

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES IZTACALA

*BO 592/89 ej. I*

*Biología*

"CARACTERIZACION E IDENTIFICACION MICOLOGICA DE LA  
BIOMASA ADHERIDA A LOS DISCOS DE UN REACTOR BIOLOGICO  
ROTATORIO (BIODISCO) EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS  
RESIDUALES (NEJAYOTE) DE LA INDUSTRIA DEL NIXTAMAL"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A

CELSO SAMUEL MACIAS BRAVO

SAN JUAN IZTACALA

MEXICO, 1989



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

A MI ESPOSA E HIJA

*Lina María y Nubia Citlalli*

*Con todo mi cariño y amor  
y por toda su paciencia y  
comprensión.*

EN MEMORIA A MIS PADRES

y

CON CARINO A TODOS MIS HERMANOS  
*en especial a Saúl y Familia.*

A todos mis amigos y compañeros,  
porque todos sus esfuerzos se vean  
logrados y que nada es imposible  
en esta vida, solamente un poco  
difícil.

Con mucho afecto a mi Director de  
Tesis por sus consejos, su apoyo  
y su paciencia para ver lograda la  
realización de este trabajo.

Agradezco mucho el apoyo brindado  
por el Instituto de Ingeniería de  
la U.N.A.M. y a la Unidad de  
Investigación, Ciencias de la Salud  
y la Enseñanza de la E.N.E.P. Iztacala  
para la realización de esta tesis.

# I N D I C E

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
2. EL MAIZ Y LA NIXTAMALIZACION	5
2.1 Características generales del grano de maíz	6
2.2 La cocción alcalina	8
2.3 Nixtamalización	9
2.4 Nejayote	10
3. GENERALIDADES SOBRE LOS HONGOS	13
3.1 Procesos metabólicos	13
3.2 Clasificación metabólica de los microorganismos	15
3.3 Antecedentes de los organismos Fúngicos	17
3.4 Influencia de los hongos en el ambiente acuático	20
3.5 El significado de los hongos en el combate de la contaminación	23
4. REACTOR BIOLOGICO ROTATORIO (BIODISCOS)	25
4.1 Procesos para el tratamiento de las aguas de desecho	25
4.1.1 Tratamiento primario	26
4.1.2 Tratamiento secundario	26
4.1.3 Tratamiento terciario	28



	Pág.
4.2 <i>Historia</i>	28
4.2.1 El proceso biológico de tratamiento en Biodiscos	31
5. METODOLOGIA	33
5.1 <i>Construcción y operación de la unidad experimental</i>	33
5.1.1 El Reactor Biológico Rotatorio Experimental (Biodiscos)	33
5.1.2 Experimentación	37
5.1.3 Análisis fisicoquímicos	38
5.1.4 Programa de muestreo	38
5.2 <i>Muestreo biológico</i>	38
5.2.1 Toma de muestras microbiológicas	40
5.2.2 Aislamiento	40
5.2.3 Cuantificación	41
5.2.4 Identificación	42
5.2.5 Medios de cultivo	42
6. RESULTADOS Y DISCUSION	46
6.1 <i>Caracterización del nejayote</i>	46
6.2 <i>Resultados de la operación del reactor de Biodiscos</i>	48
6.2.1 Primera etapa experimental	48
6.2.2 Segunda etapa experimental	50

	Pág.
6.2.3 Tercera etapa experimental	50
6.2.4 Aspectos generales del tratamiento del nejayote	53
6.3 <i>Resultados micológicos</i>	60
6.3.1 Cuantificación Global	61
6.3.2 Identificación	61
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFIA	76

## 1. INTRODUCCION

La contaminación de las aguas es un problema que se agudiza cada día más, aunandose a esto el problema de la escasez de la misma. En la actualidad existe una creciente demanda de agua debido al desarrollo industrial y al incremento de la población (comunidades rurales, agropecuarias y de los principales centros urbanos). Consecuentemente se ha incrementado la cantidad de las aguas residuales vertidas a los sistemas acuáticos naturales (ríos, lagos, océanos, etc.).

Las industrias, por sus características de funcionamiento, requieren grandes cantidades de agua en los procesos de producción, considerando al agua como una parte indispensable para la industrialización de materias primas. La producción, acondicionamiento y disposición del agua forman parte integral de los costos industriales de producción; por tal moti-

vo los recursos hídricos deben ser aprovechados al máximo y los desechos que son vertidos a los sistemas acuáticos no deben degradar su calidad (SEDUE, 1983). Esta recomendación, en la mayoría de los casos, no se cumple y la degradación de los recursos hídricos vía desechos industriales crece aceleradamente.

Dentro de la problemática descrita la reutilización del agua brinda la alternativa de reducir su demanda neta, abatiendo así el costo que implica el transporte del vital líquido desde fuentes cada vez más alejadas del sitio de consumo, por lo que los sistemas para tratamiento de las aguas residuales son de principio una solución al problema.

Una de las industrias más difundidas en el país, especialmente en la rama de los alimentos, es la del nixtamal (CONASUPO, 1976). Esta industria requiere de grandes volúmenes de agua para su funcionamiento y por lo tanto produce gran cantidad de aguas de desecho, comúnmente llamadas NEJAYOTE, las cuales contienen altas concentraciones de sustancias orgánicas e inorgánicas (solamente maíz industrializado CONASUPO arroja más de un millón de  $m^3$  de agua de desecho al año) (CONASUPO, 1976; Bazúa, 1982; González, 1983).

Industrias Conasupo, S.A. de C.V. planteó como problema prioritario el tratamiento biológico del nejayote, tanto para re

circular el agua tratada a proceso y ahorrar agua potable, como para recuperar la materia orgánica contenida en el nejayote, pudiéndose obtener efluentes con menor grado de contaminación y aprovechar el material orgánico del nejayote para convertirlo en biomasa y de alguna forma, poder combinarlo con otros componentes para elaborar alimentos balanceados para aves y porcinos.

Los principales sistemas para tratamiento de aguas de desecho son los reactores biológicos, los cuales, mediante la degradación de la materia orgánica por microorganismos, propicia su transformación en biomasa y su mineralización pudiéndose así separar dicha biomasa, posteriormente, por medios físicos y mecánicos.

### Objetivo General

Este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis cualitativo de los hongos microscópicos del agua residual (nejayote) en un reactor biológico rotatorio (Biodisco).

### Objetivos Particulares

- Realizar la caracterización micológica de la biomasa adherida a los discos del biodisco.

- Aislamiento e identificación de los organismos presentes en la biomasa.

## 2. EL MAIZ Y LA NIXTAMALIZACION

A través de los siglos se han llevado a cabo tres grandes revoluciones agrarias; una en el Medio Oriente, con la domesticación del trigo; otra en el Lejano Oriente, con la domesticación del arroz y otra en el Continente Americano, con la domesticación del maíz.

La evidencia fitoarqueológica más antigua que se conoce sobre la existencia del maíz data de aproximadamente 7 000 años, en la parte central de México. Dos mil años después ya se había domesticado y se considera que fue el factor decisivo que favoreció el desarrollo de las grandes culturas en Mesoamérica. En Sudamérica también fue cultivado el maíz, sin embargo no tuvo gran influencia en el desarrollo de estas culturas (Katz et al, 1974).

Durante la época de las grandes culturas en Mesoamérica fue el maíz el cultivo obligado y predominante de los pueblos prehispánicos. Actualmente se cultivan híbridos del maíz, los cuales tienen diferentes características así como diferentes valores agrícolas, dependiendo de su resistencia y adaptabilidad.

Katz et al (1974) informan que, de 51 sociedades identificadas como productoras y consumidoras de maíz, siete son las que principalmente utilizaron el método de cocción alcalina antes de consumir el maíz. De manera contrastante las 12 sociedades productoras y consumidoras más pequeñas no utilizan la cocción alcalina como pretratamiento antes de consumir el maíz como alimento. Las demás utilizaron otros tratamientos menos importantes.

### *2.1 Características generales del grano de maíz*

El grano de maíz (fig 2.1) es un fruto completo y no una semilla como generalmente se cree (Bold, H.C. and Aleopoulus, C.J., 1981). Está constituido por una unidad integumentaria (Pericarpio), una pared ovárica (Aleurona), el endospermo (la mayor parte del grano), el germen que contiene al embrión (coleoptilo, la plúmula, la radícula y la coleorriza) y el escutelum o cotiledón.



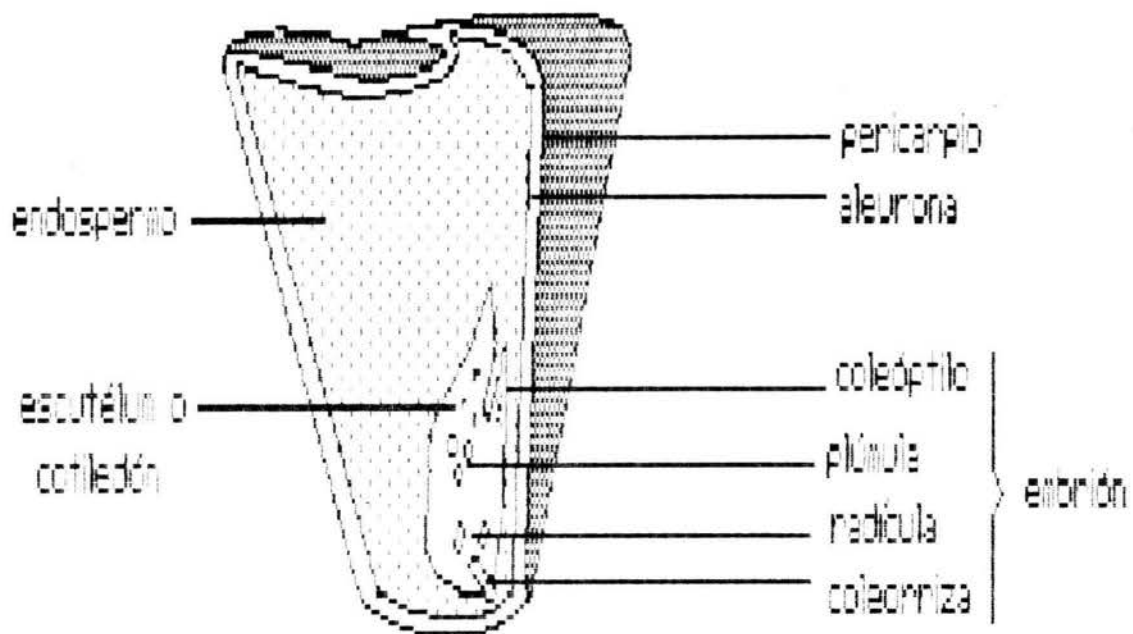


Figura 2.1. Sección longitudinal de grano de maíz.

El grano seco contiene aproximadamente entre 6.8 y 12.0% de proteínas en peso, 74.5% de almidones, 12.0% de agua, 3.4% de grasas y 1.0% de cenizas y fibras. En el grano se han identificado cuatro proteínas que se consideran de gran importancia, localizadas principalmente en el endospermo y el germen. Estas proteínas se clasifican en: a) albúminas, b) globulinas, c) zeína y d) gluteína. El espectro más amplio de la gluteína se debe a las uniones disulfuro-sas entre los residuos de cisteína, las cuales favorecen su desnaturalización en soluciones alcalinas (Katz et al, 1974).

La cubierta del grano contiene entre 20 y 22% de celulosa, entre 2.6 y 4.9% de lignina y entre 73.2 y 77.1% de hemicelulosa (Illescas, 1943).

En la actualidad el maíz constituye la principal fuente de calorías y proteínas para los pueblos de Mesoamérica. En las áreas rurales llega ser tan importante que cubre el 70% de los requerimientos energéticos humanos, con un consumo anual de 186 kg por habitante como promedio para México (Trejo-González, 1979). Esto se refleja en el cultivo de la tierra, ya que más del 60% de la tierra activa de México es utilizada para el cultivo del maíz.

## *2.2 La cocción alcalina*

La cocción alcalina del maíz produce dos cambios: 1) uno físico, que es el reblandecimiento del grano, permitiendo su fácil molienda húmeda, lo cual le imparte a la masa o producto de la molienda una plasticidad que permite su manejo para preparar los alimentos derivados de ella; y 2) los cambios químicos son muchos y muy complejos. Uno de los más importantes es la solubilización parcial de la cubierta del grano, pudiéndose eliminar casi totalmente al frotar unos granos con otros. Otro cambio químico es la hidrólisis alcalina de los glúcidos, donde las grandes moléculas se rompen formando otras más pequeñas.

La cocción alcalina confiere al maíz un aumento en su valor nutritivo, ya que la glutelina que contiene pequeñas fracciones de dos aminoácidos, lisina y triptofano, son liberados parcialmente durante la cocción alcalina; sin el proceso de la nixtamalización no serían asimilables por el organismo humano. Además, destruye las aflatoxinas producidas por el hongo filamentoso *Aspergillus flavus* presente en el grano de maíz (Trejo y Feria, 1979).

### 2.3 Nixtamalización

La nixtamalización es una lixiviación alcalina del grano de maíz en la cual se utiliza hidróxido de calcio como álcali y se calienta a temperaturas que varían entre 80° y 90°C. Tradicionalmente se hacía la cocción del maíz en ollas de barro y el producto se molía en "metate". En la actualidad, debido a la gran demanda de nixtamal para el consumo diario, este proceso se lleva a cabo en pequeños molinos o en grandes plantas industriales.

El proceso general de la nixtamalización se lleva a cabo de la siguiente manera: Se coloca una cantidad de agua dos veces mayor a la del peso del grano a procesar en un recipiente y se calienta hasta alcanzar los 90°C aproximadamente; se le añade una cantidad equivalente del 1.5 al 3.5% del peso del maíz de cal viva (hidróxido de calcio) y se agita

hasta formar la "lechada"; se agrega el maíz y se mantiene a una temperatura de 80-90°C durante 30-45 minutos; se deja reposar la mezcla durante algunas horas sin calentamiento.

