

138
2ey



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

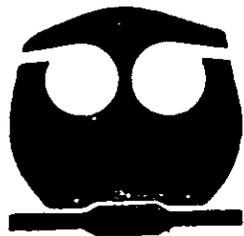
FACULTAD DE QUIMICA

**OPERACION DE UN REACTOR BIOLÓGICO
ROTATORIO (RBR) PARA EL TRATAMIENTO
SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES DE UN
MOLINO DE NIXTAMAL (NEJAYOTE)**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
RAFAEL RAMIREZ SANCHEZ**

ASESOR DEL TEMA: DRA. DURAN DOMINGUEZ MA. DEL CARMEN.



MEXICO, D. F.



1998.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

265/15



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.

Jurado asignado:

Presidente Prof. DURÁN DOMINGUEZ Ma. DEL CARMEN
Vocal Prof. TORRES BARRERA RODOLFO
Secretario Prof. LUNA PABELLO VICTOR MANUEL
1er. Suplente Prof. CALDERON VILLAGOMEZ HILDA ELIZABETH
2do. Suplente Prof. RAMIREZ BURGOS LANDY IRENE

Sitio donde se desarrolló el tema: Laboratorio 301, edificio "E" Facultad de Química.

Asesor del tema: Dra. Durán Domínguez Ma. Del Carmen

Supervisor técnico: IQ. Marisela Bernal González.

Sustentante: Ramírez Sánchez Rafael .

The image shows three handwritten signatures in black ink, each written over a horizontal line. The first signature is the largest and most prominent, followed by a smaller one, and then a third signature at the bottom. The signatures appear to be cursive and somewhat stylized.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincera gratitud
a todas aquellas formas de vida que me han permitido
aprender de ellas

A la **Dra. María del Carmen Durán de Bazúa** por el apoyo y la paciencia que tuvo para
conmigo

A todos mis compañeros del PIQAYQA en especial a **Marisela Bernal** por su tiempo y
apoyo.

A mis *padres*

Nadie puede enfrentarse al

infinito sin sentir vértigo

*A la memoria de
mi mundo etéreo*

Doña Ramoncita
Israel Valdivia,
Guadalupe Torres
Ives - Cousteau

Creo en el alba oír un atareado
rumor de multitudes que se alejan;
son los que me han querido y olvidado;
espacio y tiempo y la vida ya me dejan

*En las noches azules de verano, iré por los senderos,
salpicados de maíz, pisur la fina hierba. No hablaré,
no pensaré en nada, e iré lejos, muy lejos, como un
gitano, por la naturaleza.*

- FELIZ COMO CUANDO CAMINÉ A TU LADO -

ÍNDICE

RESUMEN	<i>i</i>
CAPÍTULO I GENERALIDADES	
I.1 INTRODUCCIÓN	1
I.1.1 ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS GENERALES	1
I.1.2 PROBLEMÁTICA DE LA NIXTAMALIZACIÓN EN MÉXICO	3
I.2 ANTECEDENTES	5
I.3 OBJETIVOS	6
I.3.1 OBJETIVOS GENERALES	6
I.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	
II.1 GENERALIDADES SOBRE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS	8
II.1.1 IMPORTANCIA DE LOS MICROORGANISMOS	8
II.1.2 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS	8
II.1.3 PROCESOS BIOLÓGICOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE DESECHO	10
II.2. REACTORES DE DISCOS ROTATORIOS O BIODISCOS	13
II.2.1. CINÉTICA Y MODELOS MATEMÁTICOS	13
II.2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS RBR	15
II.3 PRETRATAMIENTO PARA ELIMINAR CALCIO	16
II.4 CARACTERIZACIÓN DEL CARBONO, HIDRÓGENO, NITRÓGENO, AZUFRE Y OXÍGENO EN FORMA GLOBAL	17

OPERACIÓN DE UN REACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO PARA EL TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUA DE MOLINOS DE NIXTAMAL (NEJAYOTE)

II.4.1 ANALIZADOR ELEMENTAL	17
II.5 SALINIDAD	18
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA ENCONTRADA	
III.1 EXPERIMENTACIÓN PREVIA	20
III.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS EN ESTUDIO (NEJAYOTE)	20
III.3 PARTES Y ESPECIFICACIONES DEL REACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO (RBR-250)	20
III.4 ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL RBR	21
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS EXPERIMENTALES, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	27
IV.1 TEMPERATURA	31
IV.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE	31
IV.3 CALCIO	36
IV.4 SODIO	41
IV.5 BIOMASA	42
IV.6 ANALIZADOR ELEMENTAL	43
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	54
APÉNDICES	58
1 ALCALINIDAD	59

OPERACIÓN DE UN REACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO PARA EL TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUA DE MOLINOS
DE NIXTAMAL (NEJAYOTE)

2 pH	62
3 CONDUCTIVIDAD	69
4 TEMPERATURA	71
5 DQO	74
6 CALCIO	86
7 ANÁLISIS ELEMENTAL	87

ÍNDICE DE TABLAS

No. DE TABLA

1.1	Producción nacional de cultivos básicos año agrícola 1995-96	4
1.2	Consumo aparente de los principales productos agropecuarios 1991-96	5
1.3	Composición del nejayote	6
2.1	Contenido Típico de efluentes crudos	9
2.2	Requerimientos típicos de descarga	10
2.3	Especies de ciliados encontrados en el RBR	14
3.1	Características del reactor biológico rotatorio	21
3.2	Equivalencia entre diferentes unidades de concentración de calcio	24
3.3	Valores para la pendiente del electrodo	26
4.1	Caracterización del nejayote generado en un molino de nixtamal	27
4.2-A	Datos obtenidos para la remoción de calcio	37
4.2-B	Datos obtenidos para la remoción de calcio	38
4.3	Valores de concentración de sodio medido por absorción atómica	42
4.4	Composición típica y general de la biomasa	42
4.5	Análisis bromatológico de la biomasa	43
4.6	Composición elemental de la biomasa proveniente del RBR durante su estudio	43

RESUMEN

En el México antiguo se creó un mito, el mito del descubrimiento del maíz. En él se transmite uno de los más antiguos mitos cósmicos: el de la invención del maíz tonacáyotl, "nuestro sustento"; el sustento básico del hombre americano, llevado a cabo por Quetzalcóatl; el cereal americano por antonomasia.

El maíz es uno de los principales productos agropecuarios que México siembra, cosecha y procesa. Tan solo en 1996, la producción agrícola fue de 21.398 millones de toneladas y se consumieron 23.801 millones de toneladas. La elaboración de harina de maíz fue de 143.1 miles toneladas. Estos números dan una idea de la cantidad de efluentes que genera esta industria de procesamiento de alimentos, ya que por cada tonelada se requieren de 3 a 6 m³ de agua.

La industria de procesadora de maíz genera efluentes residuales altamente contaminantes por la cantidad de materia orgánica disuelta y suspendida (20 - 40 g DQO/L) y 1 a 10 g SST/L, respectivamente, que salen del proceso a elevados valores de temperatura (entre 40 y 80°C) y un pH entre 10 y 14, además de que las aguas residuales son bastante considerables. A este residuo se le llama *nejayote*, que significa agua de cal o caldo de cal (del náhuatl *nextli*; cenizas de cal; *áyoh*, caldo o cosa aguada y *atl*, agua). Su caudal es aproximadamente dos a cinco unidades del volumen con respecto a la masa de grano a cocerse dependiendo del proceso y tamaño del establecimiento que lo realizó.

Dada la necesidad del país de contar con un desarrollo sustentable, se ve la demanda de crear tecnologías más limpias antes o después de cada proceso industrial. De ahí surgen proyectos multidisciplinarios que, teniendo clara la necesidad del país en el marco de alimentación y desechos industriales, traten de desarrollar un proceso para el reaprovechamiento de sus aguas residuales. De esta manera se aportan estudios útiles para el país. Dado que esta materia orgánica presenta características de biodegradabilidad y generalmente no es tóxica, es posible la aplicación de un sistema de tratamiento biológico y además se tiene la posibilidad de usar los productos generados como materia prima para contribuir, de alguna manera, a solventar uno de los problemas de más demanda en México: proteína para la nutrición animal. Se acondicionó un reactor biológico rotatorio o RBR para la operación de tratamiento del nejayote. Este reactor cuenta con cuatro cámaras de acero inoxidable. A la primera cámara se alimentaba nejayote pretratado fisicoquímicamente, empleando un proceso por lotes, adicionando NaOH 1 M y burbujeando CO₂, lográndose eliminar más de 90% del contenido de sales de calcio disueltas en el nejayote. Al líquido de cada una de las cámaras se le realizaban análisis fisicoquímicos para evaluar la conversión microbiana del material disuelto a biomasa y CO₂. La operación de un RBR dió una eficiencia depurativa del 70%, medida como DQO soluble. El marco teórico que se utilizará para soportar el estudio son las variables medibles física y químicamente para el correcto desempeño de un reactor biológico rotatorio. Las variables serán pH, temperatura, alcalinidad, DQO, sodio, calcio y elementos químicos presentes en el material celular como

N₂, C, H₂, S y O₂. Uno de los objetivos fue el de eliminar el mayor contenido de calcio en el líquido de alimentación, además de ser un

contaminante que las normas oficiales mexicanas no permiten en los efluentes industriales en elevadas concentraciones y hacer un estudio del ión sodio a lo largo de la depuración del nejayote, ya que se le adiciona NaOH para el proceso de descalcificación. En el proceso de descalcificación se aumentó el volumen de tratamiento original, que era de 7 litros a 15 litros y también se aumentó el tiempo de adición de CO₂, la concentración de NaOH se mantuvo en 1 M. De esta manera, la concentración de sodio se mantenía constante para estudiar, posteriormente, la repercusión en el desarrollo de los microorganismos, que son de suma importancia para el tratamiento secundario de las aguas residuales. El aumento en el volumen tratado de nejayote en el tratamiento fisicoquímico no afectó el porcentaje de remoción de calcio, el cual se mantuvo por arriba del 95%. De esta manera, se logró disminuir la concentración de las sales de calcio ocluidas en la biomasa. Otro de los estudios fue la determinación de elementos básicos presentes en el líquido sobrenadante y de los lodos provenientes de la determinación de sólidos totales. Estos elementos son carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno. De acuerdo con los resultados del analizador elemental, la biomasa tendrá la composición de C₂₂O₇₃N₂H₄. Esta fórmula es en base a valores arriba y abajo de cierto valor central del cual se agrupan la mayor parte de los datos. La cantidad de nitrógeno es congruente con la cantidad de proteína reportada en trabajos anteriores. En el caso de las muestras sólidas los datos son en general congruentes, presentan la misma tendencia. Si se comparan con los datos de DQO, estos se parecen en cuanto a que el carbono, que sería la materia orgánica que mide la DQO, tiende a disminuir de una cámara a otra a través del RBR, aunque no se encontró una correlación como en otros trabajos.

OPERACIÓN DE UN REACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO (RBR) PARA EL TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUA DE MOLINOS DE NIXTAMAL (NEJAYOTE)

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En el México antiguo se creó un mito, el mito del descubrimiento del maíz. En él se transmite uno de los más antiguos mitos cósmicos: el de la invención del maíz tonacáyotl, "nuestro sustento"; el sustento básico del hombre americano, llevado a cabo por Quetzalcóatl; el cereal americano por antonomasia.

El maíz es uno de los principales productos agropecuarios que México siembra, cosecha y procesa. Tan solo en 1996, la producción agrícola fue de 21,398 miles de toneladas y se consumieron 23,801 mton. La elaboración de harina de maíz fue de 143.1 mton.. Estos números dan una idea de la cantidad de efluentes que genera esta industria de procesamiento de alimentos.

Para la industria del maíz en México (fábricas de harina de maíz nixtamalizado y molinos de nixtamal) la mayor parte de sus efluentes líquidos contienen sustancias biodegradables, lo que da la pauta para usar sistemas de microorganismos para purificarlos. (8) (29)

1.1.1 ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS GENERALES

Los microbios como las bacterias, las algas y los protozoos son prácticamente ubicuos en la naturaleza y constituyen una parte muy importante del ambiente.

Todo aquello que sostiene la vida de este ambiente acuático sostenedor y promotor de la vida microbiana que son los organismos inmersos en él, fundamentalmente agua, nutrientes y un aporte químico para los metabolismos aerobio y anaerobio se mantiene principalmente gracias a la presencia de dos ciclos naturales mayores: el del agua (fuentes de abastecimiento) y el del carbono (nutrientes). También pueden añadirse como indispensables los ciclos del nitrógeno, del fósforo, del azufre y otros elementos, ya que las fuentes de nutrientes orgánicos y los microbios poseen estos elementos en distintas concentraciones.

En algunos niveles de la cadena alimenticia, los microorganismos son los únicos degradadores presentes. La única entrada al sistema la constituye la luz solar, que continuamente aporta la energía para el ciclo.

Los profesionales y técnicos encargados del control de la contaminación del agua se preocupan principalmente de la degradación aerobia dentro del ciclo, sobre todo porque

con una sobrecarga de materia orgánica el oxígeno puede agotarse y la degradación no puede proceder hasta la producción final de agua y bióxido de carbono, siguiendo otras vías (anaerobias) por las cuales se puedan formar productos orgánicos indeseables desde el punto de vista de la salud.

En las plantas de tratamiento donde esta situación ocurre, debido a causas casi siempre humanas la ayuda técnica debe dirigirse a restaurar y controlar la aerobiosis o a reubicar la materia orgánica en otros sistemas.

Tal parece que hasta que los desechos se puedan utilizar como materia prima, la mejor solución es encontrar el modo de controlar la degradación aerobia del ciclo carbono-oxígeno, a través de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

En general, ningún microbio oxida la materia orgánica que asimila. Una porción medible de esta materia orgánica que asimila se usa para formar nuevo citoplasma. Esta síntesis demanda energía, que se obtiene de la oxidación de parte de la materia orgánica que se ha consumido. En general, puede suponerse que el 50% del carbono orgánico asimilado por los microbios aerobios degradadores se usa para construir nueva sustancia celular. La energía para realizar esta síntesis se obtiene mediante la oxidación del otro 50% de la materia orgánica hasta bióxido de carbono y agua.

La materia orgánica viva o muerta contiene cantidades considerables de nitrógeno, azufre, fósforo, además de concentraciones menores de hierro, magnesio, calcio y potasio y niveles mínimos de boro, cobre, cobalto, manganeso, zinc y molibdeno.

La fijación del nitrógeno se refiere a la reducción del nitrógeno libre o atmosférico a amonio. Esta reducción se logra por tres procesos, primero una cantidad relativamente pequeña de nitrógeno se fija gracias a la acción lumínica y cósmica. En segundo lugar, una cantidad creciente se fija por procesamiento industrial producción de fertilizantes y en tercer lugar, el nitrógeno se fija por acción microbiana. Esta fijación la realizan dos tipos de microbios: aquellos que viven en asociación con plantas superiores, y los que se consideran de vida libre, que incluyen a las cianofíceas (algas azules) y otras bacterias.

La degradación de la materia orgánica repone el reservorio de nitrógeno inorgánico; a esto se le domina mineralización. El amoníaco puede convertirse en nitritos y nitratos por la acción de microbios aerobios como los del género Nitrosomas y Nitrobacter. A este proceso se le denomina nitrificación. El ciclo se completa por microorganismos que pueden reducir nitratos y nitritos a nitrógeno atmosférico (desnitrificación).

El ciclo del azufre existe también en forma gaseosa y es regulado por los microorganismos en toda la biosfera. La incorporación del azufre en la materia orgánica se da a través de una reacción que efectúan plantas y microbios mediante la síntesis de los aminoácidos que contienen azufre.

Los ciclos del azufre y el nitrógeno son tan importantes como el del carbono y el oxígeno para la producción de la materia orgánica útil a los microorganismos, y todos

ellos se hallan acoplados y dependen del ciclo hidrológico. El agua es el medio que permite que las reacciones químicas se efectúen y constituye el solvente universal, así como el medio de transporte para los elementos nutritivos de los seres vivos.

Las interacciones del fósforo en la biosfera son tan esenciales en la vida que a veces se habla de un ciclo del fósforo; aunque este elemento no se recicla con la ayuda del ciclo hidrológico. Los microbios lo toman del ambiente y lo vierten de nuevo a él cuando mueren y sus restos se desintegran (mineralización). Su reciclaje es, pues, limitado, pero muy importante para la vida microbiana.

El interés de usar estos sistemas biológicos se debe principalmente a que son considerablemente más económicos que los sistemas químicos, ya que los microorganismos actúan como reactivos y catalizadores y son, además, reactores que operan a condiciones ambientales.

1.1.2 PROBLEMÁTICA DE LA NIXTAMALIZACIÓN EN MÉXICO

Como ya se dijo, el maíz es uno de los principales productos agropecuarios que, como en México, varios países latinoamericanos siembran, cosechan y procesan. (4)

La figura 1.1 presenta la producción de maíz en los últimos 20 años. La tabla 1.1 informa sobre los cultivos básicos en México y la tabla 1.1 sus consumos (13) (15).

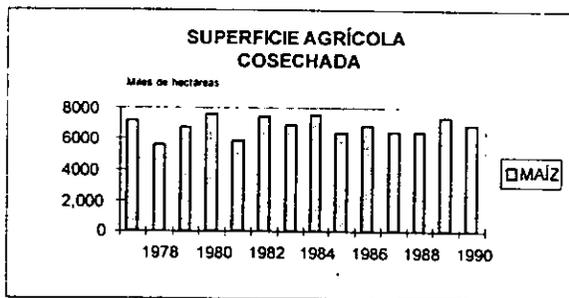


Fig. 1.1 Superficie cosechada de maíz en miles de hectáreas en los últimos 11 años (1978-1991) (13, 15).

El procesamiento de alimentos requiere, en general, de un alto consumo de agua. Por tanto, el volumen de las descargas de efluentes líquidos en la industria de los alimentos es muy alto. Uno de los procesamientos de alimentos más usados en nuestro país es el de la NIXTAMALIZACIÓN, utilizado en la elaboración de tortillas de maíz, alimento primordial en la dieta de los mexicanos. Básicamente, el proceso consiste en cocer el maíz (materia prima de la tortillas) mediante el uso de agua caliente y adición de cal, por medio de una lixiviación en solución alcalina que se lleva a cabo entre 80°C y 100°C, el cual tuvo sus orígenes en las civilizaciones precolombinas de México y Centroamérica. (8)

**TABLA 1.1 PRODUCCIÓN NACIONAL DE CULTIVOS BÁSICOS AÑO AGRÍCOLA 1995-96
P/EN MILES DE TONELADAS (36, 37)**

CULTIVO	1995	1996			VAR. %
	(1)	TOTAL (2=3+4)	CICLO 0-1 1995/96 (3)	CICLO P-V 1996/6(4)	(5=2/1)
TOTAL	27,953.0	30,238.6	8,847.9	21,390.8	NA
Granos	27,628.9	29,953.6	8,659.5	21,294.1	NA
Maíz	18,352.9	18,025.9	3,160.1	14,865.8	-1.8
Frijol	1270.9	1349.1	286.0	1063.1	6.2
Trigo	3468.2	3375.0	2,871.0	504.0	-2.7
Arroz	367.0	394.1	36.4	357.6	7.4
Sorgo	4,169.9	6809.5	2306.0	4503.5	63.3

NOTA: Se considera como año agrícola la acumulación de resultados de los ciclos otoño-invierno y primavera-verano. Debido al redondeo de los datos, la suma de los parciales no puede coincidir con los totales.
P/ Preliminar
VAR. % Variación porcentual.
Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Centro de Estadística Agropecuaria.

Las aguas residuales de la industria de la nixtamalización, conocidas como nejayote, son consideradas altamente contaminantes pues se componen de elevadas concentraciones de materia orgánica e inorgánica en forma soluble ó suspendida, además de que salen del proceso a una temperatura y pH elevados (40 a 80°C y 10 a 14, respectivamente). (3)

Los reactores biológicos rotatorios fueron patentados desde el año de 1900, aunque su uso comercial se dio hasta los años sesenta. Están constituidos por una serie de discos (biodiscos) que giran dentro del líquido que se desea depurar. La finalidad de estos discos es que los microorganismos se adhieran en ellos para formar biocomunidades tanto aerobias como anaerobias. Estas biocomunidades, llamadas también **BIOPELÍCULAS**, son las responsables de la biooxidación de la materia orgánica usando el oxígeno que rodea a los discos durante la mitad del tiempo que pasan a través del aire y, es por este medio, que se consigue que los contaminantes orgánicos disueltos ó suspendidos en el líquido sean metabolizados y removidos formando así la biopelícula.

Dentro de la biopelícula existen microorganismos aerobios que son los que se encuentran en la parte exterior de ésta pues necesitan de oxígeno para reproducirse, pero en la parte interna de la biopelícula los microorganismos que proliferan son anaerobios pues la ausencia de oxígeno no es una limitante para reproducirse. Estos microorganismos mediante reacciones biológicas generan biogás cuyas burbujas afloran a la superficie ocasionando que los microorganismos adheridos en la superficie se desprendan formando así flóculos de **BIOMASA**, que quedan en el seno del líquido y que pueden separarse por métodos físicos como la sedimentación (12).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química

**TABLA 1.2 CONSUMO APARENTE DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS AGROPECUARIOS
1991-96, EN MILES DE TONELADAS
(36, 37)**

PRODUCTOS AGROPECUARIOS	1991	1992	1993	1994	1995/P	1996/P
Agrícolas						
cultivos básicos						
Arroz Limpio	310	573	328	410	310	586
Frijol	1,410	696	1,242	1,325	1,240	1,470
Maíz	15,659	18,224	18,126	20,914	20,934	23,801
Trigo	4,602	4,697	5,324	4,178	3,060	5,253
Ajonjolí	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cártamo	88	41	64	64	113	182
Soya	2,213	2,669	2,672	2,970	2,419	3,086
Cultivos Perennes						
Aguacate	763	706	677	767	736	759
Limón Mexicano	634	674	608	674	780	751
Manzana	545	694	660	642	795	516
Naranja	2,339	2,538	2,913	3,192	3,566	3,985
Plátano	1,636	1,840	1,912	2,100	1,863	2,047
Pecuarios						
Carne en canal						
Bovinos	1,217	1,302	1,214	1,482	1,451	1,402
Porcinos	860	875	868	916	936	917
Caprinos	39	43	42	62	38	36
Ovinos	40	45	49	30	45	43
Aves a/	904	1,022	1,169	1,127	1,284	1,363
Huevo	1,146	1,169	1,239	1,254	1,246	1,244
P/Preliminar ND No disponible a/ Se refiere a carne de pollo y guajolote Fuente: Para cultivos básicos del periodo 1991-92: Presidencia de la República, Sexto Informe de Gobierno, 1994. Anexo. El resto de las cifras se calcularon con base con los datos obtenidos de: Secretaría de agricultura, Ganadería, y Desarrollo Rural, Centros de Estadística Agropecuaria.						

1.2 ANTECEDENTES

Este proyecto se inició desde 1978 cuando algunos molineros de Texcoco se acercaron a la UNAM y al INIA para plantear su problemática de disposición de aguas residuales. Se estudiaron diferentes procesos de reaprovechamiento de esas aguas residuales que no contienen sustancias tóxicas y se desarrollaron metodologías que llevaron a los paquetes tecnológicos que podrían ser empleados, tanto por los molineros como por las fábricas de harina (8).

Dentro de ellos, se contemplaba la utilización de los subproductos del tratamiento (biogás rico en metano, proveniente del tratamiento anaerobio y biomasa microbiana rica en nitrógeno proteínico). Para el caso de la biomasa se probó incluso con carpas barrigonas, las cuales no presentaron ningún problema cuando la biomasa microbiana substituía hasta el 40% del nitrógeno de su dieta (9).

La tabla 1.3 presenta la composición del nejayote (28)(42). Ambos autores informan que la biomasa generada del tratamiento del material disuelto presente en el nejayote puede ser empleada como fuente no convencional de alimentos.

Tabla 1.3 Composición del nejayote (28)(42)	
PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN
Azúcares reductores totales, (mg/L)	2.58
Nitrógeno Kjendahl, (mgN/L)	291.00
Proteína, (% de N x 6.25)	1.84
Fósforo, (mgPO ₄ /L)	178.00
Relación N:P	1:0:61
Cenizas, (%)	10.20
Grasas, (%)	4.50
DBO, (mg O ₂ /L)	7875.0
DQO, (mgO ₂ /L)	21280.0

Se planteó que la limitación del 40% como máximo en la dieta era debido a la presencia de sales de calcio ocluidas en la biomasa durante la metabolización de la materia orgánica disuelta presente en el nejayote, ya que la respiración de las bacterias genera CO₂ que, con el calcio, precipita como CaCO₃ y queda ocluido con los flóculos de biomasa (25),(27).

Considerando que los crustáceos requieren más calcio para su exoesqueleto se planteó el uso de esta biomasa para suplementar dietas de postlarvas de camarón. Para ello, es necesario obtener biomasa con el calcio con el que normalmente viene el nejayote y compararla con biomasa obtenida de nejayote al cual se le ha eliminado el calcio con algún pretratamiento. Se hicieron estudios para eliminar el calcio mediante la adición previa de CO₂ en medio alcalino (25).

Con todos estos estudios previos, este trabajo se dirige hacia la obtención de biomasa microbiana "baja en calcio" llevando a cabo un pretratamiento del nejayote. Esta biomasa será usada en experimentos biológicos con postlarvas de camarón (28),(35).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVOS GENERALES

El objetivo principal del proyecto de investigación del que este trabajo forma parte fue el estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales de molinos de nixtamal, considerando la obtención de biomasa microbiana generada en un sistema de tratamiento aerobio de agua de nejayote para aprovecharla como fuente no convencional de proteína para alimento animal.

I.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Se tiene la obtención de biomasa microbiana a partir de nejayote pretratado para reducir substancialmente la cantidad de calcio disuelto y, por ende, la cantidad de sales de calcio ocluidas en la biomasa microbiana que pudieran afectar la calidad de su proteína y su asimilación por parte de los animales de prueba.

Para alcanzar estos objetivos se trazarán las siguientes metas:

- Utilizar nuevas técnicas para evaluar la composición elemental, tanto del nejayote como del subproducto
- Montar las técnicas de remoción de calcio de las aguas residuales y estudiar de que manera estos tratamientos afectan a la población microbiana y a la composición de la biomasa
- Arrancar un reactor de biodiscos de 250 litros.
- Estabilizar la operación de un reactor biológico rotatorio (RBR) a escala de banco

En los siguientes capítulos se da una breve fundamentación sobre los principios en que se basa la depuración biológica de aguas residuales, las metodologías empleadas a nivel de laboratorio de este trabajo y los resultados obtenidos, así como las conclusiones y recomendaciones derivadas de ellos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1 GENERALIDADES SOBRE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS

II.1.1 IMPORTANCIA DE LOS MICROORGANISMOS

Las reacciones bioquímicas que ocurren para que la materia orgánica se degrade incluye a los procesos aerobio y anaerobio. En ambos mecanismos se suceden una serie de transformaciones capaces de descomponer a la materia orgánica en diferentes grados. Así, en el medio acuático tiene lugar una autodepuración, que es el resultado de los procesos de digestión, asimilación y metabolización del compuesto orgánico por microorganismos saprozoicos, tales como bacterias, hongos y protozoos entre otros. Estos organismos utilizan los compuestos orgánicos como alimento y los usan como fuente de energía para los procesos de oxidación biológica.

En esta descomposición bacteriana se consume el oxígeno disuelto y se producen CO_2 y H_2O . A continuación se describen algunas reacciones generales que indican la descomposición bacteriana aerobia de los compuestos orgánicos en presencia de CO_2 (32).

- Carbono orgánico + O_2 (bacterias) $\rightarrow \text{CO}_2$
- Hidrógeno orgánico + O_2 (bacterias) $\rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- Nitrógeno orgánico + O_2 (bacterias) $\rightarrow \text{NO}_3^-$
- Azufre orgánico + O_2 (bacterias) $\rightarrow \text{SO}_4^{2-}$
- Fósforo orgánico + O_2 (bacterias) $\rightarrow \text{PO}_4^{3-}$

II.1.2 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS

Se cuenta con varios y diferentes métodos o más comúnmente con combinaciones de los mismos para tratar la contaminación del agua. Los métodos que, de hecho, pueden escogerse dependen del origen del agua, de las impurezas que contiene y del uso que se dará a ésta. Por ejemplo, algunas aguas subterráneas pueden ser lo suficientemente puras como para requerir sólo una forma de desinfección, mientras que las aguas de un río contaminado pueden requerir de una combinación de varios procesos físicos, químicos y biológicos antes de que queden listas para el consumo humano.

Las aguas utilizadas para algunos propósitos industriales pueden no necesitar una gama rigurosa de procesos de purificación. Otras industrias pueden requerir de una mayor proporción de minerales inorgánicos disueltos removidos antes de que el agua pueda usarse (33).

La tabla 2-1 da algunos de los valores típicos de los parámetros encontrados en un número de efluentes sin tratar (crudos).

Tabla 2-1 Contenido Típico de efluentes crudos (13)

Proceso	Componente principal	Valor de DBO	Valor de DQO
Rastro	Sólidos suspendidos, proteínas	2600	4150
Agua doméstica	Sólidos suspendidos, aceite/grasa, carbohidratos, proteínas	350	300
Azúcar de remolacha	Sólidos suspendidos, carbohidratos	850	1150
Carne en conserva	Sólidos suspendidos, carbohidratos	8000	17940
Lechería	Carbohidratos, grasa, proteínas	600	---
Petroquímica	Fenoles, hidrocarburos, compuestos de azufre	850	1500
Reducción de almidón de harina	Sólidos suspendidos, carbohidratos, proteínas	4560	4120
Cervecería	carbohidratos, proteínas	12000	17150
		10000	16500

Los niveles de DBO/DQO de un efluente líquido se incrementa por materiales como almidones, proteínas, carbohidratos, etc, que encuentran su camino dentro de los flujos de líquidos residuales durante las operaciones de precesamiento de alimentos y también durante las operaciones biotecnológicas.

En la tabla 2.2 se muestran algunos valores de contaminación que deberían ser alcanzados antes de su descarga (18).

Tabla 2-2 Requerimientos típicos de descarga (18)

	Descarga en río	Descarga en alcantarilla
Sólidos suspendidos	30 ppm	1000 ppm
Temperatura	30°C	42°C
pH	5-9	5.5-11 (10 min)
Cantidad		680 m ³ /día 110 m ³ /h max 225 m ³ /3 h max
Aceites y grasas	10 ppm	10 ppm
Cloruros	1 ppm	1 ppm
Cianuros	0.1 ppm	0.1 ppm
Sulfatos	1 ppm	1 ppm
Metales pesados	25 ppm	100 ppm
DBO	20 ppm max	68 g/día *

* Nota: El total de DBO es regularmente expresado como una cantidad, p. ej. 680 m³/día en 100 ppm de DBO: el peso del efluente 680 * 1000 kg al día; DBO (en 100 ppm)=(680 * 1000) * 100 * 10⁻⁶ = 68 kg DBO/ día.

II.1.3 PROCESOS BIOLÓGICOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE DESECHO

Durante los últimos 150 años se han desarrollado varios procesos para reducir el monto de la contaminación orgánica que afecta las aguas dulces y las marinas. Los primeros procesos se hicieron en extensiones de tierra donde se regaba el agua residual y en las que la acción microbiana degradaba los compuestos orgánicos a medida que se filtraba a través del suelo (11) (19).

La figura 2.1 muestra los procesos utilizados en un sistema de tratamiento tipo de aguas de desecho, diseñado para producir un efluente de alta calidad que luego puede verterse a un río a partir del cual puede abastecerse el suministro de agua potable a una población. El efluente generado en una planta de estas características cumpliría las demandas estándar de la Organización Mundial de la Salud y de la legislación mexicana al respecto, puesto que la cantidad de sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno amoniacal no excedería de 10 mg/L (33).

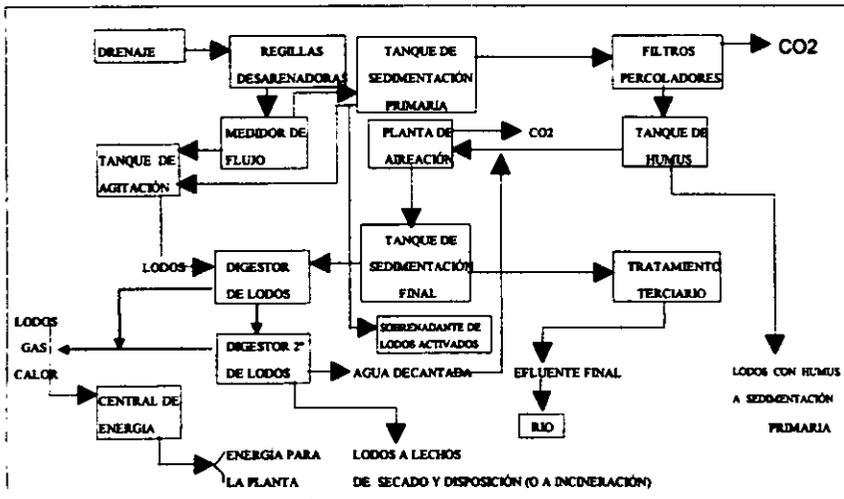


Fig. 2-1 Representación esquemática del tratamiento de las aguas residuales.

El sistema descrito es del tipo secundario debido a que se basa en la actividad bioquímica de microorganismos que remueven materiales disueltos y suspendidos o que los convierten en compuestos más aceptables. La mayoría de estos procesos son aerobios y, por lo tanto, demandan oxígeno atmosférico, que va a ser utilizado por poblaciones microbianas en los procesos de oxidación. El entender la importancia que tienen las diferentes poblaciones microbianas en la depuración del agua, permiten conocer los posibles factores que inhiben o aceleran el funcionamiento y eficiencia de las plantas de tratamiento (21)

Otros métodos de este tipo utilizados no solo en México, sino a nivel mundial, son los filtros biológicos, los reactores de biodiscos, los lodos activados y los estanques de oxidación.

El proceso de lodos activados requiere de más energía, dado que hay que estar bombeando aire y líquidos continuamente. También es más susceptible a cambios bruscos en la constitución del desecho o a la presencia de sustancias tóxicas, además, y aunque los lodos activados son más manejables, demandan mayor habilidad operativa lo que, en consecuencia, aumenta los gastos de mantenimiento.

La clasificación de los tratamientos requeridos para una agua residual depende de la caracterización del efluente descargado. Para caracterizar un efluente se tienen parámetros indicativos de la calidad y condiciones del mismo. Entre los más comunes se encuentran (6)(17):

- Demanda bioquímica de oxígeno (para medir el material biodegradable)
- Demanda química de oxígeno (para medir el material disuelto total)
- Sólidos (en todas sus formas)
- Nitrógeno Kjeldahl
- Temperatura
- Alcalinidad
- pH
- Conductividad (para medir iones disueltos)
- Remoción de calcio

Actualmente se cuenta con métodos para el tratamiento de aguas contaminadas que, en forma general, constan de:

1) *Tratamiento primario.*- Consiste en la eliminación del material en suspensión de diferentes tamaños y densidades, así como de los que sedimentan o flotan más fácilmente. Para lograrlo se emplean métodos tales como la sedimentación, floculación, filtración, etc. Este proceso, aunque no efectúe ningún tipo de eliminación de material contaminante disuelto en el agua, evita que posteriormente interfiera en la degradación o precipitación y gasificación biológica de este material disuelto.

2) *Tratamiento secundario o biológico.*- Resultan ser los menos costosos y casi siempre implican sistemas aerobios, aunque recientemente, con el advenimiento de los sistemas anaerobios de alta tasa, ya empiezan a usarse estos también. Los métodos empleados para este tipo de tratamiento son diversos e involucran la intervención de microorganismos como bacterias, algas, hongos, protozoarios, etc, los cuales se encargan de transformar el material orgánico disuelto de fácil biodegradación a sólidos biológicos sedimentables y gases. Dentro de los procesos aerobios se encuentran las lagunas de estabilización, los lodos activados, los filtros percoladores, los discos biológicos, etc.

3) *Tratamiento terciario o químico.*- Son aplicados cuando se desea obtener agua de mejor calidad que la lograda en los tratamientos secundarios convencionales, ya que eliminan el material no biodegradable o cuando no puede usarse el tratamiento secundario. En la actualidad se pueden encontrar una variedad de tratamientos terciarios avanzados de aguas residuales (conocidos por sus siglas en inglés, AWT, advanced water treatment). El tratamiento terciario permite la remoción de material orgánico no biodegradable o de difícil biodegradación, la eliminación de microorganismos presentes no sedimentables o floculados y la eliminación de la contaminación del agua provocada por humatos y otras sustancias químicas coloridas; entre estos procesos se encuentran la absorción, el intercambio iónico y la coagulación.

II.2. REACTORES DE DISCOS ROTATORIOS O BIODISCOS

Los reactores de discos rotatorios que fueron empleados en este proyecto, tenían discos de cloruro de polivinilo (PVC por sus siglas en inglés) que, al girar, pasaban por el agua a tratar (en este caso nejayote) absorbiendo los materiales orgánicos y perdiendo parte de la biopelícula por el esfuerzo cortante producido al chocar con la superficie del agua. Al seguir girando se ponían en contacto con el aire ambiente que rodeaba a los discos ya que se encontraban parcialmente sumergidos (entre un 40 o 45%) en una tina semicilíndrica por la que pasaba el agua residual a tratar (3).

Sobre la superficie de los discos se desarrolla la biopelícula. Se estima que el espesor de la película biológica activa varía entre 0.2 y 0.3 mm, en concentraciones bajas de sustrato, hasta 3.0 mm, con alta concentración de sustrato, cuando no hay limitaciones de oxígeno en la película (38). Tanto la biopelícula, los flóculos suspendidos e incluso los microorganismos que nadan libres en cada una de las cámaras contribuyen en su conjunto a la bio-oxidación de la materia orgánica (21).

La bioadsorción y bio-oxidación que ocurre es similar a la de un reactor empacado. En este tipo de sistema, a diferencia de los reactores perfectamente agitados, no se utiliza la reinoculación de la biomasa microbiana, sino que el efluente del reactor pasa directamente del sedimentador secundario a los sistemas terciarios de tratamiento. Esto se debe a que los microorganismos forman una película sobre la superficie de los discos de plástico y, por ende, solamente salen con el efluente los microorganismos que se desprenden de la película (por diferentes mecanismos) o los que están en el seno del líquido en el reactor (8).

En los reactores que conforman el tratamiento secundario, la temperatura es un factor crucial para que la remoción de contaminantes sea adecuada. Por ello, estos sistemas deben trabajar a temperaturas mayores de 13°C y menores a las que soportan los microorganismos activos del sistema (< 40°C) (20).

II.2.1. CINÉTICA Y MODELOS MATEMÁTICOS

La cinética de eliminación del sustrato es el factor con más influencia sobre la determinación del área superficial. Esta cinética se ve afectada por la temperatura y por la concentración de la materia orgánica en el agua residual.

Solo en raras ocasiones los complicados mecanismos biológicos son conocidos con el detalle suficiente como para permitir la formulación de una expresión analítica de la cinética de estos. En el tratamiento de las aguas, cualquier expresión de la cinética de las reacciones biológicas debe basarse en una serie de suposiciones tendientes a simplificarlas. Se han formulado diferentes modelos para expresar la complicada cinética de los procesos biológicos, los de uso más común son los modelos propuestos por Michaelis y Menten y el de Monod (20).

También se han propuesto modelos matemáticos de la degradación de sustrato en sistemas de película, los cuales en general, parten del planteamiento del balance de materia en el sistema continuo con reacción biológica y las diferencias entre estos radican básicamente en las consideraciones acerca de los procesos de difusión de las sustancias requeridas por los microorganismos adheridos a los discos (sustrato orgánico y oxígeno) (2)(8)(9).

A pesar de haber escogido la mejor expresión, se puede apreciar que todavía existen desviaciones con respecto a los datos obtenidos experimentalmente. Estas desviaciones se pueden atribuir al hecho de que en el sistema de tratamiento de agua, los microorganismos que son los responsables de la degradación de la materia orgánica, son afectados por innumerables variables (no solamente las señaladas aquí), especialmente los llamados factores abióticos, como el pH, la alcalinidad, la composición y la concentración de la materia orgánica, etc (tabla 2.3)(2).

Tabla 2.3 especies de ciliados encontrados en el RBR durante los experimentos de biodegradación empleando diferentes sustratos y su intervalo de tolerancia reportado para diferentes factores abióticos (30)

CILIADO	T (°C) *	pH. *	Oxígeno disuelto *	DBO ₅ (mg/L)**
<i>Blespharisma americanum</i>	-	-	-	-
<i>Oxitricha fallax</i>	2 -56	6.8-7.5	3.0-5.0	10-100
<i>Chilodonella sp</i>	-	-	-	-
<i>Podophrya fixa</i>	4 -19	-	-	10-100
<i>Paramecium aurelia</i>	1 -42	6.0-9.0	0.1-12.5	5-15
<i>Paramecium caudatum</i>	1 -35	4.0-9.4	0.0-12.0	10-100
<i>Glaucoma scintillans</i>	0 -30	3.8-8.6	0.0-8.9	5-100
<i>Tetrahymena pyriformis</i>	1 -40	7.8-8.9	0.0-10.0	50-100
<i>Colpidium campylum</i>	4 -30	4.0-8.9	0.0-11.0	50-100
<i>Colpidium colpidium</i>	-	-	-	-
<i>Uronema marinum</i>	0 -25	4.1-7.8	0.1-14.5	5-15
<i>Cyclidium glaucoma</i>	1 -51	5.7-9.8	0.0-16.0	10-15
<i>Epistylis plicantillis</i>	4 -25	6.4-8.3	0.2-14.0	10-15
<i>Opercularia coarctata</i>	10-22	5.0-8.0	9.0-11.0	10-100
<i>Opercularia microdiscum</i>	-	-	-	5-15
<i>Vorticella campanula</i>	0-23	6.9-9.0	4.5-12.0	5-10
<i>Vorticella convallaria</i>	2-23	5.5-9.0	1.0-13.0	5-15

• *Tomado de Bick, 1972, 1976 a, b

• ** Tomado de Sladeeck, 1973

DBO₅ demanda bioquímica de oxígeno en cinco días a 20° C

Resulta sumamente difícil encontrar valores de los exponentes y de k que pudieran representar los fenómenos de depuración encontrados en ese sistema. Los investigadores que realizaron esa parte experimental trataron de incorporar en sus modelos factores bióticos como la cantidad de microorganismos presentes en el sistema, así como otros

factores que pudieran dar un acercamiento de los fenómenos cinéticos y de transferencia de masa.

Para estudiar estos fenómenos secuenciales de metabolización de la materia orgánica, debe tomarse en cuenta cada reacción, dado que es un proceso de múltiples reacciones en serie y/o paralelo. Además, debe determinarse el orden de reacción de cada una de ellas conociéndose las concentraciones de reactivos y de productos (20).

Y si se habla de un tratamiento cinético, debe tomarse en cuenta las constantes de velocidad o rapidez de reacción, que están influenciadas por diversos parámetros como la temperatura, la concentración de la materia orgánica, de los productos del proceso de metabolización. Debe también considerarse si las reacciones llegan al equilibrio y si existen irreversibilidades. Esto implica la realización de estudios muy complejos con determinaciones experimentales complicadas.

La capacidad de remoción aumenta sensiblemente al aumentar la velocidad de rotación, debido a la transferencia de oxígeno y como la rapidez de reproducción de los microorganismos aerobios es mucho mayor que la de los anaerobios el consumo de sustrato es mucho mayor cuando el sistema se encuentra con exceso de oxígeno disuelto. El mezclado también favorece la transferencia de masa. Cabe mencionar que la rapidez de rotación tiene un máximo, pues si es excesiva los esfuerzos cortantes acaban con la biopelícula y hacen muy difícil su generación (10).

II.2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS RBR

La primera ventaja de este sistema es su bajo requerimiento energético ya que comparado con el sistema de lodos activados consume un tercio de la energía que éste requiere. Además, puede soportar cambios drásticos en las cargas orgánicas de alimentación y pueden instalarse de manera muy sencilla varias unidades en serie para obtener un alto grado de "mineralización" (conversión a CO_2 y nitratos, principalmente).

El sistema de tratamiento que utiliza el RBR presenta importantes ventajas con respecto a otros sistemas de tratamiento, por ejemplo:

1. Los bajos requerimientos energéticos del sistema
2. Se tiene una alta capacidad de tratamiento debido a que hay una gran población de microorganismos que está en contacto con el agua residual. La remoción de la DBO_5 soluble en desechos residuales domésticos e industriales es de aproximadamente 90% o mayor
3. Los sólidos suspendidos en el efluente presentan características de sedimentación del tipo de partículas separadas, por lo que solo se requiere de un clarificador secundario pequeño. En el proceso del RBR pueden diseñarse los clarificadores para cualquier nivel de tratamiento sin que existan problemas con la sedimentación de los lodos
4. Los tiempos de residencia hidráulica que se necesitan son cortos debido a su gran área superficial expuesta

5. Los tiempos de operación y mantenimiento son bajos debido a su sencillez de operación, considerando su tamaño y funcionamiento

6. Los RBR pueden operar a un intervalo amplio de gastos

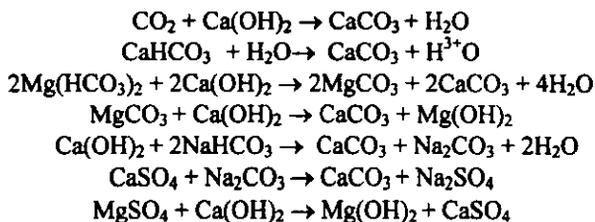
7. No se requieren tuberías de recirculación.

PRINCIPALES DESVENTAJAS DE LOS RBR

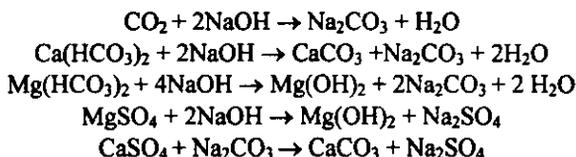
1. No pueden operar con gastos mayores a 75,000 m³/d, porque ya no resultan rentables.
2. Los altos costos de inversión asociados a su construcción y arranque, lo cual presentan una gran desventaja principalmente para los países del tercer mundo (40).
3. Se requieren de períodos relativamente largos para alcanzar la estabilidad.
4. Para aguas residuales con alto contenido de materia orgánica el oxígeno provisto por la rotación de los discos puede ser no suficiente (3).

II.3 PRETRATAMIENTO PARA ELIMINAR CALCIO

El proceso de ablandamiento ó suavización consiste en remover una parte de dichas sales del agua para reducir la dureza a un valor determinado. El método más utilizado para este objetivo es el conocido como cal-carbonato de sodio. Las reacciones químicas que se llevan a cabo por este método son las siguientes:



Un método opcional en el proceso cal-carbonato de sodio es aquel que utiliza sosa cáustica en sustitución del carbonato de sodio. Las reacciones de la sosa con la dureza de carbonatos son las siguientes:

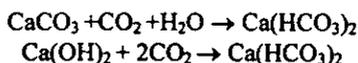


Las tres primeras ecuaciones muestran la remoción de CO₂ libre presente en el agua. La remoción de carbonatos forma una cantidad equivalente de carbonato el cual reacciona con la dureza. La adición de la sosa cumple una doble función al precipitar ambas

durezas (carbonatos y no carbonatos), por lo que no solo puede sustituir al carbonato de sodio sino también a una parte ó a toda la cal empleada en este método.

Cuando es necesario remover magnesio se utiliza un exceso de cal, por lo que el agua blanda contiene iones calcio e hidroxilo en una concentración alta, de tal forma que el exceso de iones calcio contradice la propuesta de ablandamiento y los iones hidroxilo dan como resultado alcalinidad por hidroxilo. Ambos iones son reducidos por la adición de bióxido de carbono con un método conocido como recarbonatación.

