

2002-A a 2006-B

E00041068

---

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

---

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y  
AGROPECUARIAS**

**DIVSIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES**



**“REMOCIÓN DE NITRÓGENO AMONIAICAL EN SISTEMAS  
ACUOSOS CON BAGAZO DE CAÑA: UN ENFOQUE ACUÍCOLA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN MODALIDAD**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO  
DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

**PRESENTA**

**NAYELI LEYVA REYES**

**TESIS/CUCBA**

**ZAPOPAN, JALISCO, ENERO DE 2008**



**Universidad de Guadalajara**

**Centro Universitario de Ciencias Biológicas y  
Agropecuarias**

*Coordinación de Titulación y Carrera de Licenciatura  
en Biología*

1125/ C. C. BIOLOGÍA

**C. NAYELI LEYVA REYES  
PRESENTE**

Manifestamos a usted que con esta fecha ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de: **Tesis e Informes** opción **Tesis** con el título: **"Remoción de nitrógeno amoniacal en sistemas acuosos con bagazo de caña: un enfoque acuícola"** para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos que ha sido aceptado como Director / a de dicho trabajo el/la: **M en C. JESUS ANGEL ANDRADE ORTEGA** y el asesor/es es el/la:

Sin más por el momento, le envío un caluroso saludo.

**ATENTAMENTE  
"PIENSA Y TRABAJA"**

Las Agujas, Zapopan., 24 de Mayo del 2007.

**DR. FRANCISCO MARTÍN HUERTA MARTÍNEZ  
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**



COORDINACIÓN DE TITULACIÓN Y CARRERA DE LICENCIATURA EN BIOLÓGIA

**M en C. GLORIA PARADA BARRERA  
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN**

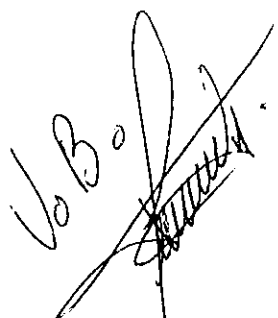
**Dr. Francisco Martín Huerta Martínez.**  
**Presidente del Comité de Titulación.**  
**Licenciatura en Biología.**  
**CUCBA.**  
**Presente**




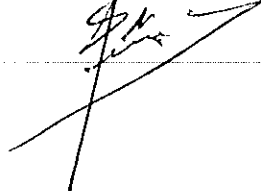
Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad Tesis e Informes opción Tesis con el título: **“Remoción de nitrógeno amoniacal en sistemas acuosos con bagazo de caña: un enfoque acuícola”** que realizó el/la pasante **Nayeli Leyva Reyes** con número de código **E00041068** consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

**ATENTEMENTE**  
**Las Agujas, Zapopan, Jal. 12 de diciembre de 2007**

  
**M. en C. Jesús Angel Andrade Ortega**  
**Director del trabajo**



Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
Dr. Javier García Velasco		17/Dic/07
M. en C. Aurora Rosas Ramírez		13/Dic/07
M. en C. Conrado Soto Velasco		13/Dic/07
Supl. Biol. Sergio Alvarez Barajas		16-Dic-07

**Dr. Francisco Martín Huerta Martínez**  
**Presidente del Comité de Titulación**  
**Licenciatura en Biología**  
**CUCBA**  
**Presente**


Por este conducto le saludamos y aprovechamos la presente para solicitar a Usted lo siguiente:

En vista de que en fechas próximas la **C. NAYELI LEYVA REYES**, Código **E00041068**; pasante de la carrera de Licenciado en Biología, pretende defender su trabajo de tesis para obtener el grado correspondiente, necesitamos realizar la impresión del trabajo en cuestión.

El trabajo de tesis contiene gráficas y diagramas que de imprimirse a un tamaño menor al carta demeritaría la calidad y se perderían los detalles de los elementos mencionados; por esa razón solicitamos a **Usted** nos permita realizar la impresión de la tesis a tamaño carta.

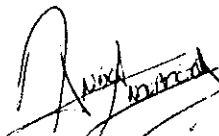
En espera de contar con una respuesta favorable a esta solicitud, quedamos de **Usted** a sus apreciables órdenes.

**ATENTAMENTE**  
**“Piensa y Trabaja”**  
**Zapopan Jalisco, 12 de diciembre de 2007**

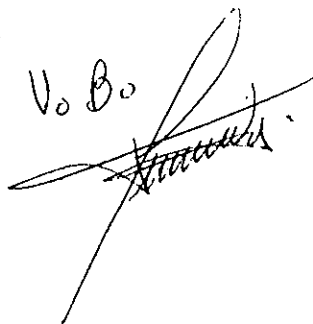


Nayeli Leyva Reyes  
Tesisista

Vo.Bo.



M. en C. Jesús Ángel Andrade Ortega  
Director de la tesis

Vo.Bo.  


# *AGRADEDECIMIENTOS*

A LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

AL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y  
AGROPECUARIAS

AL DEPARTAMENTO DE MADERA, CELULOSA Y PAPEL

**En especial:**

**Al M. en C. Jesús Angel Andrade Ortega; por su invaluable confianza y apoyo para emprender el viaje hacia el maravilloso mundo de la investigación.**

**A la colaboración de:**

I. Q. Carlos Alberto Ramírez Barragán

M. en C. Luis Ramón Bravo García

Dr. Higinio Regla Vázquez

Dr. Ezequiel Delgado Fornué

Q.T.I. Angélica Mercedes Iturria Luna

Q.F.B. María de Lourdes Arellano Sandoval

A los estudiantes prestadores de servicio: Laura Janin Muñoz Islas, Juan Manuel Villa Mejía, Francisco Zamora Galván, Griselda Rosas Isabeles y Adreissa Lizette Páez Michel.

Al Dr. Javier García Velasco y al Dr. Eduardo Juárez Carrillo; por sus valioso apoyo y accesibilidad.

A mis maestros y amigos.

## ***DEDICATORIA***

***A mi familia y seres queridos por que a través de sus mantras han conseguido que el universo conspire a mi favor...***

A mi madre Marilú Leyva; por su fortaleza y espíritu de lucha

A mis abuelos, Hilda Reyes Lara y Francisco Leyva Martínez; por que sembraron en mí la semilla de la actitud y perseverancia.

A mis tíos, Rosalinda Leyva Sánchez y Conrado Romero Miranda; por ser el arco que me ha proyectado, de modo que la flecha vuela gran distancia.

A mis primos, Ingrid Geraldine, Juan Ignacio y Conrado; por su confianza, su apoyo y principalmente por su espíritu de compartir.

*La hermana agua*

*El vapor es el alma del agua, hermano mío,  
así como sonrisa del agua es el rocío,  
y el lago sus miradas y su pensar la fuente;  
sus lágrimas, la lluvia; su impaciencia, el torrente,  
y sus ríos sus brazos; su cuerpo, la llanada  
sin coto de los mares, y las olas, sus senos,  
y sus cabellos de oro líquido, la cascada.*

*Amado Nervo*

***“REMOCIÓN DE NITRÓGENO AMONiacAL EN  
SISTEMAS ACUOSOS CON BAGAZO DE CAÑA: UN  
ENFOQUE ACUÍCOLA”***

***POR***

***NAYELI LEYVA REYES***

***ZAPOPAN, JALISCO. ENERO DE 2008***



# **INDICE**

---

	<b>Página</b>
<b>Capítulo 1.</b>	
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 2.</b>	
<b>Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo 3.</b>	
<b>Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 4.</b>	
<b>Hipótesis.....</b>	<b>5</b>
<b>Capítulo 5.</b>	
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>6</b>
<b>5.1- Acuicultura.....</b>	<b>6</b>
<b>5.1.1- Calidad del agua.....</b>	<b>6</b>
<b>5.1.2- Contaminación en los</b>	
<b>sistemas acuícolas.....</b>	<b>7</b>
<b>5.1.2.1- Contaminación por amonio.....</b>	<b>7</b>
<b>5.1.3- Tratamientos para descontaminación.....</b>	<b>9</b>
<b>5.1.3.1- Tratamientos biológicos.....</b>	<b>9</b>
<b>5.1.3.2- Tratamientos químicos.....</b>	<b>11</b>
<b>5.1.3.3-Materiales absorbentes:</b>	
<b>Generalidades.....</b>	<b>11</b>

<b>5.2- El bagazo de caña como absorbente para la remoción de nitrógeno amoniacal.....</b>	<b>16</b>
<b>5.2.1- El Bagazo de caña; un residuo agroindustrial.....</b>	<b>16</b>
<b>5.2.2- Composición física.....</b>	<b>17</b>
<b>5.2.3- Composición morfológica.....</b>	<b>19</b>
<b>5.2.4- Composición química.....</b>	<b>19</b>

## Capítulo 6

<b>Materiales.....</b>	<b>22</b>
<b>6.1- El bagazo de caña.....</b>	<b>22</b>
<b>6.2- Adsorbentes comerciales: Zeolita y carbón activado.....</b>	<b>22</b>
<b>6.3- Reactivos de laboratorio.....</b>	<b>22</b>

## Capítulo 7

<b>Metodología.....</b>	<b>23</b>
<b>7.1- Programa experimental de trabajo.....</b>	<b>23</b>
<b>7.2- Procedimiento.....</b>	<b>24</b>
<b>7.2.1.- Caracterización de la materia prima.....</b>	<b>24</b>
<b>7.2.2.- Tratamientos de activación para el bagazo de caña.....</b>	<b>24</b>
<b>7.2.2.1- Molienda.....</b>	<b>24</b>
<b>7.2.2.2- Lavados.....</b>	<b>25</b>
<b>7.2.3- Tratamiento químico.....</b>	<b>25</b>
<b>7.2.3.1.- Decationización.....</b>	<b>26</b>

8.4.6- Remoción de nitrógeno amoniacal en un sistema acuícola a nivel piloto con bagazo de caña integral.....	50
8.5- Comentarios finales.....	53
8.6- Recomendaciones.....	53

## Capítulo 9

Conclusiones.....	54
-------------------	----

## Capítulo 10

Bibliografía.....	56
-------------------	----

## ***LISTADO DE TABLAS***

---

	<b>Página</b>
<b>Tabla 5.1- Niveles de tolerancia al amonio de alguna especies.....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla 5.2- Ventajas y desventajas de los sistemas de filtración biológica (Con respecto al amonio).....</b>	<b>10</b>
<b>Tabla 5.3- Ventajas y desventajas de los sistemas de filtración química.....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 5.4- Composición física del bagazo de caña en función al peso húmedo.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 5.5- Composición física del bagazo de caña en función al peso seco.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 5.6- Elementos morfológicos de bagazo de cana.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 5.7- Composición química del bagazo de caña.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 5.7- Contenido de metales en la pulpa de bagazo de caña.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 8.1- Clasificación por tamaño de partícula del bagazo de caña.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 8.2- Composición física del bagazo de caña.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 8.4.1- Remoción de nitrógeno amoniacal en mg/l con los materiales comerciales y las fracciones de bagazo de caña.....</b>	<b>48</b>

## **LISTADO DE FIGURAS Y GRÁFICAS**

---

	<b>Página</b>
<b>Figura 5.1- Sistema de filtración biológica.....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 5.2- Sistemas de filtración química.....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 5.3- Ciclo del bagazo de caña.....</b>	<b>17</b>
<b>Diagrama 7.1- Experimentación general.....</b>	<b>23</b>
<b>Gráfica 8.2.1- Absorbancia de las soluciones de la curva de calibración en el rango de 350 a 800nm.....</b>	<b>31</b>
<b>Gráfica 8.2.2- Absorbancia de las soluciones de la curva de calibración en el rango de 500 a 750 nm.....</b>	<b>32</b>
<b>Gráfica 8.2.3- Datos experimentales de absorbancia a 630 nm. Correspondientes a nitrógeno y su regresión lineal.....</b>	<b>33</b>
<b>Gráfica 8.3.1- Remoción de nitrógeno amoniacal por parte de los adsorbentes comerciales en función al tiempo de exposición.....</b>	<b>35</b>
<b>Gráfica 8.4.1- Remoción de nitrógeno amoniacal por parte de la fibra de bagazo de caña.....</b>	<b>38</b>
<b>Gráfica 8.4.2- Remoción de nitrógeno amoniacal por parte de la fracción médula de bagazo de caña.....</b>	<b>40</b>
<b>Gráfica 8.4.3- Remoción de nitrógeno amoniacal por parte del bagazo integral de la caña de azúcar.....</b>	<b>42</b>
<b>Gráfica 8.4.4- Remoción de nitrógeno amoniacal a partir de las fracciones de bagazo de caña con los mejores tratamientos de activación y decationización de la fracción fibra.....</b>	<b>44</b>
<b>Gráfica 8.4.5- Niveles de nitrógeno amoniacal removidos por los adsorbentes comerciales y las fracciones de bagazo caña.....</b>	<b>47</b>
<b>Gráfica 8.4.6- Remoción de nitrógeno amoniacal de aguas sintéticas y provenientes de un sistema acuícola usando como adsorbente al bagazo integral.....</b>	<b>51</b>

## Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

---

El agua es uno de los recursos más abundantes en el planeta, además de ser el precursor de la vida; recientemente la sociedad a nivel mundial ha ponderado la importancia del vital líquido. Como ejemplo podemos mencionar que en el 2006 nuestro país (México) fue la sede del IV Foro Mundial del Agua bajo el lema “**acciones locales para retos globales**”. Comisión Nacional del Agua (2006).

De lo anterior se desprende que el agua -por su omnipresencia- no sólo implica áreas referentes a la ecología y/o medio ambiente, si no que también se constituye como un elemento importante que impulsa el desarrollo de los países.

Sin embargo, la disponibilidad y uso del agua ha sido limitada en estos últimos años por diversos factores, la contaminación es el más destacado.

En el caso particular de los sistemas de producción acuícola, muchos investigadores como; Timmons et al. (2006); Lin et al. (2002); Arredondo y Ponce (1998) y Person et al. (1998) confirman que la calidad del agua es un aspecto fundamental, ya que el líquido representa el medio de crecimiento y supervivencia de los organismos en cultivo.

En nuestro caso particular estamos interesados en el parámetro correspondiente a contaminación por nitrógeno amoniacal, el cual proviene del alimento que se les proporciona a los peces en cultivo, así como de sus excreciones, tal como lo señala Ebeling et al. (2006); Wheaton (1982) y Grommen et al. (2002).

Para garantizar que el agua que se emplea en los cultivos acuáticos este en las condiciones aceptables, se emplean sistemas de tratamiento (también llamados sistemas de filtración) que permiten mantener los parámetros de interés dentro de los estándares óptimos, repercutiendo en un ahorro en el uso del agua.

Básicamente, los sistemas de tratamiento de agua se clasifican en dos grandes grupos: filtración biológica y filtración química, los cuales se expondrán a detalle más adelante.

Lo que es importante exponer ahora, es que estos sistemas presentan aspectos particulares; a partir de los cuales se fundamenta el presente trabajo

de investigación; dichos aspectos son: que los tratamientos a base de filtración biológica son difíciles de mantener por lo que se vuelven costosos, así lo menciona Jorgensen y Weatherley (2002); por otro lado, los sistemas de filtración química representan una opción más económica ya que se emplean materiales inorgánicos, como la zeolita; sin embargo, estos últimos presentan algunas desventajas como los procesos de activación que además de ser costosos de acuerdo a Emadi et al. (2001); Çelik et al. (2001); Nguyen y Tanner (1998); y Miladinovic y Weatherley (2007) llegan a ser fuentes de contaminación y por lo tanto, no son amigables con el medio ambiente.

Para conciliar estos intereses se requiere de un material disponible y de una fuente renovable; económico; que requiera de un tratamiento mínimo de activación; ecológicamente compatible (biodegradable); fácil de aplicar; mínimo mantenimiento y eficiencia aceptable (en particular en la remoción de nitrógeno amoniacal).

Para tal efecto, se propone el uso del bagazo de caña como un material susceptible de ser activado para la remoción de nitrógeno amoniacal en sistemas acuícolas.

## **Capítulo 2            OBJETIVOS**

---

### **OBJETIVO GENERAL**

Investigar el efecto del bagazo de caña como un material para remover nitrógeno amoniacal de medios acuosos.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Caracterizar la materia prima (bagazo de caña, en cuanto a composición física y contenido de humedad).
- Someter a tratamientos de activación al bagazo de caña (molienda, lavado y secado).
- Estandarizar un método para la determinación de nitrógeno amoniacal en agua (Método de la sal de fenol).
- Emplear un sistema de tratamiento para la remoción de nitrógeno amoniacal (lecho fluidizado).
- Determinar la remoción de nitrógeno amoniacal por parte del bagazo de caña.
- Comparar el efecto del bagazo de caña contra materiales comerciales como zeolitas y carbón activado en cuanto a la remoción de nitrógeno amoniacal.
- Probar la capacidad de remoción del bagazo de caña en aguas provenientes de un cultivo intensivo de peces a nivel piloto.



## **Capítulo 3 JUSTIFICACIÓN**

---

Los sistemas de tratamientos biológicos y químicos comúnmente empelados para la remoción de nitrógeno amoniacal en los cultivos acuícolas, presentan características que deben ser sometidas a consideración.

En el caso de los sistemas biológicos es apreciable su compatibilidad con el medio ambiente; pero estos presentan la desventaja de ser sensibles a diversos parámetros involucrados en el proceso de filtración, por lo que, crearlo y mantenerlo es complicado y por lo tanto de un costo considerable.

Por otra parte, los tratamientos químicos son una buena opción; ya que son simples y eficientes en el proceso de remoción de nitrógeno amoniacal, sin embargo, los adsorbentes comúnmente empleados (carbón activado, zeolita y resinas poliméricas) son materiales no biodegradables y también costosos.

De lo anterior surge la inquietud de buscar un material que presente la sinergia de las propiedades de los sistemas biológicos y químicos; es decir, que sea de origen biológico y biodegradable; además que requiera de un tratamiento mínimo de activación; fácil mantenimiento y eficiente en la remoción de nitrógeno amoniacal.

Una posible solución es el uso de residuos agroindustriales como el bagazo de caña; ya que reúne las características deseadas; además, por su naturaleza muestra capacidades de adsorción, quelación e intercambio iónico, las cuales pueden mejorar el desempeño de los sistemas de filtración a bajo costo.

## Capítulo 4

## HIPÓTESIS

---

Para formular la hipótesis a probar en este trabajo de investigación, primeramente se plantean los siguientes postulados.