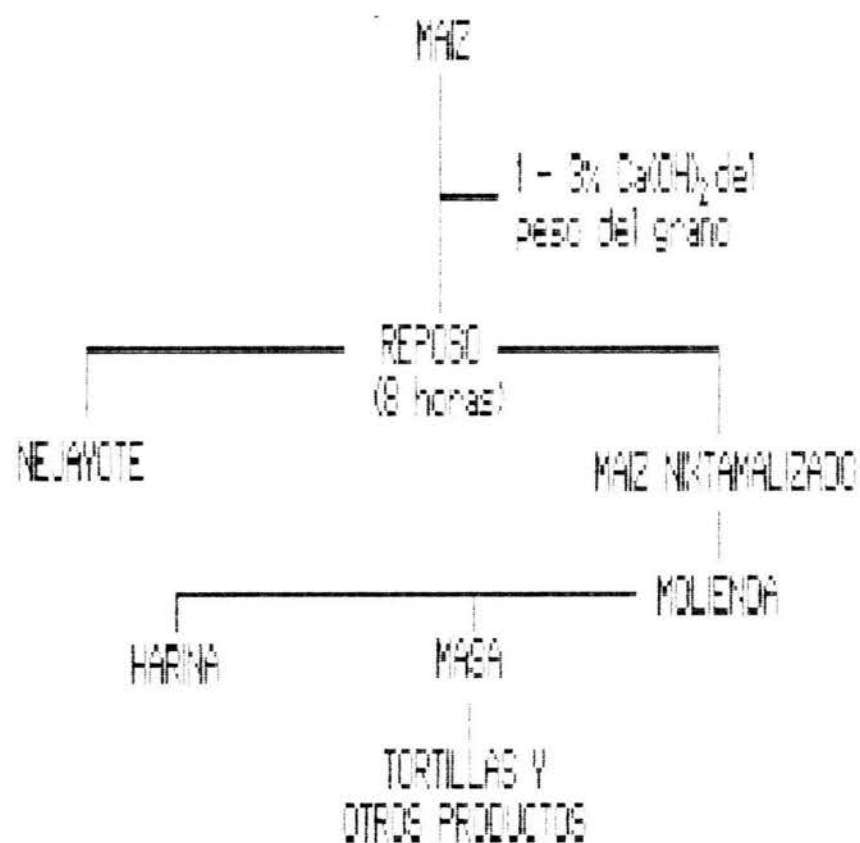
Por lo general, en los pequeños molinos o a nivel doméstico se deja reposar la mezcla toda la noche para poder lavar el grano y llevar a cabo la molienda durante las primeras horas del día (Trejo-González, 1979).

Del proceso se desprenden dos productos: el nixtamal, que es utilizado como alimento para el consumo humano y el nejayote, subproducto del proceso y que son las aguas de desecho originadas durante el proceso de cocimiento y lavado del nixtamal. La figura 2.2 muestra un diagrama del proceso del nixtamal.

#### 2.4 Nejayote

Actualmente, México es el principal productor de harina de maíz nixtamalizado en el mundo y también en el que se consumen más de sus productos derivados. Si solo se consideran los pequeños molinos de nixtamal de la Ciudad de México, se procesan alrededor de 2,700 toneladas diarias de maíz y su equivalencia en volúmenes de aguas de desechos representan 8,100 toneladas de agua y materiales orgánicos e inorgánicos en solución y suspensión que son arrojados diariamente al drenaje ciudadano (Trejo, 1979). Las aguas de cocimiento y

Figura 2.2  
PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN  
Tomado de Trejo-González, 1979



de lavado son arrojadas con una temperatura entre 78° y 80°C y entre 62° y 64°C, respectivamente; la mezcla de las dos sale del molino con una temperatura que varía entre 70° y 72°C (González, 1983).

Dentro de los compuestos orgánicos que contiene el nejayote se encuentran pigmentos carotenoides, hemicelulosas, azúcares solubles y proteínas (Trejo y Feria, 1979), y los compuestos inorgánicos se encuentran constituidos por los carbonatos originados durante el proceso.

Por sus orígenes se puede pensar que el material orgánico contenido en el nejayote es susceptible de ser eliminado por medio de procesos biológicos de tratamiento y de que el material suspendido puede ser separado por sedimentación u otro proceso físico.

### 3. GENERALIDADES SOBRE LOS HONGOS

#### 3.1 *Procesos metabólicos*

El metabolismo microbiano se define como el conjunto de reacciones enzimáticas que se llevan a cabo en la célula. A esto se añade que todas las reacciones que se desencadenan dentro de la célula tienen objetivos específicos y coordinados (Lehninger, 1972; Wood, 1974; Gaudy, 1980).

El metabolismo tiene cuatro funciones específicas: 1) obtener energía de uniones químicas o de energía solar absorbida; 2) conversión de nutrientes exógenos en moléculas utilizables en la síntesis de material celular; 3) ensamblaje de dichas moléculas para formar proteínas, lípidos, ácidos nucleicos y otros compuestos celulares y 4) formar y degradar biomoléculas que se requieren en funciones especializa-

das de la célula.

Los procesos metabólicos se dividen en dos (ver figura 3.1):

- 1) El catabolismo es la parte degradativa del metabolismo por medio de la cual las grandes moléculas de nutrientes (carbohidratos, proteínas, ácidos, grasas, etc.) que provienen, ya sea del medio ambiente de la célula o de sus reservas de nutrientes, son degradadas para dar como resultado, principalmente, bióxido de carbono, amoníaco y agua.

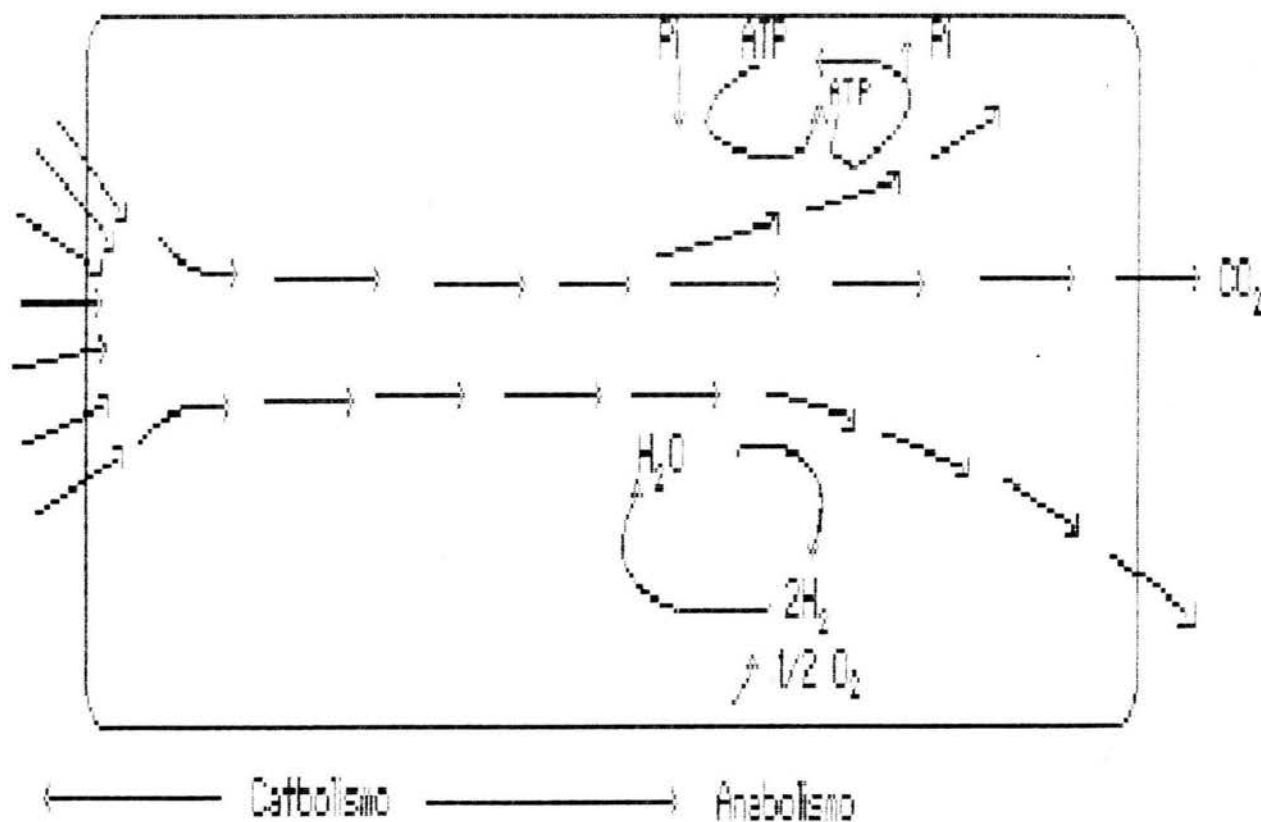


Figura 3.1. Vía central del metabolismo, Gaudy & Gaudy, 1980.



niaco y agua. El catabolismo va acompañado de la liberación de energía, la cual es almacenada por la célula en forma de ATP (Adenosín-Trifosfato).

- 2) El anabolismo es la fase de formación enzimática de moléculas tales como ácidos orgánicos, proteínas, polisacáridos y lípidos. Estos compuestos son formados utilizando la energía y las moléculas obtenidas durante las funciones catabólicas.

### 3.2 Clasificación metabólica de los microorganismos

Los microorganismos pueden ser clasificados de acuerdo con sus fuentes de energía, de carbono, de donadores y de receptores de protones.

Dependiendo de su fuente de energía se pueden dividir en: *fotoótrofos*, los que obtienen su energía de la energía radiante (sol) y en *quimiótrofos*, los que obtienen energía de reacciones químicas de oxido-reducción.

Según su fuente de carbono pueden dividirse en *autoótrofos*, los que obtienen carbono de sustancias inorgánicas ( $CO_2$ ) y *heterótrofos* los que obtienen carbono de uniones químicas de tipo orgánico.

Los organismos *litótrofos* son los que utilizan donadores inorgánicos de protones y los *organótrofos* son los que utilizan donadores orgánicos de protones.

De las cuatro posibles combinaciones (ver figura 3.2), las dos más generalizadas son los *quimioorganótrofos* y los *fotolítótrofos*. Los *fotoorganótrofos* y los *quimiolitótrofos* son microorganismos muy especializados, difíciles de encontrar en la naturaleza y cuya existencia es objetivo de importantes estudios.

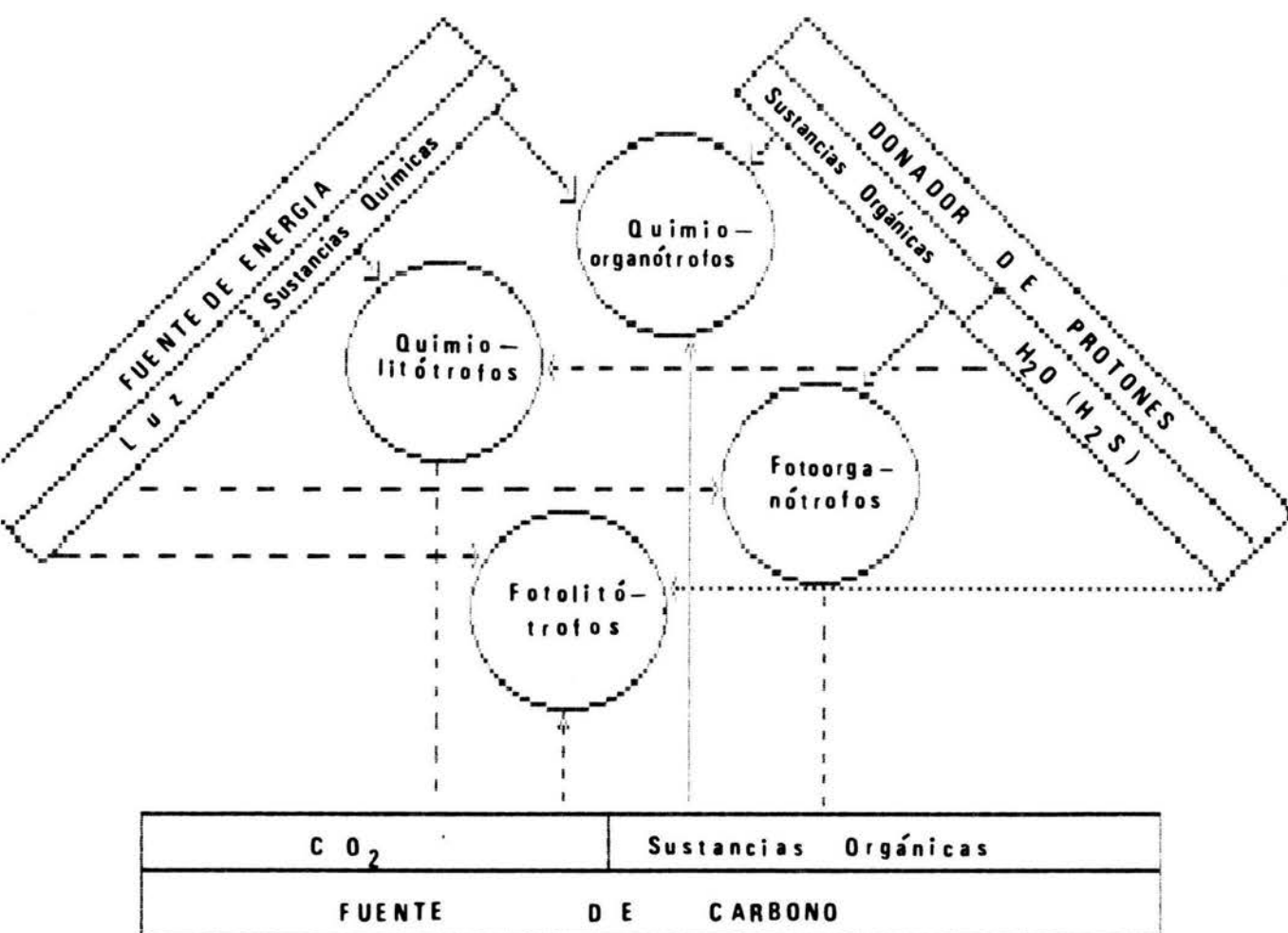


Figura 3.2. Clasificación metabólica de los microorganismos

Los microorganismos heterótrofos pueden dividirse en dos grandes grupos: 1) aerobios, los que utilizan oxígeno molecular como receptor último de protones, provisto por los donadores de protones y 2) anaerobios, que en vez de oxígeno molecular, utilizan cualquier otra molécula como receptor de protones (Lehninger, 1972; Gaudy, 1980, Wood, 1974).

Existe otro grupo de microorganismos heterótrofos que pueden utilizar oxígeno molecular como aceptor de protones, en caso de que éste se encuentre a su disposición; cuando no exista oxígeno molecular disponible pueden utilizar otra molécula como receptor de protones. A estos microorganismos se les denomina facultativos.

### 3.3 *Antecedentes de los organismos fúngicos*

Los hongos son organismos heterótrofos que pueden cubrir sus requerimientos alimenticios según su función como parásitos o como saprobios del material orgánico producido por otros organismos.

Los hongos tienen lugar en cinco categorías de las definiciones de simbiosis; que se define como, una vida en común de dos organismos distintos, establecida de manera regular y con beneficio mutuo de los participantes.

Las simbiosis se dividen en dos categorías: Simbiosis disyuntiva y Simbiosis conjuntiva, éstas se distinguen por el hecho de que en la primera categoría los organismos no están en contacto directo. Cada una de estas dos simbiosis está dividida en las agrupaciones social y nutricional:

La simbiosis disyuntiva social, incluye la selección del sustrato de los saprobios, también los hongos dependen de los organismos del medio o de la materia orgánica con la cual es están asociadas. No todos los hongos se incluyen dentro de la división de la simbiosis conjuntiva social y sólo una que otra especie que es parásita de los insectos o que secundariamente se encuentra en algunas partes de las plantas. La simbiosis disyuntiva antagónica, incluye a aquellos hongos que son predadores de nemátodos, amebas, protozoos y otros microorganismos, a lo que la simbiosis conjuntiva antagónica incluye a aquellos hongos que durante una parte o todo el ciclo de vida parasitan sobre plantas y animales. La simbiosis disyuntiva recíproca, incluye a los hongos que participan en la formación de micorrizas o de líquenes (Cooke, 1958).

En su morfología la mayor parte de los hongos presenta un talo multicelular compuesto de muchos filamentos finos llamados "hifas" ramificados, que forman por lo general una masa de aspecto algodonoso denominada "micelio". El micelio puede producir células más resistentes que el resto del hongo,

por lo general muy diferentes de las células restantes, que llevan el nombre de esporas. Las células hifales pueden ser comparadas con las vellosidades de las raíces de las plantas superiores en su estado juvenil. Los productos de desecho nutricional pueden afectar el desarrollo de su propia rizomorfa y en adición pueden desarrollar ciertos efectos antagónicos entre otros hongos y otros organismos en las asociaciones de las cuales son miembros.

La germinación de esporas, el desarrollo micelial, la producción de cuerpos fructíferos, la descarga y diseminación de esporas y el desarrollo de rizomorfias, además de las células escleróticas y de apoyo, caen dentro del estudio de la ecología de los hongos.

Basándose en sus mecanismos nutricionales fundamentales, todos los organismos pueden agruparse en cinco grandes "reinos": Las plantas verdes, los animales, los hongos, las bacterias y los protistas. (Cooke, 1958).

Dichos organismos obtienen su alimento en solución; esto es, secretan enzimas extracelulares en su medio ambiente, que rompen las moléculas orgánicas complejas lo suficiente para que se difundan a través de las paredes celulares y membranas del organismo afectado. De esta manera se considera a los hongos como "reductores biológicos".

Además de la nutrición, en la cual las sustancias orgánicas se utilizan como alimento, los hongos juegan un papel importante en los ciclos del carbono, nitrógeno y fósforo. Estos ciclos se representan en las figuras 3.3, 3.4 y 3.5.

### *3.4 Influencia de los hongos en el ambiente acuático*

En los procesos bioquímicos de respiración se utiliza el  $O_2$  como receptor final de protones. Cuando hay abundancia de nutrientes se desarrolla una gran población de microorganismos y el  $O_2$  en el habitat acuático se utiliza más rápidamente del que pueda reponerse del aire u otras fuentes. En tales casos pueden ocurrir disminuciones de  $O_2$  y aun condiciones anaerobias.

Como un resultado de la utilización de los carbohidratos pueden aparecer ácidos orgánicos que hacen que disminuya el pH, restringiendo las condiciones ambientales para algunas formas de vida y favoreciendo otras, como la de los hongos filamentosos.

El retorno de sulfatos, nitratos, fosfatos y otros compuestos minerales al ambiente acuático, como resultado de la actividad microbiana, tiene un efecto "fertilizante" en tales hábitats.

Figura 3.3. Ciclo del Carbono (Hilgard, 1945). \*

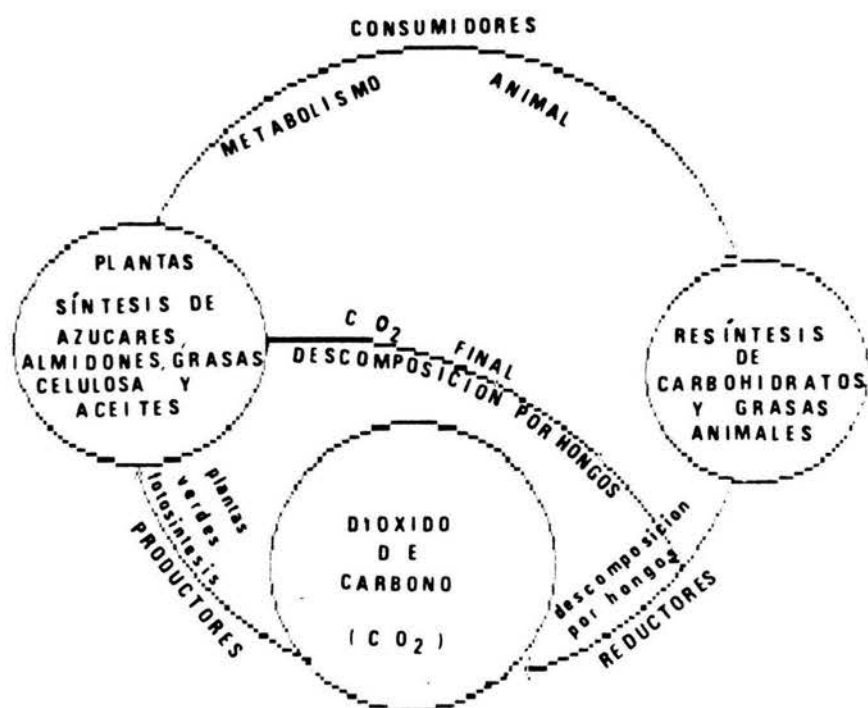
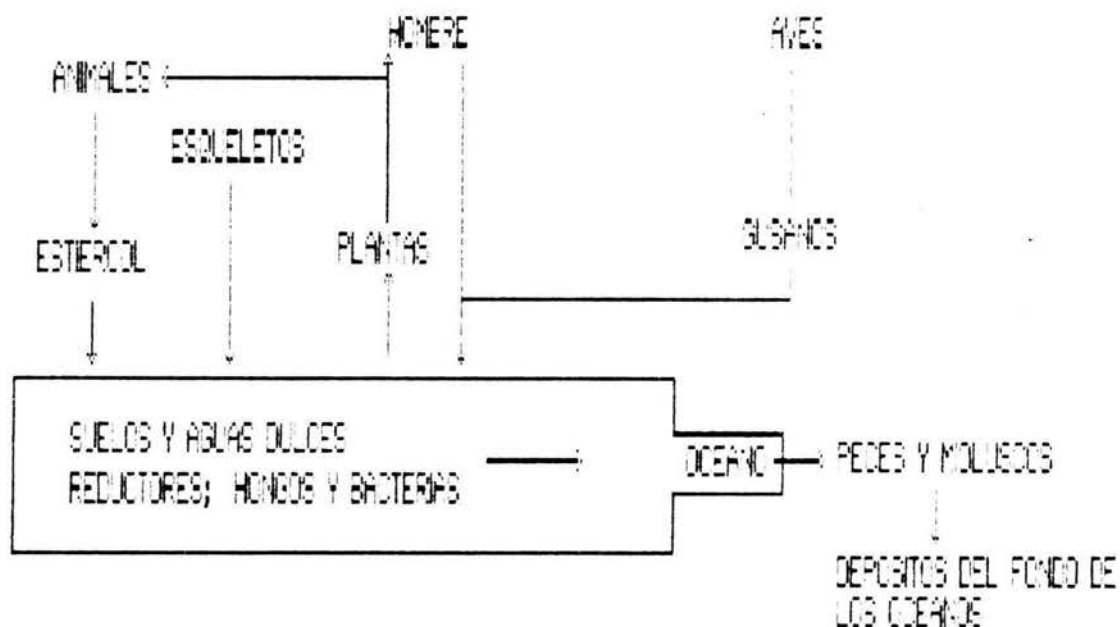


Fig. 3.4. Ciclo del fósforo (Galle, 1948).



\* Tomado de SARH, 1981.

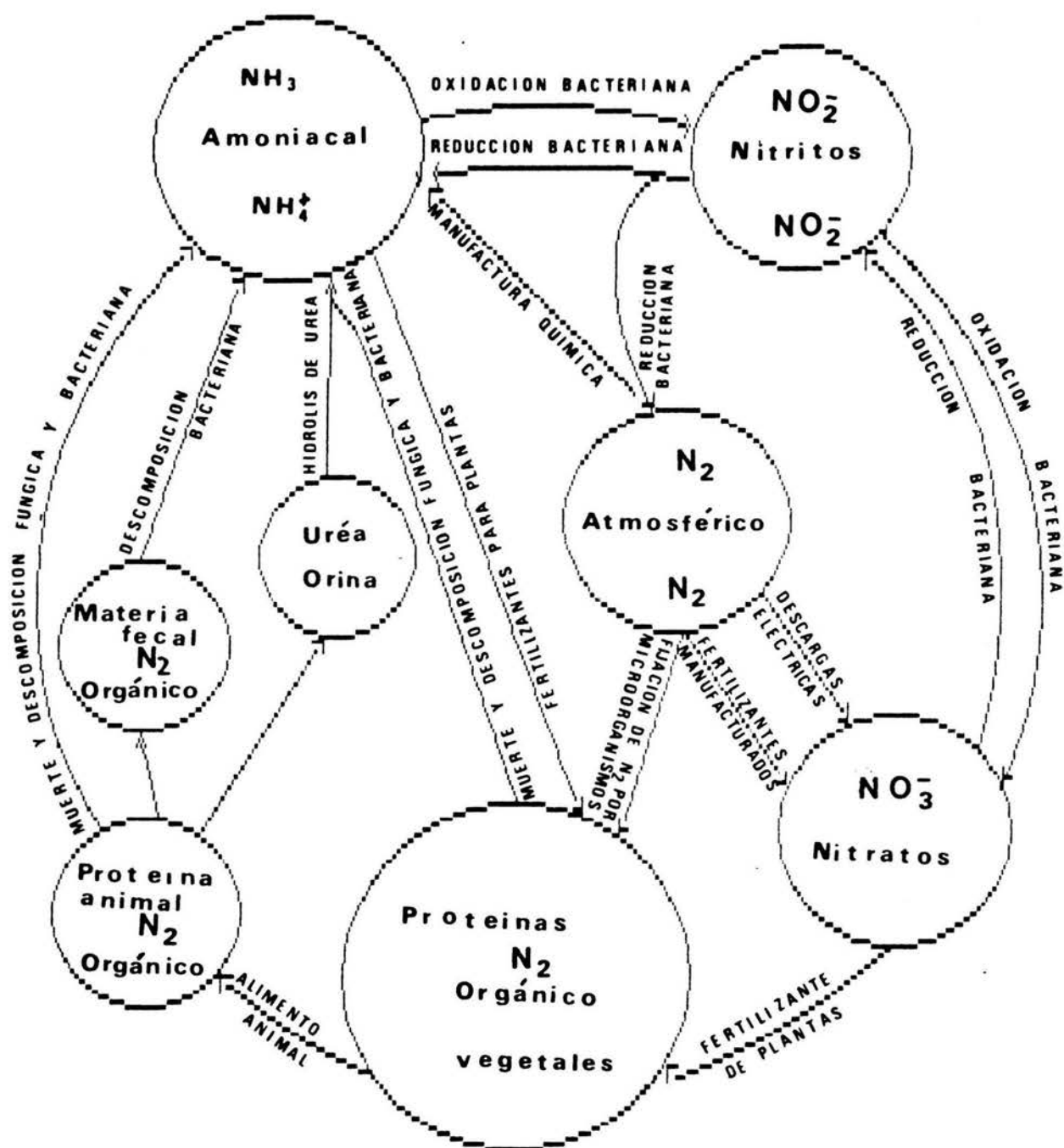


Figura 3.5 Ciclo del Nitrógeno (Allen, 1938).\*

\* Tomado de SARH, 1981.



Muchas veces el resultado es el "florecimiento" de algas, que puede ser una molestia y provocar variaciones diurnas del oxígeno disuelto.

Algunas bacterias y hongos filamentosos excretan sustancias que tienen efectos antibióticos, que matan o inactivan algunas otras formas de vida para proteger el medio en el que viven. Por ejemplo los actinomicetos, como es el caso de ciertos miembros del género *Pseudomonas* y ciertas formas de hongos filamentosos como el *Penicillium sp.*

### 3.5 *El significado de los hongos en el combate de la contaminación*

En el medio acuático los hongos filamentosos utilizan los sustratos orgánicos, efectuando funciones conocidas generalmente como "purificación natural".

Cuando no es excesiva la cantidad de materia orgánica en el agua y ésta posee las propiedades adecuadas para el crecimiento de hongos, la mineralización sucede sin una producción masiva de carbono, nitrógeno, fósforo u otros elementos. Además, el  $O_2$  requerido en la respiración no abate significativamente el  $O_2$  disuelto en el agua y se repone rápidamente del aire. En estos casos no se presentan condiciones de anaerobiosis.

En las plantas de tratamiento de aguas de desecho o residuales se utilizan las propiedades de los hongos, bacterias y otros organismos para eliminar la materia orgánica del agua. Se diseñan procesos para utilizar las propiedades de estos organismos, bajo condiciones controladas, con el fin de descargar la menor cantidad posible de materia orgánica al hábitat acuático. Los filtros rociadores, los sistemas de lodos activados, los sistemas aerobios de digestión de lodos, las fosas sépticas y los sistemas de discos rotatorios se basan en la utilización de microorganismos para efectuar la degradación de la materia orgánica. En estos sistemas se sabe que las bacterias tienen una importancia predominante; sin embargo, hay evidencia de que los hongos juegan una parte muy importante en estos sistemas. (Cooke, 1956; Cooke, 1958; Rheinhermer, 1980; Gaudy A. and Gaudy E. 1981).

#### 4. REACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO (BIODISCO)

En este capítulo se hace una breve descripción del reactor biológico rotatorio, también llamado BIODISCO, y de su importancia dentro de los diferentes sistemas para tratamiento de aguas de desecho.

##### *4.1 Procesos para el tratamiento de aguas de desecho*

Cuando no es posible verter el agua en el medio receptor debido a la contaminación que puede causar es necesario tratarla previamente. El tipo y grado de tratamiento dependerá del tipo y grado de contaminación que presente el agua residual y de su uso posterior (Casanelles, 1983).

Los diferentes procesos de tratamiento se agrupan en tres etapas:

- Tratamiento primario;
- Tratamiento secundario;
- Tratamiento terciario.

#### 4.1.1 Tratamiento primario

Tiene como finalidad la eliminación de la materia en suspensión o flotante. Por lo general este tratamiento elimina el 60% de sólidos en suspensión y el 35% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (Casanelles, 1983). Los procesos más comunes son el cribado en rejillas para separación de materiales gruesos, desarenador para sedimentar partículas con altas densidades, desnatadores para eliminar material flotante y sedimentación primaria para eliminar sólidos finos de baja densidad. Otros disponen de un triturador a la entrada, recogiendo toda la materia en el tanque de sedimentación. Pocas plantas utilizan solamente estos procesos, ya que constituye un tratamiento anterior a otros procesos de mayor complejidad (Eckenfelder, 1982; Unz, 1977).

#### 4.1.2 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario o tratamiento biológico es utilizado para la eliminación de sustancias solubles en aguas residuales. Clark et al. (1978) hacen la observación de que el proceso biológico es el paso más importante en el tratamien-

to de las aguas residuales. Greem, J.H. y D. Kramer (1979) mencionan que los sólidos recobrados (lodos) sólo pueden ser tratados por métodos de oxidación biológica como un medio de última disposición. Ahora bien, el objetivo fundamental de este proceso es la eliminación de las sustancias orgánicas (principalmente solubles) que permanecen después del tratamiento primario. Se basa en la descomposición de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos. Es necesario que se ponga en contacto la materia orgánica y el oxígeno atmosférico con los microorganismos durante un determinado tiempo a una temperatura adecuada.

Algunos de los sistemas más utilizados son lodos activados, lagunas de oxidación, filtros biológicos, discos biológicos rotatorios, reactores en cascada, etc.

Benefield, L.D; Randal, C.W. (1980) proponen que para el diseño de algún proceso biológico en el tratamiento de las aguas residuales deben considerarse: 1) los requerimientos nutricionales de los organismos; 2) los factores ambientales que afectan el crecimiento microbiano; 3) el metabolismo de los organismos y 4) la relación entre el crecimiento microbiano y la utilización del sustrato.

### 4.1.3 Tratamiento terciario

El tratamiento terciario tiene como objeto la eliminación de sustancias que los tratamientos primario y secundario no han eliminado; por ejemplo, compuestos nitrogenados, fosfatos, metales pesados y otras sustancias inorgánicas. En general son los procesos terciarios más complicados que los primarios y secundarios. Entre ellos se cuenta con la filtración en carbón activo, intercambio iónico, ósmosis inversa, coagulación-floculación, etc.

## 4.2 Historia

El biodisco fue concebido y patentado en Alemania por Weigand en 1900. El modelo de su reactor describe un cilindro construido con tablillas de madera (Autotrol, 1978). Sin embargo, no se construyeron prototipos hasta 1930. Bach e Imhoff construyen la primera unidad.

En los Estados Unidos, Allen reporta la invención de la "rueda biológica" de Maltby en 1929. Esta consistía en una serie de paletas rodantes (Rotating Paddle Wheels). En el mismo año, Donan reporta los ensayos en discos rotatorios de metal. Esta fue la primera vez que los discos rotatorios fueron motivo de investigación para usarse como un sistema de contacto biológico, pero los resultados no fueron alentado-

res y no se realizaron trabajos posteriores (Clark, et.al., 1978).

Nada se desarrolló en Europa hasta mediados de los años cincuenta, cuando primero Hartmann y después Pöpel, en la Universidad de Stuttgart, realizaron numerosas pruebas utilizando discos de plástico de 10 m de diámetro. Al mismo tiempo comenzó a usarse el poliestireno expandido como material barato de construcción. El desarrollo del trabajo de Hartmann y Pöpel, junto con el uso de materiales plásticos, dio como resultado un nuevo proceso comercial para el tratamiento de aguas de desecho.

En 1957, la compañía J. Conrad Stengelín en Tuttlingen, en Alemania Occidental, comenzó a fabricar biodiscos con discos de poliestireno expandido de 2 y 3 m de diámetro. La primera instalación comercial fue puesta en operación en 1960. Hasta la actualidad hay más de 1 000 instalaciones, localizadas principalmente en Estados Unidos, Alemania Occidental, Gran Bretaña y Países Escandinavos. La mayoría de estas instalaciones son para poblaciones menores de 1 000 habitantes. Hay pocas instalaciones para poblaciones mayores de 10,000 habitantes. Aunque el proceso ofrece un sistema de operación simple y mucho menor requerimiento de energía, ha sido restringido a instalaciones pequeñas por el alto costo de construcción en comparación con el proceso de lodos acti-

vados (Autotrol, 1978). A pesar de los costos, existen dos plantas enormes en las ciudades de San Francisco y Washington, D.C., Estados Unidos.

En los Estados Unidos las investigaciones en reactores biológicos rotatorios se inició a mediados de 1960. Más tarde conociendo los trabajos realizados en Europa, la compañía Allis-Chalmers obtuvo una concesión de Conrad Stengelin para la manufactura y distribución del nuevo proceso en los Estados Unidos. El proceso de tratamiento se comercializó en Estados Unidos y Europa con el nombre de BIODISCO. La primera instalación comercial se puso en operación en los Estados Unidos en el año de 1969 en una pequeña fábrica de quesos.

En 1972 se anunció el desarrollo de un nuevo sistema construido de hojas de polietileno, aumentándose el área superficial de  $52.5 \text{ m}^2/\text{m}^3$  a  $121 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . El nuevo sistema se comercializó bajo el nombre de BIO-SURF (Autotrol, 1978). A partir de entonces, el uso comercial del sistema ha aumentado.

En México, ya se ha estado usando el sistema de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales municipales desde 1980, y una muestra de ello es el sistema utilizado en la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria.

Los estudios realizados por Durán de Bazúa, C. (1984) y Gon-

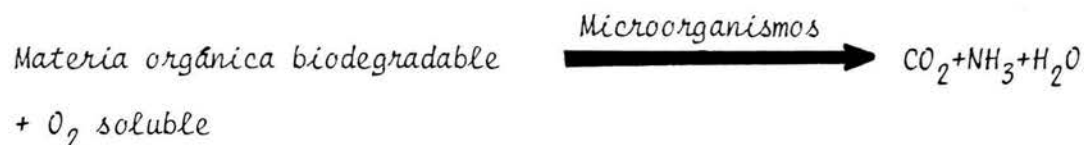


zález Martínez, S. (1983) habrieron la pauta para la utilización de los sistemas de biodiscos en la industria de la nixtamalización para el tratamiento de sus aguas residuales y en la actualidad ha sido probado dicho sistema en MICONSA de Occidente, en Jalisco.

#### 4.2.1 El proceso biológico de tratamiento en biodiscos

El biodisco es un sistema biológico que en general se basa en la oxidación biológica del material orgánico convirtiendo los compuestos orgánicos solubles en insolubles y en material celular para una fácil remoción posterior por diversos medios físicos o mecánicos.

Esta bioconversión se puede representar por la siguiente reacción:



Esto es una simplificación de una serie de reacciones complejas llevadas a cabo por una población simbiótica de microorganismos, (SARH, 1983).

La población de microorganismos incluye además hongos y bacterias a protozoos y metazoos tales como rotíferos, cilia-

dos, larvas de insectos y gusanos.

Los hongos y bacterias descomponen los compuestos orgánicos más complejos para producir (debido a su crecimiento) material celular con el cual se alimentan los protozoos, los cuales son consumidos a la vez por los metazoos. (Brown, D.R. y Van Meer, G.L. 1978).

Para que las reacciones de descomposición se lleven a cabo es necesario que:

- El sustrato sea biodegradable y no tóxico;
- Presencia de una fuente de  $O_2$  disuelto;
- Presencia de nutrientes inorgánicos;
- La temperatura y el pH sean adecuados.

## 5. METODOLOGIA

El trabajo experimental se llevó a cabo utilizando un reactor biológico rotatorio a nivel laboratorio, en el cual se efectuó el tratamiento de aguas de desecho de la industria del nixtamal. Sobre los discos del reactor se formó una película de microorganismos responsables de la degradación del material orgánico contenido en el nejayote. De la película de microorganismos se aislaron e identificaron los hongos presentes.

### *5.1 Construcción y operación de la unidad experimental*

#### 5.1.1 El reactor biológico rotatorio experimental (Biodisco)

Se construyó un biodisco a nivel laboratorio como se muestra

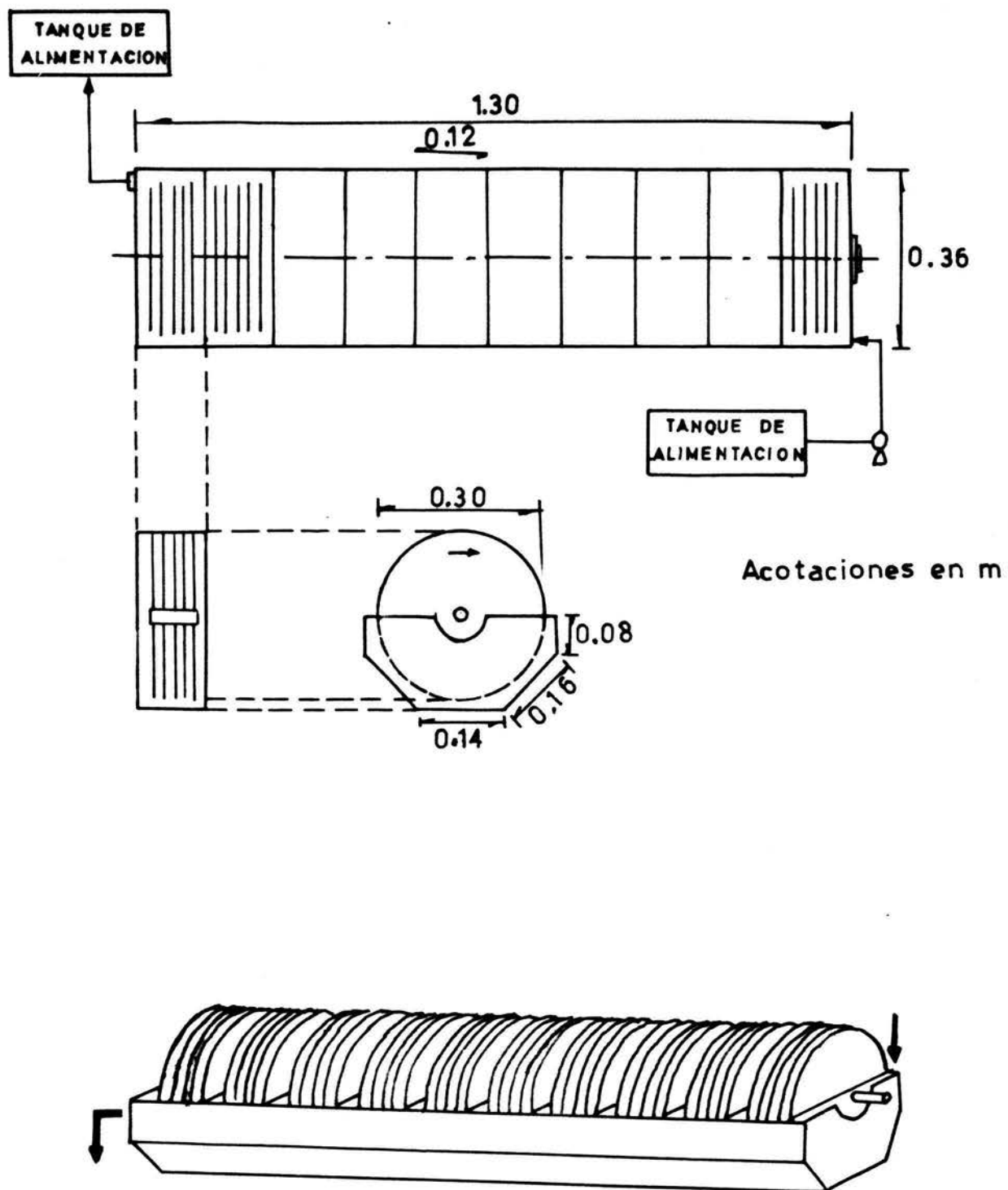


Fig 5.1 Esquema del RBR experimental

en la figura 5.1. El sistema consta de un tanque de material acrílico de 1.26 m de longitud y 0.36 m de ancho con mamparas de separación que proveen al reactor de 10 cámaras. Cada cámara contiene 5 discos de 0.30 m de diámetro y 4 mm de espesor. Los discos se encuentran ensamblados en una flecha central de acero inoxidable, apoyada en los dos extremos y el centro del tanque por tres rodamientos que permiten el giro del conjunto con el mínimo esfuerzo. La posición de los discos es tal que aproximadamente el 40% de su superficie está sumergida en las aguas de desecho por tratar.

El sistema está provisto de un conjunto de poleas que hacen posible variar la velocidad de giro en un intervalo de 7 a 60 RPM, lo cual permite regular la transferencia de oxígeno y asegurar las condiciones de aerobiosis.

Para impulsar el movimiento de los discos se utilizó un motor eléctrico de 1/4 HP acoplado a un reductor de velocidad de corona y sin fin con una relación de reducción de 1/30.

El nejayote se alimentó en forma continua por medio de una bomba de membrana.

Las características del sistema CBR experimental se resumen en la Tabla 5.1.

TABLA 5.1. CARACTERISTICAS DEL BIODISCO O RBR EXPERIMENTAL UTILIZADO EN ESTE ESTUDIO

PARAMETRO	VALOR	UNIDADES
No de discos	50	-
No. de compartimientos	10	
Area/disco	0.142	m <sup>2</sup>
Area total	7,090	m <sup>2</sup>
Volumen total de trabajo	0.049	m <sup>3</sup>
Velocidad rotacional	7 A 60	RPM
Separación entre discos de una misma cámara	2.0	CM
Separación de los discos entre compartimiento y compartimiento (lugar para la mampara)	5.0	CM

TABLA 5.2. ETAPAS DE EXPERIMENTACION DEL RBR

Etapa	Afluente DQO (mg/l)	Gasto (l/d)	Velocidad de giro (RPM)	Tiempo de residencia hidráulica (d)	Carga orgánica ( $\frac{g \text{ DQO}}{m^2 \cdot d}$ )
1	4266	41.7	16	1.17	25
2	6523	41.3	16	1.18	38
3	6406	19.6	16	2.50	28

### 5.1.2 Experimentación

La experimentación se dividió en tres etapas, correspondiendo cada una de ellas a una carga orgánica diferente. Las condiciones de operación de cada etapa se dan en la Tabla 5.2.

Para variar la carga orgánica se modificó la concentración de contaminantes (DQO) o el gasto del nejayote. Al variar este último se pudo ajustar también el tiempo de retención hidráulica en el sistema.

El proceso fue rastreado durante toda la duración de la experimentación determinando la DQO y midiendo el pH y oxígeno disuelto. Cuando los valores de dichos parámetros, después del cambio de una carga orgánica, prácticamente no variaban con respecto al tiempo, se consideró que la operación del sistema había alcanzado un estado estable.

El nejayote utilizado provino de un pequeño molino de nixtamal localizado en las cercanías de Ciudad Universitaria. Para cada lote de nejayote se determinaba la DQO y después se diluía con agua potable hasta alcanzar la concentración deseada. Las concentraciones seleccionadas son representativas del nejayote producido por las grandes fábricas de harina de maíz nixtamalizado.

### 5.1.3 Análisis fisicoquímicos

Una vez alcanzada la estabilidad se efectuaron determinaciones de los siguientes parámetros para obtener información sobre el comportamiento del sistema: temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, alcalinidad, turbiedad,  $DQO$ ,  $DBO_5$ , sólidos suspendidos y solubles y sólidos adheridos a los discos. Las muestras se tomaron de forma puntual.

### 5.1.4 Programa de muestreo

Se diseñó un programa para el muestreo y análisis de los parámetros de control en el sistema CBR. Dicho programa se presenta en la Tabla 5.3.

## 5.2 Muestreo biológico

El muestreo se realizó una vez para cada carga orgánica (muestras puntuales). Las muestras se transportaron en frascos de vidrio, previamente esterilizados a 15 libras de presión, durante 20 minutos, en autoclave y secados en una estufa durante 60 minutos a  $130^{\circ}\text{C}$  (Standard Methods, 1980; SARH, 1979; SARH, 1980).



TABLA 5.3. PROGRAMA SEMANAL DE MUESTREO Y ANALISIS EN EL REACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO

PARAMETRO	Días/Lu	Ma	Mi	Ju	Vi
Temperatura	X	X	X	X	X
pH	X	X	X	X	X
Oxígeno disuelto	X	X	X	X	X
Conductividad		X			
DQO	X		X		X
DBO <sub>5</sub>	X		X		
Turbiedad				X	
Alcalinidad				X	
Nitrógeno amoniacal	X	X	X	X	X
Sólidos	X	X	X	X	X
Sólidos adheridos a los discos					X
Nitrógeno Kjeldahl de la biomasa					X

### 5.2.1 Toma de muestras micológicas

Las muestras de líquido se tomaron con pipetas serológicas despuntadas de 10 ml estériles. Las muestras de película se obtuvieron raspando la película de un disco en cada etapa del reactor. Esto se hizo con el fin de obtener datos que mostraran el desarrollo de las comunidades micológicas durante el tratamiento del nejayote a lo largo del reactor.

### 5.2.2 Aislamiento

En condiciones asépticas se prepararon 5 cajas de petri con cada medio seleccionado (ver capítulo 5.2.5). Se realizaron 5 diluciones (1:10, 1:100, 1:1 000, 1:10 000, 1:100 000) por muestra y una siembra pura. Después de 5-7 días, ya desarrolladas las colonias, se procedió a realizar el aislamiento axénico de las colonias encontradas en cada caja, con el propósito de identificarlas posteriormente. Se prepararon cajas de petri conteniendo un tubo de vidrio doblado en "V" y sobre éste un porta y un cubreobjetos, esterilizados a 15 libras de presión (121°C) durante 15 minutos, Lacy y Rivera (1982). Se colocó un cuadro de Agar de Dextrosa y Papa de 10 x 10 x 2 mm en cada portaobjetos, cubriéndose con el cubreobjetos; se inoculan las colonias halladas (una por cada cuadro) en cada canto del cuadro de agar, para realizar su aislamiento e identificación al microscopio; el inóculo se

realizo mediante la utilización de una asa de micromel con la punta doblada en "L" (Standard Methods, 1980; Lacy, 1981).

Ya inoculadas las colonias, se adicionaron dentro de cada caja de petri 10 ml de Glicerol al 10%, estéril, para mantener la humedad dentro de ésta; se incubaron a temperatura ambiente evitando la incidencia de luz solar. Pasados 5 días se separan el cubreobjetos del portaobjetos, el agar se elimina; sobre el portaobjetos se coloca un cubreobjetos limpio adicionándole el colorante azul de algodón acético; el cubreobjetos utilizado para el aislamiento, se coloca sobre un portaobjetos limpio y se le adiciona el mismo colorante, se sellan las crestas de las dos preparaciones con esmalte para uñas; quedando una preparación semitransparente y aislada para su identificación.

### 5.2.3 Cuantificación

La cuantificación se realizó antes de iniciar el aislamiento axénico, procediendo a computar todas las colonias de hongos presentes en cada caja. Esto es expresado como número de colonias/ml y se calcula promediando el número de colonias de todas las cajas, multiplicandolo por el recíproco de la dilución (1 entre 1, 10 entre 1, 100 entre 1, etc.) en donde el resultado es igual a la cuenta de colonias de hongos por mililitro de muestra (Standard Methods, 1980; SARH, 1980).

#### 5.2.4 Identificación

Para la identificación de los organismos micológicos encontrados en el agua residual durante el tratamiento en el RBR, se utilizó la taxonomía y Nomenclatura propuesta por Barnett, 1972; Booth, 1977 y Honing, 1979).

#### 5.2.5 Medios de Cultivo

Para el crecimiento y aislamiento de los hongos, se seleccionaron los siguientes medios de cultivo (Bioxón, 1980; Standard Methods, cfr).

Agar de dextrosa y papa

Para cultivo e identificación de hongos y levaduras. Fórmula aproximada en gramos por litro.

Infusión de papa	200.0
Dextrosa	20.0
Agar	15.0

pH final  $5.6 \pm 0.2$

Este medio se modificó con la adición del colorante Rosa de Bengala (0.035 g/l) y Aeromicina (35 µg/l) con el fin de evi

tar la contaminación provocada por otros microorganismos (como las bacterias) y propiciar un crecimiento discreto de colonias.

#### Agar de maltosa SABOURAUD

Para cultivo de mohos y hongos en general. Fórmula aproximada en gramos por litro

Mezcla de peptonas	10.0
Maltosa	40.0
Agar	15.0

pH final  $5.6 \pm 0.2$

#### Agar CZAPEX DOX

Para cultivo de hongos (*Penicillium*, *Aspergillus* y hongos relacionados). Fórmula aproximada en gramos por litro.

Sacarosa	30.0
Nitrato de Sodio	3.0
Fosfato Dipotásico	1.0
Sulfato de Magnesio	0.5
Cloruro de Potasio	0.5

Sulfato Ferroso	0.01
Agar	15.0

pH final  $7.3 \pm 0.2$

#### Agar nutritivo

Para uso general en microbiología. Fórmula aproximada en gramos por litro

Peptona de Gelatina	5.0
Extracto de Carne de Res	3.0
Agar	15.0

pH final  $6.8 \pm 0.2$

#### Agar de Emerson

Se emplea para cultivo de actinomicetos y levaduras. Fórmula aproximada en gramos por litro

Extracto de Carne	4.0
Peptona de Gelatina	4.0
Cloruro de Sodio	2.5
Extracto de Levadura	1.0
Dextrosa	10.0

Agar

20.0

pH final  $7.0 \pm 0.2$

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se hace la diferencia entre los resultados de la operación del reactor y los resultados del muestreo micológico.

### 6.1 *Caracterización del nejayote*

Con objeto de conocer las características del nejayote se realizaron análisis de las aguas residuales de una planta de harina de maíz nixtamalizado y de un molino pequeño de nixtamal (ver Tabla 6.1). Las diferencias principales entre los dos tipos de nejayote se deben principalmente a que los tiempos de reposo en los molinos pequeños son mayores que en las fábricas de harina y las pérdidas en el grano de maíz por lixiviación, son, por tanto mayores. Esto hace que la concentración de material orgánico en los pequeños molinos sea ma-



TABLA 6.1. CARACTERIZACION DEL NEJAYOTE

			pH	Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	Sólidos (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	Nitrógeno Kjeldahl (mgN/l)	P-total (mgP/l)	Relación D30 <sub>5</sub> :N:P
Industria Grande (PLANTA HARINA MAIZ NIXTAMALIZADO)	Líquido de cocción	Total	11.6	3 260	13 310	6 190	13 650	118	27	250:4:1
		Soluble	11.6	2 600	11 295	6 000	10 020	98	24	
		Suspendido	--	600	2 015	190	3 630	20	3	
	Líquido de lavado	Total	11.6	900	3 010	940	3 960	42	7	375:17:1
		Soluble	11.6	700	2 540	750	2 290	35	2	
		Suspendido	--	200	470	190	1 670	7	5	
Pequeña Industria (MOLINO NIXTAMAL)	Líquido de cocción	Total	11.5	2 700	19 490	7 875	21 280	291	178	103:4:1
		Soluble	11.5	2 540	17 680	6 750	18 560	274	65	
		Suspendido	--	180	1 810	1 125	2 720	17	113	

yor.

## 6.2 Resultados de la operación del reactor de biodiscos

### 6.2.1 Primera etapa experimental

Después de un periodo de tres meses de maduración o estabilización del sistema, se procedió a efectuar las determinaciones señaladas en el programa de muestreo (Tabla 5.3) en cada uno de los estadios del reactor y en el afluente. En la Tabla 6.2 se presentan los resultados del experimento.

El valor de pH se mantuvo en el intervalo de neutralidad, lo cual fue satisfactorio, ya que en ese intervalo las funciones metabólicas de los microorganismos son óptimas. Durante todo el experimento se mantuvo la condición aerobia en el sistema.

Para esta primera etapa la eficiencia de remoción de DQO fue muy baja (47.8%). No ocurrió así en la remoción medida como DBO<sub>5</sub> (79.5%). Esto se debe a que los microorganismos utilizan primero las sustancias más fácilmente biodegradables, dejando la materia más compleja para otros organismos.

La cantidad de biomasa suspendida producida fue de 0.817 g SST/g DQO consumida. La concentración de biomasa adherida, medida como mg de biomasa (nitrógeno Kjeldahl) por cm<sup>2</sup> (ver

TABLA 6.2. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES CORRESPONDIENTES A LA PRIMERA ETAPA EXPERIMENTAL DEL RBR ( $w = 6$  rpm,  $DQO_1 = 4,266$  mgO<sub>2</sub>/l;  $\theta = 1.17d$ ;  $\epsilon = 47.8\%$ ).

CAMARA	OD (mg/l)	T (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD (umhos/cm)	TURBIEDAD (NTU)	ALCALINIDAD (CaCO <sub>3</sub> /l)	DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	SOLIDOS mg/l			NITROGENO KJELDAHL mg/l		
									Tot.	Susp.	Dis.	Tot.	Dis.	Susp.
<b>Afluente</b>	-	-	6.05	1815	-	380	4,266	1 275	-	-	-	3	-	-
1	2.70	13	6.62	1570	56	260	2,756	975	3,600	860	2,740	83	40	43
2	2.74	13	7.17	1550	59	300	2,582	1 013	4,532	1 562	2,970	88	36	52
3	2.73	13	7.25	1450	80	350	2,468	638	4,852	1 762	3,090	152	38	114
4	3.15	13	7.32	1350	100	350	2,291	375	3,680	200	3,480	131	51	80
5	3.67	13	7.38	1190	125	360	2,270	300	3,532	252	3,280	56	47	9
6	3.65	13	7.41	1370	130	350	2,257	285	3,844	454	3,390	62	28	34
7	3.64	13	7.39	1340	145	350	2,230	375	3,528	298	3,230	56	29	27
8	3.86	13	7.37	1280	155	340	2,206	300	4,040	540	3,500	66	29	37
9	3.57	13	7.33	1200	270	350	2,301	375	3,848	558	3,280	47	24	23
10	3.02	13	7.23	1150	275	340	2,225	262	5,002	1 968	3,034	134	39	95

Tabla 6.3) fue disminuyendo conforme se metabolizaba la materia orgánica del nejahote a lo largo del reactor. Cabe mencionar que el aumento en sólidos totales no se debió a una concentración mayor de la biomasa sino a la precipitación de sales inorgánicas (ver sólidos volátiles).

En la última columna de la Tabla 6.3 puede observarse como la relación  $NK/ST$  alcanza un máximo en el primer estadio del reactor, para disminuir paulatinamente hasta el estadio 5, a partir del cual se mantiene prácticamente constante. Este comportamiento se explica tomando en cuenta que los microorganismos de los primeros estadios (hongos y bacterias principalmente) tienen a su disposición el poco nitrógeno orgánico contenido en el nejayote.

#### 6.2.2 Segunda etapa experimental

En esta etapa experimental la carga orgánica volumétrica fue aumentada en más del 50%. Los resultados correspondientes se presentan en la Tabla 6.4. La eficiencia de purificación no sufrió cambios en lo que se refiere a  $DQO$ , pero aumentó ligeramente para la  $DBO_5$  (85.7%). Esto es una clara indicación de que las biocomunidades tuvieron una mejor adaptación a los nutrientes disponibles. Pudo observarse que las altas concentraciones de biomasa suspendida (sólidos y nitrógeno Kjeldahl) se deberían principalmente a la dificultad de paso de

TABLA 6.3. ANALISIS DEL CONTENIDO DE NITROGENO Y SOLIDOS DE LA BIOMASAS ADHERIDA A LOS DISCOS DURANTE LA PRIMERA ETAPA DE EXPERIMENTACION.

CAMARA	SOLIDOS (mg/cm <sup>2</sup> )			NK mgN/cm <sup>2</sup>	NK/ST (mgN/mgST)
	ST	SV	SF		
1	1.96	1.48	0.47 (24%)	0.080	0.041
2	2.13	1.39	0.74 (35%)	0.055	0.026
3	2.66	1.55	1.10 (41%)	0.048	0.018
4	3.33	1.27	1.95 (57%)	0.052	0.016
5	4.69	1.29	3.39 (73%)	0.049	0.010
6	4.04	1.01	3.17 (78%)	0.053	0.013
7	6.11	1.20	4.91 (80%)	0.056	0.009
8	3.88	0.91	2.97 (76%)	0.048	0.012
9	4.42	1.13	3.28 (74%)	0.056	0.013
10	2.87	1.59	1.27 (44%)	0.059	0.020

ST: Sólidos totales

SV: Sólidos volátiles

SF: Sólidos fijos

NK: Nitrógeno Kjeldahl

TABLA 6.4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES CORRESPONDIENTES A LA SEGUNDA ETAPA EXPERIMENTAL EN EL RBR ( $w = 16 \text{ rpm}$ ;  $DQO_i = 6,525 \text{ mgO}_2/\text{l}$ ,  $\theta = 1.18 \text{ d}$ ;  $\epsilon = 47.8\%$ ).

CAMARA	OD (mg/l)	T (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{mhos/cm}$ )	ALCALINIDAD ( $\text{mgCaCO}_3/\text{l}$ )	DQO ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	DBO <sub>5</sub> ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ )	SOLIDOS (mg/l)			NITROGENO KJELDAHL (mg/l)			
								Tot.	Susp.	Dis.	Tot.	Susp.	Sol.	
<b>Afluyente</b>	-	-	5.8	1 400	-	6 525	1 575	4 710	-	-	-	70.5	-	-
1	3.2	12	6.3	1 450	75	4 814	1 200	4 548	1 472	3 076	83.9	25.7	58.1	
2	4.4	12	7.0	1 500	150	4 400	1 200	4 408	1 536	2 872	67.8	11.8	56.0	
3	3.9	12	7.0	1 300	350	4 333	1 080	6 911	5 767	1 143	214.1	159.8	34.3	
4	4.1	11.5	7.2	1 400	375	4 283	862	6 562	1 908	4 654	179.5	131.1	48.3	
5	4.6	11.5	7.7	1 500	450	3 963	900	4 498	3 001	1 496	59.0	11.3	47.7	
6	4.9	11.7	7.7	1 350	450	3 800	750	4 205	2 149	2 055	58.9	12.6	46.3	
7	4.2	12	7.7	1 450	500	3 700	450	5 173	1 539	3 643	73.2	27.9	45.3	
8	2.9	12	7.4	1 300	500	3 600	300	13 087	9 079	4 007	288.0	242.3	45.7	
9	2.5	11.5	7.4	1 300	550	3 550	263	14 137	10 663	3 474	279.0	229.7	49.3	
10	2.3	13	7.4	1 300	550	3 403	225	13 123	7 692	5 431	282.4	238.4	44.0	

los grandes flóculos a través de la apertura del vertedero de salida del reactor, lo cual originaba un lento almacenaje sobre todo en el último estadio.

El contenido de nitrógeno orgánico en la biomasa sigue el mismo comportamiento que en el primer experimento (comparar Tablas 6.3 y 6.5). El aumento de sólidos totales se debe a la acumulación de sólidos inertes (sólidos fijos) y no al aumento en la cantidad de la biomasa.

### 6.2.3 Tercera etapa experimental

Por los resultados de las dos etapas anteriores se estimó que aumentando el tiempo de retención hidráulica al doble se podría alcanzar una remoción superior a las anteriores. Aunado a un aumento del tiempo de retención hidráulica se originó una disminución de la carga orgánica. Efectivamente, la eficiencia de purificación mejoró notablemente: 84.6% de remoción de  $DQO$  y 96.2% de remoción de  $DBO_5$  (Tabla 6.6).

El coeficiente de rendimiento fue de 2.89 g SST producidos/g  $DQO$  consumida.

El comportamiento del contenido de nitrógeno orgánico sigue en este caso el mismo patrón que en los casos anteriores (ver Tabla 6.7).

TABLA 6.5. ANALISIS DEL CONTENIDO DEL NITROGENO Y SOLIDOS DE LA BIOMASA ADHERIDA A LOS DISCOS EN LA 2A ETAPA EXPERIMENTAL

CAMARA	SOLIDOS ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )			NK $\text{mgN}/\text{cm}^2$	NK/ST ( $\text{mgN}/\text{mgST}$ )
	ST	SV	SF		
1	7.44	6.5	0.94	0.463	0.062
2	6.55	6.81	0.74	0.349	0.053
3	3.98	2.79	1.19	0.134	0.034
4	4.06	2.11	1.95	0.087	0.021
5	12.01	3.19	8.82	0.148	0.012
6	10.14	3.95	6.19	0.136	0.013
7	12.14	4.22	7.92	0.167	0.014
8	12.45	4.6	7.85	0.149	0.012
9	9.3	3.89	5.41	0.099	0.011
10	10.23	3.20	7.03	0.109	0.010

ST: Sólidos totales

SV: Sólidos volátiles

SF: Sólidos fijos

NK: Nitrógeno Kjeldahl



TABLA 6.6. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES CORRESPONDIENTES A LA 3A ETAPA DE EXPERIMENTACION EN EL RBR ( $w = 16$  rpm;  $DQO_i = 6\ 406$  mgO<sub>2</sub>/l;  $\theta = 2.5$  d;  $\epsilon = 84.6\%$ )

CAMARA	OD (mg/l)	Temp (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD (µmhos/cm)	ALCALINIDAD (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	DBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /l)	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/l)	NITROGENO KJELDAHL Susp. (mg/l)
Afluyente	-	11.2	6.1	1500	200	6406	1970	-	-
1	3.2	11.5	6.4	1470	240	3141	1503	1150	201.3
2	2.5	12.7	6.4	1420	340	2267	1320	1246	210.3
3	3.2	12.0	6.4	1440	420	1976	1064	3740	239.7
4	3.6	11.7	6.7	1400	560	1725	831	7235	1248.0
5	4.3	11.6	6.7	1350	600	1667	630	6270	256.2
6	4.4	12.0	6.7	1310	580	1567	320	4357	265.1
7	4.5	12.7	6.7	1300	560	1396	218	4423	287.0
8	4.6	13.0	6.8	1230	740	1357	174	2692	295.0
9	3.8	13.0	6.9	1200	920	1218	103	4380	303.0
10	4.2	13.0	6.7	1170	880	985	75	6625	312.0

#### 6.2.4 Aspectos generales del tratamiento del nejayote

En la figura 6.1 se muestra el comportamiento de la degradación a lo largo del reactor y para las tres diferentes cargas orgánicas.

Analizando las eficiencias de remoción de los compuestos orgánicos (figura 6.1, Tabla 6.8) se desprende que la eliminación de contaminantes medida como  $DBO_5$  es siempre mayor que la medida como  $DQO$ . Con la  $DQO$  puede determinarse el contenido de material orgánico en general en el nejayote, mientras que con la  $DBO_5$  sólo puede cuantificarse el material orgánico fácilmente biodegradable presente en el nejayote. De aquí que el parámetro considerado más importante en la degradación de este tipo de aguas de desecho es la  $DQO$ .

De las Tablas 6.2, 6.4 y 6.6 así como de la figura 6.1 se observa que la concentración de oxígeno disuelto siempre se mantuvo sobre  $1.8 \text{ mg } O_2/l$ , con lo cual se evitaron condiciones de anaerobiosis.

El comportamiento de la alcalinidad y el pH durante el tratamiento del nejayote se presenta en la figura 6.2. En la primera etapa experimental la alcalinidad no presentó una tendencia determinada, pero en las dos siguientes etapas, hubo una tendencia al aumento dentro del reactor. Esto se debe a la

TABLA 6.7. ANALISIS DEL CONTENIDO DE NITROGENO Y SOLIDOS DE LA BIOMASA ADHERIDA A LOS DISCOS. 3A. ETAPA EXPERIMENTAL

CAMARA	SOLIDOS $\text{mg}/\text{cm}^2$			NK	NK/ST
	ST	SV	SF	$\text{mgK}/\text{cm}^2$	$\text{mgN}/\text{mgST}$
1	3.23	1.15	2.08	0.52	0.160
2	3.29	1.10	2.19	0.121	0.037
3	2.36	0.90	1.44	0.097	0.041
4	4.23	2.21	2.02	0.076	0.018
5	4.97	2.55	2.42	0.070	0.014
6	4.04	1.01	3.03	0.069	0.017
7	3.62	0.86	2.76	0.065	0.018
8	3.40	0.91	2.49	0.060	0.018
9	5.22	1.26	3.96	0.059	0.011
10	2.95	0.80	2.15	0.058	0.020

ST: Sólidos totales

SV: Sólidos volátiles

SF: Sólidos fijos

NK: Nitrogeno Kjeldahl

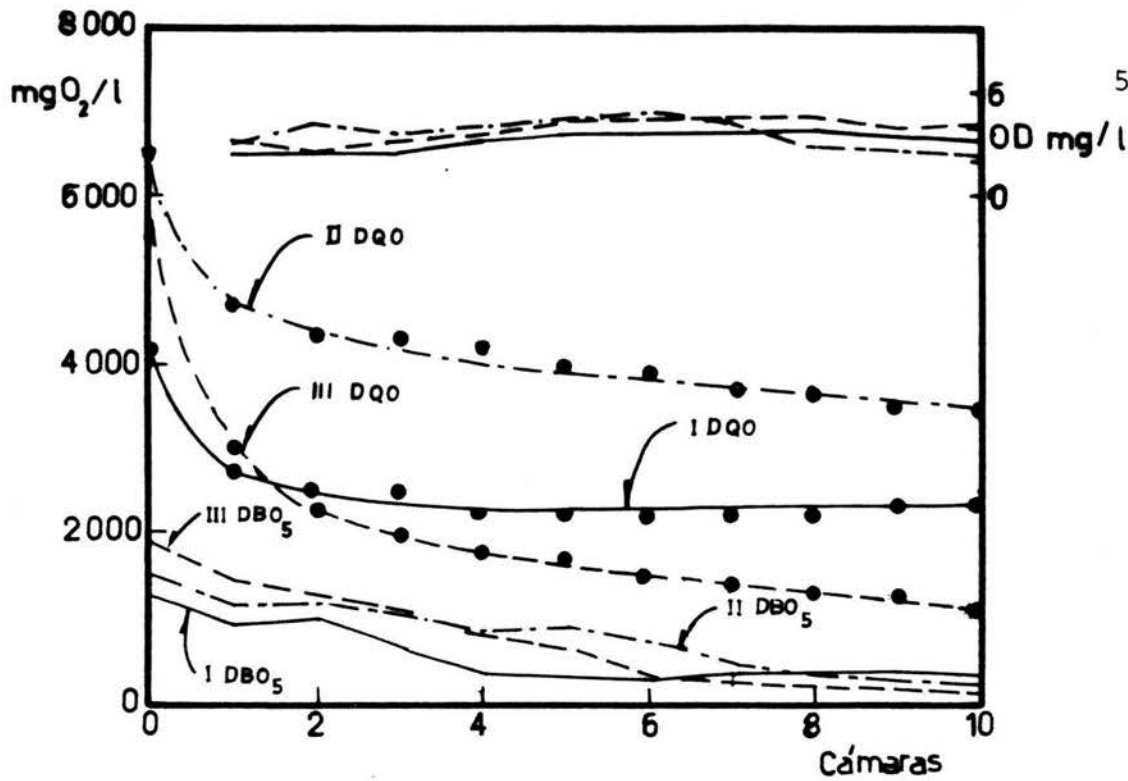


Fig 6.1 Comportamiento de la DQO  $\text{DBO}_5$  y oxígeno disuelto en las diferentes etapas experimentales en el reactor biológico rotatorio

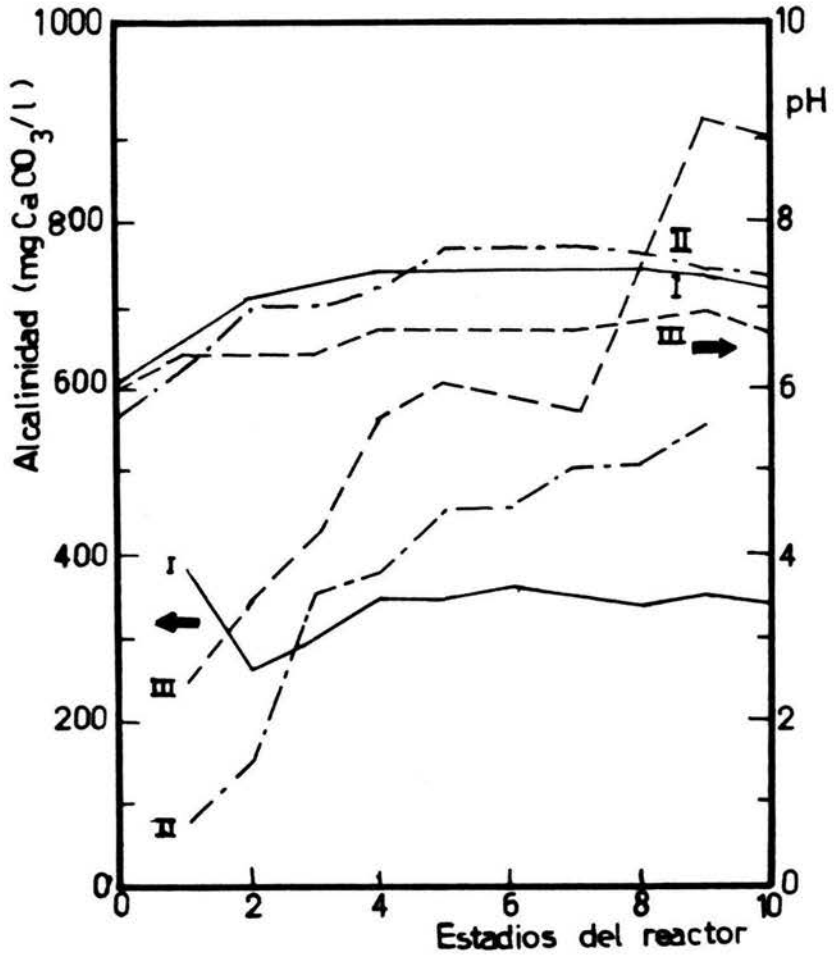


Fig. 6.2 Comportamiento del pH y la alcalinidad durante el tratamiento del nejayote

TABLA 6.8. EFICIENCIAS DE REMOCION OBTENIDAS EN LAS TRES ETAPAS EXPERIMENTALES

ETAPA	CARGA ORGANICA $\left(\frac{\text{kg DQO}}{\text{m}^3 \times \text{d}}\right)$	TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA (d)	% REMOCION	
			DQO	DBO <sub>5</sub>
I	3.65	1.17	47.8	79.5
II	5.53	1.18	47.8	85.7
III	2.56	2.5	84.6	96.2

TABLA 6.9. CONSUMO DE CONTAMINANTES ORGANICOS, PRODUCCION DE BIOMASA Y COEFICIENTES DE RENDIMIENTO PARA CADA ETAPA EXPERIMENTAL

ETAPA	CANTIDAD DE CONTAMINANTES CONSUMIDOS $(\text{kgDQO}/\text{d}/\text{m}^3)$	CANTIDAD DE BIOMASA PRODUCIDA $(\text{kgSST}/\text{d}/\text{m}^3)$	COEFICIENTE DE RENDIMIENTO
			$(\text{gSST}/\text{gDQO})$
I	1.74	1.54	0.81
II	2.64	6.03	2.08
III	2.16	2.67	1.24

gran cantidad de calcio y otras sales y a la incorporación de  $CO_2$  del aire al sistema.

La cantidad de biomasa producida debe considerarse como un factor importante, ya que debe ser extraída del sistema y, en este caso particular, se plantea la posibilidad de recuperar dicha biomasa para que, por medio de un proceso posterior, pueda ser utilizada como alimento para animales. La Tabla 6.9 presenta los valores de la biomasa producida y las cantidades de desechos orgánicos degradados o eliminados para cada etapa de experimentación. La segunda etapa, cuya carga orgánica es la mayor, mostró un coeficiente de rendimiento mayor, lo cual era de esperarse.

Para propósitos de obtener agua tratada con menor grado de contaminación, las condiciones de la tercera etapa experimental fueron las más adecuadas.

### *6.3 Resultados micológicos*

Los valores de la cuantificación, así como los nombres de los organismos identificados se encuentran en las Tablas 6.10 a la 6.13.

### 6.3.1 Cuantificación global

La Tabla 6.10 muestra los resultados de la cuantificación de colonias (sin diferencias especie) de hongos en los 10 compartimientos del reactor durante las 3 etapas experimentales. Se puede observar que el número de colonias no muestra tendencia definida. Los valores cambian en cada compartimiento y en cada etapa experimental sin permitir un análisis de resultados.

### 6.3.2 Identificación

Se identificaron un total de doce organismos diferentes (ver Tablas 6.11 a la 6.14) durante las tres etapas de experimentación.

Durante la primera etapa se identificaron 10 de los 12 organismos, distribuidos de la siguiente manera (Tabla 6.11).

De las cámaras 1 a la 8 se presentaron *Candida tropicalis* y *Candida pseudo tropicalis*. Estos organismos fueron los más abundantes, pero *Mucor sp.* y *Fusarium aquaeductum* presentaron una homogeneidad a lo largo de todo el reactor, aunque no son tan abundantes como los primeros. En la cámara 1 y 6 se encontraron 7 de los 10 organismos identificados en esta etapa experimental. En las cámaras 4 y 8 se encontraron solamente

TABLA 6.10. CUANTIFICACION MICOLOGICA GENERAL

Número de colonias/ml x 10 <sup>-3</sup>			
CAMARA	1a	2a	3a
No.	ETAPA	ETAPA	ETAPA
1	110.0	299.0	110.0
2	155.0	34.7	9.8
3	28.0	76.0	31.6
4	43.0	54.0	39.2
5	134.0	5.11	156.0
6	114.0	10.0	32.0
7	26.0	17.65	230.0
8	27.0	112.0	45.4
9	115.0	29.0	42.2
10	85.0	321.0	7.5



TABLA 6.11. CUANTIFICACION DE LOS ORGANISMOS IDENTIFICADOS EN EL RBR DURANTE EL TRATAMIENTO DEL NEJAYOTE EN LA 1A ETAPA.

Número de organismos/ml x 10<sup>3</sup>

ORGANISMOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
<i>Geotricum candidum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
<i>Candida tropicalis</i>	79	106	72	63	83	100	62	75	-	-	640
<i>Candida pseudotropicalis</i>	60	87	13	15	-	24	18	12	-	-	229
<i>Cladosporium homodendrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
<i>Mucor sp</i>	10	7	8	-	2	1	6	-	-	9	34
<i>Alternaria alternata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	5	7	12
<i>Aspergillus niger</i>	4	7	-	-	-	10	-	-	-	9	30
<i>Aspergillus flavus</i>	10	-	1	-	-	-	-	-	-	-	11
<i>Aspergillus fumigatus</i>	10	-	-	-	-	5	-	-	10	-	25
<i>Penicillium sp</i>	-	5	-	-	4	1	-	-	1	3	14
<i>Paecilomyces sp</i>	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
<i>Fusarium aquaeductum</i>	6	6	-	-	-	1	3	2	6	5	29
<b>TOTAL</b>	<b>179</b>	<b>218</b>	<b>94</b>	<b>78</b>	<b>91</b>	<b>142</b>	<b>89</b>	<b>89</b>	<b>22</b>	<b>33</b>	
<b>No. de especies</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	

2 y 3 organismos, respectivamente. En las cámaras restantes la presencia de organismos fue de 4 a 6, lo cual significa que son aproximadamente la mitad de los organismos identificados. *Geotricum candidum* y *Cladosporium homodendrum* son los organismos que no se presentan a lo largo de esta etapa experimental.

Durante la segunda etapa experimental se identificaron los 12 organismos sujetos a identificación, los cuales presentan la siguiente distribución.

Los más abundantes fueron *Candida tropicalis* y *Candida pseudotropicalis*. Hubo otros que presentaron una cierta homogeneidad a lo largo de todo el reactor, como *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium sp.* y *Fusarium aquaeductum*. La abundancia de los otros organismos fue menor y su distribución más espaciada a lo largo del reactor (Tabla 6.12).

Durante la tercera etapa experimental se identificaron al igual que en la primera etapa 10 de los 12 organismos pero estos tuvieron una distribución un poco más selectiva (ver Tabla 6.13). Los organismos más abundantes fueron *Candida tropicalis*, *Candida pseudotropicalis* y *Cladosporium homodendrum*. Estos organismos se distribuyeron a lo largo de todas las cámaras del reactor. *Geotricum candidum* se distribuyó a lo largo de 7 cámaras, siendo nula su presencia en las cámaras 7 y

TABLA 6.12. CUANTIFICACION DE LOS ORGANISMOS IDENTIFICADOS EN EL RBR DURANTE EL TRATAMIENTO DEL NEJAYOTE EN LA 2A ETAPA.

Número de organismos/ml x 10<sup>3</sup>

ORGANISMOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
<i>Geotricum candidum</i>	251	-	-	-	-	-	-	-	4	-	255
<i>Candida tropicalis</i>	1337	866	659	531	347	298	1122	1175	717	1415	8158
<i>Candida pseudotropicalis</i>	367	300	116	242	315	135	356	561	84	789	3265
<i>Cladosporium homodendrum</i>	353	-	-	-	-	-	-	-	-	-	353
<i>Mucor sp</i>	5	-	-	3	-	1	-	-	-	-	9
<i>Alternaria alternata</i>	-	-	1	3	-	-	-	-	10	1	15
<i>Aspergillus niger</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
<i>Aspergillus flavus</i>	2	-	-	-	1	-	-	1	2	-	6
<i>Aspergillus fumigatus</i>	9	10	3	1	10	-	3	-	10	4	50
<i>Penicillium sp</i>	10	4	9	9	9	5	1	5	-	8	60
<i>Paecilomyces sp</i>	-	-	-	2	5	-	9	-	-	-	16
<i>Fusarium aquaeductum</i>	1	-	4	10	8	5	7	-	2	2	76
<b>TOTAL</b>	2335	1180	829	801	695	435	1498	1742	829	2220	
<b>No. de especies</b>	9	4	6	8	7	5	6	4	7	7	

TABLA 6.13. CUANTIFICACION DE LOS ORGANISMOS IDENTIFICADOS EN EL RBR DURANTE EL TRATAMIENTO DEL NEJAYOTE EN LA 3A ETAPA.

Número de organismos/ml x 10<sup>3</sup>

ORGANISMOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
<i>Geotricum candidum</i>	114	17	2	21	10	2	-	-	-	2	168
<i>Candida tropicalis</i>	245	80	324	86	201	274	131	46	47	234	1668
<i>Candida pseudotropicalis</i>	156	55	115	238	145	158	196	484	328	110	1985
<i>Cladosporium homodendrum</i>	49	61	63	232	321	9	222	207	112	69	1345
<i>Mucor sp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
<i>Alternaria alternata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
<i>Aspergillus niger</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
<i>Aspergillus flavus</i>	-	-	-	-	35	1	2	-	-	-	38
<i>Aspergillus fumigatus</i>	-	-	-	1	1	1	-	-	1	3	7
<i>Penicillium sp</i>	-	-	-	-	2	2	-	-	2	3	9
<i>Paecilomyces sp</i>	1	-	-	1	1	70	-	3	2	-	78
<i>Fusarium aquaeductum</i>	1	-	-	-	-	-	2	3	-	-	6
<b>TOTAL</b>	<b>566</b>	<b>213</b>	<b>504</b>	<b>579</b>	<b>717</b>	<b>518</b>	<b>553</b>	<b>743</b>	<b>492</b>	<b>421</b>	
<b>No. de especies</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	

8 y volviendo a aparecer en la cámara 9 y 10. *Mucor* sp. solamente se presentó en las cámaras 5, 6 y 8. Y *Fusarium aquadectum* apareció en las cámaras 1, 7 y 8. Estos fueron los organismos menos abundantes y peor distribuidos en esta etapa a lo largo de todo el reactor. Los demás, *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp. y *Aspergillus fumigatus*, se distribuyeron en las cámaras intermedias a partir de la cámara 4 hacia la cámara 10, pero aún así no fueron tan abundantes como los primeros organismos mencionados.

Las condiciones que afectan o pueden afectar la presencia o ausencia de los hongos microscópicos son los cambios de temperatura que varían de 22 a 37°C y la ausencia de nutrientes nitrogenados y carbonosos, además de que pueden crecer en medios de amplio espectro de pH que varía de 3 a 10, en donde su crecimiento óptimo de pH es de 6 a 6.5.

Claro está que no todos los hongos presentan las mismas características nutricionales, por lo que, un medio como en el que se trabajó, que al inicio presentaba un contenido de nitrógeno de 0.160 mg N/ST y al final solo presentaba 0.020 mg N/ST. Lo cual significa que tal disminución de nitrógeno en el medio fue un factor determinante en la selección poblacional de microorganismos, donde predominaron los organismos degradadores de nutrientes carbonatados, como los hongos tipo levadura.

*Alternaria alternata* y *Aspergillus niger* son los organismos que no se encontraron en esta etapa experimental.

La Tabla 6.14 muestra las especies presentes en cada compartimento y en cada etapa experimental.

La Tabla 6.15 muestra en qué medios de cultivo se desarrollaron las colonias de los hongos identificados.

TABLA 6.14. ESPECIES PRESENTES EN CADA COMPARTIMIENTO Y EN CADA ETAPA DEL REACTOR

ORGANISMOS	CAMARAS DEL REACTOR									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Candida tropicalis</i>	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123
<i>Candida pseudotropicalis</i>	123	23	23	23	23	23	23	23	23	23
<i>Geotricum candidum</i>	23	3	3	3	3	3	-	-	12	13
<i>Cladosporium homodendrum</i>	23	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Aspergillus niger</i>	1	1	-	-	-	1	-	-	-	12
<i>Aspergillus fumigatus</i>	-	2	2	3	23	3	2	-	123	123
<i>Aspergillus favus</i>	1	-	1	3	3	3	2	2	-	-
<i>Paecilomyces sp</i>	23	-	-	3	123	13	2	3	13	-
<i>Mucor sp</i>	12	-	1	2	13	123	-	-	-	1
<i>Penicillium spp</i>	12	12	2	2	23	123	2	2	3	23
<i>Alternaria alternata</i>	-	-	2	2	-	-	-	-	12	2
<i>Fusarium aquaeductum</i>	123	1	2	2	2	12	123	13	12	12

1,2,3 indican la presencia del hongo en la primera, segunda y/o tercera cargas orgánicas.

TABLA 6.15. CRECIMIENTO DE HONGOS EN DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO DURANTE LAS TRES ETAPAS DE MUESTREO

H O N G O	ADP	AMS	AE	ACD	A-VB
<i>Geotricum candidum</i>	**	*	*	*	*
<i>Candida tropicalis</i>	*	*	*	*	*
<i>Mucor sp.</i>	***	***			***
<i>Alternaria alternata</i>	***	***	**		*
<i>Penicillium sp.</i>	**	**		*	*
<i>Aspergillus niger</i>	***	***			*
<i>Aspergillus flavus</i>	**	*			*
<i>Aspergillus fumigatus</i>	***	***		*	***
<i>Fusarium aquadectum</i>	***	*		*	*
<i>Paecilomyces sp.</i>	**	**		*	
<i>Cladosporium homodendrum</i>	**	***		*	*
<i>Candida pseudo tropicalis</i>	*	*	*	*	*

\* de 1 a 2 cm de diámetro

\*\* de 2 a 4 cm de diámetro

\*\*\* más de 4 cm de diámetro



## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones más importantes que se desprenden de este trabajo.

- 1) El reactor biológico rotatorio es un sistema adecuado para el tratamiento del nejayote. Aunque las concentraciones de contaminantes (mg/l DQO) del nejayote tratado son aún altas para vertirse en un cuerpo receptor sin producir contaminación, se considera que la calidad es suficiente para reutilizarlo en el proceso de cocimiento de maíz. De esta forma se ahorra agua y se evita la contaminación de cuerpos receptores. En el sistema se utiliza una fase del sistema primario, precisamente para la separación de sólidos en suspensión (biomasa).
- 2) La biomasa producida durante el tratamiento puede ser se

parada del agua tratada por sedimentación y posteriormente puede utilizarse como complemento alimenticio para animales útiles al hombre.

Pensando en el ahorro de agua y en los subproductos del tratamiento del nejayote (biomasa) es posible que los beneficios económicos, junto con el beneficio de no contaminar, hagan al proceso atractivo para ser instalado en los molinos de nixtamal del país.

- 3) Los hongos identificados y cuantificados presentan un patrón de comportamiento diferente entre las tres etapas experimentales. Esto se debe a que las diferentes cargas orgánicas aplicadas afectan los factores ecológicos que determinan la presencia o ausencia de especies.
- 4) La presencia y diversidad de los hongos demuestran su importancia dentro del proceso degradativo de sustancias orgánicas solubles. No fue posible establecer de forma cuantitativa su relación con las bacterias.
- 5) Algunas de las especies identificadas se presentan en las tres cargas orgánicas, lo cual indica su adaptabilidad a diferentes condiciones del medio, lo cual no sucede con otras especies. También se observa que algunas especies sólo se presentan al principio del tratamiento

(primeros compartimientos del reactor) y otras al final, lo cual indica su especificidad de funciones.

- 6) Como una fase del tratamiento biológico es la sedimentación de la biomasa, que puede ser tratada para utilizarse como complemento alimenticio. A esta se le daría un tratamiento previo para eliminar toxinas fúngicas antes de ser probada en animales para consumo humano.

Ya que como observamos en la Tabla 6.14 al final de la cámara 10 tenemos la presencia de organismos como: Candida tropicalis, Candida pseudo tropicalis, Geotricum condidum, Cladosporum homodendrus, Aspergillus niger, Aspergillus fumigatus, Mucor sp., Penidillum sp., Alternaria alternata y Fusorium acuadectum. En mayor proporción se encuentran las dos primeras especies que son hongos del tipo de las levaduras y que en actividad sus toxinas lesionan los pliegues cutaneos interdigitales de manos y pies, las zonas inguinal y axilar y algunas otras partes del organismo que con un tratamiento previo de antibióticos de amplio espectro en el medio podría anular los efectos de la candidiasis, claro esta de que debería hacerse un estudio detallado sobre efectos secundarios sobre los animales sometidos a una dieta que tenga como base la biomasa del nejayote como complemento alimenticio.

- 7) Como se mencionó desde un principio la escasez del agua a nivel nacional es muy grave y lo mismo se dice del crecimiento demográfico, además de que los asentamientos humanos cada día es más grave en las ciudades más importantes del país y en este caso hablando de la ciudad de México donde cada día es más problemático sobrevivir. La instalación de un sistema de tratamiento de biodiscos podría ser una de las soluciones al problema, ya que los costos de instalación y de infraestructura en un principio serían costosos pero a la larga economización muchos miles de millones de pesos, pues el agua tratada se volvería a reutilizar y dándole un tratamiento adecuado se potabilizaría para consumo humano y de esta forma se economizarían gastos de transporte de agua potable desde zonas muy alejadas de la ciudad.

Con base en los resultados de este trabajo, a continuación se hacen algunas recomendaciones:

- 1) Para determinar la importancia relativa de los hongos en un sistema como el utilizado en este trabajo es necesario cuantificar e identificar bacterias para poder comparar su capacidad degradativa con respecto a los hongos.
- 2) Se puede buscar la posibilidad de inocular experimental-

mente los biodiscos de acuerdo al sustrato que se piense utilizar, previa investigación micológica; es decir, que se hará según el tipo de organismo más abundante en el medio y que sea un indicador de purificación de las aguas.

- 3) Hacer un seguimiento a este tipo de procesos en plantas industriales que utilicen este sistema para verificar sus eficiencias sobre la degradación de la materia orgánica presente en las aguas de desecho y cuáles fueron los criterios más apropiados de diseño.

## BIBLIOGRAFIA

Alexopoulos, C.J. Introducción a la Micología. Editorial EUDEBA. Argentina, 1979.

APHA, AWWA and WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th. Edition.

Autotrol Corporation-Bio System Division. Process Description, Chapter "B". August. 1978.

Barnett, H.L. and Junter, B.B. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Burgess Publishing Company. Third Edition, 1972.

Bazúa, C.D.; Guerra, R. and Storer, H. A Research Note. Extruded Corn Flour as an Alternative to Lime-Heated Corn Flour for Tortilla Preparation. Journal of Food Science. Vol. 44:940-941. 1979.

Bazúa, C.E. Problemas Sanitarios de la Industria de Alimentos, Problema Tipo: Efluente de la Industria del Maíz en México. Depto. de Alimentos, División de Estudios de Postgrado, Fac. de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. C.P. 04510, México, D.F. 1982.

Benefield, L.D.; Randal, C.W. Biological Process Design for Waste-water Treatment. Prentice-Hall, U.S.A., 1980.

Bioxón. Medios de Cultivo. Bioxón, Co. 1980.

Bold, H.C. and Laexopoulus, C.J. Mophology of Plants and Fungi. Harper International Edition. 1981.

Booth, C. Fusarium. Laboratory Guide to the Identification of Major Species. Commonwealth Mycological Institute. 1977.

Brown, D.R. y Van Meer, G.L. Biological treatment of wastes from the corn wet milling industry. EPA. Report 600/2-78-105, Cincinnati, Ohio, E.U.A.

Carpenter, P.L. Microbiología. Editorial Interamericana, México, 1979.

Carranco, P.D. and Ribera F. Soil and Aquatic Fungi in a Waste-stabilitation Pond System of the State of Mexico. Mexico. Water, Air and Pollution, 23:249-256. 1983.

Casanelles, E. La Contaminación Hoy. Editorial Taide, S.A. Barcelona, España. 1983.

Civil Engineering-ASCE. Behind the Rapid Rise of the Rota-

ting Biological Contactor. 49(1):72-73. January 1979.

Clark, J.H., Moseng, E. y Asano, T. Performans of the Rotating Biological Contactor under varying Wastewater Flow. Journal WPCF 50(5):896-911. 1978.

Cooke, W.B. Potential Plant Pathogenic Fungi in Sewage and Polluted Water. Plant Disease Reporter. Aug. 15, 40(8):681-687, 1956.

Cooke, W.B. and Matsuura, G.S. Distribution of Fungi in Waste-stabilitation Ponds Ecology. 1, 50(4):659-694, 1968.

Cooke, W.B. The Ecology of the Fungi. The Botanical Review. Jun. XXIV (6), 1958.

Cooke, W.B. Fungi Associated Whith the Activited Sludge Process of the Sewage Treatment of the Lebanon, Ohio, Sewage-Treatment Plants. The Ohio Journal of Science. 7(3) May. 1970.

CONASUPO. 1976. La Industria del Maíz, México, D.F.

Dugan, Patrick R. Biochemical Ecology of Water Pollution Plenum Press, New York. 1972.



Durán de Bazúa, C. Tratamiento de los efluentes de la Industria del maíz en México. Tesis para obtener el grado de Doktor-Ingenieur. Fac. Ing. Civil y Mediciones de la Universidad de Karlsruhe, RFA, 1984.

Finstein, M.S. Pollution Microbiology, a Laboratory Manual. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York, 1972.

Frobisher, M. and Fuerst, R. Microbiología. Ed. Interamericana. México, 1976.

Gaudy Antony and Gaudy Elizabeth. Microbiology for Environmental Scientists and Engineers. Mc Graw-Hill International, 1980.

González, S. Estudio de la estabilidad de los desechos líquidos del proceso de nixtamalización. Instituto de Ingeniería, proyecto 3303. Universidad Nacional Autónoma de México, Méx. 1983.

Green, J.H. y A. Kramer. Food Processing Waste Management, AVI, 1979.

Hanlin, R.T. Mucorales, Key to the Families Genera and Species of the Mucorales. Strauss and Cramer. Germany. 1973.

Hartman, L. and Bazúa, C.D. Biological Treatment of Maize Proceeding Effluents, Convention from Waste Useful Products Present of the 2nd European Congress of Biotechnology. Eastborne, G.B. 1981.

Hartmut, Bick. A Review of Central European Methods for the Biological Estimation of Water Pollution Levels. Bull. Org. Mond. Santé. Boletín World Health Organization. 29, 401-413, 1963.

Honing, L. Divise. Medically important Fungi (A guide to identification). Hasper and Row Publishers; Hargeston, Maryland, U.S.A.

Illescas R. La Teoría Química de la formación del nixtamal. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. Tomo IV, No. 3-4:129-134, Dic. 1943.

Katz, S.H.; Hediger, M.L.; Valleroy, L.A. Traditional Maize Processing Techniques in the World, Traditional Alkali Processing Enhances the Nutritional Quality of Maize. Science Vol. 184, 765-773. May. 1974.

Lacy Niebla, A.M. y Rivera, F.A. Análisis Micológico de una Laguna de Estabilización Facultativa de las Aguas Negras del Municipio de Almoloya del Río. Estado de México. Revista

Latino americana de Microbiología 24:59-67, 1982.

Lehminger, A.L. Bioquímica. Barcelona: Ediciones Omega, S.A. 1972.

Lue-Hing Cecil, Obayashi Alan W, Zenz David R., Washington Booker, and Sawyer Bernard M. Biological Nitrification of Sludge Supernatant by Rotating Disks. Journal Water Pollution Control Federation, 48:25-46. 1976.

Pesson, P. La contaminación de las aguas continentales. Edición. Mundi Prensa. Madrid, 1979.

Piatkin, K. and Krivoshein, Y. Microbiología, Editorial MIR-Moscu. URSS, 1981.

Poon Calvin P.C., Chin Howard K. Smith Edgar D. Mikucki Walter J. Upgrading with Rotating Biological Contactors for Ammonia Nitrogen Removal. Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 53, No. 7:1158--165, July 1981.

Regent Aleksander. Small RCBs Logging Hoursin Yugoslavia. Water & Sewage Works, August 1980; 42-45.

Rheinhermer, G. Aquatic Microbiology. John Wiley and Sons. 2nd. Edition. German Democratic Republic, 1980.

SARH. Manual del Curso: Análisis de Aguas y Aguas de Desecho. Curso B, I y II, 4a. Edición, 1979.

SARH. Manual del Curso Introducción a la Ingeniería Sanitaria (Agua) 3a ed. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. Subdirección de Area de Investigación y Entrenamiento. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, 1981.

SARH. Manual del Curso Análisis de Aguas y Aguas de Desecho. Vol. II. Curso B. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. Subdirección de Area de Investigación y Entrenamiento. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, 1981.

SARH. Manual del Curso Microbiología del Agua. Vol. II. Curso B. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, 1983.

SARH. Agua. Revista Planeación Democrática, Síntesis de la Consulta Popular. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, 1983.

SEDUE. La Contaminación del Agua y sus Efectos Ecológicos Ambientales. Boletín Técnico de Tratamiento y Reuso de Aguas. D.I.G.A.A.S.E.S. año I, No. 1, 1983.

Sistrom, W.R. Vida Microbiana. Serie de Biología Moderna. Ed. C.E.C.S.A. México, 1973.

Standard Methods. For the Examination of Water and Waste-Water. American Public Health Assoc., Inc. Nueva York, 1980.

Trejo-González A.S. y Feria-Morales A.M., Nejayote. Acondicionamiento, Reutilización y Obtención de Subproductos de las Aguas de Desecho de la Nixtamalización del Maíz. Depto. Investigación en Alimentos. Fac. de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica de la Universidad de Guanajuato. Salamanca, Gto. 1979.

Trejo-González A.S., Feria-Morales A.M. and Wild-Altaminaro C. The Role of Lima in the Alkaline Treatment of Corn for Teaching for Agricultural and Food Engineering. University of Guanajuato, Irapuato, Gto. 1979.

Ulloa, M. y Hanlin R. Atlas de Micología Bpasic. Editorial Concepto, S.A. México, 1978.

Uns, R.F. Microbiology of Waste Treatment. Journal WPCF, June: 1255-1268, 1977.

Wilderer P., Hartmann L. and Engelmann G. Karlsruhe Test to Analyse Impacts of Chemical Compounds in Water. Institut fur Ingenieurbiologie and Biotechnologie des Abwassers, Universitat Karlsruhe Kaisertr. 12 500. Karlsruhe 1, Germany. 1980.

Wood, W.B. The molecular basis of metabolism. Unidad III en Ehrlich et.al. (Ed.) "Bioscore", New York: Mc Graw-Hill, 1974.