Debe cuidarse la adición de CO₂ para prevenir la caída del valor del pH abajo de 9.5. De otra manera cantidades importantes de CO₃⁻² pueden convertirse a HCO₃⁻ y el exceso de calcio no se precipitará formando CaCO₃ como se desea:



La recarbonatación debe estar seguida por un periodo de floculación para permitir el contacto con el material precipitado y apresurar la reacción (25).

II.4 CARACTERIZACIÓN DEL CARBONO, HIDRÓGENO, NITRÓGENO, AZUFRE Y OXÍGENO EN FORMA GLOBAL

II.4.1 ANALIZADOR ELEMENTAL

El principio de operación se basa en tres pasos secuenciales: La muestra se coloca en una delgada y ligera cápsula, donde es oxidada energéticamente produciendo una mezcla de gases que es corrido dentro de una columna cromatográfica desde la cual cualquier gas producto de la combustión pasa a través de un detector de conductividad térmica que genera una señal de salida eléctrica proporcional a la cantidad de gas eluido.

Así, una señal alimenta un integrador (DP 200) o una estación automática (EAGER 200) que provee el reporte de la composición elemental de la muestra.

El principio de operación es la combustión de la muestra: Éste debe ser cuantitativo e instantáneo para que los gases puedan ser eluidos eficientemente a través de la columna cromatográfica y el TCD dé las señales de salida proporcionales a la composición elemental de la muestra. El proceso se conoce como Dynamic Flash Combustion y es el método que asegura estas condiciones. Un peso proporcional a la cápsula delgada, cae en el tambor de automuestreo donde es aireado (para remover cualquier atmósfera con nitrógeno), y la muestra cae dentro de un tubo vertical de cuarzo calentado a 1000 grados centígrados con un flujo constante de helio (gas acarreador). Después de unos segundos de que la muestra cayó al reactor, el chorro de helio es enriquecido con una cantidad medible de oxígeno puro para llevar a cabo un fuerte ambiente oxidable que garantiza la más completa combustión/oxidación de las sustancias. Para llevar a cabo la combustión cuantitativa de la mezcla de los gases de combustión, estos son llevados

dentro de una zona catalítica de óxido de wolframio, después a otro de cobre para reducir los óxidos de nitrógeno y el anhídrido sulfuroso (SO_3), eventualmente formado durante la combustión o oxidación catalítica, a los anhídridos elementales de nitrógeno y azufre y retiene el exceso de oxígeno.

El resultado son cuatro componentes de la mezcla de combustión que son eluidos y separados por una membrana o columna Porapak PQS y subsecuentemente detectados, por un detector TC, en la secuencia N_2 , CO_2 , H_2O , SO_2 .

II.5 SALINIDAD

Dado que en el pretratamiento para eliminar en forma relativa el exceso de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ producto de la nixtamalización del maíz, se emplea el método cal-carbonato de sodio que como se dijo anteriormente, utiliza sosa cáustica en sustitución del carbonato de sodio esto puede producir una alta concentración de sodio que, en combinación con otras sales o iones, repercute en la reproducción de los microorganismos (32).

Efecto del ion sodio en la microbiología

El nivel de concentración salina determina muy especialmente las comunidades biológicas que pueblan las aguas. La proporción relativamente alta de sodio del agua de mar se ha traducido en la constitución de organismos fisiológicamente distintos para el agua dulce y la salada. Solo algunos seres vivos, en un número relativamente escaso, son capaces de vivir tanto en una como en otra. Esto afecta a las bacterias y a los hongos, así como a las plantas y animales. Por consiguiente, los organismos que viven en los lagos y ríos limpios son más o menos halófilos y no pueden desarrollarse en condiciones naturales en las aguas que contengan una proporción salina superior al 10%. Únicamente un número relativamente limitado de ellos son halotolerantes y por ello pueden soportar también concentraciones salinas altas. En cambio las bacterias y hongos que viven en agua de mar son halófilos, ya que necesitan de una cierta cantidad de NaCl y de ahí que no se desarrollen en los biotopos de agua dulce. La concentración alta de sal tiende a desnaturar a las proteínas; esto es, que rompen la estructura terciaria de las proteínas, que son esenciales para la actividad enzimática. Altas concentraciones de sodio deshidratan las células y desnaturizan las enzimas (34).

Las bacterias halotolerantes se encuentran en casi todas las aguas continentales en mayor o menor número, pero abundan particularmente en las aguas residuales de las ciudades y en los ríos y lagos muy contaminados. Aquí hay también bacterias osmófilas, es decir, aquellas que se desarrollan óptimamente bajo presiones osmóticas elevadas, pero no necesitan iones de sodio ni de cloro (41).

Si se piensa llevar el reactor a niveles altos de producción de biomasa, esto es una gran eficiencia depurativa del nejayote, entonces no puede perderse de vista la consideración

de que los microorganismos presentes en el RBR requieren mayor o menor proporción de este ión y, por ello, es crucial tener este parámetro bajo control.

Con base en estos fundamentos, en el siguiente capítulo se plantean los métodos seguidos y los equipos planteados para alcanzar los objetivos planteados.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN A LA PROBLEMÁTICA ENCONTRADA

III.1 EXPERIMENTACIÓN PREVIA

El objetivo de esta etapa de experimentación fue operar y mantener las condiciones de operación estables de un reactor biológico rotatorio operando con nejayote diluido, para la obtención de biomasa microbiana rica en proteína con bajo contenido de calcio.

Las aguas residuales fueron suministradas por un molino de nixtamal a pequeña escala.

III.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS EN ESTUDIO (NEJAYOTE)

Con objeto de conocer las características de los contaminantes contenidos en el nejayote, así como sus cantidades, se llevaron a cabo determinaciones físicas y químicas. Las muestras analizadas provenían de un molino de nixtamal a pequeña escala, las cuales eran recolectadas una vez por semana.

De los parámetros existentes para indicar la calidad del agua se utilizaron en la caracterización del nejayote las siguientes: Demanda química de oxígeno, sólidos totales, contenido de calcio el cual se cuantificó con un electrodo sensible al ión calcio, se eligió este método por ser rápido, simple y exacto a diferencia de la determinación volumétrica con solución de EDTA 0.1M; la alcalinidad se determinó por valoración potenciométrica y pH (según métodos aprobados por la APHA); la concentración de sodio presente en el sistema se determinó por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica (1).

III.3 PARTES Y ESPECIFICACIONES DEL REACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO (RBR-250)

La biomasa microbiana se produce a partir del tratamiento aerobio de los efluentes de la industria del nixtamal (nejayote) en un sistema de biodiscos. Este sistema consta de un reactor biológico rotatorio de 243 litros de capacidad (RBR-250), el cual está constituido por cuatro cámaras de acero inoxidable interconectadas entre sí, por medio de un par de ranuras horizontales situadas en la parte superior de cada tanque, siendo cada uno una etapa del reactor (Tabla 3-1) (8).

Cada cámara contiene un tren de 24 discos espaciados de 1 a 2 cm entre cada uno, ensamblados en una flecha central, la cual se apoya en los extremos de la cámara. Esto permite el giro del conjunto de los discos y la flecha con la ayuda de un motor pequeño de 10 W (220V).

Los discos están hechos de cloruro de polivinilo (PVC) con un diámetro máximo de 50cm y 0.5cm de grosor y aproximadamente el 40% de su área se encuentra sumergida en el agua a tratar y el 60% restante en contacto con el aire del ambiente.

La flecha que soporta a los discos puede girar a diferentes velocidades rotacionales, dependiendo principalmente de la cantidad de oxígeno disuelto deseado en el seno del líquido.

Tabla 3-1. Características del reactor biológico rotatorio (10)

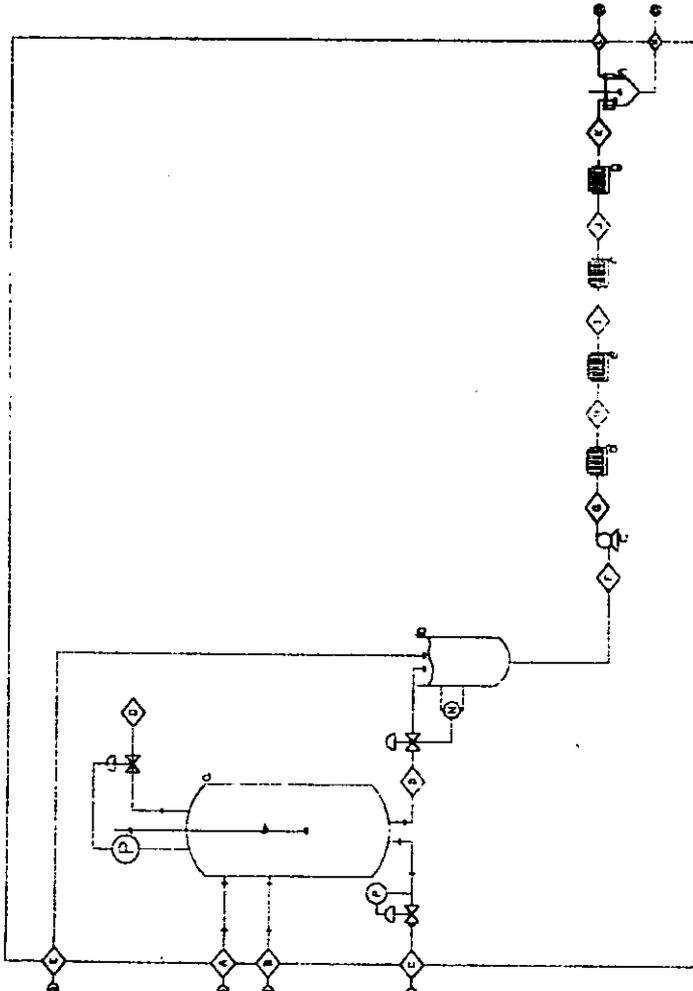
CARACTERÍSTICAS	DISEÑO	UNIDADES
CÁMARAS	4	-
REACTORES POR CÁMARA	1	-
DISCOS POR REACTOR	24	-
DIÁMETRO DE LOS DISCOS	0.500	m
ESPESOR DE LOS DISCOS	0.005	m
ÁREA SUPERFICIAL TOTAL	37.7	m ²
VOLUMEN DE TRABAJO	0.249	m ³
RELACIÓN ÁREA/VOLUMEN	152	m ² /m ³
VELOCIDAD ROTACIONAL	11,19,21	min ⁻¹
ÁREA DE DISCOS POR ETAPA	94	m ²
VOLUMEN POR ETAPA	62	m ³
Alimentación	62	L/d
TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRÁULICA	1	d

III.4 ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL RBR

Para evaluar el comportamiento fisicoquímico y detectar la estabilidad depurativa del RBR, fue necesario registrar rutinariamente las características de las muestras provenientes de las cámaras del RBR, la temperatura, pH, conductividad, alcalinidad, determinación de calcio y el contenido de material disuelto medido como DQO (APHA, 1980), así como sólidos totales disueltos y suspendidos y no olvidarse de los datos provenientes del analizador elemental.

En la figura III.1 se vé la descripción general del proceso empleado para el tratamiento de aguas de los molinos de nixtamal. El nejayote sale de "A" con diferente concentración de materia orgánica. En "B" se adiciona NaOH 1M y se burbujea CO₂ a 45 KgF/cm², buscando en "a" la perfecta agitación para el mezclado de los componentes. Se mezcla en "b" el nejayote descalcificado con agua corriente, para alcanzar en "F" la concentración de 6000 mg/L de materia orgánica. Se alimenta al sistema de biodiscos en "G" 46 mL/min. A través de la bomba "c". En H, I, J, K se pueden leer los parámetros fisicoquímicos pertinentes. En "L" se tendrá el líquido clarificado resultante de la depuración del proceso,

Fig. III-1. PROCESO GENERAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE LOS MOLINOS DE NIXTAMAL.



- A-Mejayote Cruudo
- B-Mejayote en CaP
- C-CID 4500/CS2
- C-CID pastado
- D-Mejayote en Jr. en CaP
- E-HCl
- F-Mejayote 6000 Kg/1 1000/653/en
- G-46 M/mo Mejayote
- H. L. J. K-100
- PH
- C. Hg. NO. 5
- C₂H₆
- I-Unidad Cloroforoh
- M-Biomasa
- (a) Reactor para la descalcificación
- (b) Tanque
- (c) Bomba peristaltica
- Co. S. P. OMBR-250 Lts.
- (h) Tanque Sedimentador

UNAM	AUTODFSK, INC.
<small> INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS DIVISION DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA </small>	<small> AUTODFSK, INC. 10000 WILSON BLVD. FORT WORTH, TEXAS 76116 </small>
<small> PROYECTO DE INVESTIGACION No. 10000 WILSON BLVD. FORT WORTH, TEXAS 76116 </small>	<small> AUTODFSK, INC. 10000 WILSON BLVD. FORT WORTH, TEXAS 76116 </small>

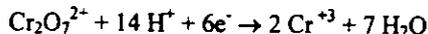
esto es menor cantidad de materia orgánica , pH cercano al neutro. Finalmente en "M" se colecta la biomasa proveniente de "h".

De los diversos parámetros existentes para evaluar la calidad del agua, se seleccionaron aquellos que se consideraron fundamentales para evaluar el funcionamiento para el sistema:

Demanda química de oxígeno

Esta prueba se basa en el principio de que la mayoría de los compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos son oxidados a CO₂, SO₂, H₂O, etc, por un agente fuertemente oxidante, como el dicromato de potasio, bajo condiciones ácidas.

La materia orgánica e inorgánica y el ion dicromato amarillo, es consumido y reemplazado por el ion crómico de color verde. Se adiciona sulfato de plata como catalizador:



Se titula el dicromato remanente con una solución valorada de sulfato ferroso amoniacal en presencia de un indicador de ferroina (monohidrato de fenantrolina en disolución acuosa) como indicador. El punto final de la valoración corresponde a un color café rojizo debido a la formación de un compuesto de hierro-fenantrolina (1).

DQO técnica micro

El principio en que se basa dicha técnica es la misma que la convencional solo que se utilizan menos reactivos y, por ende, la contaminación por metales pesados provenientes de los reactivos que se utilizan es menor. Así en total se utilizan 1 mL de muestra a analizar, 1 mL de la solución de dicromato de potasio con sulfato de mercurio, 3 mL de ácido sulfúrico con sulfato de plata y 2 mL de agua. Se lleva a 165° C por 30 minutos, en una estufa, se enfria y posteriormente se lee la concentración de la muestra problema. Para esto se construye una curva de calibración utilizando muestras estándares de concentración conocida. De tal forma que la absorbancia de la muestra problema se obtiene en el espectrofotómetro a 600nm, luz visible, y su concentración se obtendrá por la interpolación de la absorbancia en la curva de calibración (26).

Sólidos

La definición usual de sólidos se refiere a la materia remanente después de que una solución acuosa ha sido sometida a evaporación y secado. Uno de los principales objetivos de efectuar la determinación de sólidos en aguas residuales es obtener una medida de la cantidad de materia inorgánica y orgánica presente. La prueba de determinación de sólidos es completada con un procedimiento de combustión, en el cual la materia orgánica es convertida en gases como CO₂ y H₂O, a temperatura controlada. La pérdida de materia orgánica o sólidos volátiles se mide por diferencia con el material residual (sólidos fijos) o cenizas, casi siempre inorgánicas (1).

Temperatura

CAPÍTULO 4

RESULTADOS EXPERIMENTALES, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados obtenidos del control monitorio del reactor.

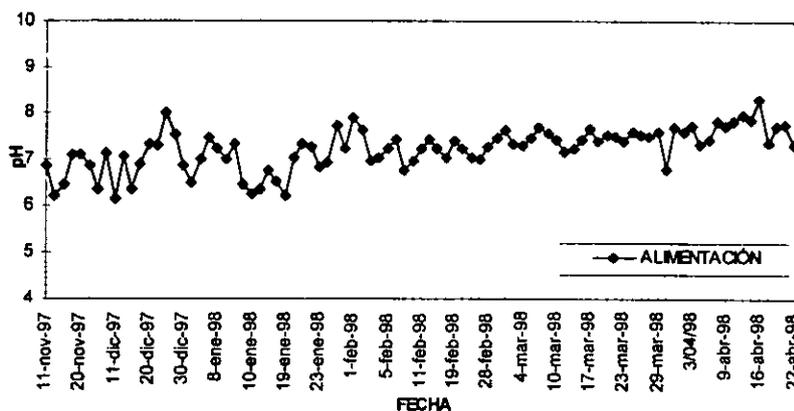
Tabla IV-1. Resultados de la caracterización del nejayote generado en un molino de nixtamal a pequeña escala

COMPONENTE	RESULTADO
Calcio (mg/L)	850 (+/- 255)
pH (unidades)	12 (+/- 0.4)
Demanda química de oxígeno (mg/L)	35700 (+/- 4500)
Sólidos totales (mg/L)	35783.52
Alcalinidad (mgCaCO ₃ /L)	3202.169
Sodio (mg/L)	297.70
C (%)	0.1248
N ₂ (%)	0.135
H ₂ (%)	0.048
S	NSD

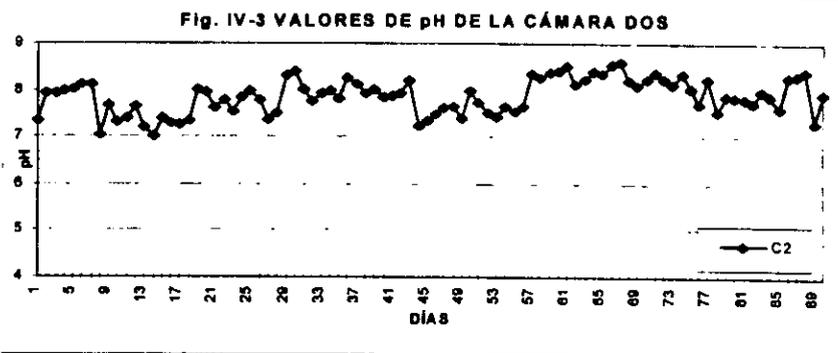
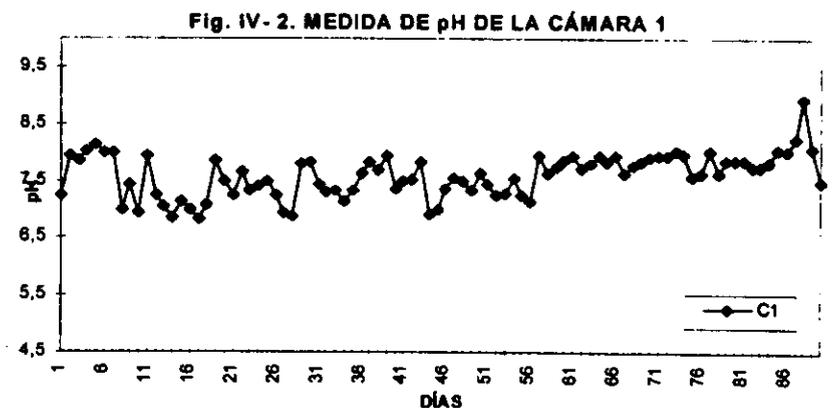
NSD: No se detecto

Las figuras IV-1 a 4 presentan los resultados de pH obtenidos en el reactor para el líquido en tratamiento (alimentación, cámaras 1 y 2 y todas las cámaras). Puede observarse que éstos se mantienen cercanos a la neutralidad, lo que permite a los organismos desarrollarse adecuadamente.

Fig. IV-1 pH DE LA ALIMENTACIÓN DURANTE SU ESTUDIO



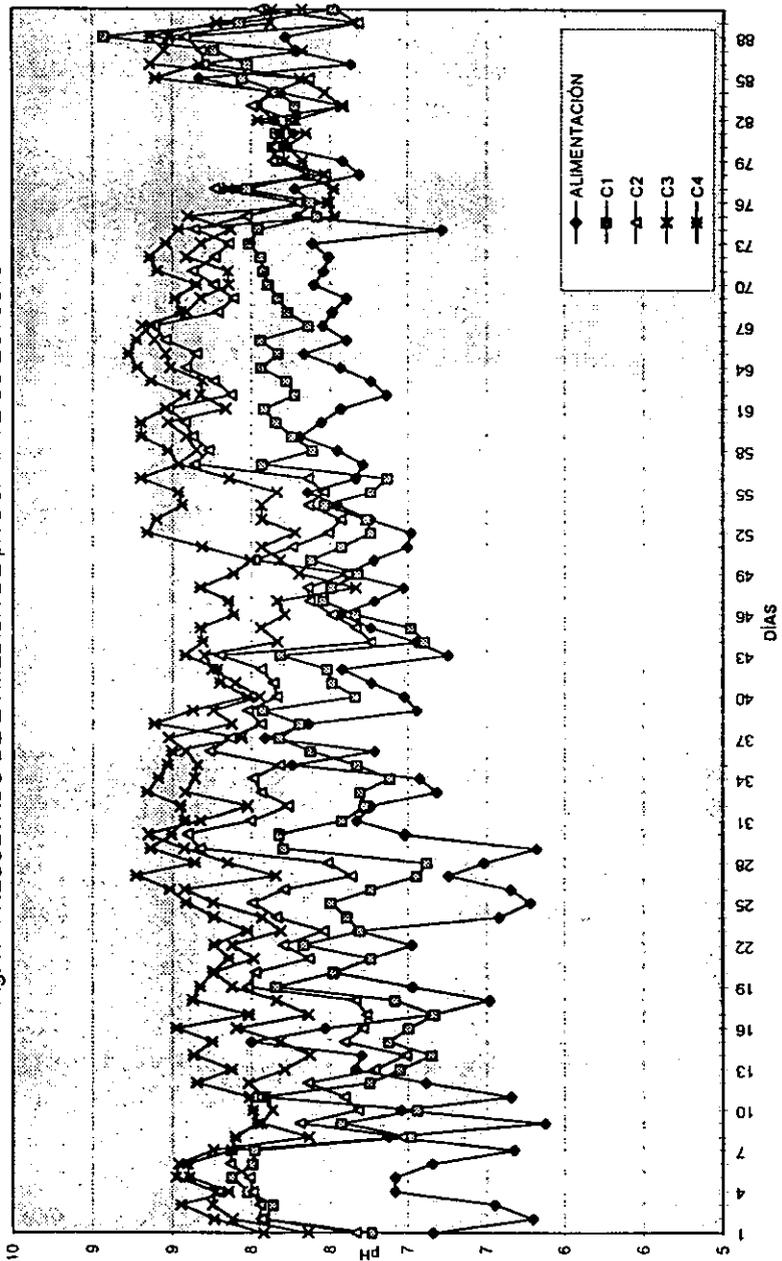
La función principal que deben llevar a cabo los microorganismos es la de mantener el agua de nejayote en un pH entre 6.5 y 8.0 condiciones normales para operar un reactor biológico rotatorio.



En el pH de las cámaras se nota una tendencia a que se aumente el valor del pH a medida que el agua de nejayote pasa por cada una de las cámaras, lo cual se puede traducir como un buen trabajo microbiano ya que se genera CO_2 el cual amortigua los valores de pH.

La figura IV-5 da el perfil de las temperaturas en dos de las cámaras del reactor. Es claro que como el reactor se encuentra en un laboratorio que no tiene una temperatura controlada, va variando acorde a la época del año.

Fig. IV-4 RESULTADO DE LA MEDIDA DE pH DURANTE SU ESTUDIO



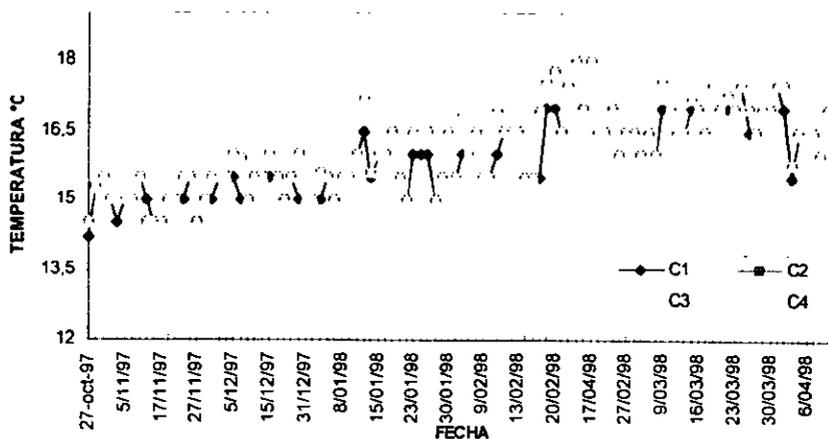
La figura IV-6 da los valores de materia orgánica disuelta que trae el nejayote que llega del molino de nixtamal cooperante (cercano a 40,000 mg/L). Dado que no se le está dando el pretratamiento anaerobio sugerido por trabajos previos para reducir su carga en un 90% y eliminar en el "pulimiento" aerobio el 10% restante, se simuló esta eliminación diluyendo el nejayote alimentado al reactor con agua de la llave a las concentraciones presentadas en la figura IV-7 (entre 4,000 y 6,000 mg DQOs/L).

En las figuras IV-8 a la 11 se dan los resultados obtenidos en cada cámara del reactor para la DQOs residual. La figura IV-12 compendia la eficiencia global de remoción del reactor, la cual va aumentando conforme el reactor se estabiliza y conforme la temperatura ambiente va incrementándose. En las figuras IV-13 se muestran todos los valores de la DQOs residual del reactor y la 14 las conductividades.

De la figura IV-23 en adelante se presentan los resultados de la cantidad de C, H₂, N₂, y S en las muestras líquidas y sólidas. En las primeras, se midió al material líquido y centrifugado para así, tomar solo el líquido clarificado sin sólidos suspendidos para posteriormente inyectarlo a la columna del analizador EA1110.

En cuanto a las muestras sólidas que sería la materia remanente después que una cantidad determinada es llevada a evaporación y secado. Al observar los datos, estos son más homogéneos y tienen la misma tendencia que los valores reportados para el análisis elemental de las muestras líquidas.

Fig. IV- 5 TEMPERATURA DEL SISTEMA DURANTE SU ESTUDIO



IV-1 TEMPERATURA

Uno de los parámetros más importantes para obtener buenos resultados en un reactor biológico rotatorio es el control de la temperatura.

Debido a que el reactor se encuentra dentro del laboratorio 301 del PIQAYQA, la temperatura no manifestó variaciones importantes y se mantuvo en un intervalo de 15 a 18°C, valores adecuados para su operación.

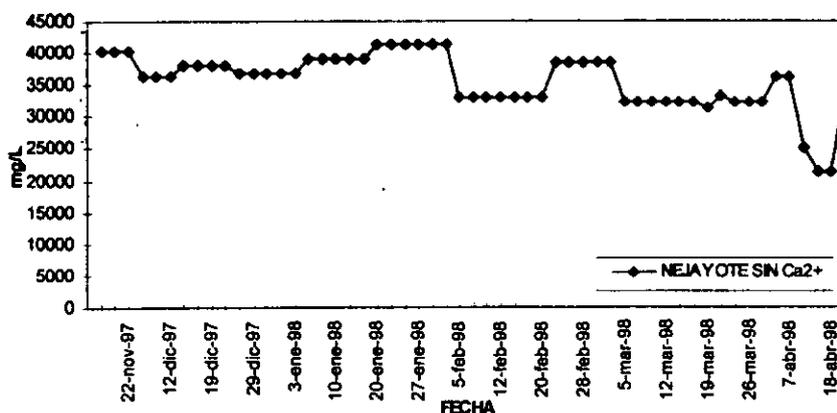
Es importante mencionar que la temperatura más baja que pueden resistir las comunidades de microorganismos no adaptados presentes en este reactor es de 13°C y la más alta es de 25°C, condiciones que nunca se presentaron en el tiempo en que se llevó a cabo este trabajo; sin embargo, la gran biodiversidad de organismos reportados en trabajos predecesores a éste, dan el intervalo de temperatura extrema que soportarían gran variedad de ciliados presentes en el RBR en estudio (22).

IV-2 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE (DQO)

NEJAYOTE SIN Ca^{2+}

Es importante conocer el valor de la demanda química de oxígeno del agua de nejayote "cruda", ya que gracias a este parámetro se puede determinar la dilución necesaria de esta agua cruda que servirá como alimentación al reactor.

Fig IV-6 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (SOLUBLE) DE LOS MOLINOS DE NIXTAMAL DURANTE SU ESTUDIO



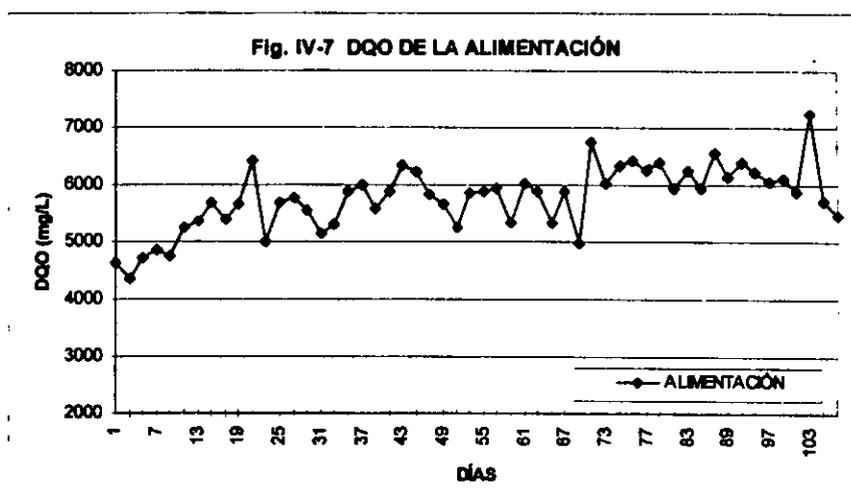
Normalmente este valor se determina una vez que el calcio ha sido removido.

Pudo notarse que los valores reportados no varían demasiado. Por lo general, se encuentran entre 40,000 mg/L y 35,000 mg/L. Esto se debe a que toda el agua que se recibió durante el tiempo que duró este trabajo fué proporcionada siempre por el mismo molino de nixtamal.

ALIMENTACIÓN

Una vez que se ha determinado el valor experimental de la demanda química de oxígeno soluble del agua de nejayote "crudo" sin calcio, se efectuó la dilución que mantendría un valor entre 5,000 mg/L y 6,500 mg/L de carga orgánica de alimentación al reactor.

Es importante mencionar que se trató de mantener este intervalo de valores en la alimentación, ya que una disminución ó un aumento importante en el valor de DQO soluble ocasiona serios problemas a las condiciones de operación del reactor biológico rotatorio.

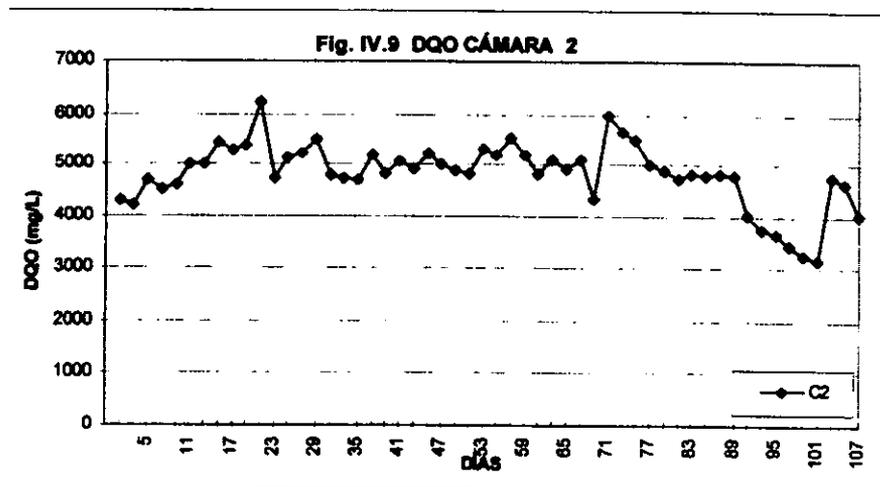
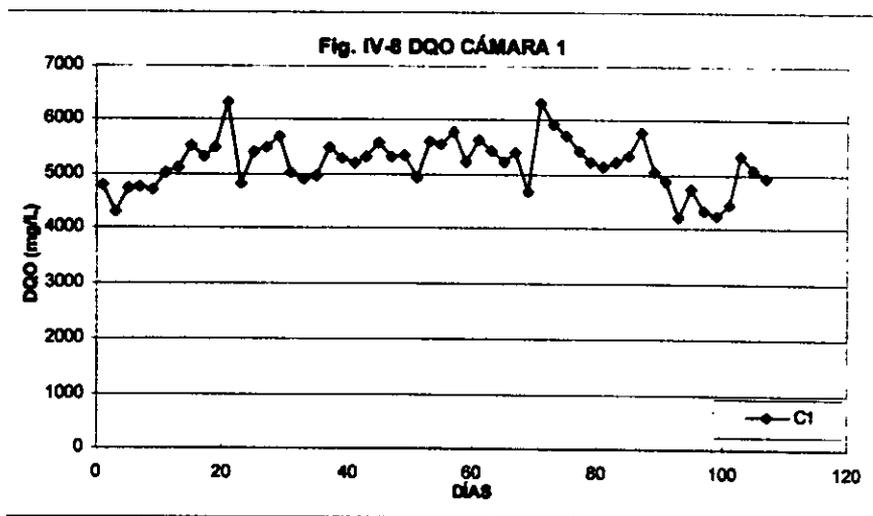


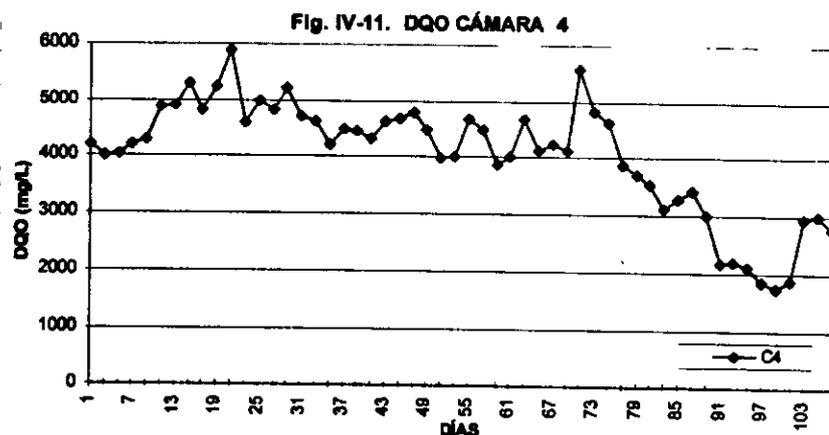
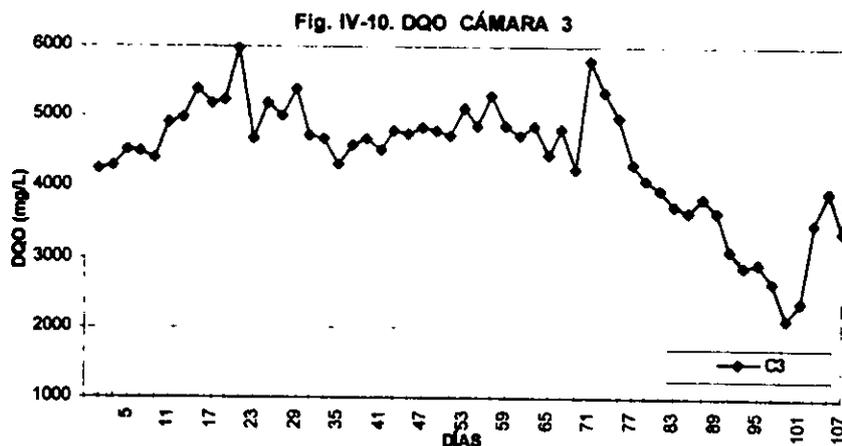
CÁMARAS

A medida que el agua de nejayote pasa por cada una de las cámaras la cantidad de materia orgánica presente será cada vez menor, debido a la remoción que efectúan los microorganismos presentes en cada una de las cuatro cámaras de las que consta el reactor (y que convierte la mitad del carbón a CO₂).

Una modificación en alguna de las variables (cantidad de calcio presente, temperatura, pH) ocasionará inevitablemente un cambio en los datos obtenidos de las mediciones experimentales en el valor de DQO soluble, problemas como desajuste en la cantidad de remoción ocasionará, en general, formación de exo-polímeros que degenera en pequeñas zonas de anaerobiosis en el sistema (por aumento de la viscosidad del líquido y disminución del oxígeno disuelto) por lo que es importante cuidar que las otras variables cumplan con

las especificaciones de operación del reactor ya que de lo contrario los valores del DQO se manifestarán en cambios de magnitud importantes.





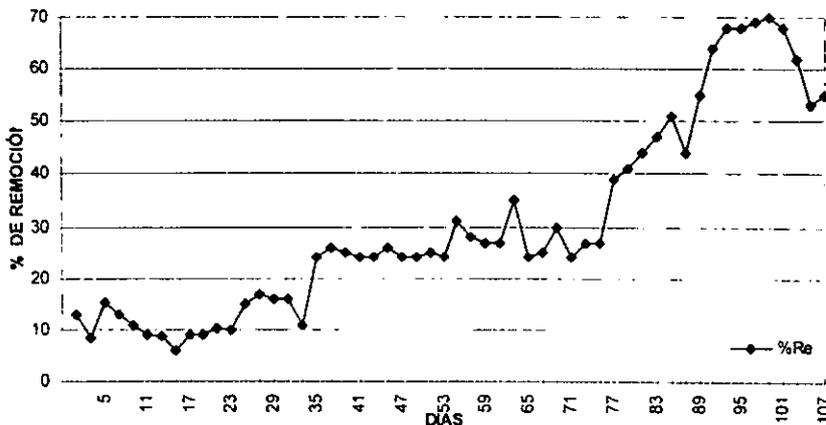
REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Este es el parámetro más importante, que proporciona una idea rápida de las condiciones generales del reactor, ya que un alto valor de remoción de materia orgánica se traducirá como un funcionamiento estable y adecuado de las condiciones de operación del reactor.

En un principio la remoción de materia orgánica fue baja según lo reporta la gráfica de la figura IV-12 en donde en los días del 1 al 37 la remoción más alta que se observó fue del 23% para permanecer en un valor relativamente constante entre los días 39 a 55 en donde se mantuvo cerca del 25%. Después del día 75 el porcentaje de materia orgánica comienza a aumentar de manera importante para alcanzar el valor máximo reportado el día 99 con un

valor de 70%. Se nota la misma tendencia en los primeros días para los resultados del analizador elemental en los primeros días para las muestras líquidas.

Fig. IV-12. REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, MEDIDA COMO DQO SOLUBLE DEL REACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO.



Es claro que, al término de los experimentos el reactor estaba bastante estable, 70% de remoción de materia orgánica soluble, y con una buena "mineralización", medida como conductividad eléctrica.

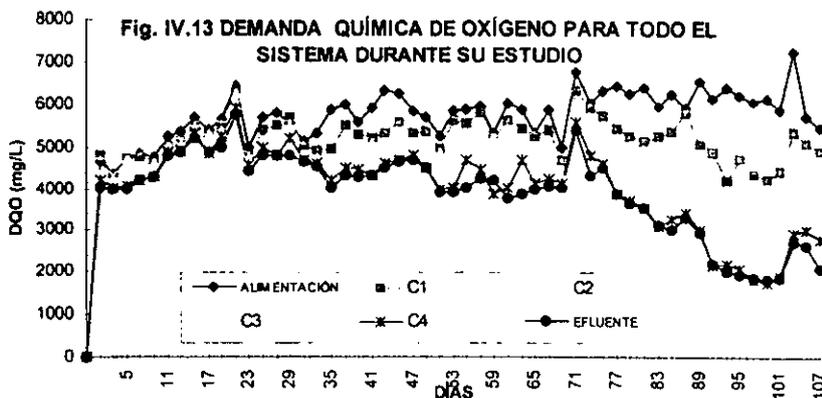
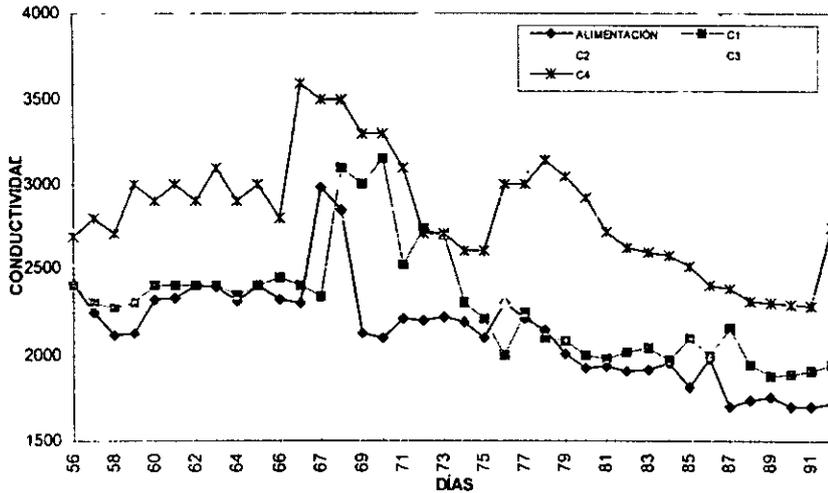
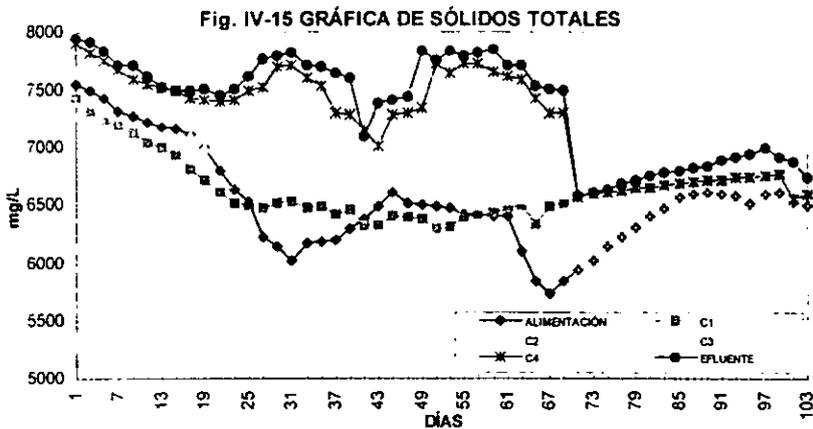


Fig. IV-14 CONDUCTIVIDAD DEL LÍQUIDO DE ALIMENTACIÓN Y DE LAS CUATRO CÁMARAS DEL REACTOR DE BIODISCOS



La figura IV-15 presenta los datos de sólidos totales, los cuales se reducen al ser convertida parte de la materia orgánica a CO_2 .



IV-3 CALCIO

La figura IV-16 a la 22 se presentan los valores de Ca^{2+} presentes en el sistema. Cabe mencionar que se media tres veces a la semana todo el sistema. El nejayote crudo en general tiene una concentración entre 900 a 1000 ppm. Cuando el DQO es mayor de 35,000 mg/L (la remoción se puede ver en la figura IV-16), se tiene una eficiencia del reactor de

descalcificación de más del 90 %. La figura IV-22 presenta el comportamiento del calcio en todo el sistema.

La variable que hay que tener presente en el momento de descalcificar el nejayote es el perfecto mezclado a lo largo de la reacción de todos los reactivos necesarios para la remoción de este elemento. Se observó que no sirve de nada, transcurrido el tiempo de reacción experimental, adicionar más NaOH o tener más gasto de gas carbónico; aunque si se tiene mayor gasto volumétrico de CO_2 se logra reducir el tiempo para un volumen dado, pero esto repercutiría en la economía del proceso (tablas IV-2-A y B).

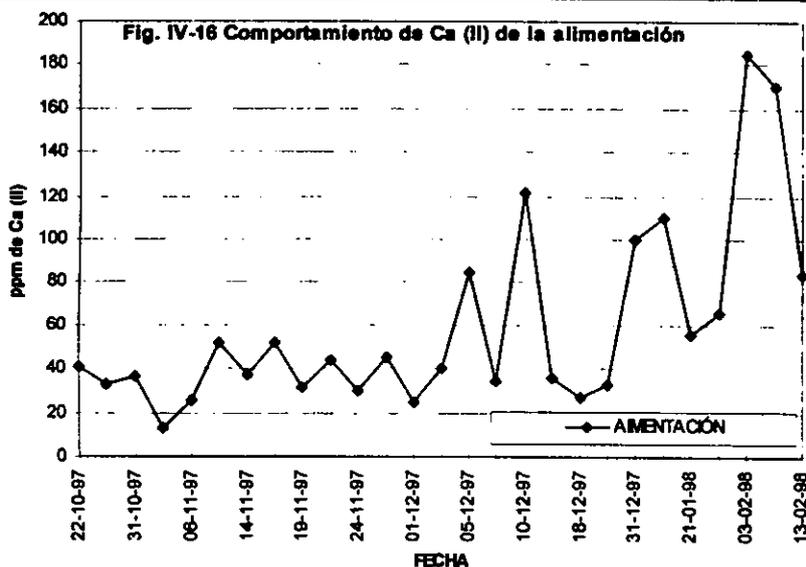


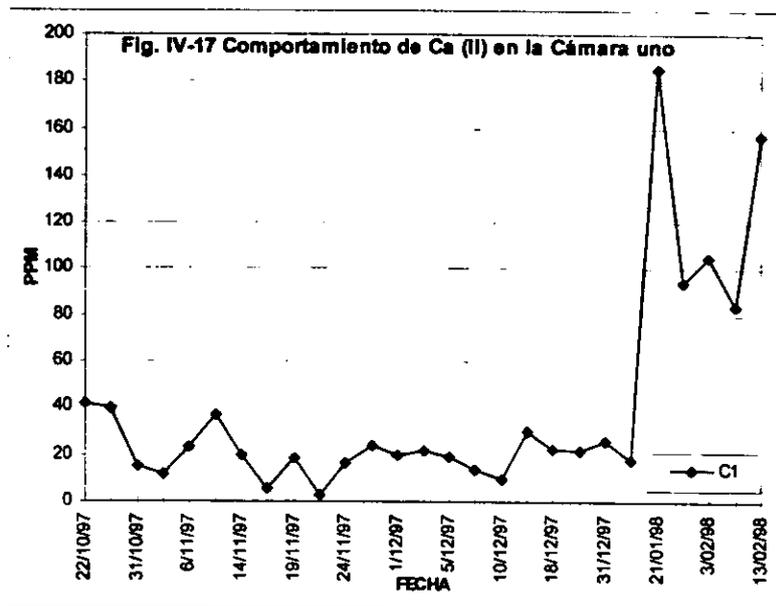
Tabla IV- 2-A Datos obtenidos para la remoción de calcio

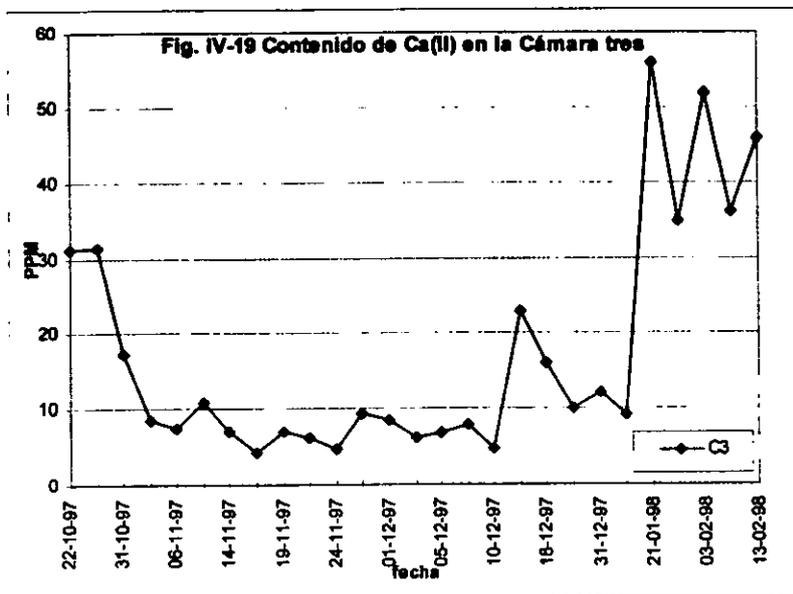
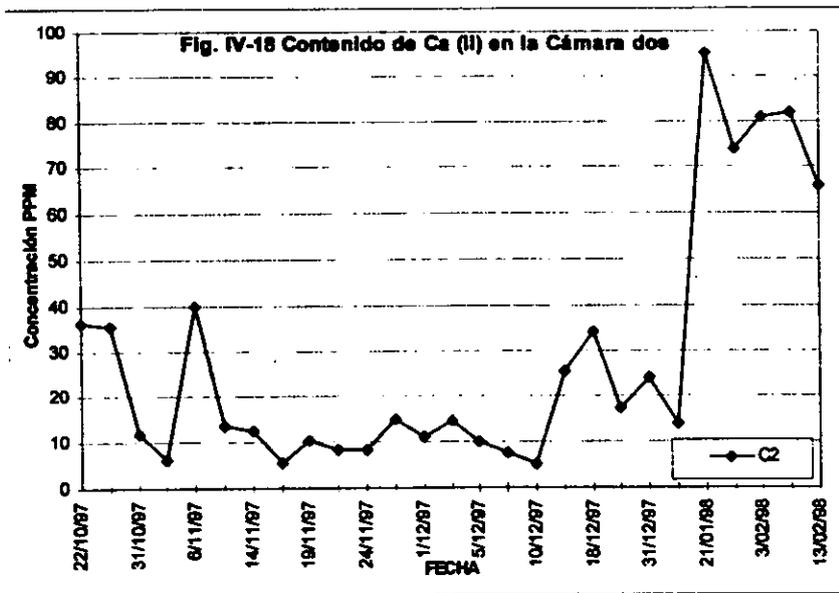
SERIE	Volumen de nejayote (L)	Volumen gastado (L de CO_2)	Gasto (L/min)
1	15	19	0.5
2	15	21.8	0.545
3	15	23	0.55

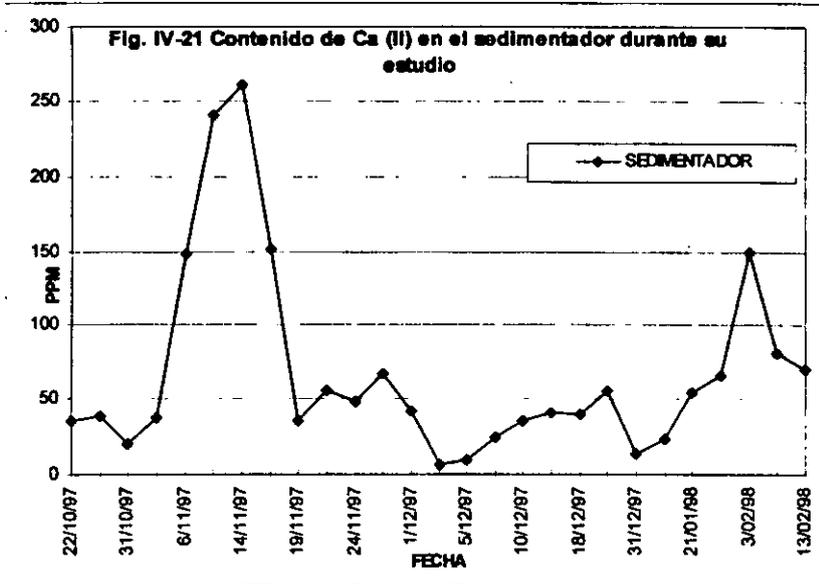
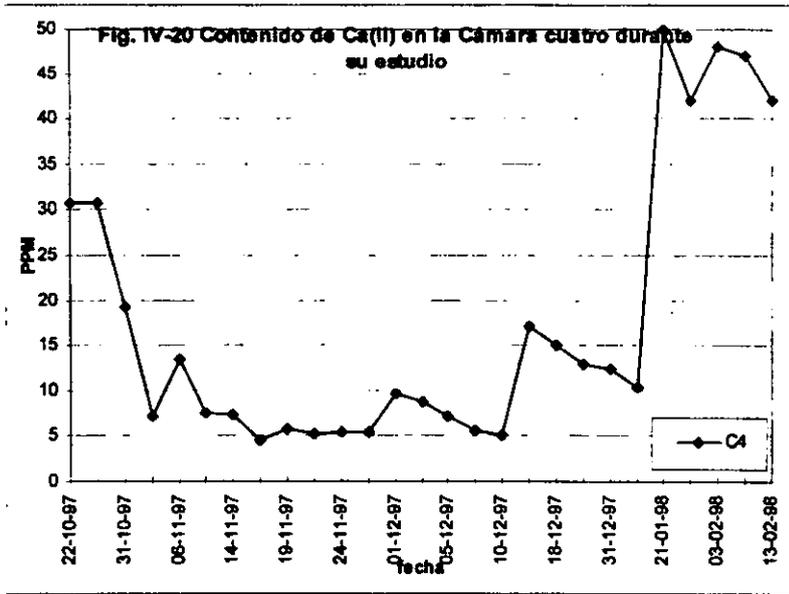
Tabla IV- 2-B Datos obtenidos para la remoción de calcio

pH	Concentración de NaOH (g/L)	Volumen de sosa (mL)	Tiempo de adición CO ₂ (min)	Remoción de Calcio (%)
12.3 (+/-0.2)	40	1400	70	91.43
11.6 (+/-0.2)	40	1400	80	96.66
10.3 (+/-0.5)	40	1400	85	98.33

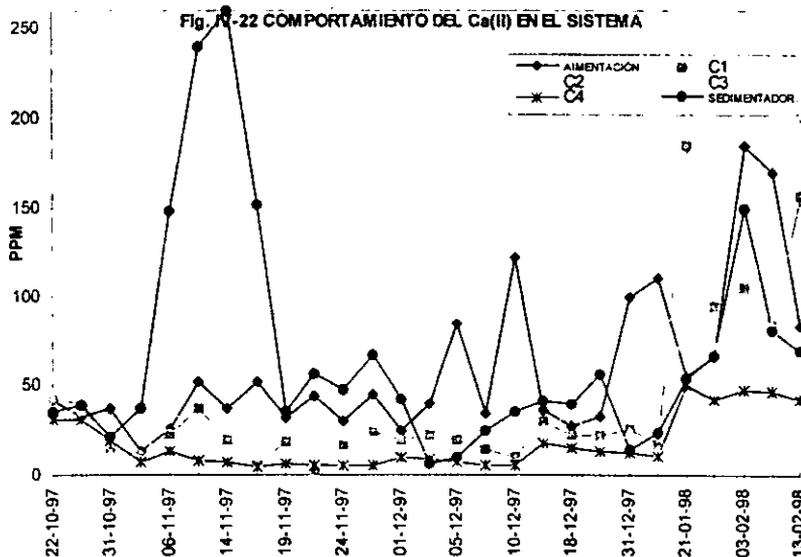
Como se ve, la remoción de Ca²⁺, es variable aunque no baja del 90%, salvo en algunas excepciones tales como la agitación del reactor que no sea homogénea; si se da este caso, no es conveniente adicionar más NaOH y mayor flujo de CO₂, sino verificar que la agitación del reactor se mantenga constante.







Aún cuando se consiga remover una cantidad importante de sales de calcio del agua en estudio, no puede evitarse que el calcio residual se siga ocluyendo en la biomasa, pues la presencia del CO_2 generado por los microorganismos hace que se precipite como CaCO_3 . Este fenómeno se debe considerar si se piensa seguir con el estudio de alimentar a ciertas especies de animales acuícolas con la biomasa obtenida (27), (35).



IV-4 SODIO

En el caso del estudio del ión sodio, se presentaron problemas técnicos para su determinación. Se usó un equipo de absorción atómica que es muy sensible en la medida del metal que se quiera determinar. Al principio no se contaba con soluciones estándar para calibrar el espectrómetro a concentraciones relativamente grandes como las que se encuentran en una digestión ácida, que es el método que se sigue para la determinación de metales. Por lo que se procedió a diluir las muestras 1/10, 1/100 y por último 1/1000, lográndose las medidas que se pretendían. Se encontró que, relativamente, la concentración de sodio no excede ni llega al límite de más de 300 ppm que permite el correcto desarrollo de los microorganismos. Sin embargo no se continuaron las mediciones porque el equipo sufrió una avería. Se consideró como primera aproximación, que el proceso de descalcificación es siempre el mismo. La cantidad de NaOH que se adiciona no cambia por lo que la concentración dentro del RBR serán siempre las mismas, salvo en días especialmente calientes y secos que hagan que la evaporación del líquido sea mayor que la que entra al sistema cosa que hasta el momento no ha ocurrido (tabla IV-3).

Tabla IV-3. Valores de concentración de sodio medido por absorción atómica.

Na ⁺ en nejayote Dilución 1:100	Concentración mg/L
Crudo	2.977
descalcificado	5.935
alimentación	5.197
Cámara 1	5.774
Cámara 2	5.525
Cámara 3	5.364
Cámara 4	5.605

IV-5 BIOMASA

Uno de los objetivos de este trabajo era cuantificar la biomasa, dado el buen desempeño del reactor (Fig. IV-12). Desafortunadamente no se logró esto como se quería, ya que la falta de equipo adecuado para la centrifugación de este material generaba contaminación por metales pesados, lo que impidió esta fase final de la experimentación.

Aún así se hicieron algunos análisis a partir de los resultados de los sólidos totales y datos del analizador elemental (tablas IV-4 a 6).

Tabla IV-4 Composición típica y general de biomasa

Elemento	<u>Porcentaje de masa seca</u>	
	Intervalo	Típico*
Carbono	45-55	50
Oxígeno	16-22	20
Nitrógeno	12-16	14
Hidrógeno	7-10	8
Azufre	0.8-1.05	1
Calcio	0.4-0.7	0.5
Sodio	0.5-2.0	1

- Datos de 23, 24.
- Con base a los datos del analizador elemental muestras sólidas

Tabla IV-5. Análisis bromatológico de la biomasa

BIOMASA (Base seca)	Del efluente final del RBR, (bajo en calcio)
Proteína (N ₂ * 6.25)	18.75
* Fibra cruda	3.75
* Cenizas	15.15
Carbohidratos (por diferencia)	62.35

* (35)

Tabla IV-6 Composición elemental de la biomasa proveniente del RBR durante su estudio

Elemento	Porcentaje
Carbón	22 +/- 8
Oxígeno	73
Nitrógeno	2 +/-0.5
Hidrógeno	4 +/- 0.9
Azufre	cero
Sodio	1250 (mg/L)
Calcio	225 (mg/L)

Al comparar los resultados se vé que no existe ningún parecido, esto tal vez porque dicha comparación se hace con datos generales de la composición de las células y no se considera la oclusión de minerales en el sistema biológico.

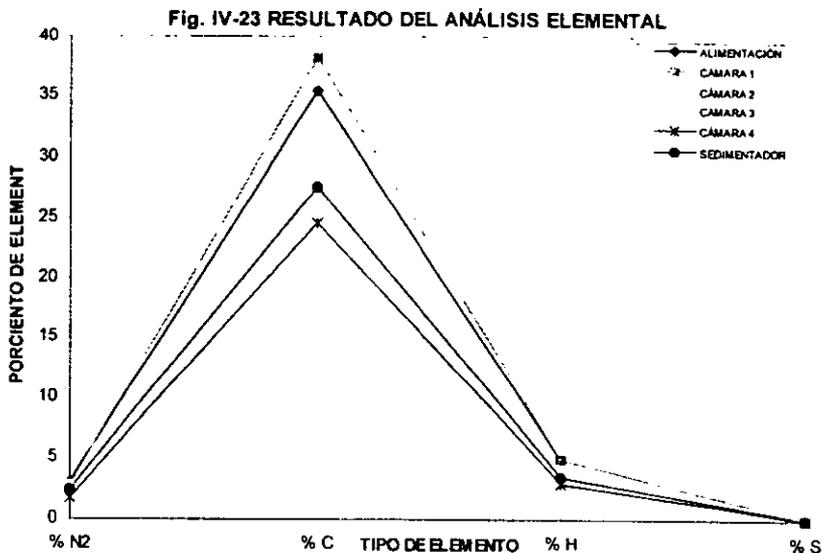
IV-6 ANALIZADOR ELEMENTAL

En general, el resultado de los datos obtenidos (Figs. IV-23 a 36) tiene la misma tendencia, tanto para las muestras líquidas como para las sólidas. Si se analizan las gráficas con cuidado se nota que para las muestras líquidas el porcentaje de los elementos puede, hasta cierto punto, parecer datos ilógicos dado que se tienen valores muy bajos. La razón de esto

es que el líquido analizado sería el equivalente a los sólidos suspendidos en el agua residual. Para el análisis se tomaban, de esta agua entre 1 y 3 microlitros.

El resultado de las muestras sólidas es más regular en cada una de las corridas que se hicieron para las distintas fechas, de la figura IV-23 a la IV-28 no se puede apreciar gran diferencia entre ellas siendo la misma tendencia, más de 10% de carbono, entre 3 y 5 por ciento de hidrógeno y lo demás de nitrógeno, en cuanto al azufre no lo detecto el aparato.

Para las muestras líquidas se tiene otro comportamiento de los diferentes elementos detectados. Salvo algunas ocasiones como en las figuras IV-29, IV-30 y IV-31, se tienen la misma tendencia que en las muestras sólidas, es decir, mayor contenido de carbono. Las demás figuras que presentan mayor cantidad de nitrógeno o azufre, figuras IV-32 y IV-35, son, en ambos casos, muy raros pues el nejayote es deficiente en nitrógeno (como en fósforo por lo que no es conveniente utilizarlo como medio de cultivo) y los análisis que se le practicaron a las muestras sólidas como líquidas, también muestran que el azufre no existe en el nejayote, ni en la biomasa que se obtiene como subproducto del proceso de tratamiento aerobio de este tipo de agua residual.



La figura IV-36 presenta, para las diferentes cámaras, mayor contenido de hidrógeno y menos de 0.5 % de carbono. Este resultado, sin duda, se debe a que la trampa para agua del aparato ya se encontraba saturada por lo que detecto el hidrógeno proveniente de del disolvente.

En la mayoría de los casos, el líquido analizado proveniente del sedimentador lleva la menor cantidad de carbono con respecto a las cámaras, lo que indicaría el buen funcionamiento del reactor durante su estudio.

Fig. IV-24 RESULTADO DEL ANÁLISIS ELEMENTAL MUESTRAS SÓLIDAS

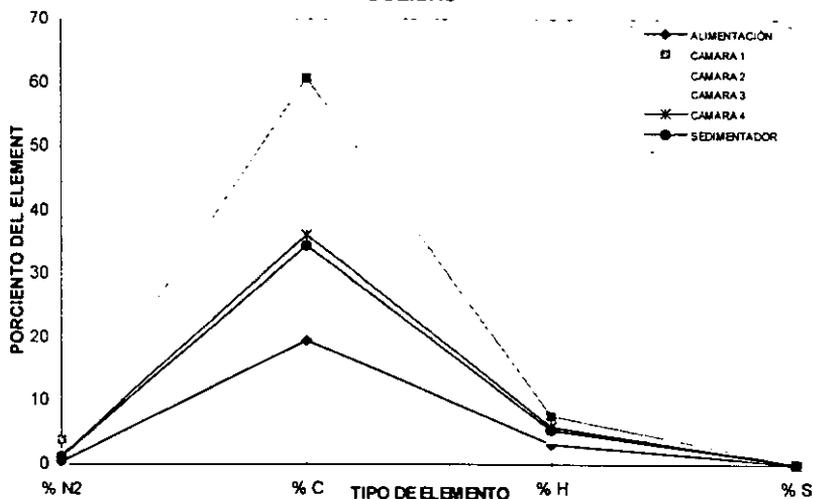


Fig. IV-25 ANÁLISIS PARA MUESTRAS SÓLIDAS

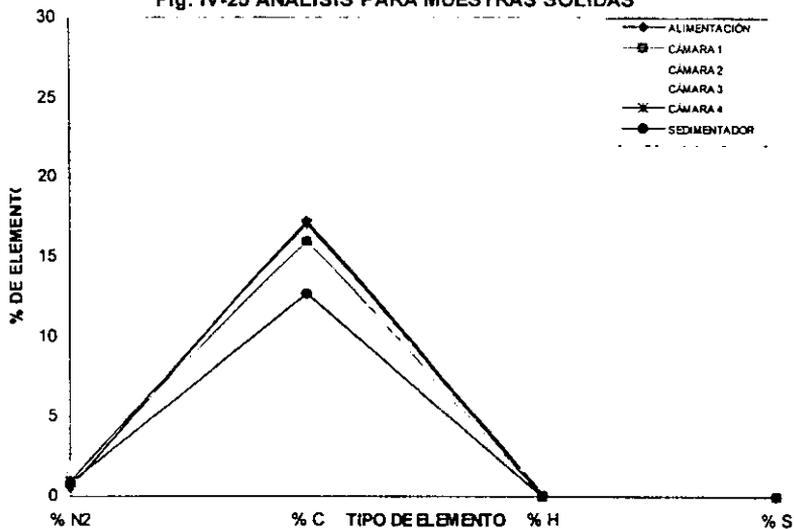


Fig. IV-26 ANÁLISIS PARA MUESTRAS SÓLIDAS

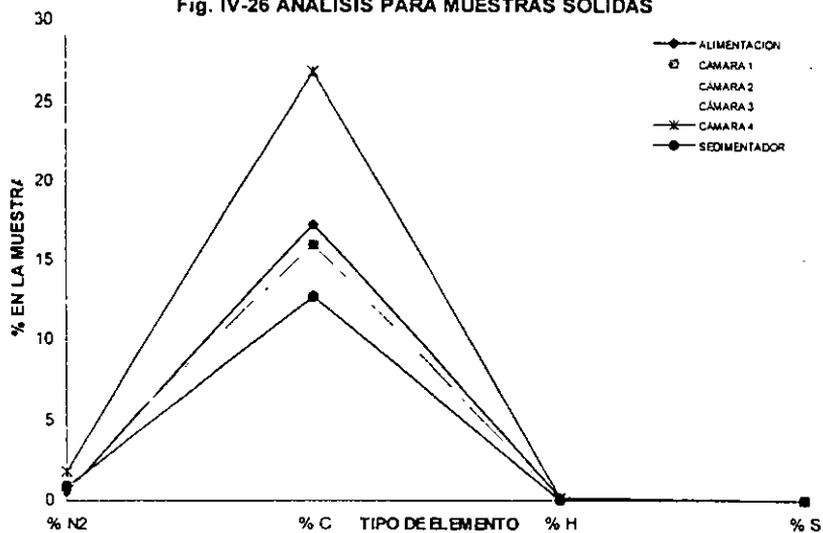


Fig. IV-27 ANÁLISIS PARA MUESTRAS SÓLIDAS

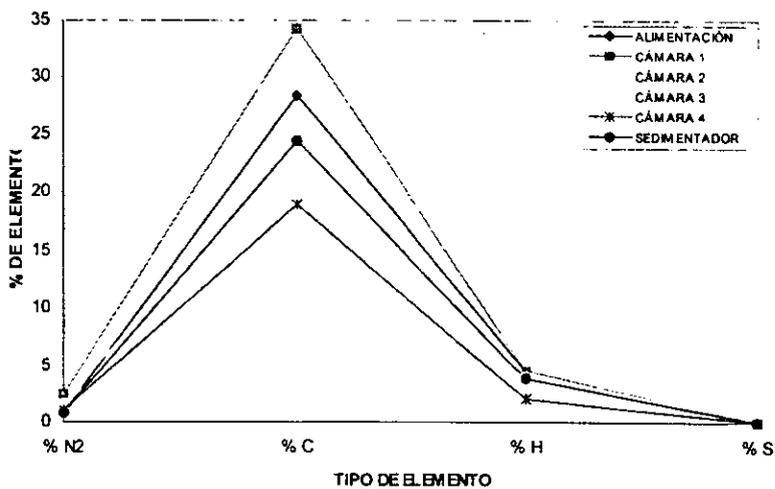
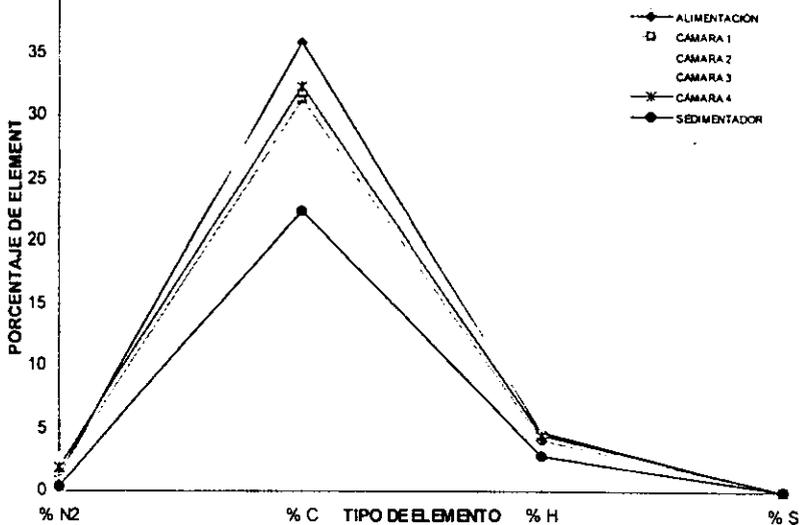


Fig. IV-28 ANÁLISIS PARA MUESTRAS SÓLIDAS



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las aguas residuales generadas en el proceso de nixtamalización contienen una alta cantidad de materia orgánica e inorgánica disuelta y en suspensión, así como también una gran cantidad de sales de calcio. Esto hace que los efluentes líquidos de los molinos de nixtamal y fábricas de harina de maíz nixtamalizadas sean consideradas como altamente contaminantes. Como una posible solución a dicho problema se han llevado a cabo experimentos a nivel de laboratorio en reactores biológicos rotatorios o de biodiscos con la finalidad de remover al máximo la materia orgánica contaminante presente en las aguas residuales de la nixtamalización, obteniéndose niveles de contaminación tolerables y por otra parte la generación de proteína unicelular conocida como biomasa microbiana, con un contenido de aproximadamente 20% de proteína, que podría usarse para consumo animal dada la creciente demanda a medida que la población mundial aumente.

En esta fase del proyecto se arrancó y estabilizó un reactor de biodiscos de 250 L hasta alcanzar una remoción de material soluble de 70% medido como DQO, usando nejayote diluido con agua corriente a aproximadamente 5,000, 5,500, 6,000 y finalmente, 6,500 mg/L de DQO.

El uso del analizador elemental simplifica en mucho las antiguas técnicas químicas para encontrar la composición elemental de la materia orgánica presente en estos tipos de sistemas de tratamiento (10 min, máximo por muestra). Para el análisis de sustancias de origen líquido todavía se presentan problemas desde el mismo pesaje de la muestra problema. En general, para ambas condiciones físicas, el oxígeno es el más abundante seguido del carbono y el nitrógeno. El azufre, salvo algunas excepciones, no existe en el nejayote.

De acuerdo con los resultados del analizador elemental, la biomasa tendrá la composición de $C_{22}O_{73}N_2H_4$. Esta fórmula es en base a valores arriba y abajo de cierto valor central del cual se agrupan la mayor parte de los datos.

Los datos de proteína del nejayote son muy cercanos a los reportados por trabajos anteriores a éste, lo que significa que el analizador elemental es confiable. Para comparar los datos con los valores de nitrógeno Kjeldahl se recomienda llevar a cabo una correlación matemática para esta información como las obtenidas por Cruz e Iriarte (1998).

Los datos reportados de calcio usando un electrodo sensible al ión calcio se pueden considerar como confiables, dado el principio del aparato. Con este instrumento se puede seguir todo el comportamiento de este ión a lo largo del sistema como se reporta en las

figuras IV- 16 a la 22. La concentración de calcio no pasó nunca de las 100 ppm por cámara lo que se considera adecuado si se piensan seguir los objetivos iniciales.

Como un experimento adicional y muy interesante, desde el punto de vista del autor, está el de usar métodos biotecnológicos más avanzados para tratar de emplear microorganismos halófilos en mayor cantidad a los que se desarrollan naturalmente en el RBR. Así se tendría más oportunidad de tratar efluentes con gran cantidad de sodio y cloro (a partir de 350 ppm (39)) sin que esto represente un problema para biodegradar efluentes con altas concentraciones de estos elementos sin la necesidad de gastar agua potable para diluir las aguas residuales con estas características. Esto implica, también, evaluar los riesgos que podría ocasionar la aplicación de estas nuevas tecnologías de base biológica.

Sin embargo, ni la biotecnología, ni ningún otra área de desarrollo tecnológico podrá resolver por sí sola los problemas de deterioro ambiental que son cada día más severos y el consecuente deterioro social que esto implica. La generación de tecnologías ambientales seguras es solamente uno de los factores que conforman una estrategia de desarrollo sustentable.

Se recomienda, para los siguientes experimentos, evaluar la productividad de la biomasa generada en el RBR.

BIBLIOGRAFÍA.

1. APHA, 1980. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington, D.C., EEUUA.
2. Bekris, J. 1992. Aplicación de la ecuación de Arrhenius al efecto de la temperatura en la operación de un reactor de biodiscos. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM, México D.F. México.
3. Benvenuta, J. J. y Pili, E. 1996. Producción de biomasa microbiana rica en proteína a partir de aguas residuales de la industria de la nixtamalización. Tesis profesional. Instituto Tecnológico de Orizaba, DGIT. Orizaba Veracruz. México.
4. Bustillos, M. F. 1992. Antecedentes Históricos. Presidencia de la República, IV informe de Gobierno de Carlos Salinas de Gortari. México, D.F. México.
5. Calderón, H. E. 1990. Obtención y evaluación biológica de biomasa microbiana con bajo contenido de calcio, a partir de un sistema de tratamiento aerobio de nejayote. Tesis profesional. Facultad de Química. UNAM. México, D.F. México.
6. Casas, R. Biotecnología Ambiental. 1992. Memorias, Reunión Anual, 1^{er} Simposio sobre Ingeniería Ambiental, UNAM. V I. Pub. Programa Universitario de Medio Ambiente, PUMA. México D.F. México.
7. Cruz, M.A., Iriarte, R. 1998. Aranque y operación dinámica de un reactor anaerobio a escala laboratorio. . Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM, México, D.F. México.
8. Durán de Bazúa, C. 1987. Reaprovechamiento de efluentes de la industria del maíz. Informe final del proyecto. ISBN 968-36-1644-5. Impresora Azteca, SA de CV. México D.F. México.
9. Durán-Domínguez, M.C.; Pedroza-Islas, R.; Rosas-Vázquez, C.; Luna-Pabello, V.M.; Sánchez-Zamora, A.; Capilla-Rivera, A.; Paredes-Gómez, L.; Valderrama-Herrera, S. V.; y Vázquez-Cedeño. 1991. Producción de alimentos para peces. Utilización de subproductos del tratamiento de aguas residuales. Premio Nacional SERFIN del Medio Ambiente. Pub. Futura Eds. SA de CV, Villa de Nicolás Romero, Edo. de México. México.
10. Escárcega, C. A. y Pulido, R. 1986. Modelo cinético para un reactor biológico rotatorio usado para el tratamiento aerobio de efluentes. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM, México D.F. México.

11. Flores, C. L. y de la Torre-Luis, M. 1990. Techno-economic evaluations of various substrates for SCP production: A case study for Mexico. Department of Biotechnology and Bioengineering. DINVESTAV-IPN, México, D.F. México.
12. García, M.; Quintero, R. y López-Munguía. A. 1993. Biotecnología de alimentos. Noriega Editores. México, D.F. México.
13. Gómez, C. J. 1992. Economía Agrícola. Presidencia de la República, IV Informe de Gobierno de Carlos Salinas de Gortari. México, D.F. México.
14. Grady, C. L. y Lim, H. C. 1980. Biological wastewater treatment: Theory and application. Edit. Marcel Dekker, Nueva York. EEUUA.
15. Hidalgo del Villar, E. 1992. Ecotecnia Agrícola. Presidencia de la República, IV informe de Gobierno de Carlos Salinas de Gortari. México, D.F. México.
16. INEGI. 1998. Sitio en Internet: WWW. Inegi.gob.mx
17. IMIQ, AC. 1995. Memorias, Curso sobre legislación, prevención y control de contaminantes. Facultad de Química, UNAM, México D.F. México.
18. Jackson, A. T. 1991. Process Engineering in Biotechnology. Prentice-Hall, International Series. Englewood Cliff, Nueva Jersey. EEUUA.
19. Jorgensen, S. E. y Johnson, I. 1990. Principles of Environmental Science and Technology. P-H New York Series. Nueva York, EEUUA.
20. López-Martínez, J. L. 1992. Modelo matemático de un reactor rotatorio (reactor de biodiscos): Estudio del efecto de la temperatura, la carga orgánica y la velocidad de rotación. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM, México D.F. México.
21. Luna Pabello, V. M. 1987. Estudio de protozoarios presentes en un sistema de tratamiento por medio de biodiscos. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. México
22. Luna- Pabello, V. M. 1990. Efecto de la temperatura en las poblaciones de protozoarios ciliados en un reactor de biodiscos. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. México.
23. Metcalf & Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering, Treatment, disposal, and reuse. 1991. Mc Graw Hill, Nueva York. EEUUA.
24. Murray, M. Y. y Kenneth, F. G. 1986. Microbial biomass proteins. Elsevier Applied Science. Londres, Inglaterra.

25. Navarrete, M. R. Y Osorio, I. L. 1991. Estudio técnico del pretratamiento de las aguas residuales de la industria de la nixtamalización para la eliminación de calcio. Tesis Profesional. Escuela de Ing. Química. UAP, Puebla, Puebla. México.
26. Oaxaca, G. M. 1997. Estudio comparativo para la determinación de la demanda química de oxígeno entre el método estándar de reflujo abierto y el método colorimétrico (rápido) de reflujo cerrado. Tesis profesional. Instituto Tecnológico de Orizaba. DGIT. Orizaba, Veracruz. México.
27. Paredes, L., Pedroza, R., Calderón, H., Luna, V. M., Rosas, C. Sánchez, A. y Durán de Bazúa, C. 1991. Uso de biomasa microbiana de sistemas de tratamiento de nejayote en dietas para carpa barrigona (*Cyprinus carpio*). Informe técnico de proyecto, Nut-039-UIA. Neja-01-91-UNAM. Pub. UNAM, Facultades de Química y Ciencias, UIA, Depto. de Ciencias de la nutrición. México, D.F. México.
28. Pedroza, R. 1985. Estudio de la degradación biológica de los efluentes de la nixtamalización. Tesis de Maestría. Universidad Iberoamericana. México, D.F. México.
29. Pedroza, R. y Durán de Bazúa, C. 1985. Producción de proteína unicelular de desechos (PUCD) a partir de efluentes de la industrialización del maíz para consumo humano. *Rev. Tecnol. Aliment. México*, 20 (6): 3-10.
30. Picazo, R. M., Luna, V. M. Durán, C. 1991. Determinación de protozoarios ciliados en reactores biológicos rotatorios que tratan aguas residuales de la industria del papel, ingenios azucareros y nixtamalización del maíz. Informe Técnico AR-01-91. Facultad de Química, UNAM, México D.F. México.
31. Quintero, R. Ingeniería bioquímica. Teoría y aplicaciones. México. Edit. Alhambra Mexicana. Pp. 153- 160. México, D.F. México.
32. Rheinheimer, G. Microbiología de las aguas. 1987. Edit. Acribia, Barcelona, España.
33. Rivera. F. y Calderón. A. 1993. Biotratamiento de aguas negras. ICyT, CONACYT. Agosto 1993, p. 12. México D.F. México.
34. Ronald, M. A. y Bartha, R. 1987. *Microbial Ecology, Fundamentals and applications*. Cap. 8. Merlo Park, California. California. EEUUA.
35. Rullán, A. B. 1993. Evaluación preliminar del potencial de la biomasa microbiana del tratamiento de aguas de nixtamal, como fuente proteínica para alimentos balanceados de larvas de camarón. Tesis profesional, Depto. de Nutrición y Ciencia de los Alimentos. UIA, México D.F. México.
36. Sagar. 1997. Secretaría de agricultura, ganadería y desarrollo rural. Centro de Estadística Agropecuaria. México D.F. México.
37. Sagar. 1998. Sitio en internet: WWW.sagar.gob.com.mx.

38. Stanier, R., Ingraham, J. L., Wheelis M.L. y Painter, P. R. 1986. The microbial world, 5th edition. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. Nueva Jersey, EEUUA.
39. Tchobanoglous, G. y Schroeder, D. 1985. Water Quality: Characteristics, modeling, modification. Addison-Wesley. Reading, Massachusetts. EEUUA.
40. Tecalco, A. y Méndez, F. 1996. "Producción de biomasa microbiana rica en proteína a partir de las aguas residuales de la industria de la nixtamalización con bajo contenido de calcio". Tesis profesional, Instituto Tecnológico de Orizaba. DGIT. Orizaba, Ver. México.
41. The Society for General Microbiology. 1984. Aspects of microbial metabolism and ecology. Edit. G. A. Cood. Cap 3. London Academic Press. Dondee, Escocia, UK.
42. Valderrama, S. B. 1989. Estudios químicos y biológicos de la biomasa microbiana generada en un sistema aerobio de tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria. Tesis profesional. Facultad de Química. UNAM, México. D.F. México.

APÉNDICES

**DATOS DE ALCALINIDAD PARA EL REACTOR
BIOLÓGICO ROTATORIO 250 L**

FECHA	VOLUMEN	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4
18-Dic-95	5.75	0.9	2.2	5.1	6.4	9.7
	4.3	1.5	2.8	7.2	9.1	12
	R	0.4	0.21	0.33	0.29	0.314
20-Dic-95	5.75	4.6	6.3	7.2	8.2	8.7
	4.3	6.8	8.8	9.7	10.6	10.8
	R	0.32	0.28	0.25	0.22	0.194
22-Dic-95	5.75	3.2	5.2	4	6.3	7.2
	4.3	5.4	7.1	3.5	9.1	11.6
	R	0.4	0.26	0.23	0.307	0.373
8-Ene-96	5.75	4.2	5.3	6.2	7.1	7.4
	4.3	5.1	7.4	8.1	7.9	9.9
	R	0.176	0.283	0.235	0.101	0.252
10-Ene-96	5.75	1.1	4.4	5.9	6.3	6.4
	4.3	1.8	6.9	8.9	10.1	9.8
	R	0.368	0.362	0.337	0.376	0.246
12-Ene-96	5.75	2.2	3.3	3.8	4.8	4.9
	4.3	3.1	4.2	5.6	6.1	5.7
	R	0.29	0.214	0.321	0.213	0.4
15-Ene-96	5.75	1.2	3.4	5.1	6.2	6.5
	4.3	2	4.8	7.2	7.3	8.1
	R	0.4	0.219	0.291	0.152	0.197
17-Ene-96	5.75	2.2	4.2	4.8	5.3	6.5
	4.3	3.4	4.9	5.7	6.7	8.1
	R	0.351	0.142	0.157	0.208	0.197
19-Ene-96	5.75	3.2	4.2	5.1	5.4	6.3
	4.3	4.1	5.2	6.8	6.7	9.7
	R	0.219	0.192	0.25	0.194	0.35
22-Ene-96	5.75	3.1	4.3	4.7	5.1	5.6
	4.3	4.2	5.8	5.6	6.3	9.2
	R	0.261	0.258	0.16	0.19	0.222
24-Ene-96	5.75	3	5.6	6.3	7.2	4.8
	4.3	4.2	7.8	10.1	8.9	6.3
	R	0.285	0.282	0.0376	0.191	0.283
26-Ene-96	5.75	2.1	3.2	4.5	5.1	8.1
	4.3	2.8	5.4	6.8	6.8	11.2
	R	0.25	0.407	0.338	0.25	0.276
29-Ene-96	5.75	3.2	3.8	4.2	7.2	8.1
	4.3	4.8	5.3	6.8	10.5	8.6
	R	0.333	0.094	0.364	0.314	0.156
31-Ene-96	5.75	2.5	4.3	4.9	5.3	6.1
	4.3	4.2	5.2	6.8	7.5	9.9
	R		0.173	0.279	0.293	0.383
1-Mar-96	5.75	2	3.9	3.1	2.1	4.1
	4.3	2.7	5.3	6.4	4.9	6.7
	R	0.383				

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
 Facultad de Química
APÉNDICE I

**DATOS DE ALCALINIDAD PARA EL REACTOR
 BIOLÓGICO ROTATORIO 250 L CONT...**

FECHA	VOLUMEN	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4
3-Mar-96	5.75	3.2	4.1	2.1	3.1	4.7
	4.3	5.8	5.8	4.8	5.8	6.8
	R	0.308				
6-Mar-96	5.75	2	3.2	3.8	4.9	5.1
	4.3	3.1	5.3	5.6	7.2	7.8
	R	0.346				
8-Mar-96	5.75	3.1	2.1	4.8	6.1	7.2
	4.3	4.5	3.4	7	10.2	11.2
	R	0.357				
10-Mar-96	5.75	4.1	4.2	3.2	6.8	7.2
	4.3	4.9	6.9	4.9	9.8	10.5
	R	0.314				
13-Mar-96	5.75	1.9	2.5	4.1	3.2	2.9
	4.3	2.6	4.3	5.8	4.8	4.2
	R	0.309				
15-Mar-96	5.75	1.9	2.5	4.1	3.2	2.9
	4.3	2.6	4.3	5.8	4.8	4.2
	R	0.309				
17-Mar-96	5.75	2	4.1	5.8	4.4	3.2
	4.3	3.4	5.3	5	6.8	5.4
	R	0.372				
20-Mar-96	5.75	5.5	3.2	3.8	4.2	7
	4.3	4.7	4.8	4.7	6.1	9.2
	R	0.239				
22-Mar-96	5.75	5.5	3.2	3.8	4.2	7
	4.3	4.7	4.8	4.7	6.1	9.2
	R	0.239				
24-Mar-96	5.75	5.5	3.2	3.8	4.2	7
	4.3	4.7	4.8	4.7	6.1	9.2
	R	0.239				
27-Mar-96	5.75	2.2	2.8	3.2	7.8	5.7
	4.3	3.4	5.1	4.9	8.58	8.9
	R	0.359				
29-Mar-96	5.75	1.9	2	5.7	9.1	6.7
	4.3	2.4	3.2	6.7	12.9	10.1
	R	0.336				
31-Mar-96	5.75	3	5.2	6.3	5.6	7.9
	4.3	5.1	8.1	7.9	8.9	12.1
	R	0.347				
1-Abr-96	5.75	4.1	6.1	7.8	9.1	6.3
	4.3	6.8	9.8	11.1	12.1	10.4
	R	0.394				
3-Abr-96	5.75	3.1	5.1	7.2	6.3	6.1
	4.3	5.2	6.8	10.3	8.4	8.4
	R	0.278				

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
 Facultad de Química
APÉNDICE I

**DATOS DE ALCALINIDAD PARA EL REACTOR
 BIOLÓGICO ROTATORIO 250 L CONT...**

FECHA	VOLUMEN	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4
5-Abr-96	5.75	4.1	9.4	11.2	9.6	7.8
	4.3	6.9	10.8	12.1	11.1	9.7
	R	0.334				
7-Abr-96	5.75	4.1	9.4	11.2	9.6	7.8
	4.3	6.9	10.8	12.1	11.1	9.7
	R	0.334				
10-Abr-96	5.75	3.2	4.1	6.1	4.3	4.3
	4.3	5.1	7	9.3	6.9	6.9
	R	0.376				
12-Abr-96	5.75	3.2	4.1	6.1	4.3	4.3
	4.3	5.1	7	9.3	6.9	6.9
	R	0.376				
14-Abr-96	5.75	3.2	3.3	4.8	7.2	7.2
	4.3	4.9	6.1	7.1	10.8	10.8
	R	0.252				
17-Abr-96	5.75	3.2	4.2	9.2	8.1	8.1
	4.3	5.3	6.8	11.8	11.7	11.7
	R	0.232				
19-Abr-96	5.75	3.2	6.1	5.8	7.2	7.9
	4.3	4.1	9.8	8.3	10.4	12.1
	R	0.347				
21-Abr-96	5.75	4.6	5.7	6.3	6.9	7.9
	4.3	6.8	9.1	8.7	7.7	11
	R	0.2818				
24-Abr-96	5.75	4.6	5.7	6.3	6.9	7.9
	4.3	6.8	9.1	8.7	7.7	11
	R	0.2818				
26-Abr-96	5.75	3.2	6.7	8.7	8.8	7.2
	4.3	4.8	9.2	12.1	11.3	10.8
	R	0.283				
29-Abr-96	5.75	4.3	6.3	6.4	8.3	9.1
	4.3	5.4	7.8	7.3	10.4	11.3
	R	0.213				

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 2

DATOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN DEL pH

FECHA	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4	MILAYOTE CRUDO
11-Nov-97	7	7.231	7.341	7.643	7.924	12.432
12-Nov-97	6	7.921	7.941	8.121	8.234	12.432
14-Nov-97	6.444	7.864	7.946	8.245	8.443	12.432
18-Nov-97	7.081	8.021	7.992	8.226	8.143	12.432
20-Nov-97	7.081	8.123	8.012	8.473	8.391	11
8-Dic-97	6.842	7.993	8.132	8.457	8.401	11.989
9-Dic-97	6.324	7.979	8.123	8.239	8.123	11.989
10-Dic-97	7.123	8.979	7.039	7.636	8.1	11.989
11-Dic-97	6.124	7.431	7.693	7.939	7.963	11.989
12-Dic-97	7.041	6.939	7.324	7.869	7.993	11.989
16-Dic-97	6.342	7.931	7.412	7.914	8.012	12.123
18-Dic-97	6.884	7.243	7.643	8.019	8.344	12.123
20-Dic-97	7.341	7.047	7.213	7.793	8.124	12.123
22-Dic-97	7.3	6.844	7.012	7.63	8.363	12.123
24-Dic-97	8	7.123	7.412	7.819	8.245	12.123
27-Dic-97	7.534	6.993	7.293	8.093	8.473	12.123
30-Dic-97	6.843	6.831	7.265	7.638	8.017	12.123
2-Ene-98	6.479	7.081	7.341	7.84	8.369	12.123
3-Ene-98	6.97	7.844	8.024	8.124	8.325	12.471
4-Ene-98	7.477	7.478	7.974	8.234	8.245	12.471
8-Ene-98	7.239	7.236	7.636	7.984	8.141	12.471
7-Ene-98	6.973	7.667	7.799	8.124	8.236	12.471
8-Ene-98	7.324	7.312	7.541	7.816	8.023	12.471
9-Ene-98	6.418	7.396	7.841	7.935	8.235	12.471
10-Ene-98	6.216	7.496	7.994	8.241	8.412	12.471
13-Ene-98	6.344	7.236	7.796	8.421	8.516	12.471
15-Ene-98	6.741	6.941	7.364	7.846	8.728	12.471
16-Ene-98	6.516	6.879	7.516	8.149	8.356	12.163
19-Ene-98	6.179	7.798	8.324	8.424	8.636	12.163
20-Ene-98	7.019	7.826	8.401	8.648	8.505	12.163
21-Ene-98	7.334	7.426	8.009	8.321	8.425	12.163
22-Ene-98	7.241	7.282	7.771	80263	8.448	12.163
23-Ene-98	6.816	7.31	7.941	8.419	8.658	12.163
26-Ene-98	6.926	7.116	7.991	8.356	8.586	12.163
27-Ene-98	7.743	7.331	7.824	8.342	8.526	12.163
28-Ene-98	7.216	7.624	8.263	8.416	8.502	12.163
1-Feb-98	7.918	7.824	8.132	8.52	8.062	12.163
2-Feb-98	7.639	7.694	7.94	8.123	8.61	11.724
3-Feb-98	6.941	7.931	8.023	8.241	8.369	11.724
4-Feb-98	7.023	7.341	7.841	7.949	80261	11.724
5-Feb-98	7.236	7.491	7.864	8.102	8.199	11.724
6-Feb-98	7.426	7.519	7.941	8.249	8.213	11.724
7-Feb-98	6.747	7.819	8.2	8.297	8.419	11.857
8-Feb-98	6.949	6.894	7.239	7.836	8.308	11.857
11-Feb-98	7.239	6.979	7.341	7.943	8.323	11.857
13-Feb-98	7.436	7.341	7.491	7.793	8.112	11.857
15-Feb-98	7.219	7.546	7.631	7.839	8.147	11.857

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 2

DATOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN DE pH.... (CONT.)

FECHA	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4	MELAYOTE CRUDO
18-Feb-98	7.029	7.493	7.645	7.341	8.325	11.857
19-Feb-98	7.398	7.324	7.393	7.699	8.112	11.857
20-Feb-98	7.222	7.623	7.981	7.821	8.009	11.857
25-Feb-98	7.002	7.431	7.741	7.941	8.312	12.403
27-Feb-98	6.979	7.241	7.514	7.726	8.658	12.403
28-Feb-98	7.243	7.269	7.433	7.936	8.597	12.403
1-Mar-98	7.455	7.536	7.639	7.941	8.439	12.403
2-Mar-98	7.645	7.241	7.541	7.839	8.459	12.403
3-Mar-98	7.341	7.129	7.643	8.139	8.698	12.403
4-Mar-98	7.292	7.934	8.356	8.459	8.459	12.403
5-Mar-98	7.457	7.614	8.269	8.347	8.524	12.403
6-Mar-98	7.693	7.743	8.369	8.412	8.694	12.149
7-Mar-98	7.559	7.847	8.419	8.526	8.697	12.149
10-Mar-98	7.432	7.921	8.524	8.162	8.54	12.149
12-Mar-98	7.139	7.724	8.127	8.324	8.42	12.149
15-Mar-98	7.239	7.781	8.234	8.31	8.632	12.149
16-Mar-98	7.437	7.941	8.411	8.51	8.72	12.149
17-Mar-98	7.667	7.832	8.347	8.54	8.775	12.149
18-Mar-98	7.397	7.942	8.54	8.61	8.725	11.269
19-Mar-98	7.548	7.639	8.61	8.69	8.632	11.269
22-Mar-98	7.489	7.771	8.21	8.41	8.444	11.269
23-Mar-98	7.399	7.831	8.111	8.322	8.479	11.269
24-Mar-98	7.602	7.896	8.234	8.14	8.348	11.269
25-Mar-98	7.541	7.923	8.369	8.147	8.591	11.269
26-Mar-98	7.509	7.94	8.23	8.412	8.641	11.269
29-Mar-98	7.612	8.01	8.14	8.32	8.541	11.269
30-Mar-98	6.784	7.955	8.358	8.129	8.46	11.269
1-Abr-98	7.708	7.585	8.031	8.398	7.47	11.624
2-Abr-98	7.608	7.626	7.708	7.505	7.52	11.624
3/04/98	7.726	8.023	8.23	8.145	7.477	11.624
4-Abr-98	7.315	7.634	7.529	7.531	7.653	11.624
5-Abr-98	7.419	7.837	7.866	7.791	7.678	11.624
8-Abr-98	7.824	7.862	7.856	7.796	7.773	11.624
9-Abr-98	7.734	7.846	7.823	7.821	7.656	12.156
10-Abr-98	7.856	7.746	7.739	7.721	7.959	12.156
13-Abr-98	7.967	7.726	7.995	7.427	7.417	12.156
14-Abr-98	7.868	7.821	7.869	7.536	7.821	12.156
16-Abr-98	8.327	8.056	7.631	7.692	8.604	12.756
17-Abr-98	7.369	8.023	8.296	8.635	8.329	12.756
20-Abr-98	7.725	8.233	8.316	8.546	7.677	12.756
21-Abr-98	7.787	8.927	8.416	8.519	8.636	12.756
22-Abr-98	7.326	8.069	7.321	7.878	8.215	12.756
25-Abr-98	7.467	7.479	7.946	7.868	7.677	12.756

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 2

TABLA DE DATOS DE pH

DÍAS	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4	MEJAYOTE CRUDO
1	7	7.231	7.341	7.643	7.924	12
2	6	7.921	7.941	8.121	8.234	12
3	6.444	7.864	7.946	8.245	8.443	12
4	7.081	8.021	7.992	8.226	8.143	12
5	7.081	8.123	8.012	8.473	8.391	11
6	6.842	7.993	8.132	8.457	8.401	11.989
7	6.324	7.979	8.123	8.239	8.123	11.989
8	7.123	8.979	7.039	7.636	8.1	11.989
9	6.124	7.431	7.693	7.939	7.963	11.989
10	7.041	6.939	7.324	7.869	7.993	11.989
11	6.342	7.931	7.412	7.914	8.012	12.123
12	6.884	7.243	7.643	8.019	8.344	12.123
13	7.341	7.047	7.213	7.793	8.124	12.123
14	7.3	6.844	7.012	7.63	8.363	12.123
15	8	7.123	7.412	7.819	8.245	12.123
16	7.534	6.993	7.293	8.093	8.473	12.123
17	6.843	6.831	7.265	7.638	8.017	12.123
18	6.479	7.081	7.341	7.84	8.369	12.123
19	6.97	7.844	8.024	8.124	8.325	12.471
20	7.477	7.478	7.974	8.234	8.245	12.471
21	7.239	7.236	7.636	7.984	8.141	12.471
22	6.973	7.667	7.799	8.124	8.236	12.471
23	7.324	7.312	7.541	7.816	8.023	12.471
24	6.418	7.396	7.841	7.935	8.235	12.471
25	6.216	7.496	7.994	8.241	8.412	12.471
26	6.344	7.236	7.796	8.421	8.516	12.471
27	6.741	6.941	7.364	7.846	8.728	12.471
28	6.516	6.879	7.516	8.149	8.356	12.163
29	6.179	7.798	8.324	8.424	8.636	12.163
30	7.019	7.826	8.401	8.648	8.505	12.163
31	7.334	7.426	8.009	8.321	8.425	12.163
32	7.241	7.282	7.771	8.023	8.448	12.163
33	6.816	7.31	7.941	8.419	8.658	12.163
34	6.926	7.116	7.991	8.356	8.586	12.163
35	7.743	7.331	7.824	8.342	8.526	12.163
36	7.216	7.624	8.263	8.416	8.502	12.163
37	7.918	7.824	8.132	8.52	8.062	12.163
38	7.639	7.694	7.94	8.123	8.61	11.724
39	6.941	7.931	8.023	8.241	8.369	11.724
40	7.023	7.341	7.841	7.949	8.024	11.724
41	7.236	7.491	7.864	8.102	8.199	11.724
42	7.426	7.519	7.941	8.249	8.213	11.724
43	6.747	7.819	8.2	8.297	8.419	11.857
44	6.949	6.894	7.239	7.836	8.308	11.857
45	7.239	6.979	7.341	7.943	8.323	11.857
46	7.436	7.341	7.491	7.793	8.112	11.857
47	7.219	7.546	7.631	7.839	8.147	11.857

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 2

TABLA DE DATOS DE pH

....

(CONT.)

DÍAS	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4	RELAYOTE CRUDO
48	7.029	7.493	7.645	7.341	8.325	11.857
49	7.398	7.324	7.393	7.699	8.112	11.857
50	7.222	7.623	7.981	7.821	8.009	11.857
51	7.002	7.431	7.741	7.941	8.312	12.403
52	6.979	7.241	7.514	7.726	8.658	12.403
53	7.243	7.269	7.433	7.936	8.597	12.403
54	7.455	7.536	7.639	7.941	8.439	12.403
55	7.645	7.241	7.541	7.839	8.459	12.403
56	7.341	7.129	7.643	8.139	8.698	12.403
57	7.292	7.934	8.356	8.459	8.459	12.403
58	7.457	7.614	8.269	8.347	8.524	12.403
59	7.693	7.743	8.369	8.412	8.694	12.149
60	7.559	7.847	8.419	8.526	8.697	12.149
61	7.432	7.921	8.524	8.162	8.54	12.149
62	7.139	7.724	8.127	8.324	8.42	12.149
63	7.239	7.781	8.234	8.31	8.632	12.149
64	7.437	7.941	8.411	8.51	8.72	12.149
65	7.667	7.832	8.347	8.54	8.775	12.149
66	7.397	7.942	8.54	8.61	8.725	11.269
67	7.548	7.639	8.61	8.69	8.632	11.269
68	7.489	7.771	8.21	8.41	8.444	11.269
69	7.399	7.831	8.111	8.322	8.479	11.269
70	7.602	7.896	8.234	8.14	8.348	11.269
71	7.541	7.923	8.369	8.147	8.591	11.269
72	7.509	7.94	8.23	8.412	8.641	11.269
73	7.612	8.01	8.14	8.32	8.541	11.269
74	6.784	7.955	8.358	8.129	8.46	11.269
75	7.708	7.585	8.031	8.398	7.47	11.624
76	7.608	7.626	7.708	7.505	7.52	11.624
77	7.726	8.023	8.23	8.145	7.477	11.624
78	7.315	7.634	7.529	7.531	7.653	11.624
79	7.419	7.837	7.866	7.791	7.678	11.624
80	7.824	7.862	7.856	7.796	7.773	11.624
81	7.734	7.846	7.823	7.821	7.656	12.156
82	7.856	7.746	7.739	7.721	7.959	12.156
83	7.967	7.726	7.995	7.427	7.417	12.156
84	7.868	7.821	7.869	7.536	7.821	12.156
85	8.327	8.056	7.631	7.692	8.604	12.756
86	7.369	8.023	8.296	8.635	8.329	12.756
87	7.725	8.233	8.316	8.546	7.677	12.756
88	7.787	8.927	8.416	8.519	8.636	12.756
89	7.326	8.069	7.321	7.878	8.215	12.756
90	7.467	7.479	7.946	7.868	7.677	12.756

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 2

DATOS DE pH PARA LA ALIMENTACIÓN

DÍAS	ALIMENTACIÓN	DÍAS	ALIMENTACIÓN
1	7	49	7.398
2	6	50	7.222
3	6.444	51	7.002
4	7.081	52	6.979
5	7.081	53	7.243
6	6.842	54	7.455
7	6.324	55	7.645
8	7.123	56	7.341
9	6.124	57	7.292
10	7.041	58	7.457
11	6.342	59	7.693
12	6.884	60	7.559
13	7.341	61	7.432
14	7.3	62	7.139
15	8	63	7.239
16	7.534	64	7.437
17	6.843	65	7.667
18	6.479	66	7.397
19	6.97	67	7.548
20	7.477	68	7.489
21	7.239	69	7.399
22	6.973	70	7.602
23	7.324	71	7.541
24	6.418	72	7.509
25	6.216	73	7.612
26	6.344	74	6.784
27	6.741	75	7.708
28	6.516	76	7.608
29	6.179	77	7.726
30	7.019	78	7.315
31	7.334	79	7.419
32	7.241	80	7.824
33	6.816	81	7.734
34	6.926	82	7.856
35	7.743	83	7.967
36	7.216	84	7.868
37	7.918	85	8.327
38	7.639	86	7.369
39	6.941	87	7.725
40	7.023	88	7.787
41	7.236	89	7.326
42	7.426	90	7.467
43	6.747		
44	6.949		
45	7.239		
46	7.436		
47	7.219		
48	7.029		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 2

DATOS DE pH PARA LA CÁMARA UNO

DÍAS	C1	DÍAS	C1
1	7.231	48	7.493
2	7.921	49	7.324
3	7.864	50	7.623
4	8.021	51	7.431
5	8.123	52	7.241
6	7.993	53	7.269
7	7.979	54	7.536
8	6.979	55	7.241
9	7.431	56	7.129
10	6.939	57	7.934
11	7.931	58	7.614
12	7.243	59	7.743
13	7.047	60	7.847
14	6.844	61	7.921
15	7.123	62	7.724
16	6.993	63	7.781
17	6.831	64	7.941
18	7.081	65	7.832
19	7.844	66	7.942
20	7.478	67	7.639
21	7.236	68	7.771
22	7.667	69	7.831
23	7.312	70	7.896
24	7.396	71	7.923
25	7.496	72	7.94
26	7.236	73	8.01
27	6.941	74	7.955
28	6.879	75	7.585
29	7.798	76	7.626
30	7.826	77	8.023
31	7.426	78	7.634
32	7.282	79	7.837
33	7.31	80	7.862
34	7.116	81	7.846
35	7.331	82	7.746
36	7.624	83	7.726
37	7.824	84	7.821
38	7.694	85	8.056
39	7.931	86	8.023
40	7.341	87	8.233
41	7.491	88	8.927
42	7.519	89	8.069
43	7.819	90	7.479
44	6.894		
45	6.979		
46	7.341		
47	7.546		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 2

DATOS DE pH PARA LA CÁMARA DOS

DÍAS	C2	DÍAS	C2
1	7.341	47	7.631
2	7.941	48	7.645
3	7.946	49	7.393
4	7.992	50	7.981
5	8.012	51	7.741
6	8.132	52	7.514
7	8.123	53	7.433
8	7.039	54	7.639
9	7.693	55	7.541
10	7.324	56	7.643
11	7.412	57	8.356
12	7.643	58	8.269
13	7.213	59	8.369
14	7.012	60	8.419
15	7.412	61	8.524
16	7.293	62	8.127
17	7.265	63	8.234
18	7.341	64	8.411
19	8.024	65	8.347
20	7.974	66	8.54
21	7.636	67	8.61
22	7.799	68	8.21
23	7.541	69	8.111
24	7.841	70	8.234
25	7.994	71	8.369
26	7.796	72	8.23
27	7.364	73	8.14
28	7.516	74	8.358
29	8.324	75	8.031
30	8.401	76	7.708
31	8.009	77	8.23
32	7.771	78	7.529
33	7.941	79	7.866
34	7.991	80	7.856
35	7.824	81	7.823
36	8.263	82	7.739
37	8.132	83	7.995
38	7.94	84	7.869
39	8.023	85	7.631
40	7.841	86	8.296
41	7.864	87	8.316
42	7.941	88	8.416
43	8.2	89	7.321
44	7.239	90	7.946
45	7.341		
46	7.491		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 3

DATOS DE CONDUCTIVIDAD

FECHA	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4
11-Nov-97	3500	3700	4000	4100	4300
12-Nov-97	3600	3800	4100	4000	4200
14-Nov-97	3550	3600	4200	4100	4000
18-Nov-97	3250	3700	4200	4000	4200
20-Nov-97	3200	3300	4300	4200	4000
8-Dic-97	3000	3600	3900	4100	4200
9-Dic-97	2800	3400	3800	3800	4200
10-Dic-97	2600	3300	3700	4000	4100
11-Dic-97	2600	3300	3600	4100	4100
12-Dic-97	2500	3000	3400	3800	3900
16-Dic-97	2300	2900	3000	3600	4000
18-Dic-97	2300	2700	3100	3400	3800
20-Dic-97	2200	2400	3000	3100	3600
22-Dic-97	2000	2300	2900	3000	3500
24-Dic-97	2200	2300	2900	3000	3500
27-Dic-97	2100	2100	2800	3100	3500
30-Dic-97	2100	2400	2700	2900	3600
2-Ene-98	2000	2400	2800	2900	3400
3-Ene-98	1800	2350	2400	3000	3400
4-Ene-98	2000	2300	2600	3000	3300
8-Ene-98	2200	2200	2700	2900	3300
7-Ene-98	2200	2200	2800	2800	3200
8-Ene-98	2300	2400	2800	2800	3400
9-Ene-98	2400	2500	3000	2900	3200
10-Ene-98	2400	2300	3000	3100	3500
13-Ene-98	2500	2500	3100	3100	3300
15-Ene-98	2500	2600	3100	3100	3500
16-Ene-98	2800	2600	3000	3200	3300
19-Ene-98	2800	2700	2900	3200	3300
20-Ene-98	3000	2700	2800	3100	3500
21-Ene-98	3000	3000	2900	3000	3500
22-Ene-98	2300	3200	2700	2900	3700
23-Ene-98	3225	2400	2600	2800	3300
26-Ene-98	2112	2340	2540	2700	3100
27-Ene-98	2002	2210	2410	2600	3000
28-Ene-98	2100	2240	2240	2510	2800
1-Feb-98	2200	2190	2360	2340	2900
2-Feb-98	2240	2200	2400	2490	2600
3-Feb-98	2340	2200	2400	2490	2500
4-Feb-98	2210	2200	2400	2500	2500
5-Feb-98	2198	2400	2600	2500	2610
6-Feb-98	2093	2310	2510	2500	2620
7-Feb-98	2310	2300	2500	2800	2700

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 3

DATOS DE CONDUCTIVIDAD CONT....

FECHA	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4
8-Feb-98	2200	2210	2490	2600	2900
11-Feb-98	2250	2290	2598	2610	2700
13-Feb-98	2300	2198	2500	2610	2710
15-Feb-98	2009	2240	2400	2590	2710
18-Feb-98	2410	2398	2700	2521	2690
19-Feb-98	2240	2300	2400	2600	2800
20-Feb-98	2114	2270	2500	2900	2700
25-Feb-98	2121	2300	2600	2600	3000
27-Feb-98	2314	2400	2700	2500	2900
28-Feb-98	2324	2398	2600	2800	3000
1-Mar-98	2400	2400	2600	2700	2900
2-Mar-98	2393	2400	2600	2720	3100
3-Mar-98	2312	2350	2700	2599	2900
4-Mar-98	2400	2400	2500	2700	3000
5-Mar-98	2314	2450	2600	2800	2800
6-Mar-98	2300	2400	2500	2700	3600
7-Mar-98	2978	2340	3300	2700	3500
10-Mar-98	2843	3100	3000	2800	3500
12-Mar-98	2124	3000	3200	2700	3300
15-Mar-98	2100	3150	2700	2700	3300
16-Mar-98	2210	2520	3000	2700	3100
17-Mar-98	2194	2730	3000	2600	2700
18-Mar-98	2214	2691	2700	3200	2700
19-Mar-98	2189	2300	2500	3400	2600
22-Mar-98	2100	2210	2400	3300	2600
23-Mar-98	2300	2000	2300	2900	3000
24-Mar-98	2210	2240	2400	3100	3000
25-Mar-98	2140	2100	2550	2900	3141
26-Mar-98	2010	2075	2390	2700	3041
29-Mar-98	1920	2000	2370	2730	2917
30-Mar-98	1934	1980	2310	2540	2709
1-Abr-98	1900	2018	2270	2430	2617
2-Abr-98	1910	2043	2260	2419	2597
3/04/98	1953	1973	2179	2379	2572
4-Abr-98	1810	2100	2410	2321	2512
5-Abr-98	1979	2000	2210	2047	2397
8-Abr-98	1700	2154	2103	2319	2378
9-Abr-98	1741	1943	2043	2241	2309
10-Abr-98	1759	1879	2143	2119	2301
13-Abr-98	1703	1885	2312	2043	2291
14-Abr-98	1700	1900	2241	2328	2279
16-Abr-98	1719	1937	2049	2419	2741

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 4

TABLA DE DATOS DE TEMPERATURA

FECHA	C1	C2	C3	C4
27-Oct-97	14.2	14.5	14.5	14.5
28-Oct-97	15.3	15.3	15.3	15.3
30-Oct-97	15.5	15.5	15.5	15.5
31-Oct-97	15	15	15	15
3-Nov-97	14.5	15	15	15
5-Nov-97	15	15	15	15
7-Nov-97	15	15	15	15
10-Nov-97	15.5	15.5	15.5	15.5
12-Nov-97	15	14.5	14.5	14.5
14-Nov-97	14.5	14.5	14.5	14.5
17-Nov-97	14.5	14.5	14.5	14.5
17-Nov-97	15	15	15	15
19-Nov-97	15	15	15	15
21-Nov-97	15	15.5	15.5	15.5
24-Nov-97	15.5	15.5	15.5	15.5
25-Nov-97	14.5	14.5	14.5	14.5
27-Nov-97	15	15	15	15
28-Nov-97	15	15.5	15.5	15.5
1-Dic-97	15.5	15.5	15.5	15.5
2-Dic-97	15.5	15.5	15.5	15.5
4-Dic-97	15.5	16	16	16
5-Dic-97	15	15.9	15.9	15.9
8-Dic-97	15	15	15	15
9-Dic-97	15.5	15.5	15.5	15.5
10-Dic-97	15.5	15.5	15.5	15.5
12-Dic-97	15.5	16	16	16
15-Dic-97	15.5	15.5	15.5	15.5
17-Dic-97	15	15	15	15
19-Dic-97	15.5	15.5	15.5	15.5
23-Dic-97	15	16	16	16
30-Dic-97	15	15	15	15
31-Dic-97	15	15	15	15
2-Ene-98	15	15.6	15.6	15.6
5-Ene-98	15.5	15.5	15.5	15.5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 4

TABLA DE DATOS DE TEMPERATURA

FECHA	C1	C2	C3	C4
7-Ene-98	17.5	17.5	17.5	17.5
8-Ene-98	18	18	18	18
9-Ene-98	17	17	17	17
12-Ene-98	18	18	18	18
13-Ene-98	17	17	17	17
14-Ene-98	18	18	18	18
15-Ene-98	17.5	17.5	17.5	17.5
16-Ene-98	17	17	17	17
20-Ene-98	17	17	17	17
21-Ene-98	17	17	17	17
22-Ene-98	15.5	15.5	15.5	15.5
23-Ene-98	17	17	17	17
26-Ene-98	18	18	18	18
27-Ene-98	17.5	18	18	18
28-Ene-98	18	18	18	18
29-Ene-98	18	18	18	18
30-Ene-98	18.3	18.3	18.3	18.3
2-Feb-98	17.6	17	17	17
3-Feb-98	18	18	18	18
4-Feb-98	17.5	17.5	17.5	17.5
6-Feb-98	16.5	16.5	16.5	16.5
9-Feb-98	17	16.5	16.5	16.5
10-Feb-98	17.5	17.5	17.5	17.5
11-Feb-98	17.5	17.5	17.5	17.5
12-Feb-98	18	18	18	18
13-Feb-98	18.3	18.3	18.3	18.3
16-Feb-98	18.5	18.5	18.5	18.5
17-Feb-98	17.5	17.5	17.5	17.5
18-Feb-98	16	16	16	16
19-Feb-98	16.5	16.5	16.5	16.5
20-Feb-98	17.5	17.5	17.5	17.5
21-Feb-98	17	17	17	17
23-Feb-98	18	18	18	18

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 4

TABLA DE DATOS DE TEMPERATURA

FECHA	C1	C2	C3	C4
24-Feb-98	16.5	16.5	16.5	16.5
25-Feb-98	16.5	16.5	16.5	16.5
26-Feb-98	17	17	17	17
27-Feb-98	16	16	16	16
2-Mar-98	16.5	16.5	16.5	16.5
4-Mar-98	16.5	16.5	16.5	16.5
5-Mar-98	16	16	16	16
6-Feb-98	16.5	16.5	16.5	16.5
9-Mar-98	16	16	16	16
10-Mar-98	17	17.6	17.6	17.6
11-Mar-98	17	17	17	17
12-Mar-98	16.5	16.5	16.5	16.5
13-Mar-98	16.5	16.5	16.5	16.5
16-Mar-98	17	17.2	17.2	17.2
17-Mar-98	17	17	17	17
18-Mar-98	16.5	16.5	16.5	16.5
19-Mar-98	17.5	17.5	17.5	17.5
20-Mar-98	17	17	17	17
23-Mar-98	17	17.3	17.3	17.3
20-Mar-98	17	17	17	17
23-Mar-98	17.5	17.5	17.5	17.5
24-Mar-98	16.5	17	17	17
25-Mar-98	16.5	16.5	16.5	16.5
26-Mar-98	17	17	17	17
27-Mar-98	17	17	17	17
30-Mar-98	17.5	17.5	17.5	17.5
31-Mar-98	17	17.5	17.5	17.5
1-Abr-98	15.5	15.8	15.8	15.8
2-Abr-98	16.5	16.5	16.5	16.5
3-Abr-98	16.5	16.5	16.5	16.5
6-Abr-98	16.5	16.5	16.5	16.5
7-Abr-98	16	16	16	16
8/04/98	17	17	17	17

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 5

**TABLA DE DATOS DE DQO SOLUBLE PARA EL REACTOR BIOLÓGICO DE NEJAYOTE
 DE MOLINOS DE NIXTAMAL**

FECHA	NEJAYOTE SIN CA2+	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4	EFLUENTE	%Re
18/11/98	40,239.42	4639.17	4798.14	4312.18	4267.98	4219.18	4001.12	13
20/11/97	40,240.42	4347.52	4312.13	4212.98	4299.71	4004.1	3979.4	8.45
22/11/97	40,239.42	4719.85	4741.09	4698.71	4519.88	4038.2	3997.7	15.3
8/12/97	36,319.72	4854.93	4755.92	4519.42	4502.02	4219.23	4200.91	13
10/12/97	36,319.72	4749.73	4699.72	4603.97	4419.12	4293.22	4277.4	11
12/12/97	36,319.72	5247.97	5010.41	4989.62	4912.92	4872.13	4802.29	9
15/12/97	38,041.41	5354.09	5123.89	5009.87	4987.89	4919.78	4879.76	8.85
17/12/97	38,042.41	5697.56	5519.66	5419.98	5392.72	5312	5219.4	6
19/12/97	38,043.41	5392.02	5313.12	5291.72	5184.89	4819.2	4892.1	9
22/12/97	38,044.41	5673.67	5492.19	5371.92	5239.12	5241.03	5001.2	9
24/12/97	36,739.15	6423.98	6345.98	6245.9	5980.76	5899.76	5768.45	10.19
29/12/97	36,739.15	5002.19	4812.34	4721.39	4686.43	4588.8	4415.76	10
31/12/97	36,739.15	5694.79	5393.41	5129.3	5193.03	4981.6	4816.16	15
1/1/98	36,739.15	5791.65	5500.03	5213.88	5001.43	4817.67	4800.96	17
3/1/98	36,740.15	5543.99	5693.12	5493.94	5397.36	5219.9	4812.3	16
6/1/98	39,142.00	5141.03	5012.97	4799.24	4732.12	4697.12	4633.9	16
8/1/98	39,143.00	5312.93	4919.46	4718.33	4693.92	4612.3	4544.9	11
10/1/98	39,144.00	5889.44	4955.56	4693	4319.52	4209.8	4000.81	24
13/1/98	39,145.00	5990.55	5489.89	5176.9	4597.44	4488.7	4312.7	26
17/1/98	39,146.00	5596.77	5291.13	4823.19	4679.67	4456.78	4287.98	25
20/1/98	41,332.17	5900.97	5193.43	5072.41	4521.16	4319.8	4298.3	24
22/1/98	41,332.17	6321.19	5319.44	4912.81	4799.7	4630.2	4519.4	24
24/1/98	41,332.17	6233.97	5574.93	5219.84	4755.6	4693.2	4633.1	26
27/1/98	41,332.17	5841.47	5319.49	5001.77	4836.34	4798.3	4701.7	24
30/1/98	41,332.17	5678.54	5342.45	4879.65	4793.91	4494.8	4491.3	24
2/2/98	41,332.17	5241.33	4931.45	4823.12	4731.24	3972.21	3890.76	25
5/2/98	33,147.12	5849.83	5617.1	5321.14	5121.47	4021.97	3916.01	24
7/2/98	33,148.12	5887.76	5543.21	5191.41	4878.9	4676.54	4022.13	31
9/2/98	33,149.12	5939.4	5791.4	5531.79	5301.76	4479.52	4236.98	28
12/2/98	33,150.12	5323.26	5219.71	5191.41	4879.36	3879.41	4219.79	27
14/2/98	33,151.12	6032.41	5636.27	4817.21	4723.16	4021.12	3771.52	27
17/2/98	33,152.12	5876.21	5432.12	5098.78	4879.09	4678.98	3869.12	35
20/1/98	33,153.12	5321.23	5231.4	4916.21	4471.93	4124.1	3998.78	24

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 5

**TABLA DE DATOS DE DQO PARA EL REACTOR BIOLÓGICO DE NEJAYOTE
DE MOLINOS DENIXTAMAL CONT.....**

FECHA	NEJAYOTE SIN CA2+	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4	EFLUENTE	%Re
23-Feb-98	38,412.01	5876.91	5391.42	#####	4819.3	4241.92	4041.18	25
26-Feb-98	38,413.01	4978.09	4687.45	4321.65	4254.76	4134.67	4009.89	30
28-Feb-98	38,414.01	6754.43	6321.78	5998.76	5798.54	5576.98	5399.87	24
2-Mar-98	38,415.01	6032.93	5931.43	5636.4	5349.6	4816.21	4324.9	27
3-Mar-98	38,416.01	6324.45	5724.93	5494.51	4981.4	4619.21	4491.2	27
5-Mar-98	32341.95	6421.24	5431.42	5003.21	4321.12	3871.2	3861.24	39
7-Mar-98	32341.95	6241.41	5241.97	4871.21	4109.21	3714.21	3649.11	41
10-Mar-98	32341.95	6393	5149.87	4721.16	3927.51	3541.3	3549.21	44
12-Mar-98	32341.95	5941.24	5239.49	4832.83	3743.47	3102.19	3116.24	47
14-Mar-98	32341.95	6244.98	5341.24	4791.18	3641.41	3246.66	3001.24	51
17-Mar-98	32341.95	5933.96	5789.19	4833.94	3849.79	3426.24	3293.42	44
19-Mar-98	32341.95	6549.24	5043.24	4793.21	3643.41	3004.34	2941.24	55
21-Mar-98	32341.95	6149.24	4879.56	4009.97	3099.41	2149.21	2193.41	64
24-Mar-98	32341.95	6,389	4219.22	3741.2	2879.21	2191.2	2001.90	68
26-Mar-98	32341.95	6221.01	4724.99	3641.21	2931.21	2091.21	1941.29	68
28-Mar-98	32341.95	6049.24	4341.40	3441.21	2643.21	1841.41	1861.32	69
30-Mar-98	36293.41	6,121,331	4241.72	3243.41	2124.36	1741.36	1809.41	70
7-Abr-98	36293.41	5876.43	4434.55	3149.21	2383.19	1879.12	1841.93	68
9-Abr-98	25192.29	7237.24	5357.14	4761.90	3492.06	2936.50	2698.31	62
15-Abr-98	21268.65	5724.95	50091.13	4621.12	3941.26	30091	2641.36	53
18-Abr-98	21268.65	5476.18	4930.41	4031.27	3371.2	2871.4	2709.2	55
23-Abr-98	33976.77	5876.86	5376.39	5176.16	5021.18	4474.26	4,877,312	16.8

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 5

DATOS DE DOO PARA LA ALIMENTACIÓN

DÍAS	ALIMENTACIÓN	DÍAS	ALIMENTACIÓN
1	4639.17	59	5323.26
3	4347.52	61	6032.41
5	4719.85	63	5876.21
7	4854.93	65	5321.23
9	4749.73	67	5876.91
11	5247.97	69	4978.09
13	5354.09	71	6754.43
15	5697.56	73	6032.93
17	5392.02	75	6324.45
19	5673.67	75	6421.24
21	6423.98	77	6241.41
23	5002.19	79	6393
25	5694.79	81	5941.24
27	5791.65	83	6244.98
29	5543.99	85	5933.96
31	5141.03	87	6549.24
33	5312.93	89	6149.24
35	5889.44	91	6389.331
37	5990.55	93	6221.01
39	5596.77	97	6049.24
41	5900.97	99	6121.331
43	6321.19	101	5876.43
45	6233.97	103	7237.24
47	5841.47	105	5724.95
49	5678.54	107	5476.18
51	5241.33		
53	5849.83		
55	5887.76		
57	5939.4		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 5

DATOS DE DQO PARA LA CÁMARA UNO

DÍAS	C1	DÍAS	C1
1	4798.14	55	5543.21
3	4312.13	57	5791.4
5	4741.09	59	5219.71
7	4755.92	61	5636.27
9	4699.72	63	5432.12
11	5010.41	65	5231.4
13	5123.89	67	5391.42
15	5519.66	69	4687.45
17	5313.12	71	6321.78
19	5492.19	73	5931.43
21	6345.98	75	5724.93
23	4812.34	77	5431.42
25	5393.41	79	5241.97
27	5500.03	81	5149.87
29	5693.12	83	5239.49
31	5012.97	85	5341.24
33	4919.46	87	5789.19
35	4955.56	89	5043.24
37	5489.89	91	4879.56
39	5291.13	93	4219.22
41	5193.43	95	4724.99
43	5319.44	97	4341.4
45	5574.93	99	4241.72
47	5319.49	101	4434.55
49	5342.45	103	5357.14
51	4931.45	105	5091.13
53	5817.1	107	4930.14

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 5

DATOS DE DQO PARA LA CÁMARA DOS

DÍAS	C2	DÍAS	C2
1	4312.18	51	4823.12
3	4212.98	53	5321.14
5	4698.71	55	5191.41
7	4519.42	57	5531.79
9	4603.97	59	5191.41
11	4989.62	61	4817.21
13	5009.87	63	5098.78
15	5419.98	65	4916.21
17	5291.72	67	5,097.55
19	5371.92	69	4321.65
21	6245.9	71	5998.76
23	4721.39	73	5636.4
25	5129.3	75	5494.51
27	5213.88	77	5003
29	5493.94	79	4871.21
31	4799.24	81	4721.9
33	4718.33	83	4832
35	4693	85	4791
37	5176.9	87	4833
39	4823.19	89	4793
41	5072.41	91	4009
43	4912.81	93	3741.2
45	5219.84	95	3641.21
47	5001.77	97	3441.87
49	4879.65	99	3243.76
51	4823.12	101	3149.21
		103	4761.9
		105	4621.56
		107	4031.78

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 5

DATOS DE DQO PARA LA CÁMARA TRES

DÍAS	C3	DÍAS	C3
1	4267.98	63	4879.09
3	4299.71	65	4471.93
5	4519.88	67	4819.3
7	4502.02	69	4254.76
9	4419.12	71	5787.56
11	4912.92	73	5346.98
13	4987.89	75	4976.99
15	5392.72	77	4321.15
17	5184.89	79	4089.76
19	5239.12	81	3957.34
21	5980.76	83	3743.67
23	4686.43	85	3641.34
25	5193.03	87	3849.79
27	5001.43	89	3643.45
29	5397.36	91	3099.87
31	4732.12	93	2879.21
33	4693.92	95	2931.21
35	4319.52	97	2643.21
37	4597.44	99	2124.36
39	4679.67	101	2383.29
41	4521.16	103	3492.7
43	4799.7	105	3941.26
45	4755.6	107	3371.2
47	4836.34		
49	4793.91		
51	4731.24		
53	5121.47		
55	4878.9		
57	5301.76		
59	4879.36		
61	4723.16		

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 5

DATOS DE DQO PARA LA CÁMARA CUATRO

DÍAS	C4	DÍAS	C4
1	4219.18	61	4021.12
3	4004.1	63	4678.98
5	4038.2	65	4124.1
7	4219.23	67	4241.92
9	4293.22	69	4134.67
11	4872.13	71	5576.98
13	4919.78	73	4816.21
15	5312	75	4619.78
17	4819.2	77	3871.2
19	5241.03	79	3714.21
21	5899.76	81	3541.3
23	4588.8	83	3102.19
25	4981.6	85	3266.46
27	4817.67	87	3426.24
29	5219.9	89	3004.34
31	4697.12	91	2149.21
33	4612.3	93	2191.2
35	4209.8	95	2091.21
37	4488.7	97	1841.41
39	4456.78	99	1741.36
41	4319.8	101	1879.12
43	4630.2	103	2936.5
45	4693.2	105	3009.1
47	4798.3	107	2781.4
49	4494.8		
51	3972.21		
53	4021.97		
55	4676.54		
57	4479.52		
59	3879.41		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 5

**DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE
DEL REACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO.**

DÍAS	ALIMENTACIÓN (mg/l)	C1 (mg/l)	C2 (mg/l)	C3 (mg/l)	C4 (mg/l)	EFLUENTE (mg/l)	%Re
1	4639.17	4798.14	4312	4267.98	4219.18	4001.12	13
3	4347.52	4312.13	4213	4299.71	4004.1	3979.4	8.45
5	4719.85	4741.09	4699	4519.88	4038.2	3997.7	15.3
7	4854.93	4755.92	4519	4502.02	4219.23	4200.91	13
9	4749.73	4699.72	4604	4419.12	4293.22	4277.4	11
11	5247.97	5010.41	4990	4912.92	4872.13	4802.29	9
13	5354.09	5123.89	5010	4987.89	4919.78	4879.76	8.85
15	5697.56	5519.66	5420	5392.72	5312	5219.4	6
17	5392.02	5313.12	5292	5184.89	4819.2	4892.1	9
19	5673.67	5492.19	5372	5239.12	5241.03	5001.2	9
21	6423.98	6345.98	6246	5980.76	5899.76	5768.45	10.19
23	5002.19	4812.34	4721	4686.43	4588.8	4415.76	10
25	5694.79	5393.41	5129	5193.03	4981.6	4816.16	15
27	5791.65	5500.03	5214	5001.43	4817.67	4800.96	17
29	5543.99	5693.12	5494	5397.36	5219.9	4812.3	16
31	5141.03	5012.97	4799	4732.12	4697.12	4633.9	16
33	5312.93	4919.46	4718	4693.92	4612.3	4544.9	11
35	5889.44	4955.56	4693	4319.52	4209.8	4000.81	24
37	5990.55	5489.89	5177	4597.44	4488.7	4312.7	26
39	5596.77	5291.13	4823	4679.67	4456.78	4287.98	25
41	5900.97	5193.43	5072	4521.16	4319.8	4298.3	24
43	6321.19	5319.44	4913	4799.7	4630.2	4519.4	24
45	6233.97	5574.93	5220	4755.6	4693.2	4633.1	26
47	5841.47	5319.49	5002	4836.34	4798.3	4701.7	24
49	5678.54	5342.45	4880	4793.91	4494.8	4491.3	24
51	5241.33	4931.45	4823	4731.24	3972.21	3890.76	25
53	5849.83	5617.1	5321	5121.47	4021.97	3916.01	24
55	5887.76	5543.21	5191	4878.9	4676.54	4022.13	31
57	5939.4	5791.4	5532	5301.76	4479.52	4236.98	28
59	5323.26	5219.71	5191	4879.36	3879.41	4219.79	27
61	6032.41	5636.27	4817	4723.16	4021.12	3771.52	27
63	5876.21	5432.12	5099	4879.09	4678.98	3869.12	35
65	5321.23	5231.4	4916	4471.93	4124.1	3998.78	24
67	5876.91	5391.42	###	4819.3	4241.92	4041.18	25
69	4978.09	4687.45	4322	4254.76	4134.67	4009.89	30
71	6754.43	6321.78	5999	5787.56	5576.98	5399.87	24
73	6032.93	5931.43	5636	5346.98	4816.21	4324.9	27
75	6324.45	5724.93	5495	4976.99	4619.78	4491.2	27
77	6421.24	5431.42	5003	4321.15	3871.2	3861.24	39
79	6241.41	5241.97	4871	4089.76	3714.21	3649.11	41
81	6393	5149.87	4722	3957.34	3541.3	3549.21	44

**DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE
 DEL REACTOR BIOLÓGICO ROTATORIO.
 (CONT.....)**

DÍAS	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4	EFLUENTE	%R _o
83	5941.24	5239.49	4832	3743.67	3102.19	3116.56	47
85	6244.98	5341.24	4791	3641.34	3266.46	3001.24	51
87	5933.96	5789.19	4833	3849.79	3426.24	3293.76	44
89	6549.24	5043.24	4793	3643.45	3004.34	2941.24	55
91	6149.24	4879.56	4009	3099.87	2149.21	2193.41	64
93	6389.331	4219.22	3741	2879.21	2191.2	2001.9	68
95	6221.01	4724.99	3641	2931.21	2091.21	1941.29	68
97	6049.24	4341.4	3442	2643.21	1841.41	1861.32	69
99	6121.331	4241.72	3244	2124.36	1741.36	1809.41	70
101	5876.43	4434.55	3149	2383.29	1879.12	1841.93	68
103	7237.24	5357.14	4762	3492.7	2936.5	2698.31	62
105	5724.95	5091.13	4622	3941.26	3009.1	2641.35	53
107	5476.18	4930.14	4032	3371.2	2781.4	2079.2	55

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 5

DATOS DE REMOCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA MEDIDA COMO DQO SOLUBLE

DÍAS	%Re	DÍAS	%Re
1	13	65	24
3	8.45	67	25
5	15.3	69	30
7	13	71	24
9	11	73	27
11	9	75	27
13	8.85	77	39
15	6	79	41
17	9	81	44
19	9	83	47
21	10.19	85	51
23	10	87	44
25	15	89	55
27	17	91	64
29	16	93	68
31	16	95	68
33	11	97	69
35	24	99	70
37	26	101	68
39	25	103	62
41	24	105	53
43	24	107	55
45	26		
47	24		
49	24		
51	25		
53	24		
55	31		
57	28		
59	27		
61	27		
63	35		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
 Facultad de Química
APÉNDICE 5

TABLA DE DATOS PARA LOS SÓLIDOS TOTALES

DÍAS	C1	C2	C3	C4	EFLUENTE
1	7430	7639	7819	7900	7950
3	7312	7741	7793	7819	7919
5	7241	7812	7745	7750	7841
7	7194	7641	7703	7671	7719
9	7131	7729	7612	7589	7714
11	7041	7519	7531	7549	7619
13	7003	7375	7471	7521	7521
15	6943	7309	7398	7490	7500
17	6814	7109	7400	7434	7490
19	6713	7000	7390	7410	7510
21	6613	7039	7140	7400	7454
23	6519	7097	7300	7410	7510
25	6500	7141	7299	7493	7624
27	6479	7179	7129	7524	7773
29	6510	7219	7314	7700	7800
31	6534	7241	7411	7719	7820
33	6479	7250	7393	7600	7717
35	6491	7239	7403	7540	7700
37	6421	7203	7398	7310	7640
39	6453	7114	7353	7294	7600
41	6321	7091	7303	7153	7100
43	6319	7077	7297	7023	7391
45	6410	7043	7412	7291	7410
47	6395	7000	7481	7310	7440
49	6377	6930	7521	7340	7830
51	6300	6783	7572	7721	7750
53	6312	6721	7621	7641	7835
55	6396	6621	7603	7721	7800
57	6421	6500	7581	7728	7828
59	6436	6521	7512	7654	7854
61	6471	6539	7471	7613	7713
63	6500	6548	7413	7591	7719
65	6341	6612	7321	7428	7540
67	6489	6579	7210	7300	7510
69	6512	6600	7000	7300	7500
71	6571	6580	5941	6571	6580
73	6593	6610	6019	6593	6610
75	6612	6641	6150	6612	6641
77	6621	6693	6230	6621	6693
79	6649	6721	6309	6649	6721
81	6653	6753	6398	6653	6753
83	6671	6789	6477	6671	6789
85	6693	6803	6571	6693	6803
87	6700	6821	6600	6700	6821
89	6712	6836	6611	6712	6836

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 5

TABLA DE DATOS PARA LOS SÓLIDOS TOTALES(CONT.)

DÍAS	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4	EFLUENTE
91	6593	6721	6891	6593	6721	6891
93	6576	6741	6921	6576	6741	6921
95	6512	6750	6953	6512	6750	6953
97	6600	6761	7000	6600	6761	7000
99	6612	6770	6919	6612	6770	6919
101	6521	6550	6883	6521	6550	6883
103	6500	6600	6744	6500	6600	6744

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 6

CONTENIDO DE CALCIO EN EL SISTEMA

FECHA	ALIMENTACIÓN	C1	C2	C3	C4	SEDIMENTADOR
22/10/97	41.2	41.9	36.2	31.2	30.8	35.5
24/10/97	32.5	39.8	35.4	31.4	30.7	38.6
31/10/97	36.6	14.7	11.7	17.2	19.2	20.8
3/11/97	13.3	11.5	6.4	8.4	7.2	37
6/11/97	25.5	23	40	7.4	13.4	148
11/11/97	52	37.2	13.5	10.9	7.6	240
14/11/97	37	19.8	12.4	6.9	7.3	260
17/11/97	52	5.2	5.4	4.2	4.5	152
19/11/97	31.4	18.5	10.5	7	5.8	35
21/11/97	44	2.5	8.2	6.2	5.2	56
24/11/97	30.2	16.5	8.3	4.6	5.45	48
26/11/97	45	24	15	9.4	5.4	67
1/12/97	25	19.8	11	8.5	9.7	42
3/12/97	40	21.8	14.7	6.1	8.8	6
5/12/97	85	19	10	6.8	7.2	10
8/12/97	34	13.9	7.5	7.9	5.6	25
10/12/97	122	9.4	5.2	4.6	5	35
15/12/97	36	30	25.5	23	17.2	41
18/12/97	27	22.4	34	16	15	40
23/12/97	33	22	17.2	9.9	13	56
31/12/97	100	26	24	12	12.4	14
5/01/98	110	17.6	14	9.1	10.3	23.5
21/01/98	55.5	185	95	56	50	54
27/01/98	66	94	74	35	42	66.6
3/02/98	185	105	81	52	48	150
9/02/98	170	84	82	36.2	47	81
13/02/98	84	157	66	46	42	70

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 7

**Tabla de datos de los resultados del analizador
para muestras sólidas**

DATOS DEL ANALISADOR ELEMENTAL MUESTRAS SÓLIDAS				
7/11/97	% N2	% C	% H	% S
ALIMENTACIÓN	2.9625	35.4015	4.8355	0
CÁMARA 1	2.6835	38.1575	4.8455	0
CÁMARA 2	1.97	30.607	3.861	0
CÁMARA 3	2.854	23.2445	2.7585	0
CÁMARA 4	1.705	24.529	2.8175	0
SEDIMENTADO	2.37	27.6255	3.4105	0

DATOS DEL ANALISADOR ELEMENTAL MUESTRAS SÓLIDAS				
14/11/97	% N2	% C	% H	% S
ALIMENTACIÓN	0.582543	19.5266	3.12317	0
CÁMARA 1	3.9077	60.7269	7.6628	0
CÁMARA 2	1.594	27.3385	4.067	0
CÁMARA 3	2.179083	39.30152	5.7702	0
CÁMARA 4	1.502904	36.34946	5.81649	0
SEDIMENTADO	1.128411	34.40819	5.326286	0

DATOS DEL ANALISADOR ELEMENTAL MUESTRAS SÓLIDAS				
24/11/97	% N2	% C	% H	% S
ALIMENTACIÓN	0.568964	17.249	0.172315	0
CÁMARA 1	1.314564	15.9377	0	0
CÁMARA 2	1.97214	26.11265	0.1699	0
CÁMARA 3	0.747145	11.2466	0.74628	0
CÁMARA 4	0.973159	17.10559	0	0
SEDIMENTADO	0.927276	12.6558	0	0

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 7

Tabla de datos de los resultados del analizador
para muestras sólidas

DATOS DEL ANALISADOR ELEMENTAL MUESTRAS SÓLIDAS				
26/11/97	% N2	% C	% H	% S
ALIMENTACIÓN	0.568465	17.249	0.1723156	0
CÁMARA 1	1.314564	15.939855	0	0
CÁMARA 2	1.97214	26.11265	0.169932	0
CÁMARA 3	0.747145	11.24668	0.09577	0
CÁMARA 4	1.854467	26.86925	0.171063	0
SEDIMENTADO	0.927276	12.66318	0	0

DATOS DEL ANALISADOR ELEMENTAL MUESTRAS SÓLIDAS				
28/11/97	% N2	% C	% H	% S
ALIMENTACIÓN	0.828	28.407	4.474	0
CÁMARA 1	2.4835	34.272	4.581	0
CÁMARA 2	1.7105	25.019	3.0905	0
CÁMARA 3	1.427	20.8015	2.5515	0
CÁMARA 4	1.162	18.981	2.1195	0
SEDIMENTADO	0.799	24.41	3.802	0

DATOS DEL ANALISADOR ELEMENTAL MUESTRAS SÓLIDAS				
13/02/98	% N2	% C	% H	% S
ALIMENTACIÓN	1.2988805	35.868475	4.699391	0
CÁMARA 1	1.364737	31.207465	4.058281	0
CÁMARA 2	2.7167255	35.268435	4.74685	0
CÁMARA 3	1.0231243	26.30351	3.388608	0
CÁMARA 4	1.9110735	32.308135	4.3857015	0
SEDIMENTADO	0.402009	22.459	2.7388785	0

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 7

Tabla de datos de los resultados del analizador
para muestras líquidas

DATOS DEL ANALIZADOR ELEMENTAL MUESTRAS LIQUIDAS				
11/11/97	% N2	% C	% H	% S
ALIMENTACIÓN	0.08961	0.099556	0	0
CÁMARA 1	0.1216	0.05242	0	0
CÁMARA 2	0.16929	0.054458	0	0.00E+00
CÁMARA 3	0.53199	0.087192	0.0029234	0
CÁMARA 4	0.299696	0.05814	0.000316	0
SEDIMENTADO	0.419719	0.065434	0	0

DATOS DEL ANALIZADOR ELEMENTAL MUESTRAS LIQUIDAS				
21/11/97	% N2	% C	% H	% S
ALIMENTACIÓN	0.069307	0.04489	0.0739696	0
CÁMARA 1	0.0861	0.055815	0.09191	0
CÁMARA 2	0.0913	0.10535	0.09775	0
CÁMARA 3	0.07807	0.064691	0.07361	0
CÁMARA 4	0.075209	0.05445	0	0
SEDIMENTADO	0.08672	7.84E-02	0	0

DATOS DEL ANALIZADOR ELEMENTAL MUESTRAS LIQUIDAS				
28/11/97	% N2	% C	% H	% S
ALIMENTACIÓN	0.828	28.407	4.474	0
CÁMARA 1	2.4835	34.272	4.581	0
CÁMARA 2	1.7105	25.019	3.0905	0
CÁMARA 3	1.427	20.8015	2.5515	0
CÁMARA 4	1.162	18.981	2.1195	0
SEDIMENTADO	0.799	24.41	3.802	0

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
Facultad de Química
APÉNDICE 7

Tabla de datos de los resultados del analizador
para muestras líquidas

DATOS DEL ANALIZADOR ELEMENTAL MUESTRAS LIQUIDAS				
12/12/97	% N2	% C	% H	% S
ALIMENTACIÓN	0.2420608	0.1718018	0.374624	0
CÁMARA 1	0.561857	0.1701424	1.28287	0
CÁMARA 2	0.563387	0.21923	1.85367	0
CÁMARA 3	0.341168	0.146209	1.744167	0
CÁMARA 4	0.486023	0.2194883	4.0767065	0
SEDIMENTADO	0.285486	0.1601934	2.893373	0

DATOS DEL ANALIZADOR ELEMENTAL MUESTRAS LIQUIDAS				
22/01/98	% N2	% C	% H	% S
NEJA CRUDO	0.13568367	0.12484132	0.0488746	0
ALIMENTACIÓN	0.0696535	0.07108765	0.0476578	0
CÁMARA 1	0.04199112	0.0688766	0.04161339	0
CÁMARA 2	0.03119843	0.0704348	0.04310303	0
CÁMARA 3	0.03144264	0.08575019	0.0466875	0
CÁMARA 4	0.0196509	0.0588049	0.0384799	0

DATOS DEL ANALIZADOR ELEMENTAL MUESTRAS LIQUIDAS				
29/01/98	% N2	% C	% H	% S
NEJA CRUDO	0	0.01208945	0.03473178	0.0871032
ALIMENTACIÓN	0	0.01078773	0.03099569	0.07736676
CÁMARA 1	0	0.01044845	0.0313849	0.07834735
CÁMARA 2	0	0.01114819	0.03207766	0.0799519
CÁMARA 3	0	0.01096835	0.031511	0.0786621
CÁMARA 4	0	0.08411572	0.02416563	0.0603255