1- Los sistemas más simples y eficientes para la remoción nitrógeno amoniacal en los sistemas acuosos están basados en materiales adsorbentes (resinas poliméricas, arcillas y carbón activado), los cuales son caros y no biodegradables.

2- Se han reportado características de intercambio iónico, quelación y adsorción por parte del bagazo de caña.

3- El bagazo de caña es un material susceptible de ser modificado (activado) física y químicamente, lo que permite potenciar las capacidades para la remoción de nitrógeno amoniacal.

Partiendo de estos tres postulados se elabora la siguiente HIPÓTESIS:

*El bagazo de caña con un tratamiento de activación (que se pretende sea mínimo) de lavado(s) y térmico; es un material apto para la remoción de nitrógeno amoniacal de sistemas acuosos.*

## **Capítulo 5 MARCO TEÓRICO**

---

### **5.1- ACUICULTURA**

La acuicultura es el arte de cultivar organismos acuáticos bajo condiciones controladas donde su principal objetivo es la comercialización de los productos acuáticos.

En la actualidad Ebeling et al. (2007); Owsley (2000) y Douglas (2000) son algunos de los muchos investigadores que consideran que una de las estrategias en los sistemas acuícolas para mejorar sus costos de producción es incrementando la densidad de los organismos en espacios de cultivo reducidos. Para lograrlo, las técnicas de cultivo han pasado de sistemas de producción extensivos (extensiones grandes de cultivo con baja densidad de peces, con un control mínimo sobre el medio acuático) a sistemas intensivos (estanques pequeños con elevadas densidades de organismos y con estricto control del medio) donde normalmente se emplean sistemas de recirculación de agua.

Las elevadas densidades de población en los cultivos intensivos demandan tecnología para incrementar la calidad del producto. Dentro de este desarrollo se consideran tres aspectos importantes: La calidad del alimento, el cual se caracteriza por presentar un alto contenido de proteína; el acervo genético de las especies en cultivo y la calidad del agua, tema que a continuación se comenta.

#### **5.1.1- Calidad del agua**

La calidad del agua es primordial para garantizar la supervivencia y crecimiento de los organismos en cultivo, ya que el agua es el medio que les proporciona los elementos necesarios para vivir, tales como; el oxígeno, nutrientes, lugar de refugio y es el sitio de excreción de los desechos del cuerpo, Wheaton (1982).

Timmons et al. (2002) y Ebeling et al. (2006) mencionan que los sistemas de recirculación en la acuicultura permiten un buen manejo del medio acuático y el control de los parámetros que determinan la calidad del agua, además de considerarse como sistemas sustentables y amigables con el medio ambiente.

Para evaluar la calidad del agua existen algunos parámetros fundamentales, los cuales se clasifican como: parámetros biológicos y parámetros fisicoquímicos.

Los parámetros biológicos comprenden a los organismos vivos nocivos (bacterias, hongos, virus) presentes en el medio de cultivo.

Mientras que los parámetros fisicoquímicos son generados por factores ambientales, sustancias de origen inorgánico y orgánico. Entre las variables más importantes se encuentran: Oxígeno disuelto, temperatura, pH, amonio, dióxido de carbono, nitritos, sólidos disueltos y alcalinidad.

Las fluctuaciones de los parámetros anteriores dependen de factores ambientales y del manejo del medio de cultivo. Timmons et al. (2002) señalan que los parámetros pueden ser altamente tóxicos cuando las condiciones de otros parámetros se encuentran fuera de los rangos deseados; por ejemplo, la toxicidad del amonio esta gobernado por el pH.

### **5.1.2- Contaminación en los sistemas acuícolas**

Lin et al. (2002); y Arredondo y Ponce (1998) señalan que las fuentes de contaminación que deterioran la calidad del agua en los sistemas de cultivo cerrados (recirculación de agua) provienen principalmente de la entrada de energía al cultivo, como: fertilización, alimento y el desarrollo de microorganismo.

Es importante mencionar que el suministro de alimento balanceado es el principal precursor del deterioro de la calidad del agua; el alimento se caracteriza por contener elevados porcentajes de proteína (20% o más dependiendo de los requerimientos de la especie). Las proteínas son metabolizadas por los peces generando como producto de excreción compuestos nitrogenados precursores del amonio.

#### **5.1.2.1- Contaminación por amonio**

El amonio se genera por la excreción de compuestos nitrogenados a través de las branquias, orina y las heces de los organismos acuáticos, como subproducto del catabolismo de las proteínas. Así lo señalan: Timmons et al. (2002); Hargreaves (1998) Grommen et al. (2002); y Chen y Fornshell (2000) que también reportan otras fuentes de compuestos nitrogenados como el alimento no consumido, procesos de eutrofización, nitrógeno atmosférico etc.

El amonio es muy soluble en agua y lo podemos encontrar en dos formas; como amonio no ionizado ( $\text{NH}_3$ ) y como amonio ionizado ( $\text{NH}_4$ ). La presencia de una y otra forma esta gobernada por el pH y temperatura del agua. Conforme el pH del agua se incrementa se forma amonio no ionizado ( $\text{NH}_3$ ); la forma de amonio ionizado ( $\text{NH}_4$ ) ocurre cuando el pH disminuye.

La forma tóxica para los peces y en general para la vida acuática es el amonio no ionizado ( $\text{NH}_3$ ), elevadas concentraciones de amonio no ionizado irritan las branquias y pueden provocar hinchazón en los filamentos branquiales, reduciendo la capacidad de absorción de oxígeno por el pez, además los peces son más susceptibles a enfermedades, disminuyen su crecimiento y supervivencia, Person et al. (1998) indica que el amonio es el neurotóxico más importante para los teleósteos.

De acuerdo a los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua CE-CCA-001/89, los niveles de tolerancia de amonio para algunas especies acuícolas oscilan de 0.05 a 0.42 mg/l de amonio; como se indica en la tabla 5.1. Concentraciones por arriba de 1 mg/l son letales para los organismos en cultivo, según reportan Timmons et al. (2002) y Kohler (2002).

Tabla 5.1- Niveles de tolerancia al amonio de algunas especies.

<b>Especie</b>	<b>mg/l de amonio</b>
Bagre	0.42
Camarón	0.10
Tilapia	0.05
Vida acuática en general	0.06

### 5.1.3- Tratamientos para descontaminación

Los métodos que existen para la remoción de amonio dentro de los sistemas acuícolas con recirculación de agua son: los tratamientos biológicos y tratamientos químicos.

#### 5.1.3.1- Tratamientos biológicos

Consisten en la conversión de los compuestos orgánicos nitrogenados a nitratos por la intervención de bacterias que se encuentran normalmente dentro de un sistema de filtración. Para la descomposición de los compuestos nitrogenados intervienen los procesos de mineralización, nitrificación y desnitrificación, Owsley (2000); Ebeling et al. (2006) y Timmons et al. (2006). Tal como se muestran en la figura 5.1.

La mineralización ocurre por la presencia de bacterias heterotróficas en el medio. Las bacterias heterotróficas utilizan los compuestos orgánicos (proteínas y ácidos nucleicos) excretados por los peces para generar amonio.

Los procesos de nitrificación se realizan a través de bacterias autotróficas en condiciones aerobias y se divide en dos etapas: la primera consiste en la oxidación de amonio a nitritos mediante la intervención de bacterias del género *Nitrosomonas*; en la segunda etapa las bacterias de género *Nitrobacter* oxidan a los nitritos a nitratos.

La desnitrificación se efectúa en condiciones anaerobias la cual consiste en la reducción total de nitrógeno inorgánico a nitrógeno molecular ( $N_2$ ) y óxido nitroso ( $N_2O$ ).

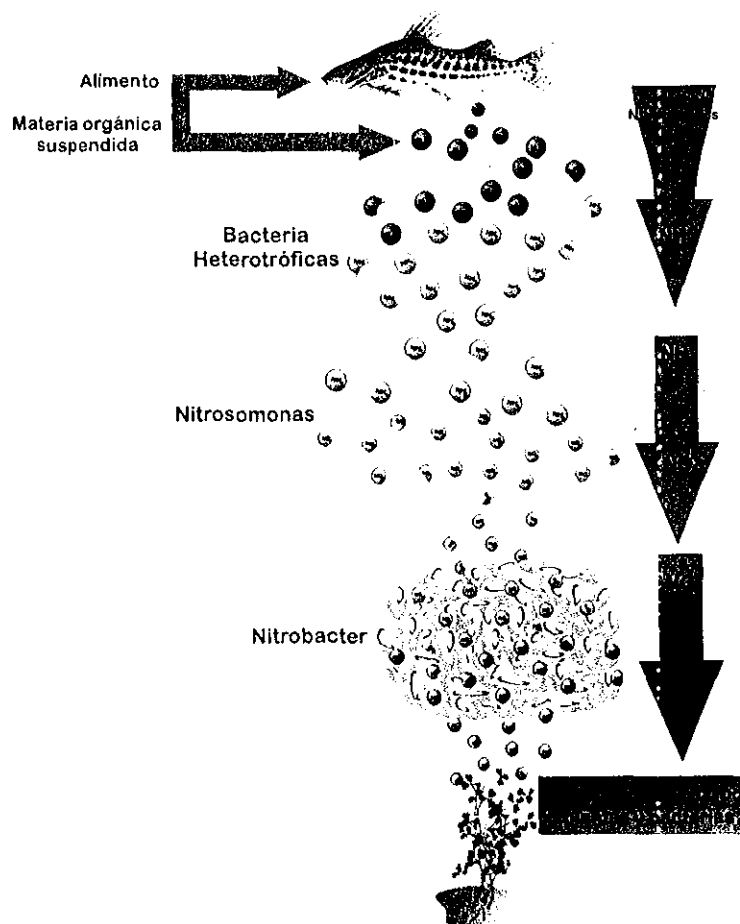


Figura 5.1- Sistema de filtración biológica.

Los sistemas de filtración biológica comúnmente empleados son: filtración de lecho fluidizado, biotambor, biodisco y filtro sumergido.

La tabla 5.2 contiene información basada en los estudios de Jorgensen y Weatherley (2002); Owsley (2000); Sheng y Chang (1996); Heggemann y Warnecke (2001); y Timmons et al. (2002) referentes a la descontaminación de amonio, en la cual se puede apreciar la eficiencia de los procesos de filtración biológica así como sus limitantes.

Tabla 5.2- Ventajas y desventajas de los sistemas de filtración biológica (Con respecto al amonio)

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eficiente en la remoción (hasta 1gr/l de amonio)</li> <li>- Estables y rentables.</li> <li>- Se requiere de poco espacio.</li> <li>-Compatible con el medio ambiente.</li> <li>-Adicionalmente remueve el CO<sub>2</sub>.</li> <li>- Presenta un diseño simple y fácil de construir.</li> <li>- Algunos filtros requieren poca energía.</li> <li>- Adaptable para el desarrollo a gran escala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El establecimiento de las bacterias es lento (1 a 3 meses dependiendo de la temperatura).</li> <li>- Vulnerables a elevadas cargas de amonio y materia orgánica.</li> <li>- Se requieren dos sistemas: aerobio y anaerobio.</li> <li>- Sensible a variaciones del medio: pH, temperatura, oxígeno disuelto, área superficial y sustancias tóxicas.</li> <li>- La remoción se limita a 5 mg/l de amonio por la acumulación de compuestos químicos.</li> <li>- Las bacterias compiten por superficie y proliferan bacterias no deseadas.</li> <li>- No es compatible para todas las especies a cultivar por las condiciones de temperatura.</li> <li>- La conversión del amonio es lenta.</li> <li>- El proceso de nitrificación libera iones de hidrogeno provocando la acidificación del medio.</li> <li>- Es relativamente caro a gran escala debido a la escasa área superficial.</li> </ul>

### 5.1.3.2- Tratamientos químicos

Los tratamientos químicos pueden resumirse en procesos que consisten en la acumulación o concentración de sustancias (normalmente el contaminante) sobre la superficie de un material sólido que se le conoce como adsorbente.

En la figura 5.2 se muestran las generalidades de un proceso de este tipo de tratamiento, Yang (2003).

Dado que este tipo de tratamientos basan su funcionalidad en un material adsorbente, se cree prudente hacer mención aquí algunas generalidades de este tipo de materiales.

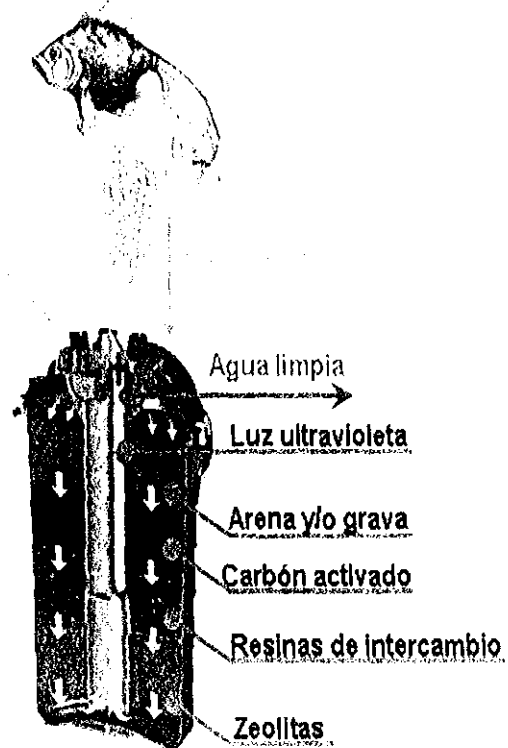


Figura 5.2- Sistemas de filtración química

### 5.1.3.3-Materiales absorbentes: Generalidades

El tema sobre materiales adsorbentes es muy amplio y un análisis profundo sobre el mismo resultaría complicado para lo que se pretende plasmar en este trabajo, que es, que se comprenda la naturaleza e importancia de los materiales adsorbentes.

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación se consultaron dos obras que abordan el tema de una manera amena y sencilla, dichas fuentes fueron escritas por: Yang (2003); y Thomas y Crittenden (1998), y es en ellas en las que se basan los siguientes comentarios.

La capacidad que presentan algunos materiales sólidos para remover color, sabor y aromas de soluciones acuosas fue observada desde hace ya más de 150 años; es probable que esto se sepa desde hace ya mucho más tiempo, sin embargo la primera referencia certera es que se empleaba el carbón activado para decolorar el jarabe de azúcar en Inglaterra alrededor de 1794.



El fenómeno observado y descrito en el párrafo anterior no fue comprendido sino hasta ya entrado el siglo XX; dicho fenómeno representó el nacimiento de la tecnología de los adsorbentes, la cual hasta nuestros días se mantiene como la principal forma de separar y purificar tanto líquidos como gases. Claro que ya se han logrado avances en el tema y continuamente se mejoran los sistemas basados en materiales adsorbentes.

La observación de otro fenómeno similar, al citado párrafos arriba, consistió en hacer pasar aire maloliente a través de un recipiente conteniendo carbón, entonces se dieron cuenta de que los olores indeseables se podían eliminar. Esto fue de gran utilidad y permitió un desarrollo ingenioso que fue usado durante la primera guerra mundial (1914 a 1918) para proteger al personal militar de los gases venenosos. La máscara antigases.

Las mentes inquietas de inicios del siglo XX como Brunauer, Emmett y Teller, McBain y Bakr, Langmuir, y más tarde Barrer, idearon y desarrollaron una serie de experimentos –ahora clásicos- que permitieron dilucidar la manera en que los materiales sólidos (los adsorbentes) removían contaminantes de líquidos y gases.

Poco a poco fue siendo claro que los mejores desempeños se obtenían con materiales sólidos porosos y que la adsorción es el resultado de fuerzas interactivas o bien fuerzas de atracción física entre la superficie del material sólido pero poroso y las moléculas que conforman el contaminante a remover (en fechas recientes se han desarrollado teorías y modelos para explicar la unión en la superficie de los adsorbentes también mediante enlaces químicos).

Los subsiguientes avances y aplicaciones a nivel industrial y comercial en el ámbito de los materiales adsorbentes tuvo lugar a raíz de los desarrollos que con carácter bélico fueron realizados para la segunda guerra mundial (1939-1945); pues ya para 1951 se habla de la aplicación de arcillas en la industria de la purificación de petróleos y aceites.

Posteriormente hace su aparición la zeolita sintética, una arcilla “hecha a medida” en el año de 1959; desde entonces el desarrollo de nuevos materiales adsorbentes y sus aplicaciones tanto a nivel industrial, comercial e incluso hasta de servicios, no sea detenido; en el mercado han aparecido adsorbentes basados en alumina, bauxita y silica gel para secar gases y vapores; otros a base de carbón de hueso u otros carbones para la refinación de azúcar, aceites, ceras y grasas; carbón activado para recuperar solventes, eliminar olores (purificar aire y gases industriales); los silicatos basados en intercambio se usan para los tratamientos de agua, mientras que otros materiales son capaces de recuperar metales preciosos. Finalmente, tenemos también algunos carbones activados que tienen aplicaciones médicas para eliminar bacterias y otras toxinas.

Actualmente, los avances en ciencia y tecnología nos permiten obtener una nueva generación de materiales súper adsorbentes diseñados con propósitos muy específicos; por ejemplo, la nanotecnología nos permite llegar a un mejor entendimiento de las propiedades superficiales de los materiales, alterar o modificar estas propiedades generando como producto los ahora llamados materiales nanoporosos; los cuales se han venido desarrollando durante los últimos 20 años dando lugar a mallas moleculares, arcillas, óxidos metálicos derivados de sistemas sol-gel; así como nuevos materiales basados en carbón como: los materiales de carbón súper activado, fibras de carbón activado, nanotubos de carbón y nanofibras de grafito. Cabe destacar que muchas de las propiedades de adsorción de estos nuevos materiales permanecen inexploradas.

Seguramente en un futuro no muy lejano tengamos en nuestras manos el material ideal con el que estamos soñando hoy; pero mientras tanto, nos tendremos que conformar con los adsorbentes que comúnmente se emplean a nivel global; a pesar de existir una gran variedad de alternativas, el mercado es dominado por solo 4 materiales adsorbentes a saber: Carbón activado, zeolitas, sílica gel y alumina activada.

De acuerdo con Yang (2003), en el mundo entero se habrían gastado mil millones de dólares por la comercialización de carbón activado durante 1997; mientras en zeolita se habrían gastado 100 millones de dólares; la sílica gel y la alumina activada tendrían participaciones minoritarias con 26 y 27 millones de dólares respectivamente para el mismo año.

Retomando el tema sobre tratamientos químicos para la remoción de nitrógeno amoniacal en sistemas acuosos, se encontró que los materiales adsorbentes más empleados para la remoción de amonio son: resinas naturales o sintéticas, carbón activado y arcillas, tal como lo mencionan los trabajos de Jorgensen y Weatherley (2002); Demir et al. (2002); Emadi et al. (2001) y Çelik et al. (2001).

La zeolita es un ejemplo de arcilla y puede ser de origen natural o sintética como lo señala Jorgensen y Weatherley (2002); y Nguyen y Tanner (1998) existen varios tipos de zeolita con distintas capacidades de adsorción, como ejemplo tenemos: mordenita; clinoptilolita; erionita; chabazita y filipsita. Su eficiencia está dada por el tamaño de la partícula, porosidad y la composición de aniones y cationes del agua a tratar. Por ejemplo, se destaca el desempeño de las clinoptilolitas naturales para la remoción de amonio en sistemas acuícolas.

Los estudios de Demir et al. (2002) muestran que el diámetro de una partícula de  $-1.00+0.125$  y  $-2.00+1.00$  mm presenta mayor capacidad de adsorción de amonio.

La eficiencia de las diferentes clases de zeolitas para la remoción de amonio ya ha sido comparada. Nguyen y Tanner (1998) utilizan dos tipos de zeolitas; la clinoptilolita y mordenita, la capacidad de absorción es muy eficiente llegando a ser del 87-98% de amonio en aguas de uso domestico. Sin embargo la mordenita muestra una mayor efectividad en la adsorción de amonio.

Los trabajos de Leyva et al. (2004) demuestran que la zeolita puede ser modificada para optimizar la capacidad de intercambio; y esta dependerá de los iones que se use para su activación, el tiempo de exposición durante la modificación y la cantidad de iones que sean desplazados durante la modificación.

Emadi et al. (2001) comparan la eficiencia de remoción de amonio de la zeolita con el carbón activado en aguas de mar, encuentran que disminuye la remoción en ambos materiales después de 4 horas, esto es debido a que otros cationes presentes en el agua de mar pueden ser una competencia para los iones de amonio, además se observó que existen desventajas en el uso de carbón activado.

Por otra parte la zeolita es más económica que el carbón activado, ya que para este último se implica mayor gasto de energía para su generación, Peternele et al. (1999). De lo anterior se determina que el uso de la zeolita es una mejor opción en la remoción de amonio en aguas de uso acuícola.

En los estudios realizados por Çelik et al. (2001); Jorgensen y Weatherley (2002); Miladinovic y Weatherley (2007); Nguyen y Tanner (1998) y Emadi et al. (2001) exponen que existen ventajas y desventajas en este tipo de tratamientos; como se muestra en la tabla 5.3.

Tabla 5.3- Ventajas y desventajas de los sistemas de filtración química.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta remociones eficientes en muy poco tiempo (10 – 20 min.)</li> <li>- Rentable.</li> <li>- Es estable y de fácil mantenimiento.</li> <li>- Se requiere de poco espacio.</li> <li>- El material adsorbente es regenerable.</li> <li>- Alta área superficial para el intercambio.</li> <li>- Son activados para incrementar la remoción.</li> <li>- Trabajan en un amplio rango de temperatura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se ve afectado por la presencia de otros iones que pueden ser competencia para el amonio.</li> <li>- Susceptible a la deadsorción, si la concentración de amonio en el medio disminuye.</li> <li>- Los costos de regeneración son altos.</li> <li>- La eficiencia de remoción aumenta dependiendo de la temperatura y pH en el sistema.</li> </ul>

Otro de los tratamientos químicos que se implementan en la acuicultura son las lámparas de ozono; este método es eficientemente rápido para la conversión de amonio a nitratos por su acción oxidante, pero presenta limitantes; es un método que demanda mucha energía para la generación de ozono y por consiguiente es costoso; genera compuestos químicos en el agua tratada que posteriormente tiene que ser retirados.

Partiendo de la revisión anterior, encontramos que los sistemas filtración biológica son difíciles de mantener y por otro lado, la opción más efectiva y económica son los sistemas de filtración química, de tal manera; surge la inquietud de buscar un material alternativo que reúna las características de ser una entidad de origen biológico pero con las capacidades y beneficios que ofrece la zeolita.

Una posible alternativa que solucione el problema de contaminación por amonio en aguas de uso acuícola con las características deseadas; es el uso de residuos agroindustriales como el bagazo de caña.

## **5.2- EL BAGAZO DE CAÑA COMO ADSORBENTE PARA LA REMOCIÓN DE NITRÓGENO AMONIAICAL**

El bagazo de caña presenta características físicas y químicas que le confieren capacidades de adsorción, quelación e intercambio iónico, así lo señala Andrade (1997) y el Manual de los derivados de la caña de azúcar (1990) -que más adelante abordaremos- las cuales pueden ser factibles para la remoción de nitrógeno amoniacal.

Existen los trabajo de Peternele et al. (1999); Krishnani et al. (2004); Mohan et al. (2006) y Miretzky (2007) donde exponen que los materiales lignocelulosicos como el bagazo de caña; bagazo de remolacha; el nopal (*Opuntia streptacantha*) y las ligninas extraídas de los procesos de la industria del papel, son absorbentes de bajo costo, capaces de remover metales pesados en medios acuosos; debido a las características propias que presentan la biomasa de estos materiales.

### **5.2.1- El Bagazo de caña; un residuo agroindustrial**

El bagazo de caña es un residuo fibroso, que se genera a partir de la extracción del jugo de la caña para la producción de azúcar.

De los usos más conocidos que se le dan al bagazo de caña, es como combustible; para la producción de vapor en los propios ingenios azucareros. Además la escasa disponibilidad de materiales fibrosos como materia prima en las industrias del papel; han hecho que el bagazo sea utilizado para la producción de pulpa y papel y para la fabricación de tableros aglomerados.

Además tiene relevante importancia en la alimentación animal; así mismo, como materia prima para la producción de furfural y carbón activado entre otros.

Sin embargo la aplicación de este residuo no ha sido lo suficientemente explorada y su acumulación en algunas regiones donde se lleva acabo la producción de azúcar se ha vuelto un problema, Krishnani et al. (2004) ya que implica un gasto deshacerse del mismo.

Recientemente, se han realizado nuevos trabajos para usar esta biomasa como un adsorbente de metales, además es factible, como se ha venido mencionando, usar esta material para la remoción de nitrógeno amoniacal, incorporándolo en un sistema de filtración y con posibilidades intervenir en la fertilización de las plantas, después de haber cumplido su misión como absorbente, tal como se muestra en la figura 5.3.

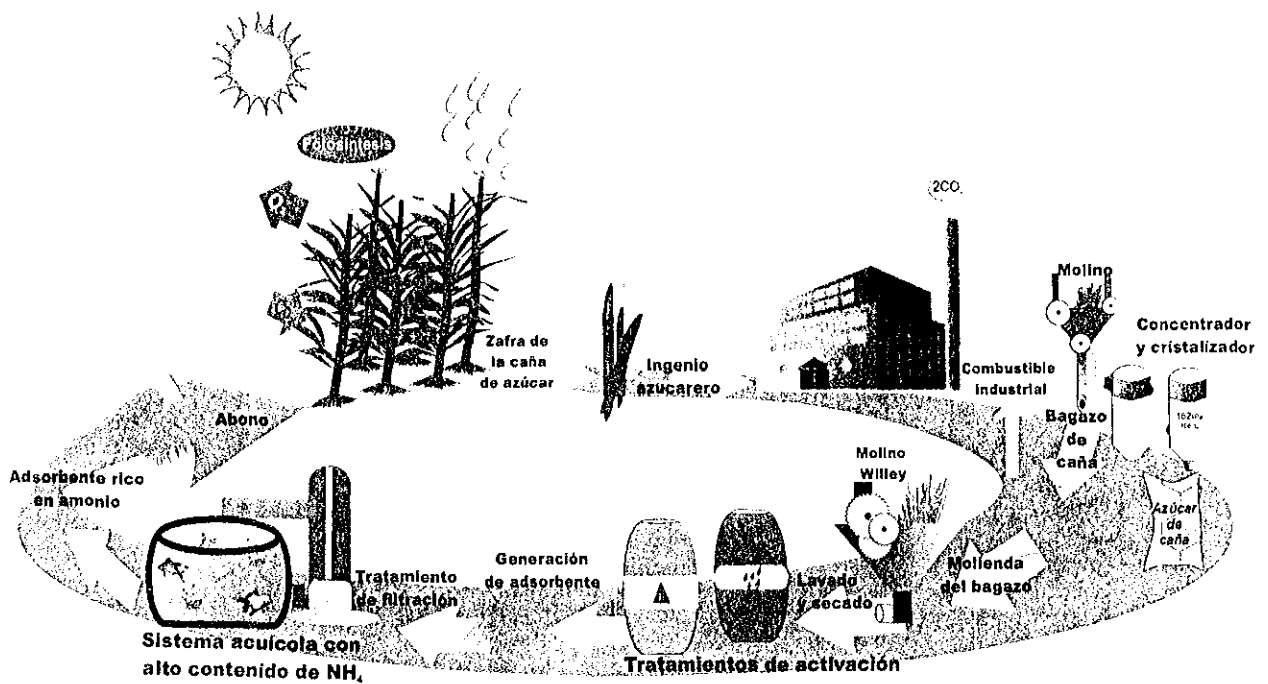


Figura 5.3- Ciclo del bagazo de caña (Propuesto por Nayeli Leyva Reyes).

### 5.2.2- Composición física

El bagazo de caña físicamente se encuentra constituido por cuatro fracciones en diferentes porcentajes, tal como lo muestra la tabla 5.4 del Atlas del bagazo de caña de azúcar (1990).

Tabla 5.4- Composición física del bagazo de caña en función al peso húmedo.

Fracción	%
Fibra o bagazo (incluye médula)	45
Sólidos no solubles	2 a 3
Sólidos solubles	2 a 3
Agua	45 a 51

La fibra o bagazo esta constituida por toda la fracción sólida orgánica, la cual es insoluble en agua y esta presente en el tallo de la caña, se caracteriza por ser homogénea desde el punto de vista morfológico, esta fracción presenta los

elementos necesarios para ser utilizado como materia prima para la producción de celulosa y papel.

Los sólidos no solubles o insolubles, están representados por una fracción muy pequeña que se constituye principalmente por sustancias inorgánicas como piedras, tierras y materiales extraños; dicha fracción se deriva del manejo agrícola de la caña, por ejemplo, el tipo de corte y recolección.

La fracción soluble esta constituida por sólidos que se disuelven en el agua, compuesta fundamentalmente por sacarosa, cuya extracción en el ingenio azucarero no resulta económica, así como otros componentes químicos como ceras, presentes en menor proporción.

El contenido de agua en el bagazo de caña esta asociada por dos mecanismos: el primero es por la absorción, que se refiere a la capacidad de los componentes químicos del bagazo para absorber moléculas de agua relacionadas con la humedad relativa del ambiente del propio material; el segundo mecanismo es la capilaridad, que se refiere a la capacidad de retener el agua por capilaridad y fuerzas de tensión superficial debido a la estructura de poros que presenta el bagazo de caña.

Existe otra relación porcentual del contenido de fibra en función al peso seco, que se encuentra en el Manual de los derivados de la caña de azúcar (1990). Esta información, desplegada en la tabla 5.5, muestra de una manera más clara la conformación del material tal y como se trabajó en esta investigación.

Tabla 5.5- Composición física del bagazo de caña en función al peso seco.

<b>Fracción</b>	<b>%</b>
Fibra	55 - 60
Médula	30 - 35
Finos, tierra y solubles	10 - 15

Cabe bien mencionar que existe otro termino que hace referencia a la composición física del bagazo de caña y este se refiere al bagazo integral; que se compone por dos fracciones: La médula o tejido parenquimatoso, que se encuentra en el orden del 30 a 35 % y la fracción fibra que ocupa una relación del 55 a 60% del bagazo integral; mientras que otros elementos como finos, tierra y solubles se encuentra en una proporción de 10 a 15%.

### 5.2.3- Composición morfológica

Morfológicamente el bagazo de caña esta constituido básicamente por cuatro elementos, los cuales son: fibra, parénquima, vasos y epidermis; a continuación en la tabla 5.6 se presenta la relación porcentual de cada elemento.

Tabla 5.6- Elementos morfológicos de bagazo de caña.

Elementos	%
Fibras (de la corteza)	50
Parénquima o médula	30
Vasos	15
Epidermis	5

Las fibras presentes en la corteza son rígidas de contornos irregulares y bien definidos, tienen pared ancha, con extremos redondos, con algunas punteaduras muy pequeñas.

Las células parenquimatosas, es una característica primordial del bagazo; son grandes y abundantes, de formas variadas e irregulares, su pared es muy porosa y fina lo que permite un mayor volumen de la mismas.

Los vasos del bagazo, se caracterizan por ser de gran longitud, pueden ser anillados o con puntuaciones y poros.

Las células de la epidermis se encuentran en menor cantidad, son estrechas y rectangulares, los bordes laterales de la epidermis son dentados e irregulares.

### 5.2.4- Composición química

Los principales polímeros naturales presentes en el bagazo de caña son: celulosa, hemicelulosa y lignina, presenta también, pequeñas cantidades de otros compuestos clasificados como componentes extraños.

La celulosa es el polímero más abundante en las plantas; químicamente se define como un homopolímero de la D-glucosa, la cual se encuentra unida principalmente a enlaces tipo  $\beta$  1-4, logrando así la formación de cadenas, las cuales son lineales y de un elevado grado de polimerización superior a 1,000. El peso molecular promedio de la celulosa de bagazo está en el rango de 150,000 a 350,000. Desde el punto de vista cuantitativo su presencia es semejante en todas las maderas, en el orden de 41 a 44%.



Las hemicelulosas comprenden a un conjunto de polisacáridos diferentes, las cuales comparten características comunes, tales como su solubilidad en medios alcalinos, su reactividad frente a los ácidos y en que se descomponen en sus azúcares estructurales y en furfural. Los tipos de hemicelulosa más abundantes en el bagazo son las D-xilanas, formadas principalmente por unidades de D-xilosa en la cadena principal, sustituidas por grupos acetilos y ácidos urónicos metilados. Sus cadenas poliméricas son relativamente cortas de peso molecular promedio viscosimétrico, en el rango de 10,000 a 20,000. La porción cuantitativa presente en el bagazo de caña es de 25 a 27%.

La lignina es el tercer componente de importancia cuantitativa en el bagazo, es un conjunto de polímeros amorfos, reticulados, de alto peso molecular, de naturaleza primordialmente fenólica, cuya unidad estructural es el fenil-propano.

El contenido de lignina en el bagazo de caña es del orden del 20 a 22%. Las ligninas del bagazo presentan diferencias importantes a las ligninas de la madera, tales como bajo grado de polimerización, mayor reactividad, es accesible por encontrarse en las capas externas de la pared celular y se encuentra en menores cantidades.

A continuación se presenta la relación porcentual de las propiedades químicas del bagazo de caña por fracción de acuerdo al Atlas del bagazo de caña de azúcar (1990).

Tabla 5.7- Composición química del bagazo de caña.

<b>Composición química</b>	<b>Bagazo integral</b>	<b>Fibra</b>	<b>Médula</b>
Celulosa	46.6	47.0	41.2
Pentosanos	25.2	25.1	26.0
Holocelulosa	76.0	76.9	76.8
Lignina	20.7	19.5	21.7
Cenizas	2.6	1.4	5.4

Existen otros elementos del bagazo de caña que representan el 10 % y están constituidos por compuestos solubles en agua (residuos de sacarosa, otros azúcares y polisacáridos); compuestos solubles en solventes orgánicos (1 a 3%) y cenizas (2 a 3%).

El contenido de algunos metales que forman parte de la composición química de la pulpa de bagazo de caña, son estudiados por Andrade (1997) tal como se muestra en la tabla 5.7.

Tabla 5.7- Contenido de metales en la pulpa de bagazo de caña.

<b>Contenido de metales</b>	<b>ppm</b>
Cu	4.7
Mn	14.7
Fe	177.2
Mg	285.2
Relación Mg/Mn	19.4

## **Capítulo 6                    MATERIALES**

---

### **6.1- EL BAGAZO DE CAÑA**

La materia prima fue bagazo de caña, el cual fue donado por el ingenio de Santa Clara ubicado en Michoacán.

### **6.2- ADSORBENTES COMERCIALES: ZEOLITA Y CARBÓN ACTIVADO**

Los adsorbentes comerciales empleados fueron: *Nobrac 900*<sup>®</sup>, que es un carbón activado fabricado en Guadalajara, Jal. y *Secuestrec 6*<sup>®</sup>, constituido por una zeolita modificada para la remoción de amonio, elaborado por la compañía Técnica Mineral en Guadalajara, Jalisco.

### **6.3- REACTIVOS DE LABORATORIO**

Los reactivos empleados para la experimentación fueron de grado reactivo, tales como: ácido clorhídrico concentrado; ácido etilendiaminatetraacético, EDTA por sus siglas en ingles, sulfato manganoso de la marca Golen Bell<sup>®</sup>; hidróxido de sodio y fenol de la marca Jalmex Fermont<sup>®</sup>; clorito de sodio de la marca Caledon<sup>®</sup>; cloruro de amonio anhidro de la marca Mallinckrodt<sup>®</sup> y finalmente hipoclorito de sodio al 5% lejía comercial Cloralex<sup>®</sup> y agua desionizada.

# Capítulo 7 METODOLOGÍA

## 7.1- PROGRAMA EXPERIMENTAL DE TRABAJO

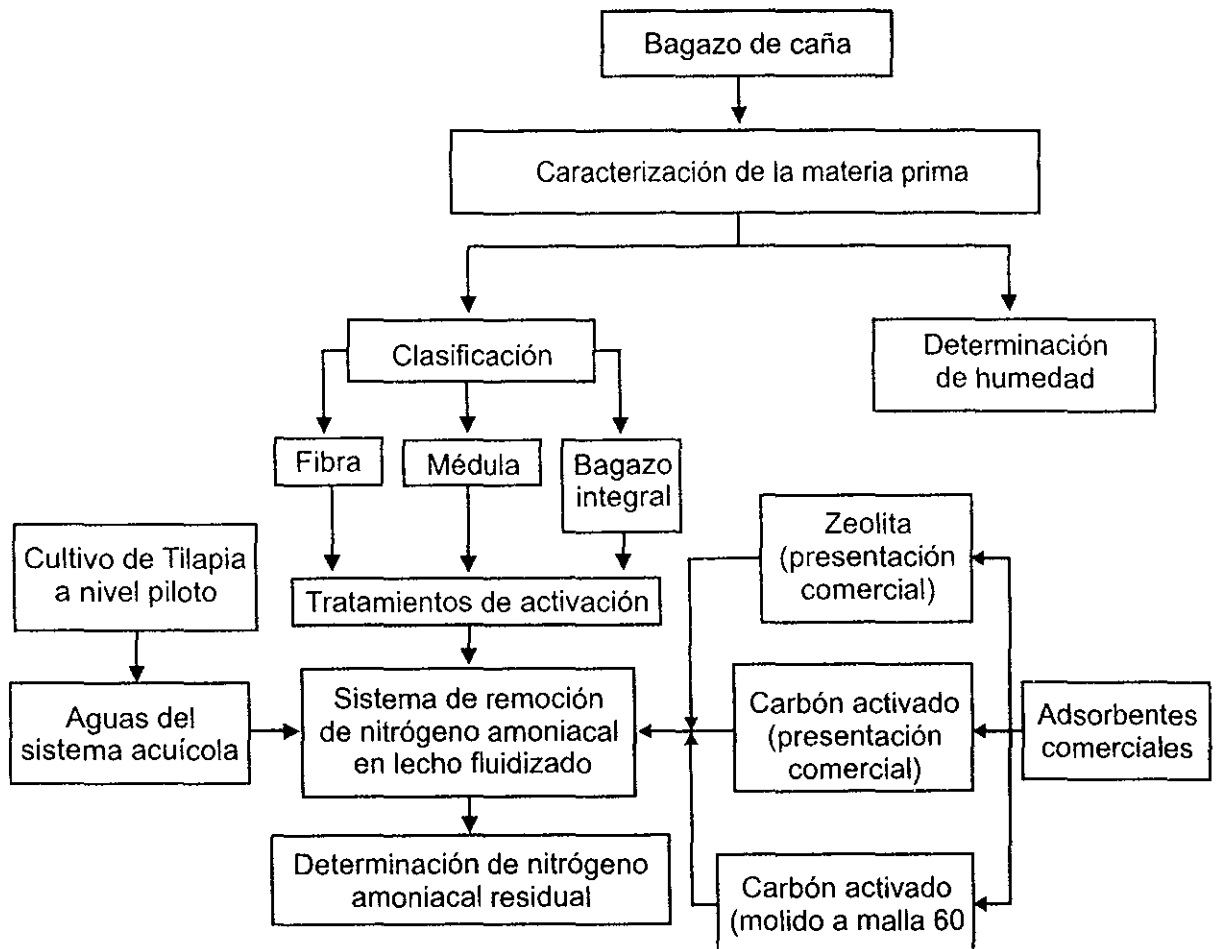


Diagrama 7.1- Experimentación general

En el diagrama 7.1 se puede apreciar la metodología en general en forma esquematizada de la experimentación de esta investigación.

Cada bloque tiene su propia metodología bien desarrollada que permitirá obtener la información pertinente para el propósito de esta investigación.

A continuación se describe cada bloque experimental.

## **7.2- PROCEDIMIENTO**

### **7.2.1- Caracterización de la materia prima**

La caracterización consistió en la determinación porcentual del contenido de humedad y una clasificación física de los componentes del bagazo de caña.

La determinación de humedad se hizo en base a la técnica TAPPI (T264 om-88, 8.2); se tomaron muestras de bagazo de caña, se pesaron y se metieron a una estufa de secado por 24 horas a 105°C; después se retiró el material y se colocó en un desecador por media hora, posteriormente se pesaron cada una de las muestras; se realizaron los cálculos para cuantificar el porcentaje del contenido de humedad de la materia prima.

Muestras de bagazo de caña integral (100 gr.) fueron separadas en sus diferentes fracciones por medio de una criba automatizada (RO-TAP) empleando una serie de seis tamices por un periodo de 15 minutos; este procedimiento nos permitió calcular las fracciones que constituyen el material integral en función del peso con respecto a la muestra original (fibra, médula, otros sólidos como tierra).

### **7.2.2- Tratamientos de activación para el bagazo de caña**

Tanto el material integral como las fracciones separadas; médula y fibra de bagazo de caña, fueron sometidas a tratamientos de activación, tales como molienda, lavado con agua desionizada y tratamiento térmico. Esto con la finalidad de investigar si este tipo de tratamientos activan en el material propiedades adsorbentes para nitrógeno.

#### **7.2.2.1- Molienda**

Las fracciones se sometieron a una molienda para incrementar el área superficial de contacto de la materia prima con la fase líquida, en un molino Willey con malla 60 (tamaño de partícula promedio de 0.25 mm.).

Cabe bien mencionar que el carbón activado *Nobrac 900*<sup>®</sup> presenta un tamaño de partícula aproximadamente de 0.84 mm. Así que para mantener en la medida de lo posible la homogeneidad de los materiales ha evaluar; parte del carbón activado fue molido usando malla 60.

#### **7.2.2.2- Lavados**

En combinación con la molienda del bagazo de caña, se emplean una serie de etapas de lavado. Los lavados de la fibra, médula y bagazo integral, se hicieron con agua desionizada.

El lavado con agua desionizada se propuso para eliminar los residuos que están presentes en la materia prima, y nos referimos a los sólidos solubles que se generan por el manejo de los procesos agrícolas e industriales a los que es sometido el material, así como de los posibles productos que el tratamiento térmico pudo haber generado en la matriz del material.

Para el lavado con agua destilada; se tomaron 15 gr. de fibra bagazo de caña, la fibra se depositó en un vaso de precipitado de 1 litro y se colocó sobre una placa de agitación y calentamiento. Posteriormente se depositó dentro del vaso una barra magnética para la agitación de la mezcla y se añadió poco a poco 500 ml. de agua destilada. Una vez hecha la mezcla se dejó en ebullición un lote por 5 minutos (también se realizaron lavados a 20 minutos) de ebullición; con el propósito de evaluar el efecto del tiempo de lavado sobre las fibras.

Después del lavado, se filtró la fibra de bagazo de caña utilizando un embudo Büchner y papel filtro haciendo vacío, durante el filtrado se efectuaron dos lavados con agua caliente de 100 ml. cada uno; para eliminar bien los residuos como azúcar y tierra provenientes del manejo industrial, enseguida el material lavado se colocó dentro de una bolsa de tela pellón para ser secado por 24 horas a temperatura ambiente.

Para la médula y bagazo integral el procedimiento fue similar, con excepción de que los tiempos de ebullición probados fueron de 20 y 40 minutos.

#### **7.2.3- Tratamiento químico**

Este tratamiento fue realizado debido a que el método de la sal de fenol usado para la determinación de nitrógeno, indica que algunos metales presentes en el sistema donde se determina nitrógeno pueden ocasionar valores correspondientes a falsos positivos.

Es decir, este tratamiento químico se realiza para eliminar la posible interferencia por iones metálicos.

### **7.2.3.1- Decationización**

El tratamiento de decationización elimina básicamente cationes y adicionalmente otros elementos que persistieran aún después de los lavados con agua desionizada.

El tratamiento se fundamenta en la técnica de acuerdo a la metodología de Andrade (1997) y Bouchard et al. (1995); la cual es: Tratamiento con quelante en medio ácido.

#### **7.2.3.1.1- Tratamiento con quelante en medio ácido**

Se efectuó este tratamiento a la fracción fibra y bagazo integral; se tomaron 15 gr. de material molido y se colocaron en vaso de precipitado de 1000 ml, se agregaron 300 ml. de agua destilada y 4 ml. de EDTA 0.05 M, se sometió a agitación con una propela de acero inoxidable, se ajustó el pH a 3 con HCl registrando su valor con un potenciómetro marca Denver instrument, modelo 220. Posteriormente se agregaron 200 ml. de agua destilada para tener una consistencia del 3%. El vaso de precipitado se sometió a baño María a una temperatura de 60°C y con un sistema de agitación por 30 minutos; una vez transcurrido el tiempo de reacción, el material se drenó en un embudo Büchner, se hicieron 2 lavados con agua caliente para eliminar bien los residuos de los reactivos, se secó a temperatura ambiente por 24 horas.

### **7.2.4 - Tratamiento térmico**

Partiendo de los trabajos de Mohan y Singh (2002); Dizhbite et al. (1999) y Krishnani et al. (2004) entre otros investigadores que sean dedicado a generar nuevos absorbentes a partir de biomateriales que son sometidos a tratamientos de activación, como el tratamiento térmico; se diseñan entonces ensayos para tratar térmicamente a las fracciones de bagazo de caña previamente sometidas a molienda y a lavados con agua destilada.

El bagazo de caña pasa por tres tipos de tratamiento térmico; con la intención de investigar cual o cuales son las temperaturas óptimas para la activación de la biomasa.

Las temperaturas que se probaron fueron a 60°C por 24 horas en una estufa de secado a vacío (marca Heraeus); 100°C y 150°C por 24 horas en una estufa de secado convencional (marca Felisa hornos, modelo 292AD).

Transcurrido el tiempo de secado programado, el material se coloca en un desecador por media hora, posteriormente se depositó en una bolsa de plástico

muy bien identificada con el tipo de tratamiento al que fue sometido; finalmente las muestras se almacenan para los siguientes experimentos.

#### **7.2.5- Colecta de aguas provenientes de un sistema acuícola**

Las aguas provenientes de un sistema acuícola se colectaron del Laboratorio de Ecosistemas Marinos del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, donde se desarrolla un cultivo de *Tilapia* a escala piloto, el cual cuenta con un sistema de recirculación de agua (filtración).

Las muestras se llevaron al laboratorio de química del Departamento de Madera, Celulosa y Papel del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, para medir el pH y determinar el contenido de nitrógeno amoniacal por el método de la sal de fenol que más adelante se describirá.

#### **7.2.6- Sistema de remoción en lecho fluidizado**

La remoción de nitrógeno amoniacal por parte de los materiales comerciales y las fracciones del bagazo de caña; se efectuaron mediante un sistema de lecho fluidizado. El sistema fue montado usando una plancha de agitación (Stirrer Thermolyne) y una barra magnética; en un vaso de precipitado de 100 ml. se colocaron 1.5 gr. de material previamente sometido a tratamiento(s) de activación, el sistema de reacción fue conformado por 50 ml. de una solución conteniendo 1 mg/l de nitrógeno aportada por una solución de cloruro de amonio.

El sistema (material adsorbente, agua dopada de nitrógeno) se mantuvo en agitación por diferentes periodos de tiempo, los cuales fueron establecidos en: 10, 20, 40 y 60 minutos y el pH se mantuvo entre 6.5 y 7 (sin necesidad de ajuste externo); una vez transcurrido el tiempo de remoción el agua es separada del adsorbente por filtración aplicando vacío (con un matraz kitasato, embudo Büchner y papel filtro) y cuando fue necesario las muestras de agua residual se sometieron a centrifugación para decantar las posibles partículas en suspensión.

Siguiendo la metodología anterior, las aguas provenientes del sistema acuícola a nivel piloto, también fueron sometidas al sistema de remoción con bagazo de caña.

Por prueba se efectuaron en promedio 7 repeticiones del evento.



### 7.2.7- Determinación de nitrógeno residual

La presencia de nitrógeno amoniacal residual en el agua procedente de los sistemas de remoción se determinó usando la técnica de la sal de fenol; de acuerdo a los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (1992), que consiste en inducir el desarrollo de color en la muestra, mediante el uso de reactivos, como se describe brevemente.

El procedimiento para fines prácticos se desarrollo en 4 etapas: Preparación de la curva de calibración; toma de las aguas sometidas al sistema de remoción; aplicación del método de la sal de fenol y determinación de absorbancia de las muestras.

Los estándares para la curva de calibración se prepararon a concentraciones de 0.25, 0.5 y 1 mg/l de nitrógeno amoniacal, partiendo de una solución madre de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) a razón de 0.03819 gr/100 ml. donde por cada ml. de esta solución se encuentran 100  $\mu\text{g}$ . de N equivalentes a 122  $\mu\text{g}$ . de  $\text{NH}_3$ .

De las aguas residuales provenientes del sistema de remoción de nitrógeno amoniacal con el bagazo de caña, se tomaron 10 ml. para someterlas a las etapas del método de la sal de fenol.

El método de la sal de fenol consistió en agregar en un vaso de precipitado de 50 ml. una alícuota de 10 ml. de las muestras a analizar, el vaso de precipitado se colocó sobre una placa de agitación con una barra magnética y posteriormente se adicionó una gota (0.05 ml.) de solución de  $\text{MnSO}_4$  para catalizar la reacción; enseguida se añadieron 0.5 ml. de reactivo de ácido hipocloroso e inmediatamente después se agregó gota a gota hasta completar 0.6 ml. de reactivo de sal de fenato; el sistema se agitó enérgicamente durante 10 min. al cabo de este tiempo se desarrolla una coloración azul intensa en presencia de nitrógeno.

La absorbancia de las muestras se midió a 630 nm. en un espectrofotómetro HACH DR-5000. Se preparo un blanco de reactivo para ajustar el cero del espectrofotómetro.

Los cálculos de concentración de nitrógeno amoniacal residual de las aguas tratadas se hicieron partiendo de las concentraciones de la curva de calibración y la absorbancia que estas presentaron. Dado que se cumple con el principio de Lambert-Beer el cálculo de una regresión lineal simple permite tener una ecuación que correlaciona la absorbancia con la concentración de nitrógeno.

## Capítulo 8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1- CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La caracterización de bagazo de caña en cuanto a la composición física se muestra en la tabla (8.1); donde se presentan los gramos y la relación en por ciento en peso de las fracciones de bagazo de caña obtenidas después del proceso de cribado de 100 gr. de material seco.

Tabla 8.1- Clasificación por tamaño de partícula del bagazo de caña.

No. de malla	Luz de malla (pulgadas)	gr. de material	% en peso
20	0.0331	39.63	39.51
40	0.0165	32.18	32.57
50	0.0117	8.54	8.64
60	0.0098	4.30	4.35
120	0.0049	10.00	10.12
200	0.0029	3.00	3.04
remanente	-	1.10	1.11
TOTAL	-	98.75	99.34

De acuerdo con la información contenida en el Manual de los derivados de la caña de azúcar (1990); el bagazo de caña se compone principalmente de 3 fracciones: fibra, 55 a 60%; medula, 30 a 35 %; solubles y otros del 10 a 15%; con respecto al peso seco total de bagazo de caña; podemos inferir entonces que el bagazo integral que se empleó como materia prima en esta investigación, se compone principalmente de las 3 fracciones en discusión, por lo que a la tabla 8.1 le correspondería una reasignación como se muestra en la siguiente tabla (8.2).

Sí se reagrupan los diferentes porcentajes obtenidos y mostrados en la tabla 8.1 de la siguiente manera:

Sumando los porcentajes de las mallas 20 y 40, obtenemos 72.02 %.

Sumando los porcentajes de las mallas 50, 60 y 120, obtenemos 23.11 %.

Sumando los porcentajes de la malla 200 y el remanente, obtenemos 4.15 %.

Y asociando esta información con la contenida en la tabla 5.5, se puede ver que las fracciones así obtenidas en la clasificación se encuentran en la relación porcentual del contenido de fibra (72.028%); médula (23.11%); finos, tierra y solubles (4.15%). Si bien, los valores que se obtuvieron experimentalmente se encuentran un poco desfasados con lo que reporta la literatura, son lo suficientemente válidos como para clasificar las 3 diferentes fracciones de nuestro material de acuerdo a la tabla 8.2 que se muestra a continuación.

Tabla 8.2- Composición física del bagazo de caña.

<b>Fracción</b>	<b>%</b>
Fibra	72.02
Médula	23.11
Finos, tierra y solubles	4.15

Se emplearon en la determinación 100 gr. de material cuyo contenido de humedad era de 6.62 %; dado que el proceso de clasificación no elimina la humedad y esta se encuentra uniformemente distribuida en toda la materia prima, el contenido de humedad no altera las relaciones porcentuales obtenidas.

## **8.2- CALIBRACIÓN DEL MÉTODO DE LA SAL DE FENOL**

Una herramienta fundamental para el desarrollo de este trabajo de investigación, lo constituye una adecuada y certera técnica que permite cuantificar nitrógeno con una sensibilidad de fracciones de mg/l en un rango de 0 a 1 mg/l.

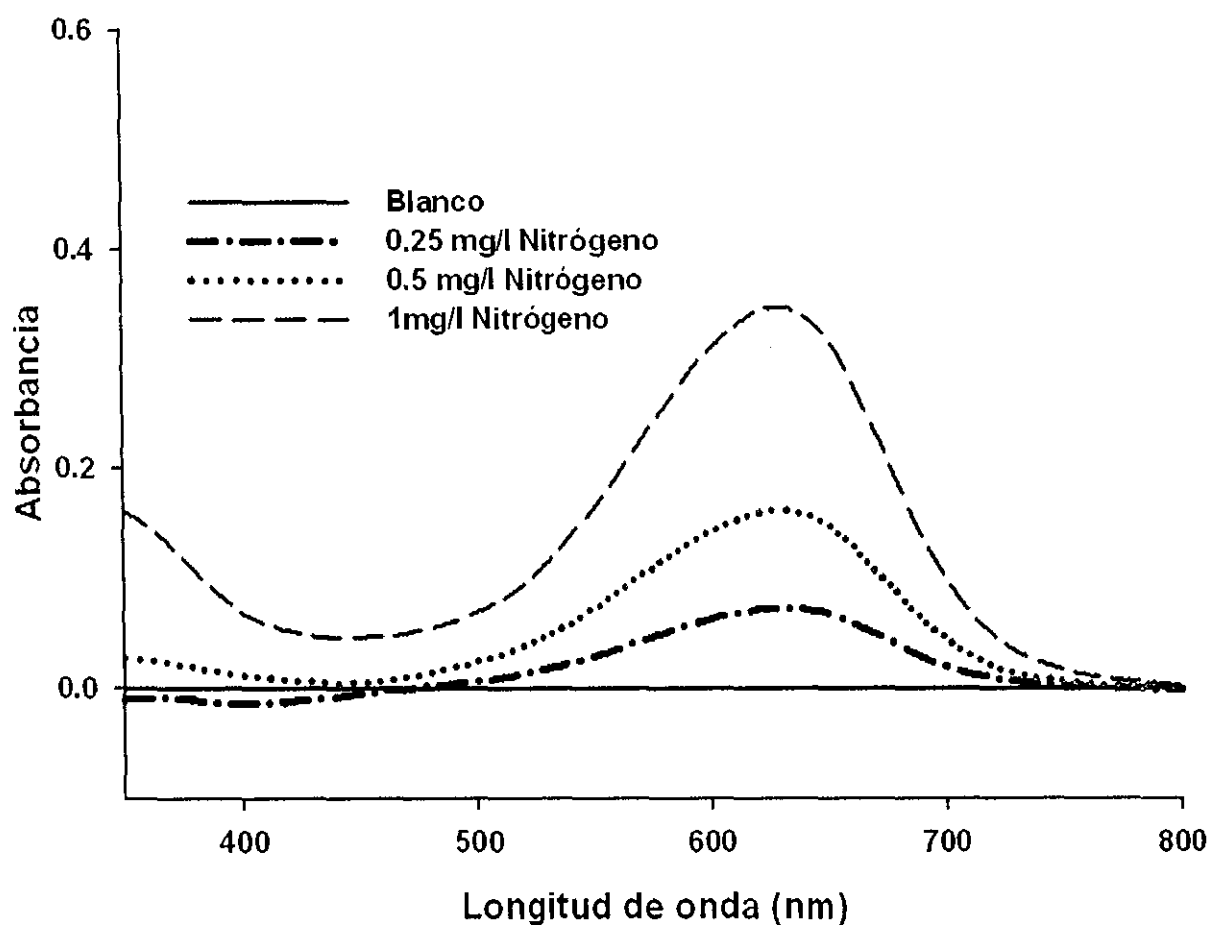
La técnica seleccionada para las determinaciones de nitrógeno es el de la sal de fenol, reportada por los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (1992).

Se aplicó la metodología descrita por la técnica para la elaboración de curvas de calibración que, para este caso en particular, fueron de 0.25, 0.5 y 1.0 mg/l de nitrógeno y el blanco. A estas soluciones se les hizo un barrido de longitud de onda para absorbancia en un espectrofotómetro (HACH DR-5000);

La técnica menciona que el desarrollo de color en presencia de nitrógeno es de un azul intenso, por esa razón sólo se tomó en cuenta para el barrido una longitud de onda inicial de 350 nm. (Aproximadamente a 400 nm inicia la región visible del espectro) se creyó prudente hacer un barrido hasta 800 nm.

La razón por lo que se hizo todo lo anterior fue para verificar la longitud de onda a la que se registran las máximas absorbancias; ya que la técnica reporta un rango comprendido de 600 a 660 nm, recomendando como óptima la absorbancia leída a 630 nm.

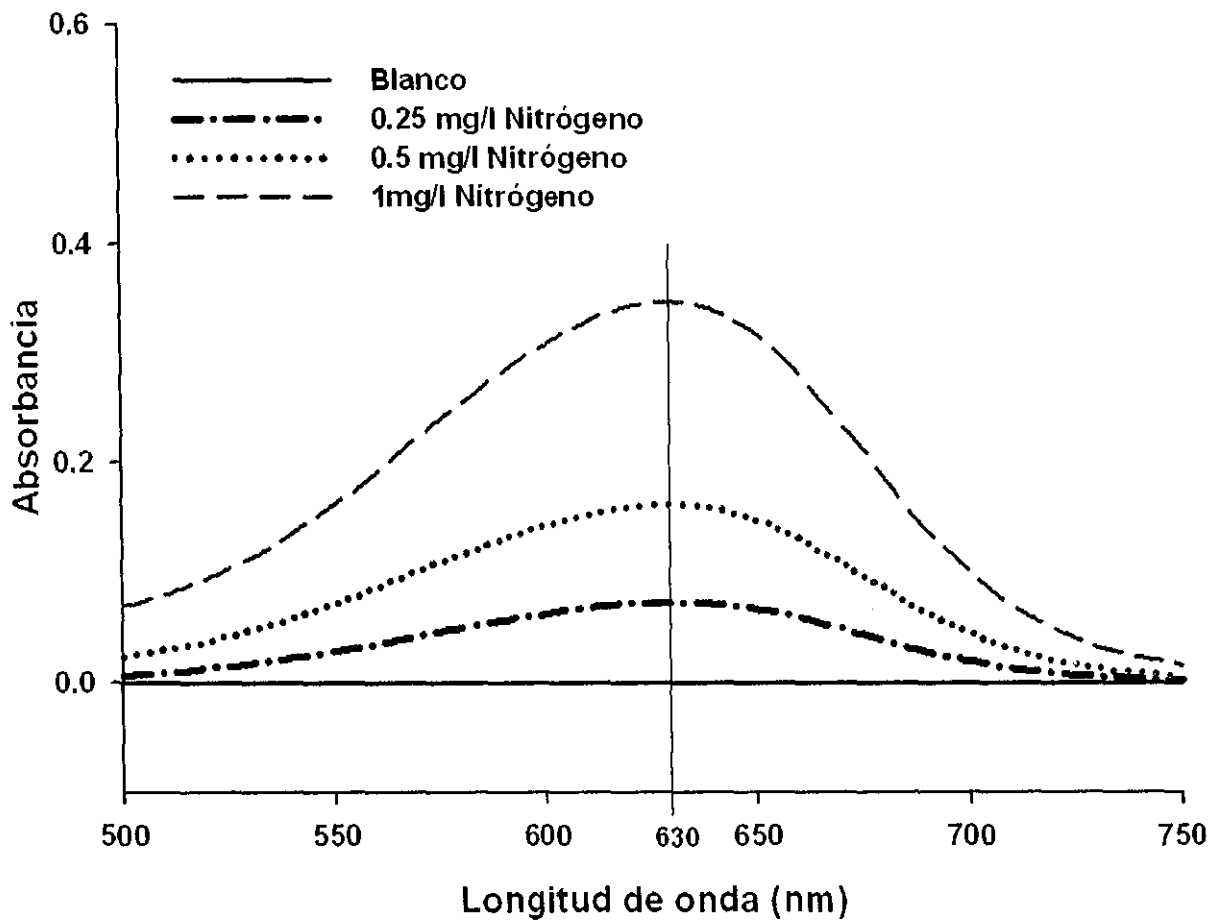
La gráfica 8.2.1 contiene los espectros obtenidos del barrido para las soluciones estándar en el rango de 350 a 800 nm.



Gráfica 8.2.1- Absorbancia de las soluciones de la curva de calibración en el rango de 350 a 800 nm.

En esta gráfica se aprecia que, aún si se consideraran los valores de absorbancia debajo de 400 nm, las máximas absorbancias se presentan cerca de la región de los 630 nm.

A fin de tener un mejor panorama sobre la región donde se dan las mayores absorbancias se reduce el rango de longitud de onda de 500 a 750 nm. Para establecer la longitud de onda a la que se presentan las mayores absorbancias, esto genera la gráfica 8.2.2.

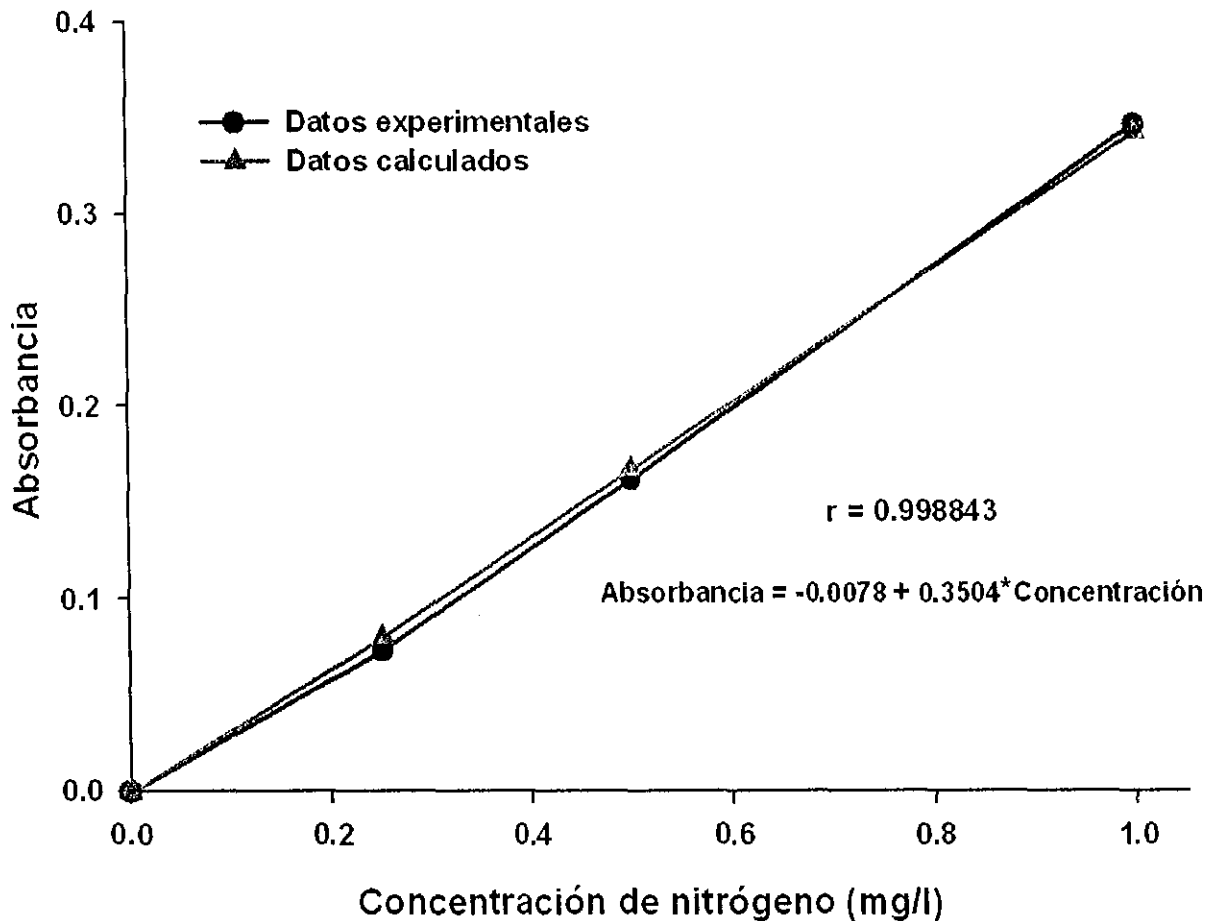


Gráfica 8.2.2- Absorbancia de las soluciones de la curva de calibración en el rango de 500 a 750 nm.

En la gráfica 8.2.2 se aprecia con mayor claridad que las máximas absorbancias que se registraron corresponden a una longitud de onda de 630 nm; en este punto se corrobora que se puede reproducir la técnica de la sal de fenol en el laboratorio de acuerdo a la referencia consultada.

A hora bien, para probar la certidumbre que este método ofrece es necesario saber si se cumple con la ley de Lambert – Beer (condición de linealidad) en el rango de concentraciones de nitrógeno que se evaluarán (0 a 1 mg/l).

Para ello, se tomaron los valores de absorbancia que cada solución estandarizada presentó a 630 nm, se asociaron con sus correspondientes concentraciones de nitrógeno y se sometieron a un análisis de regresión lineal simple; los resultados obtenidos se presentan en la gráfica 8.2.3.



Gráfica 8.2.3- Datos experimentales de absorbancia a 630 nm. Correspondientes a nitrógeno y su regresión lineal.

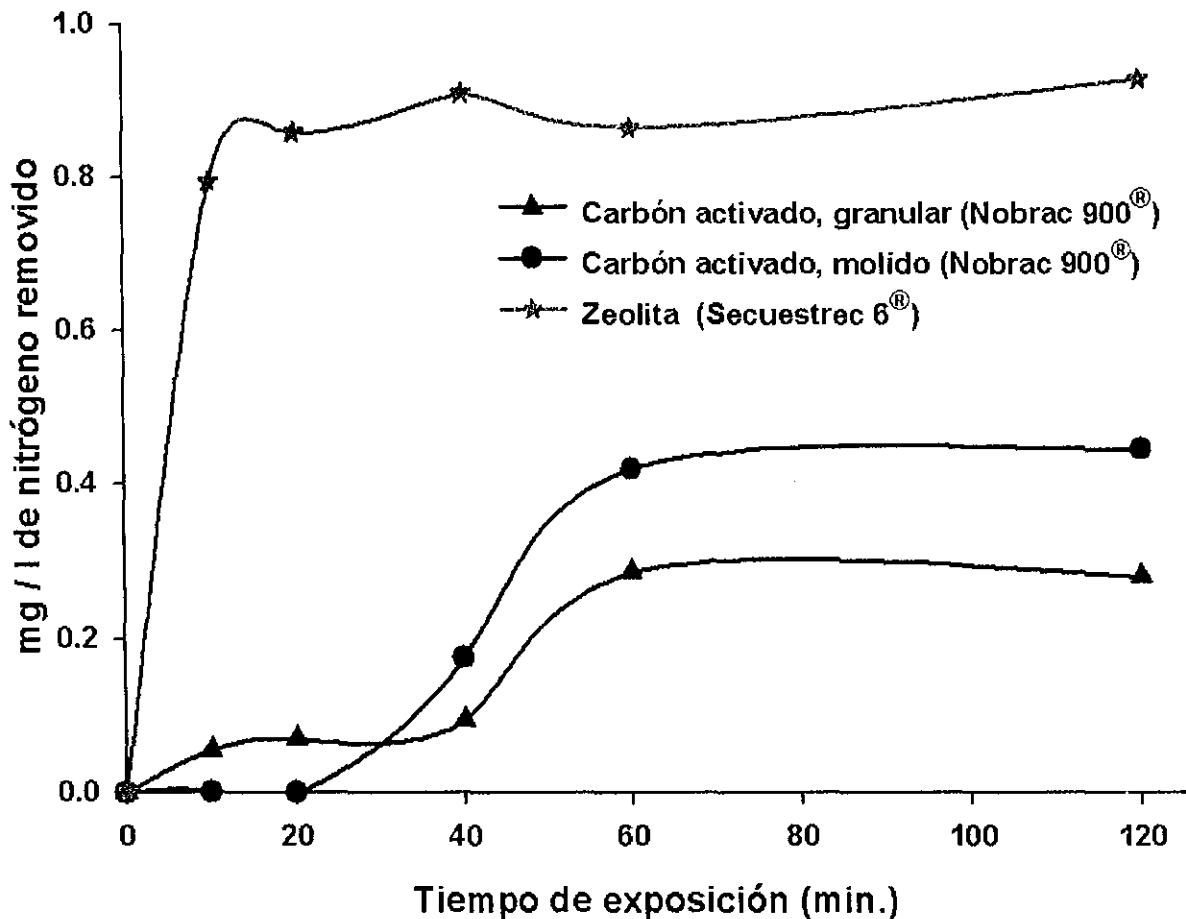
La gráfica 8.2.3 muestra que la relación de concentraciones en el rango de trabajo presenta linealidad, esto esta soportado por un valor de correlación ( r ) de 0.99843; lo cual refleja que los datos experimentales de absorbancia presentan una fuerte relación de linealidad con las concentraciones de las soluciones de la curva.

De lo anterior se desprende que el método de la sal de fenol cumple satisfactoriamente con la ley de Lambert – Beer. Adicionalmente se ha demostrado que esta metodología tiene una alta precisión para la cuantificación de nitrógeno, herramienta por demás esencial para cumplir con los objetivos trazados en este proyecto de investigación.

### 8.3- REMOCIÓN DE NITRÓGENO AMONIAL POR LOS MATERIALES COMERCIALES

Como primer experimento para la remoción de nitrógeno amoniacal; se inició con la evaluación de la capacidad y tiempo de remoción por parte de los materiales comerciales; zeolita comercial (Secuestrec 6®) y carbón activado (Nobrac 900®).

El comportamiento de la remoción efectuada a partir de un sistema de lecho fluidizado, conformada por 1.5 gr. de adsorbente con una solución dopada de 1 mg/l de nitrógeno amoniacal y con tiempos de exposición de 10, 20, 40, 60 y 120 minutos, se presenta en la gráfica 8.3.1



Gráfica 8.3.1- Remoción de nitrógeno amoniacal por parte de los adsorbentes comerciales en función al tiempo de exposición.



En la gráfica anterior destaca el comportamiento de la zeolita comercial (Secuestrec 6®) ya que al primer tiempo de prueba (10 min.) removió 0.794 mg/l de nitrógeno (que corresponde a una remoción del 79.4%) y para los tiempos de 20 a 120 minutos la cantidad de nitrógeno removido osciló entre 0.859 a 0.929 mg/l. esto significa que para 20 min. de exposición a penas si se logra un 6% de incremento en la remoción en nitrógeno con respecto a los 10 min. iniciales y hasta un total de 13% de incremento para 2 horas de exposición también con respecto al tiempo inicial de 10 min.

Como se comentó anteriormente, la zeolita es uno de los adsorbentes que presenta afinidad ante la molécula amonio y aunque el proveedor no da a conocer la características de esta zeolita (especialmente modificada), los trabajos de Bosch y Schifter (1997); Nguyen y Tanner (1998); Demir et al. (2002); y Jorgensen y Weatherley (2002) mencionan que la afinidad por dicha molécula es debido a que esta constituido por cristales de aluminosilicatos que contienen canales y cavidades (llamados comúnmente poros) con dimensiones moleculares de 3 a 10 Å para ser ocupadas por cationes metálicos alcalinos y alcalinotérreos, además de otros cationes como el amonio y moléculas de agua.

Queda claro entonces, que este material como su proveedor lo anuncia esta diseñado para la remoción de nitrógeno y que cumple con el objetivo de obtener las mayores remociones en los menores tiempos.

El hecho de que a mayores tiempos de exposición no se logren incrementos en la remoción de nitrógeno proporcionales con respecto al tiempo, puede deberse a un efecto de saturación del material, y así lo soportan los trabajos de Emadi et al. (2001) y Demir et al. (2002) donde discuten que la zeolita tiene la propiedad de efectuar la adsorción total de amonio en los primeros periodos de exposición y explican que la razón de este fenómeno podría deberse a dos factores: el primero es que el adsorbente al inicio de la remoción tiene sitios de intercambio disponibles; el otro factor es que existe un mayor gradiente de concentración; por lo que después de un tiempo la remoción de amonio disminuye significativamente a consecuencia de la disminución de los sitios de adsorción.

Para el caso del carbón activado (Nobrac 900®) se observó con sorpresa que la respuesta a la remoción no fue la esperada ni para el carbón en su presentación comercial, ni para el carbón molido.

Por ejemplo; cuando se uso el carbón activado en su presentación comercial (granular) a tiempos de exposición de 10, 20 y 40 min. las remociones oscilaron entre 0.0540 y 0.0940 mg/l, es decir entre el 5 y 9% aproximadamente; valores extremadamente bajos como para competir contra la zeolita.

A partir de los 60 y hasta 120 minutos, el carbón activado granular incrementa la remoción de nitrógeno a 0.286 y 0.281 mg/l (28.6 y 28.1%) respectivamente; sin embargo, estos niveles de remoción son insuficientes considerando los tiempos necesarios para lograrlos. Una posible explicación de este bajo rendimiento pondría deberse a la presentación física que este material tiene para su comercialización; por esa razón se considero someter a molienda al carbón activado con la finalidad de incrementar el área superficial del material y hacer más eficiente la remoción.

En la misma gráfica (8.3.1) se presenta el comportamiento del carbón activado molido a malla 60 y de nueva cuenta -sorprendentemente- para los tiempos de 10 y 20 min. el adsorbente presenta una nula respuesta a la remoción de nitrógeno. Sin embargo, ya a tiempos de 40 min. se comienza a observar, aunque ligeramente, incrementos en la remoción de nitrógeno que llegan a ser casi el doble (0.175 mg/l) con respecto al carbón sin moler para el mismo tiempo.

Básicamente, la tendencia del carbón molido es similar a la del carbón granular en los tiempos de 40, 60 y 120 min. con la diferencia de que los valores de remoción llegan a ser casi el doble para el carbón molido con respecto al granular.

Ampliando el comentario con respecto al párrafo anterior, se tiene que la generación de área superficial para el carbón activado incrementó la capacidad de remoción de nitrógeno en aproximadamente un 100% para los tiempos de 40, 60 y 120 min. este efecto es ampliamente reportado por los trabajos de Yang (2003); y Thomas y Crittenden (1998).

Sin embargo, el desempeño por parte del carbón activado deja mucho que desear por consiguiente este material no resulta ser competitivo contra la zeolita que es una arcilla específica para la remoción de este contaminante (de acuerdo al proveedor).

En este trabajo se espera que el bagazo de caña presente valores superiores de remoción de nitrógeno con respecto al carbón activado y preferentemente alcanzar remociones cercanas a las que presenta la zeolita, conjuntamente con un comportamiento similar en cuanto al tiempo de exposición.

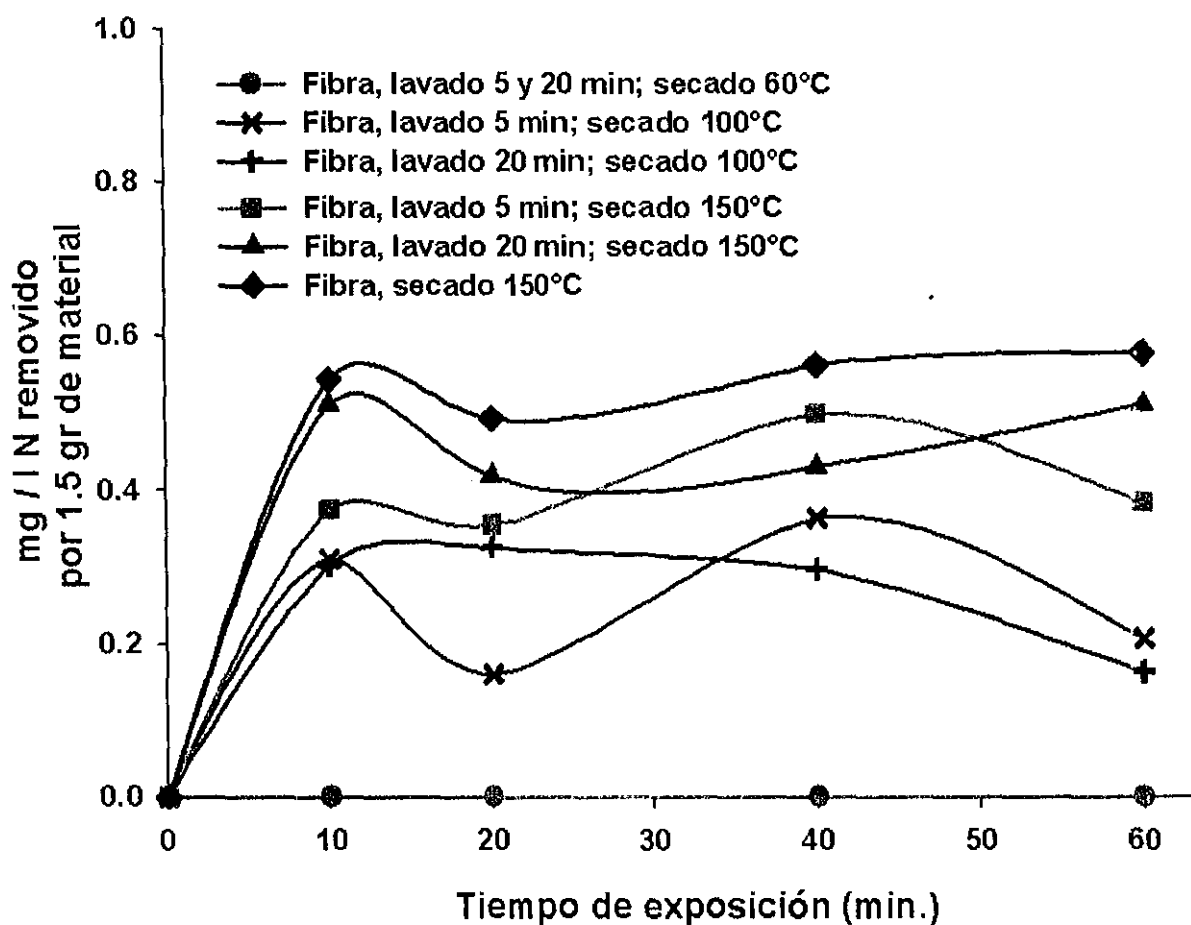
Para corroborar lo anterior, se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la activación y comportamiento como adsorbente de nitrógeno de la materia prima propuesta, el bagazo de caña.

## 8.4- REMOCIÓN DE NITRÓGENO AMONIAICAL POR EL BAGAZO DE CAÑA

### 8.4.1- Fibra de bagazo de caña

Cuando la materia prima fue fraccionada, se conjuntaron las fracciones de la malla 20 y la malla 40 para constituir la fracción de fibra de bagazo de caña. La cual fue sometida a los procesos de activación (molienda, lavado y/o secado) descritos en la metodología y el material resultante fue probado como adsorbente para la remoción de nitrógeno, también de acuerdo a la metodología descrita.

Los resultados obtenidos se presentan en la gráfica 8.4.1.



Gráfica 8.4.1- Remoción de nitrógeno amoniacal por parte de la fibra de bagazo de caña.

***En términos generales la gráfica 8.4.1 indica que la fibra de bagazo funciona como adsorbente para la remoción de nitrógeno.***

El argumento citado anteriormente confirma la hipótesis que se planteo al inicio de este trabajo.

Ahora bien, volviendo a la gráfica 8.4.1, se observa que un punto sobresaliente es que la fibra sometida a tratamientos térmicos con una temperatura de 150°C presenta la mayor eficiencia en remoción de nitrógeno al primer tiempo de evaluación que corresponde a 10 minutos.

Se puede ver que el tratamiento de lavado sobre la fibra, no representa una influencia positiva en la remoción de nitrógeno.

Para corroborar lo anterior, en la misma gráfica; se muestra la remoción por parte de la fibra únicamente sometida a un tratamiento de secado a una temperatura de 150°C; asombrosamente, este tratamiento es el que muestra las mayores remociones de nitrógeno a los diferentes tiempos de exposición, principalmente a los 10 min.

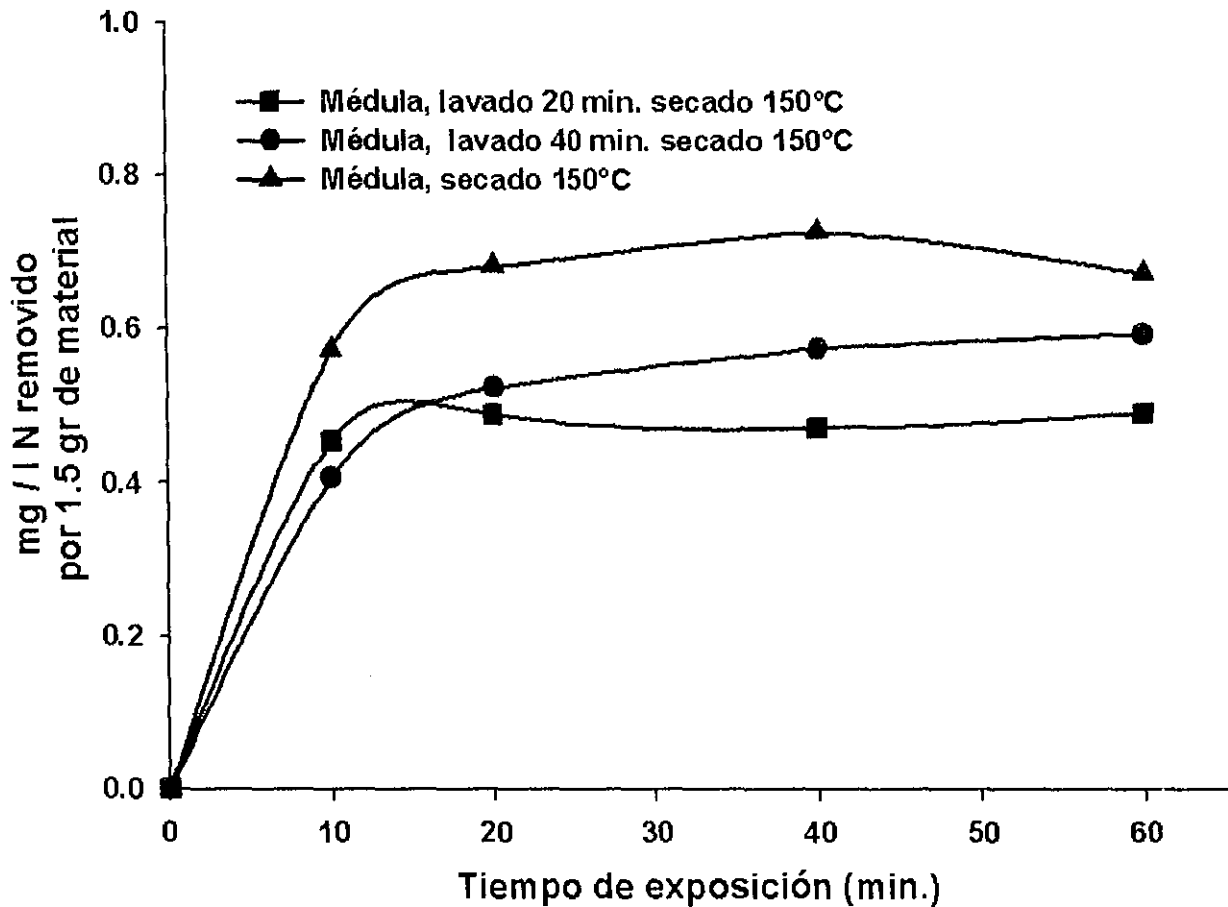
Esto es, por citar un ejemplo de lo comentado anteriormente, la fibra secada a 150°C, remueve 0.5432 mg/l de N; mientras que la fibra lavada por 20 min. a ebullición y secada a 150°C remueve 0.5098 mg/l de N; traduciendo esto a porcentajes es aproximadamente el 5 % de diferencia a favor de la fibra sin lavar.

Cabe mencionar que por el momento no se compara el resultado de remoción de nitrógeno de la fibra de bagazo de caña con los materiales comerciales. Se opta por presentar un grafico comparativo incluyendo los mejores resultados experimentales de todas las fracciones del bagazo probadas como parte final de la discusión de resultados.

#### **8.4.2- Médula de bagazo de caña**

La evaluación de remoción de nitrógeno por parte de la fracción médula, se hizo tomando como referencia a los mejores tratamientos que funcionalizaron a la fracción fibra, este proceso se refiere principalmente al tratamiento térmico con una temperatura de secado a 150°C; adicionalmente se emplean lavados a ebullición por 20 y 40 minutos; la decisión de incrementar el tiempo de lavado a 40 min. es debido a que las referencias bibliográficas mencionan que la médula es un material altamente poroso que concentra tierra y finos solubles que podrían interferir en la remoción y con el método de cuantificación de nitrógeno.

El comportamiento de remoción nitrógeno por parte de la médula se ilustra en la gráfica 8.4.2.



Gráfica 8.4.2- Remoción de nitrógeno amoniacal por parte de la fracción médula de bagazo de caña.

La gráfica 8.4.2 muestra que la fracción médula también presenta la capacidad de remoción de nitrógeno.

Además se puede apreciar un comportamiento de remoción similar al de la fracción fibra, solo que para este material parece ser que la remoción se va incrementando gradualmente conforme transcurre el tiempo de exposición, un poco más adelante se comenta a detalle esta tendencia; además el tratamiento que mejores resultados tiene con respecto al efecto de remoción, es la médula sometida solamente a una temperatura de secado de 150°C. lo destacado es que las fracciones de fibra y médula, presentan remociones de nitrógeno por arriba del 50%.

La tendencia que muestra la médula lavada por 20 min. a ebullición es como sigue: Al primer tiempo de evaluación (10 min.) ya se presenta una saturación, debido a que a los siguientes tiempos los niveles de remoción de nitrógeno prácticamente no cambian.

Para la médula lavada por 40 min. a ebullición se presenta una tendencia a incrementar los niveles de remoción conforme va transcurriendo el tiempo de exposición pero para cada tiempo el incrementote de la remoción es cada vez menor, de tal suerte que los valores son: 0.4069; 0.5234; 0.5751 y 0.5943 mg/l de N removido.

El tratamiento que no deja de sorprender es el de una simple etapa de secado a 150°C, ya que la tendencia es similar a la descrita en el párrafo anterior (aumento de remoción conforme transcurre el tiempo). En este caso particular, los valores de remoción son: 0.5726; 0.6811; 0.7264 y 0.6727 mg/l de N removido; para tiempos de 10, 20, 40 y 60 minutos respectivamente; debido a ello este simple tratamiento se constituye como el mejor por ahora.

La razón por la que la médula se constituye como la fracción que mejor adsorbe nitrógeno, es debido a que esta compuesta en su mayoría por sílice, alrededor del 1.8 a 4.6%, según se reporta en el Manual de los derivados de la caña de azúcar (1990).

Por lo anterior, y considerando la información que Bosch y Schifter (1997); Jorgensen y Weatherley (2002) y Demir et al. (2002) reportan en cuanto a que la zeolita es un aluminosilicato, con afinidad para adsorción de amonio y por la posible similitud estructural con la composición de la médula, es decir, el sílice; se explicaría la similitud del comportamiento de remoción.

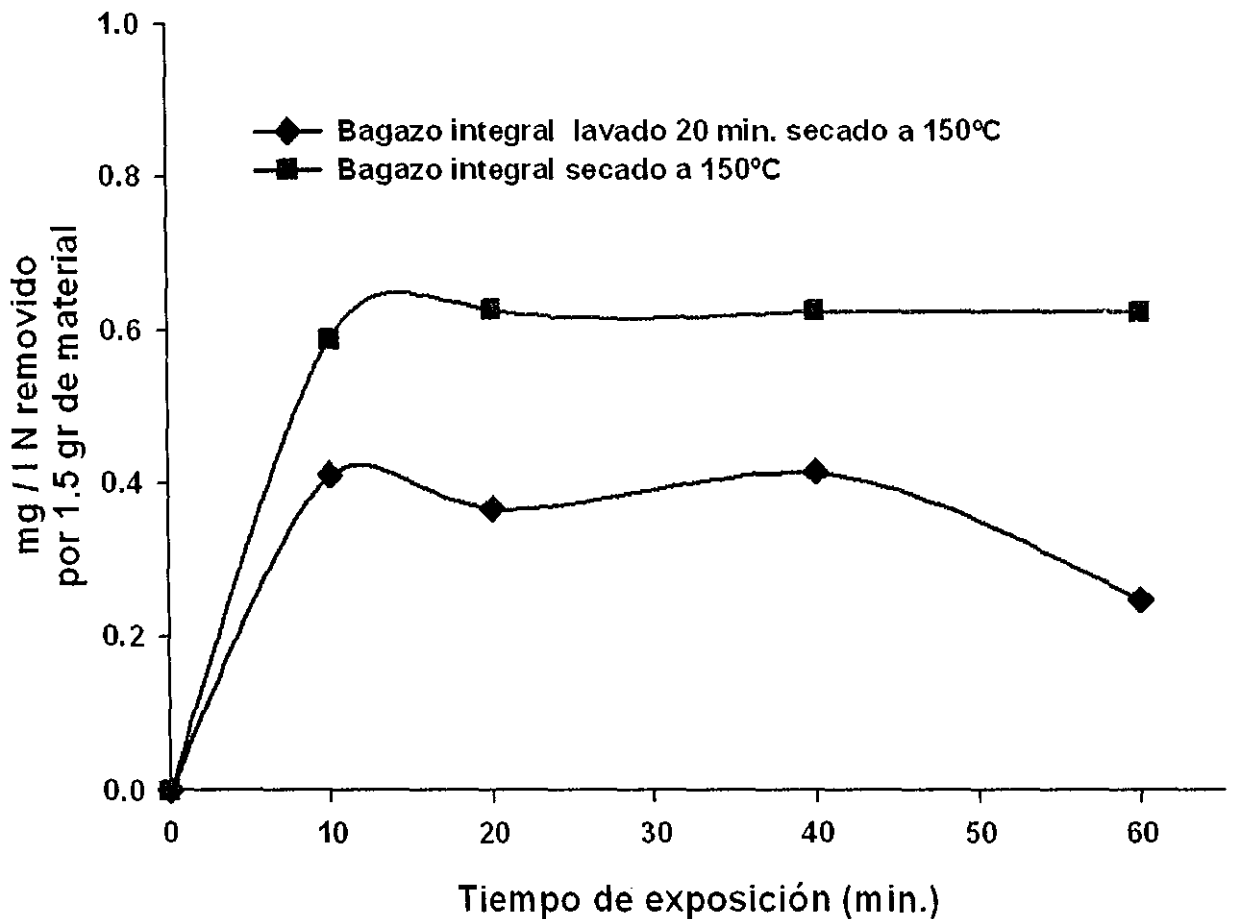
De los resultados antes comentados parece factible entonces; evaluar como material adsorbente al bagazo integral.

### 8.4.3- Bagazo integral

Debido al comportamiento de remoción de nitrógeno amoniacal tanto de la fracción de fibra como de la fracción médula del bagazo de caña ante los tratamientos de activación, como molienda, lavado y/o temperatura de secado a 150°C; se opta por evaluar al bagazo integral, de tal forma que se esperan resultados similares.

De ser así se reduciría al mínimo los pasos de preparación y activación del material ya que el bagazo no tendría que ser separado en sus diferentes fracciones.

A continuación, en la gráfica 8.4.3 se presenta la eficiencia de remoción del bagazo integral.



Gráfica 8.4.3- Remoción de nitrógeno amoniacal por parte del bagazo integral de la caña de azúcar.

Los resultados de esta experimentación muestran que el bagazo integral también lleva acabo la remoción de nitrógeno amoniacal.

La eficiencia de remoción por su parte es similar a la de las fracciones sometidas a remoción individualmente (fibra y médula); además se aprecia que la temperatura de secado a 150°C es un factor determinante para activar al material.

De acuerdo a lo que muestra la gráfica 8.4.3 tal parece que el lavado no tiene un efecto positivo en la activación del material como adsorbente para nitrógeno; una posible explicación a este hecho podría ser, que al momento de lavar el material a temperaturas de ebullición se estén removiendo elementos que de alguna forma potencializan la remoción de nitrógeno a través de este tratamiento térmico.

Y esto se corrobora nuevamente con el bagazo integral tratado a una temperatura de secado de 150°C exclusivamente, donde la concentraciones de remoción para los tiempos de 10, 20, 40 y 60 min. son: 0.5891; 0.6277; 0.6260 y 0.6252 mg/l de N removido respectivamente.

La diferencia porcentual promedio entre uno y otro tratamiento, en términos generales, es del 22% favorable para el bagazo integral secado a 150°C sin lavado.

#### **8.4.4- Remoción de nitrógeno amoniacal con los mejores tratamientos de activación.**

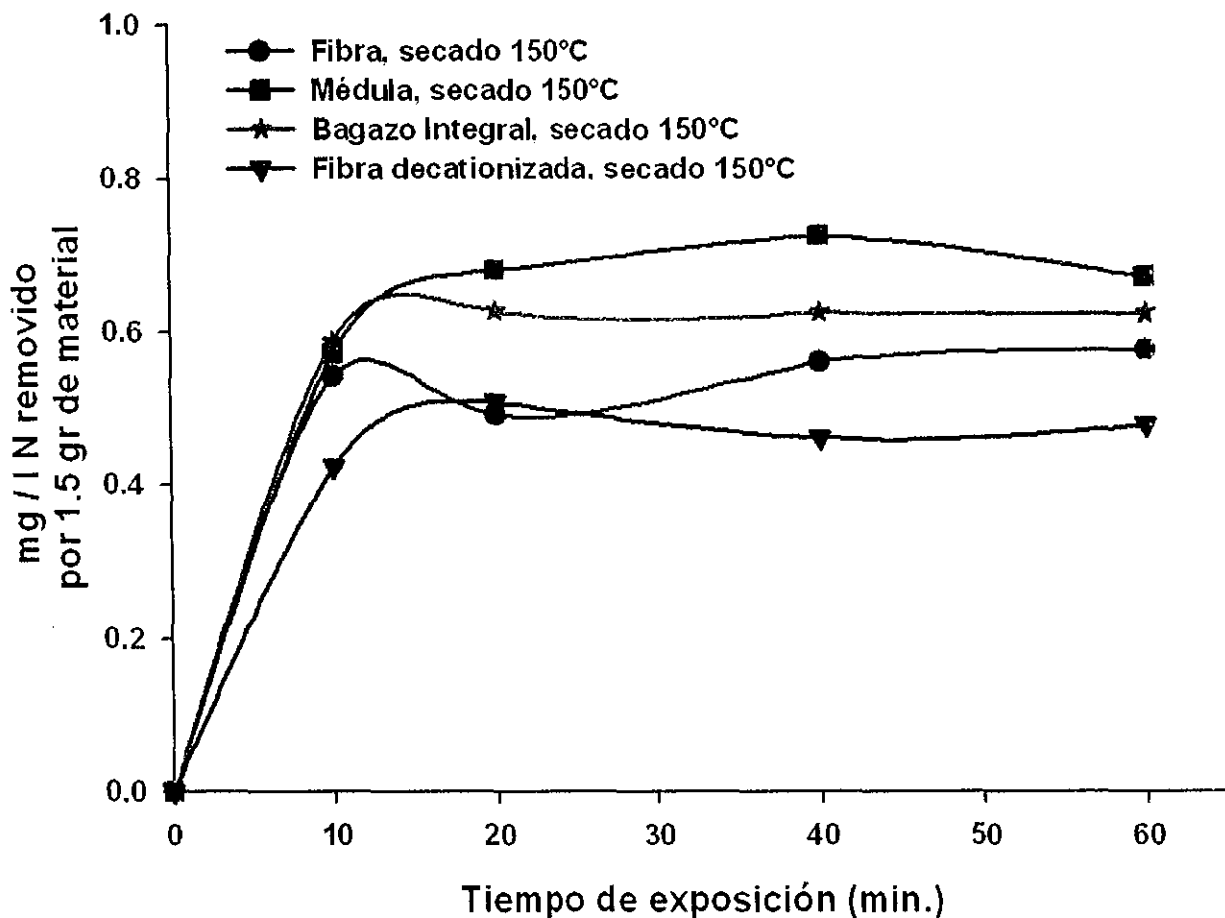
En lo particular se podría discutir cada uno de los tratamientos a los que fueron sometidas las fracciones del bagazo de caña; sin embargo, es importante destacar - como se ha venido haciendo- los tratamientos y materiales que mejor han dado respuesta en la remoción de nitrógeno amoniacal.

Conjuntamente, en este apartado se presentan los resultados obtenidos de la decationización con quelante en medio ácido de acuerdo a la metodología antes descrita con la finalidad de evaluar si la presencia de cationes metálicos podría ocasionar una interferencia en cuanto a la determinación de nitrógeno en el método de la sal de fenol.

Esta evaluación fue hecha únicamente para la fracción fibra y posteriormente fue sometida al tratamiento térmico que mejor respuesta ha tenido en el proceso de remoción.



En la gráfica 8.4.4 se presenta a manera resumen los materiales que presentan mayores niveles de remoción de nitrógeno y la evaluación de la fibra sometida decationización.



Gráfica 8.4.4- Remoción de nitrógeno amoniacal a partir de las fracciones de bagazo de caña con los mejores tratamientos de activación y decationización de la fracción

Sigue sin dejar de sorprender los resultados que se muestran en la gráfica 8.4.4 donde se tiene a manera de resumen las fracciones sometidas solamente a la temperatura de secado de 150°C.

Comparando exclusivamente las dos fracciones que conforman al bagazo de caña sometidas al mismo tratamiento (secado a 150°C), es decir, fibra contra médula; se puede apreciar que la fracción médula es la que presenta mejores resultados de remoción, cuyos valores para los 10, 20, 40 y 60 minutos de exposición son de 0.5726; 0.6811; 0.7264 y 0.6727 mg/l de nitrógeno para los tiempos respectivos.

Sí se indica la eficiencia de remoción de la médula en términos porcentuales con respecto a la fracción fibra, se tiene que la médula presenta porcentajes de remoción por arriba del 2.94% para los tiempos de exposición de 10 min. lo cual no es tan significativo, pero cuando el tiempo de remoción se extiende hasta 20 min. la remoción de nitrógeno se incrementa en un 18.88%, posteriormente ya a los 40 min. la remoción disminuye ligeramente siendo tan sólo de 16.43% mayor que el que presenta la fibra, la tendencia de la médula es de disminuir el porcentaje de remoción de tal suerte que a los 60 min. la diferencia es de tan sólo 9.53%.

La gráfica también muestra que el uso de las dos fracciones en conjunto, la cual se le conoce como bagazo integral; presenta niveles intermedios de remoción de nitrógeno con respecto a la fracción médula y fibra; trasladando esta afirmación a mg/l de N, se encuentra que a los tiempos de 10, 20, 40 y 60 min. muestran remociones de 0.5891; 0.6277; 0.6260 y 0.6252 mg/l de nitrógeno respectivamente.

Lo anterior indica que el bagazo integral definitivamente es la mejor opción para la remoción de nitrógeno amoniacal, ya que logra niveles de remoción por arriba del 58% a los 10 minutos de exposición y al mismo tiempo se consigue eliminar las etapas de clasificación y lavado durante en el proceso de obtención del adsorbente (bagazo integral).

Otro punto a discutir es el resultado que presenta la fibra sometida a decationización. En general, muestra un comportamiento de remoción similar a la de los materiales sometidos a los tratamientos de lavado con agua desionizada y secado; sin embargo los niveles de remoción son un poco más bajos, los cuales corresponden a 0.4239; 0.5087; 0.4629 y 0.4786 mg/l de N respectivamente con los tiempos de 10, 20, 40 y 60 minutos de exposición.

Asimismo, este tratamiento de decationización demuestra que el método de la sal de fenol cuantifica perfectamente la presencia de nitrógeno residual en el sistema, sin tener dificultades por la presencia de cationes y otros elementos que persisten después de los lavados con agua destilada.

Dentro este esquema también se aprecia que la eliminación de cationes con este tratamiento desfavorece la remoción de nitrógeno amoniacal, lo cual podría dar la siguiente explicación sobre el fenómeno de remoción por parte del bagazo de caña.

Partiendo de lo que se reporta en el Atlas del bagazo de caña de azúcar (1990) y el Manual de los derivados de la caña de azúcar (1990), se puede decir que el fenómeno de remoción se debe a las propiedades físicas y químicas que la materia prima presenta; en cuanto a la primera propiedad se le atribuye al alto contenido de poros que sus vasos presentan dando origen a los mecanismos de adsorción y capilaridad.

Con respecto a la composición química, el contenido de cationes en la materia prima también puede tener una fuerte influencia en la remoción, tal y como lo mostró el material decationizado.

El trabajo de investigación de Andrade (1997) indica que es difícil eliminar completamente algunos cationes del bagazo de caña, uno de los más problemáticos es el hierro. Partiendo de ese dato y de lo observado en cuanto a que una decationización no produce un efecto positivo para la remoción de nitrógeno y si aunado a eso se considera que el nitrógeno es un excelente donador de pares de electrones como lo refiere Bell (1980) lo que permite al nitrógeno formar enlaces coordinados con cationes, como con el hierro por ejemplo; entonces especulando un poco: los cationes embebidos en la matriz del bagazo de caña podrían invitar al nitrógeno a compartir sus pares de electrones con ellos y entonces el nitrógeno queda ligado a la superficie del material.

Por otra parte, el alto contenido de sílice que presenta el bagazo de caña también podría explicar -como ya se comentó anteriormente- el comportamiento de remoción de nitrógeno, que resulta tan semejante al de la zeolita.

Como dato adicional a lo anterior, el contenido porcentual de hierro más sílice en la fibra es de 0.6 a 1.2 %; en médula de 1.8 a 4.6% y en bagazo integral de 1 a 4 % esto de acuerdo al Manual de los derivados de la caña de azúcar (1990).

Esto es sólo una parte que justifica el fenómeno de remoción; obviamente que la temperatura de secado, específicamente a 150°C esta jugando un papel importante.

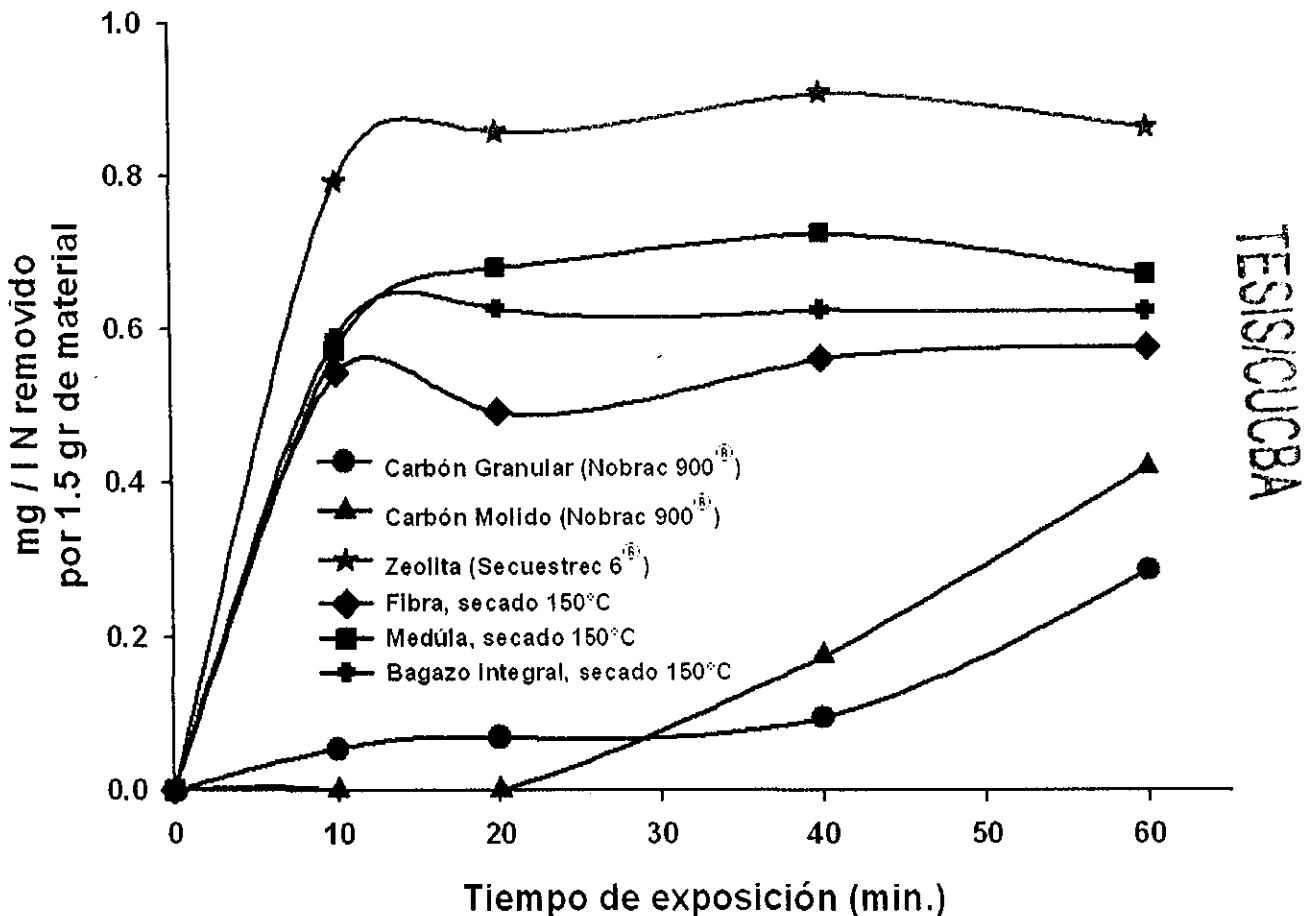
Una posible respuesta, es que el bagazo de caña por su propia naturaleza es un material lignocelulósico constituido por 41 a 44% de celulosa y del 20 al 22 % de lignina. Pues resulta que la lignina al ser sometida a temperaturas elevadas, pasa por un proceso que se le conoce como punto de transición vítrea, aunque no se cuenta con este dato para la lignina del bagazo de caña, se sabe que en las maderas el punto de transición vítrea de la lignina es alrededor de 165 a 180 °C, de acuerdo con Casey (1980) y Gaytan et al. (1990); se supone que para el caso de la lignina del bagazo de caña la temperatura del punto de

transición vítrea debe estar por debajo de las de las maderas, por ser una planta anual; muy probablemente, en el caso del bagazo de caña, se haya alcanzando el punto de transición vítrea para la lignina a las temperaturas de secado de 150°C; es factible que ocurran cambios en las estructuras que recubren a las fibras del bagazo de caña generando posibles sitios de intercambio.

#### 8.4.5- Remoción de nitrógeno amoniacal por parte de los adsorbentes comerciales y el bagazo de caña.

Como parte del objetivo de esta investigación después de haber demostrado la hipótesis establecida; se comparan las fracciones que mejores resultados presentaron en cuanto a la remoción con los materiales comerciales.

En la gráfica 8.4.5 se muestran las tendencias de los materiales probados en cuanto a la eficiencia de remoción del contaminante que se evalúa.



Gráfica 8.4.5- Niveles de nitrógeno amoniacal removidos por los adsorbentes comerciales y las fracciones de bagazo caña.

Las remociones que se muestran en la gráfica 8.4.5 ya han sido discutidas en los apartados anteriores, sin embargo, lo que aquí se quiere destacar es cuales son los niveles de remoción del bagazo de caña con respecto a los materiales comerciales.

Los comportamientos son claros, sin embargo, si se desea realizar una evaluación a detalle se requiere de información numérica, para tal efecto se ha construido la tabla 8.4.1, que se muestra a continuación.

Tabla 8.4.1- Remoción de nitrógeno amoniacal en mg/l con los materiales comerciales y las fracciones de bagazo de caña.

Tiempo (min.)	Carbón activado granular <i>Nobrac 900</i> <sup>®</sup>	Carbón activado molido <i>Nobrac 900</i> <sup>®</sup>	Zeolita <i>Secuestrec 6</i> <sup>®</sup>	Fibra secado 150°C	Médula secado 150°C	Bagazo integral secado 150°C
10	0.0540	0.000	0.7940	0.5432	0.5726	0.5891
20	0.0690	0.000	0.8590	0.4923	0.6811	0.6277
40	0.0940	0.1750	0.9100	0.5621	0.7264	0.6260
60	0.2860	0.4210	0.8650	0.5775	0.6727	0.6252

Es evidente, tanto en la gráfica 8.4.5 como en tabla 8.4.1, la respuesta en cuanto a eficiencia de remoción de nitrógeno por los absorbentes estudiados.

Para el bagazo de caña (fracción fibra, fracción médula e integral) los niveles de nitrógeno removidos superan sin lugar a dudas al carbón activado *Nobrac 900*<sup>®</sup> en las dos presentaciones que se evaluaron.

Por ejemplo, en el rango de los 10 a los 20 min. de exposición se puede ver que los niveles promedios de remoción de las fracciones de bagazo de caña son 51.43% mayores con respecto al mismo rango de exposición del carbón activado; aunque para tiempos mayores de 40 min. las diferencias porcentuales disminuyen debido a que el carbón activado incrementa la remoción de nitrógeno, pero sin lograr los niveles que muestra el bagazo de caña; de tal suerte que el carbón activado molido con tiempos de 60 min. remueve 0.4210 mg/l de N, mientras que el carbón activado granular al mismo tiempo presenta 0.2860 mg/l de N removidos, que están alejados de los 0.6251 mg/l de N que en promedio remueven el bagazo de caña para el mismo tiempo.

En base a lo anterior, el carbón activado aquí probado, el *Nobrac 900*<sup>®</sup> definitivamente no compete de una manera eficiente en cuanto a la remoción de nitrógeno contra el bagazo de caña.

Además se puede ver que el comportamiento de remoción del bagazo de caña esta muy lejos de ser semejante al del carbón activado.

Sin embargo, comparando los niveles de remoción del bagazo de caña contra los de la zeolita comercial, es evidente que el bagazo no logra igualar las capacidades de la zeolita en este sentido.

Al observar la gráfica 8.4.5, se puede ver que -en términos generales- prácticamente no existe una gran diferencia entre las diferentes fracciones del material en cuanto a remoción de nitrógeno (a todos los tiempos probados).

Un análisis con más detenimiento muestra que la fracción fibra es la menos eficiente en cuanto a la remoción de nitrógeno en el rango de los 20 a 60 min. en comparación con la fracción médula y bagazo integral. Por lo que se destacan estas 2 últimas en cuanto a su eficiencia para la remoción de nitrógeno, comparativamente hablando con respecto a la zeolita comercial.

Si se compara el bagazo integral contra la zeolita comercial, los niveles porcentuales de remoción del bagazo integral se encuentran al rededor del 24% por debajo de los que muestra la zeolita comercial, esto es en promedio para todos los tiempos de prueba entre ambos materiales.

Es interesante observar el comportamiento de la fracción médula de bagazo en relación al de la zeolita comercial; este material, médula, es el que más se acerca a los niveles de remoción de nitrógeno que presenta la zeolita. Basados en los datos de la tabla 8.4.1, se puede decir que para todos los tiempos de exposición probados para ambos materiales la diferencia es de tan sólo el 20%, obviamente mayor para la zeolita.

Adicionalmente, llama la atención el comportamiento tan similar en cuanto a la remoción de nitrógeno amoniacal por parte del bagazo de caña (fracción fibra, fracción médula e integral) con respecto a la zeolita comercial, es decir, que tanto el bagazo de caña como la zeolita a partir de los 20 min. de exposición presentan lo que al parecer es un efecto de saturación (también llamado punto de equilibrio) en el que a tiempos mayores exposición, la remoción ya no presenta incrementos significativos (menores al 7%); dicho fenómeno se explicó anteriormente en el apartado de materiales comerciales, donde los trabajos de Emadi et al. (2001) y Demir et al. (2002) explican que es debido a que al inicio de la remoción el adsorbente tiene sitios de intercambio disponibles por lo que después de un tiempo de exposición con el amonio disminuyen los sitios de adsorción.

En función de los resultados aquí analizados y a los comentarios previos (pagina 45) se corrobora que el bagazo integral se constituye como la mejor opción para ser empleado como material adsorbente, ya que simplifica los tratamientos de activación y presenta niveles aceptables de remoción.

#### **8.4.6- Remoción de nitrógeno amoniacal en un sistema acuícola a nivel piloto con bagazo de caña integral.**

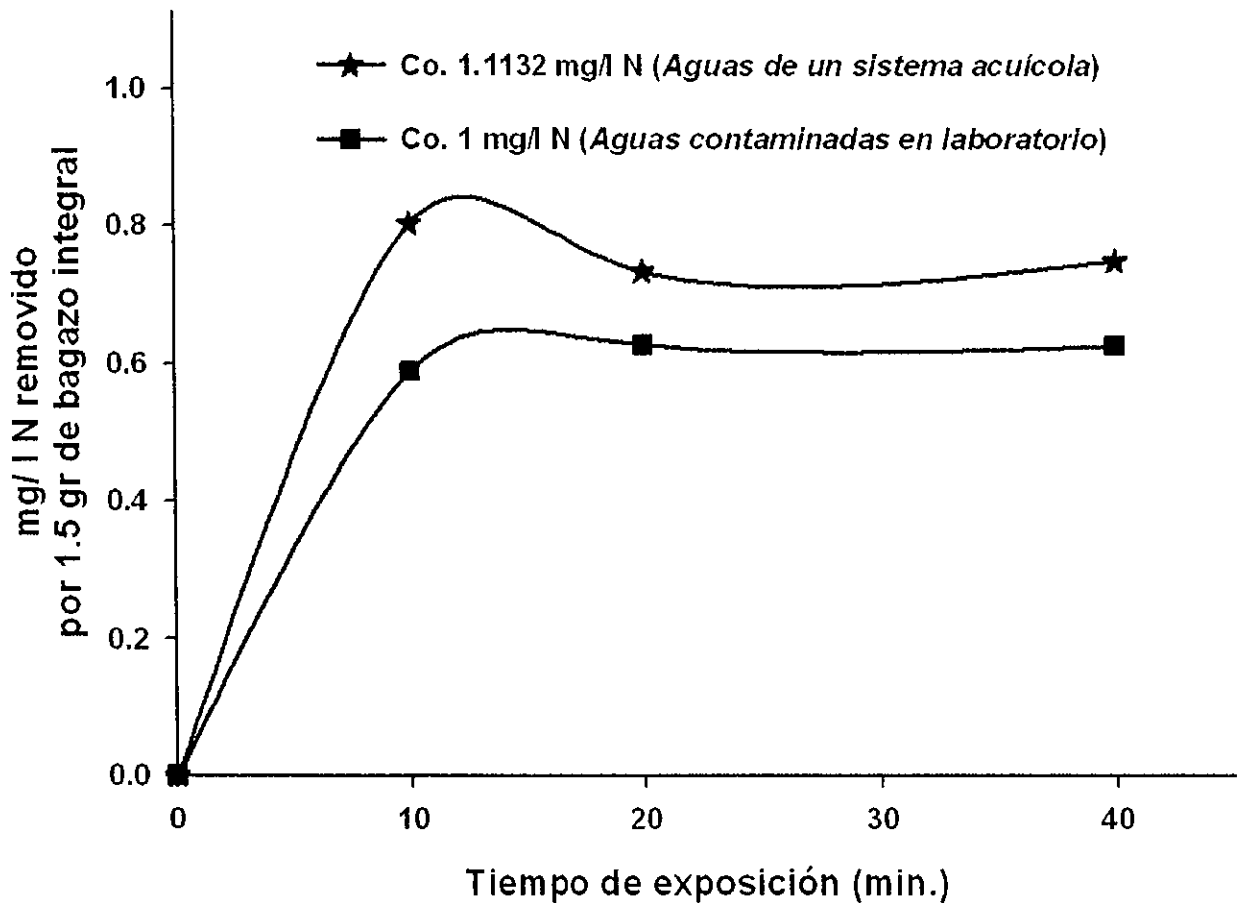
Una vez demostrado que el bagazo de caña es un material capaz de remover nitrógeno amoniacal y después de la evaluación de la eficiencia de remoción de las 2 fracciones; se decide entonces someter a prueba al bagazo de caña integral para la remoción de nitrógeno en aguas provenientes de un sistema acuícola con recirculación.

Las aguas se tomaron del Laboratorio de Ecosistemas Marinos del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, donde se desarrolla un cultivo de Tilapia a escala piloto.

El análisis del contenido de nitrógeno por el método de la sal de fenol aplicado a las aguas del cultivo de Tilapia en mención, demuestra que la concertación de nitrógeno amoniacal es de 1.1132 mg/l.

Las aguas fueron tratadas de acuerdo a la metodología descrita para la remoción de nitrógeno (el pH del sistema se mantuvo entre 6.5 y 7, sin necesidad de ajuste externo), y posteriormente se evaluó la eficiencia de remoción de nitrógeno con el bagazo integral.

Los resultados se muestran en la gráfica 8.4.6.



Gráfica 8.4.6- Remoción de nitrógeno amoniacal de aguas sintéticas y provenientes de un sistema acuícola usando como adsorbente al bagazo integral.

En la gráfica 8.4.6 se presentan las tendencias de remoción de nitrógeno por parte del bagazo integral; una de las curvas corresponde al comportamiento del que se ha venido explicando con respecto a las aguas sintéticas, es decir preparadas en laboratorio donde el nitrógeno es aportado por el reactivo de cloruro de amonio.

La siguiente curva corresponde a las remociones hechas en las aguas provenientes del sistema acuícola a nivel piloto –este medio es muy similar a los sistemas de cultivo comercial-, la evidencia aportada en esta prueba es contundente en cuanto a que se confirma que el bagazo de caña integral remueve nitrógeno.



Así mismo, en la gráfica 8.4.6 se puede apreciar con sorpresa, que el bagazo integral empleado con aguas provenientes del sistema acuícola, presenta mayores niveles de remoción de nitrógeno que en las aguas que se prepararon en el laboratorio.

Haciendo una comparación porcentual más detallada sobre de la eficiencia de remoción de nitrógeno amoniacal con bagazo de integral en ambos medios, considerando que presentan diferentes concentraciones iniciales; se tiene que los 10 min. el bagazo integral remueve un 77.22% de nitrógeno en las aguas del sistema acuícola, por lo que para este punto y para este sistema se tiene una mejor eficiencia en 18.31% con respecto a las remociones hechas en las aguas contaminadas en el laboratorio; para los siguientes tiempos de exposición esta diferencia tiende a disminuir, ya que para el rango de 20 y 40 minutos de remoción la diferencia es de 3.3% y 4.64% respectivamente.

Otro punto a comentar con respecto a la tendencia de remoción; es que las aguas del sistema acuícola presentaban una concentración de 1.1132 mg/l de N mayor con respecto a 1 mg/l de N que contenían las aguas preparadas en el laboratorio; lo anterior podría explicar que los niveles de remoción por parte del bagazo integral en el sistema acuícola se deben a que existe un mayor gradiente de concentración de nitrógeno amoniacal con respecto a las aguas preparadas en el laboratorio. Un fenómeno similar es discutido en los trabajos de Emadi et al. (2001) y Demir et al. (2002) para la remoción de amonio por parte de la zeolita.

***Como último comentario para la discusión de este apartado; se tiene que el bagazo integral probado para los tiempos de interés muestra porcentajes de remociones de nitrógeno del 77.22% para los 10 min. y 66.07% en 20 min. de exposición en las aguas del sistema acuícola, por lo que en definitiva el bagazo integral aquí evaluado es capaz de remover nitrógeno amoniacal de un sistema acuícola con alta eficiencia.***

Lo anterior si se considera que el medio acuático presenta concentraciones alrededor de 1 mg/l de nitrógeno amoniacal.

## **8.5- Comentarios finales**

Se ha demostrado la habilidad del bagazo de caña para remover nitrógeno amoniacal, tanto en un medio sintético producido en un laboratorio (remociones de 0.60 mg/l de N por 1.5 gr. de adsorbente) como en un cultivo acuícola a nivel piloto (remociones de 0.8039 mg/l de N por 1.5 gr. de adsorbente). Estos son elementos suficientes para que el bagazo integral se implemente como adsorbente en un sistema de filtración.

Adicionalmente, el bagazo de caña es el residuo de una materia prima renovable; requiere de tratamientos mínimos para su activación como adsorbente de nitrógeno en un sistema de filtración de medios acuícolas; por estas razones el bagazo de caña integral se constituye como un absorbente de bajo costo.

Una vez que el bagazo de caña ha sido empleado como adsorbente en un medio acuícola (lo que supone que este material ha concentrado nitrógeno) y debido a que es biodegradable puede emplearse como un abono, cerrando de esta manera un ciclo ecológico.

## **8.6- Recomendaciones**

Como en toda investigación, conforme esta se desarrolla, se generan preguntas que en trabajos relativamente cortos no pueden ser cubiertas en su totalidad, de tal suerte que para las nuevas generaciones de investigadores se les invita a considerar la realización de estudios en función a lo que a continuación se recomienda; los cuales se pueden dividir en 2 bloques:

En cuanto al material: Se recomienda efectuar una serie de estudios en caminados a determinar cual es el o los mecanismos de remoción de nitrógeno (incluyendo el área superficial, tamaño y número de poros), así como el grado de saturación (también llamado punto de equilibrio); además de buscar otros tratamientos de activación, se sugiere vapor de agua. También evaluar la eficiencia del material en cuanto a la remoción variando parámetros como temperatura, pH, contenido de cationes entre otros.

El siguiente bloque se encamina a diseñar y evaluar sistemas de filtración a base de columnas empacadas donde el material de empacado no sólo sea exclusivamente bagazo integral sino que se pueda hacer una mezcla con otros materiales adsorbentes (filtros de materiales compuestos).

Finalmente conjuntando los mejores resultados, ponerlo en práctica a nivel piloto y hacer una evaluación tanto de la eficiencia del material para remover el nitrógeno como del efecto que tiene en el sistema acuático.

De acuerdo al desarrollo de este trabajo de investigación y a los resultados derivados de la misma, se puede concluir en orden cronológico lo siguiente:

- ❖ La técnica de la sal de fenol es una herramienta de elevada exactitud (en el caso de linealidad,  $r=0.998843$ ) que permite cuantificar el contenido de nitrógeno en sistemas acuosos en el rango de 0 a 1 mg/l.
- ❖ De los adsorbentes comerciales que aquí se probaron, la zeolita (*Secuestrec 6®*) presentó los mayores niveles de remoción de nitrógeno que en promedio fueron de 0.856 mg/l por cada 1.5 gr. de adsorbente en los rangos de tiempo de exposición estudiados (para los 10 min. removió 0.794 mg/l de N por 1.5 gr. de material). Por su parte, el carbón activado *Nobrac 900®*, tanto granular como molido, extrañamente presentó remociones que no fueron como se esperaba, ya que el material granular removió 0.286 mg/l por cada 1.5 gr. de adsorbente al cabo de 60 min; para las mismas condiciones el carbón molido removió 0.421 mg/l por cada 1.5 gr. de adsorbente.
- ❖ ***En términos generales, el bagazo de caña funciona como un adsorbente para la remoción de nitrógeno amoniacal de medios acuosos dentro de los niveles de sistemas acuícolas. Esta conclusión confirma la hipótesis planteada en esta investigación.***
- ❖ De los tratamientos de activación para el bagazo de caña aquí estudiados; el lavado no contribuye a incrementar la eficiencia de remoción de nitrógeno e incluso un lavado extensivo como la decationización resulta negativo en cuanto a los niveles de remoción de nitrógeno.
- ❖ Los incrementos en los niveles de remoción para el bagazo de caña se asocian a los tratamientos térmicos, donde destacan las temperaturas de secado de 150°C.

- ❖ De los materiales alternos estudiados, el bagazo integral se constituye como la mejor opción para ser empleado como adsorbente de nitrógeno, requiriendo un tratamiento mínimo de activación consistente en un secado a 150°C. El bagazo integral así activado es capaz de remover 0.617 mg/l de N por 1.5 gr. de material en promedio en los rangos de tiempo de exposición estudiados (para los 10 min. removió 0.5891 mg/l de N por 1.5 gr. de material).
- ❖ Para fines prácticos se propone que los tiempos de exposición a tener en cuenta sean de 10 y 20 minutos ya que tiempos mayores la eficiencia de remoción de nitrógeno no aumenta significativamente (menos del 7%) para los materiales en estudio; además los sistemas de filtración requieren de altos niveles de remoción en el menor tiempo posible.
- ❖ De los materiales comerciales estudiados la zeolita es el más destacado, por ello es conveniente compararlo contra el bagazo integral; de tal manera que en el rango de 10 y 20 min. la zeolita mostró niveles de remoción promedio de 0.8265 mg/l de N por cada 1.5 gr. de adsorbente mientras que el bagazo integral para las mismas condiciones removió 0.6084 mg/l de N por 1.5 gr. de material; esto es que la eficiencia del bagazo integral es apenas 26.4% menor al de la zeolita. Cabe destacar que la zeolita es un material diseñado específicamente para la remoción de amonio o nitrógeno amoniacal.
- ❖ De las pruebas efectuadas con aguas provenientes de un sistema acuícola; se tiene que el bagazo integral (activado sólo térmicamente a 150 °C) para la remoción de nitrógeno partiendo de una concentración inicial de 1.1132 mg/l de N a los tiempos de interés (10 y 20 min.) presenta porcentajes de remociones de nitrógeno del 77.22% para los 10 min. y 66.07% en 20 min. de exposición, por lo que en definitiva el bagazo integral aquí evaluado es capaz de remover nitrógeno amoniacal de un sistema acuícola con alta eficiencia.

De las conclusiones anteriores, es factible la incorporación del bagazo de caña en los sistemas de filtración en medios acuícolas, donde las concentraciones son de alrededor de 1 mg/l de amonio.

Además el uso de este tipo de materiales lignocelulósicos biodegradables -que son considerados residuos o basura en los ingenios azucareros de algunas regiones- pueden intervenir en el saneamiento de medios acuáticos por contaminación de nitrógeno proveniente de las actividades acuícolas con buena eficiencia y con compatibilidad con el medio ambiente.

## Capítulo 10 BIBLIOGRAFÍA

---

Andrade, O. J. A., 1997. Empleo de nuevos agentes quelantes para mejorar la selectividad del blanqueo TCF de pulpa de bagazo de caña, Tesis de maestría, Departamento de Madera Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.

APHA, AWWA, WPCF, 1992. "Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales" Ediciones Diaz de Santos, S. A. de C. V. Paginas 136 y 137.

Arredondo F. J. L; Ponce P. J. T. 1998. Calidad del agua en la acuicultura, conceptos y aplicaciones. AGT Editor, S.A. México D.f. pp.222.

Atlas del bagazo de caña de azúcar. 1990. Cuba 9 – GEPLACEA- PNUD-ICIDCA.

Bell C. F. 1980. Quelación de metales: Principios y aplicaciones. Editorial, el manual moderno.

Bosch P; Schifter I. 1997. La zeolita una piedra que hierve, La ciencia para todos, segunda edición. Fondo de cultura económica. México.

Çelik; M. S; Özdemir B; Turan M; Koyuncu ; Atesok G; Sarikaya H. Z. 2001. Removal of ammonia by natural clay minerals using fixed and fluidised bed column reactors. Water Science and Technology: Water Supply. