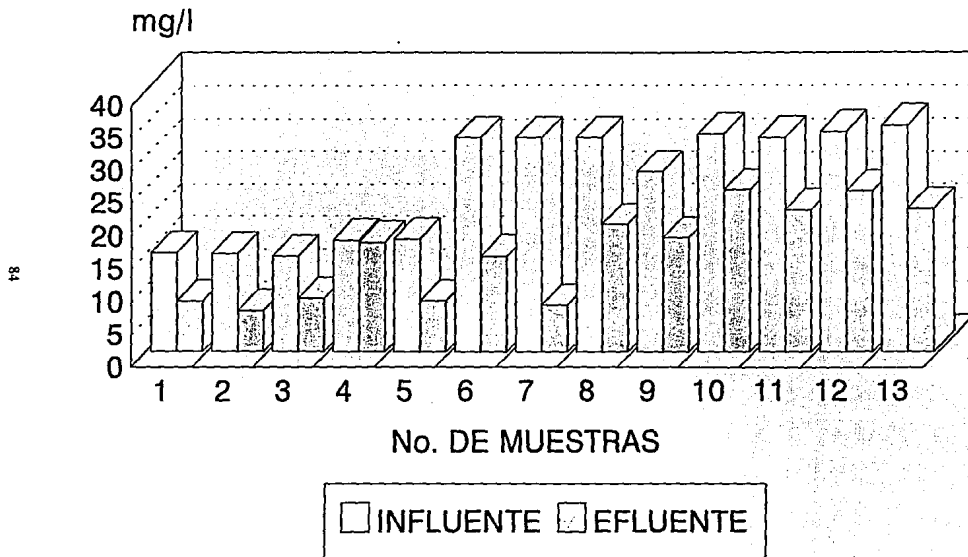
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG.21

# REMOCION DE NITROGENO AMONICAL - REACTOR 3

EXPERIMENTO IX (4.0 Hrs. AL - 2.0 Hrs. AE, VOL. 8L)

(23 NOV - 17 DIC)



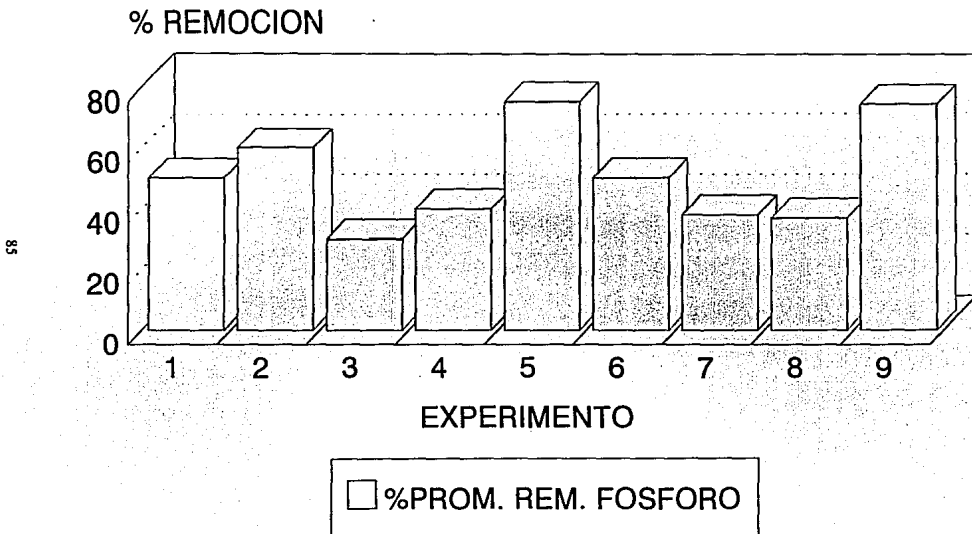
FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 22



# REMOCION DE FOSFORO TOTAL

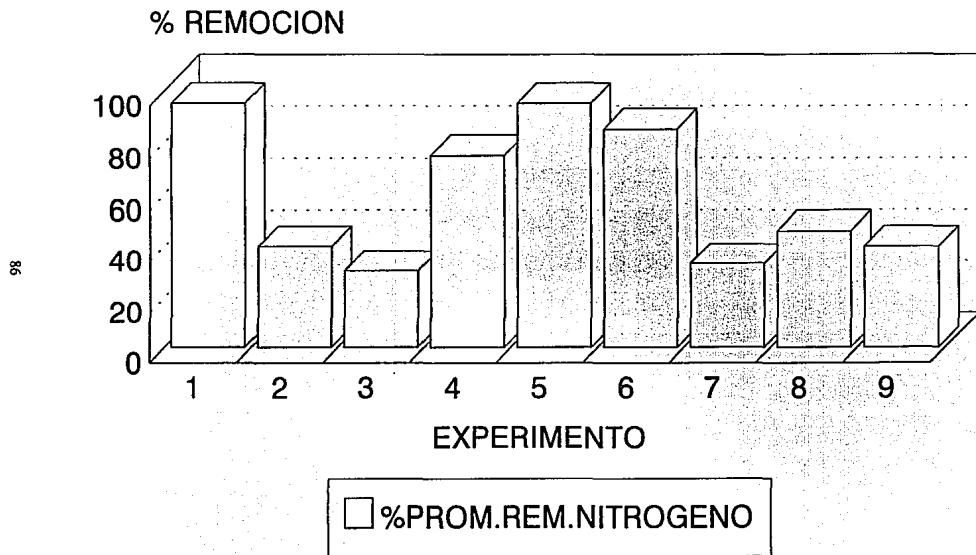
## PORCENTAJES PROMEDIO



FES-C  
LAB. T. AGUAS

# REMOCION DE NITROGENO AMONIAICAL

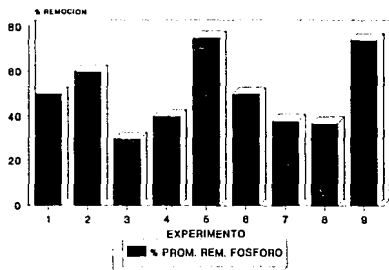
## PORCENTAJES PROMEDIO



FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 24

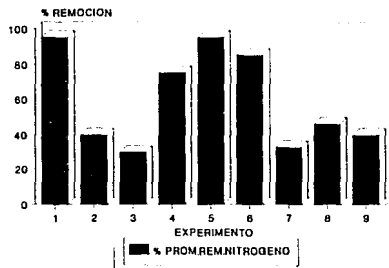
REMOCIÓN DE FOSFORO TOTAL  
PORCENTAJES PROMEDIO



FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 23

REMOCIÓN DE NITROGENO AMONICAL  
PORCENTAJES PROMEDIO



FES-C  
LAB. T. AGUAS

FIG. 24

FIG. 27

## **BIBLIOGRAFIA**

## 10.0 BIBLIOGRAFIA

- 1) Water Pollution Control Federation. **Nutrient Control Manual of Practice FD-7 Facilities Design**. Ed. Automated Graphic Systems White Plains, Md., U.S.A., 1983.
- 2) Randal, W. Clifford. **Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal**. Editorial Technomic Publishing Co. Inc., N. York, 1987. págs. 2-7, 25, 78.
- 3) SARH. **Fuentes, Efectos y Remoción de Nutrientes del Agua, Nitrógeno y Fósforo**. SARH. Vol. 11, No. 1 de la Revista de Recursos Hidráulicos. 1973.
- 4) Norma Oficial Mexicana (NOM-AA-26). **Aguas Determinación de Nitrógeno Total**. Dirección General de Normas. Secretaria de Patrimonio y Fomento Industrial, 1980.
- 5) Wiley, John and le Sons. **Water and Wastewater Technology**. Hammer Mark, 2<sup>a</sup> ed., U.S.A., 1986. págs. 42, 168-196.
- 6) Vernon, L. Snoeyink, David Jenkins. **Química del Agua**. Limusa, México, 1987. págs. 330-340.
- 7) Irvine, Robert L.. **Secuencing Batch Treatment of Wastewaters in Rural Areas**. Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 51, No. 2. págs. 244-254. Notre Dame, 1979.
- 8) Arora, Madan L.. **Technology Evaluation of Secuencing Batch Reactors**. Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 57, No. 8. págs. 86875. Ohio, 1985.
- 9) Junkins Randy, et. al.. **The Activated Sludge Process**. Editorial Ann Arbor Science, Michigan. 1983. págs. 71-73.
- 10) Irvine, R. L., et. al.. **Municipal Application of Secuencing Batch Treatment**. Journal Water Pollution Control Federation, Vol.44, 848 (1983).
- 11) Halmos, E. E.. **Treating, Sewage one tank**. Civil Engineering, Vol. 4, No. 64. (1986).

- 12) Ketchum, Loyd H.. **An Organic Loading Study of Full Scale Sequencing Batch Reactors.** Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 57, No. 8. Notre Dame. 1985.
- 13) Irvine, Robert L.. **Sequencing Batch Biological Reactors-An Overview.** Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 51, No. 2. págs. 235-243. Notre Dame, 1979.
- 14) Irvine, Robert L.. **The Biological Removal of Phosphorus in a Sequencing Batch Reactors-Practical Considerations and Research Observations.** Water Science Technology. Vol. 17, págs. 311-312. Paris. 1985.
- 15) Manning, John F., et. al.. **The Biological Removal of Phosphorus in a Sequencing Batch Reactor.** Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 57, No. 1. págs. 87-94. Notre Dame. 1985.
- 16) Abuyafed, A. A. and Schroder E. D.. **Performance of SBR/Denitrification with a Primary Sludge Carbon Source.** Journal Water pollution Control Federation. Vol. 58, No. 5. California. 1986.
- 17) Okada, M. and Sudo R.. **Performance of Sequencing Batch Reactor Activated Sludge Processes for Simultaneous Removal of Nitrogen, Phosphorus and BDO as Applied to Small Community Sewage Treatment.** Water Science Technology. Vol. 18, No. (7-8), págs. 363-370. Japan, 1986.
- 18) Okada, Mitsumasa. **Simultaneous Removal of Phosphorus and Nitrogen by Sequencing Batch Reactor Activated Sludge Process.** Water Science Technology. Vol. 17, No. (11-12), págs. 315-316. Paris, 1985.
- 19) Irvine, Robert L., Arora Madan L.. **Analisis of Full Scale SBR Operation at Grundy Center.** Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 59, No. 3. Iowa, 1987.
- 20) EPA. **Biological-Chemical Process for Removing Phosphorus Reno/Sparks, N. York.** EPA-600/2-79-007. February, 1979.
- 21) D., Brock Thomas. **Biología de los Microorganismos.** Omega, Barcelona, 1978. pág. 608.
- 22) Y., Stanier Roger, et. al.. **Microbiología.** Ediciones Repla S.A., 4ª edición., México, 1986. págs. 543-586.

- 23) Irvine, Robert L.. **Nitrogen Removal in a Low-Loaded Single Tank Sequencing Batch Reactor.** Water Pollution Control Federation. Vol. 51, No. 2. págs. 82-86. Notre Dame, 1985.
- 24) Irvine, Robert L.. **Effect of Fill: React Ratio on Sequencing Batch Biological Reactors.** Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 51, No. 2. Notre Dame, 1979
- 25) Odegard, H.. **Norwegian Strategies in The Treatment of Municipal Wastewater Towards The Reduction of Nutrient Discharges to The North Sea.** Water Science Technology . Vol. 24, No. 10. págs. 179-187. Norway, 1991.
- 26) Ketchum, Lloyd H.. **Tertiary Chemical Treatment for Phosphorus Reduction Using Sequencing Batch Reactors.** Journal Water Pollution Control Federation. Vol. 51, No. 2. págs. 298-304. Notre Dame. 1979.
- 27) **Tratamiento del Agua Residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México Bajo los Sistemas SBR y Continuo por el Proceso de Lodos Activados.** Tesis. Marquez P. y Ramirez A., 1993.
- 28) **Caracterización Físicoquímica del Agua Residual del Interceptor Poniente de la Ciudad de México.** Tesis. Osorio Rodrigo. 1990.
- 29) Morales, Liliana M.. **Capability Assessment of Biological Nutrient Removal Facilities.** Reserch Journal WPCF, Vol. 53, No. 5, págs. 900-909, 1991.
- 30) Takahashi, M.. **The operation and Maintenance of Small Scale Wastewater Treatment Plants.** Wat. Sci. Tech., Vol. 18. págs. 313-318. Japan 1986.
- 31) Okada, M. and Sudo R.. **Performance of Sequencing Batch Reactor Activated Sludge Processes for Simultaneous Removal of Nitrogen, Phosphorus and BOD as Applied to Small Community Sewage Treatment.** Wat. Sci. Tech., Vol. 18, No. (7-8), págs. 36370. Japan, 1986.
- 32) APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater.** 15th de., Washington, 1980.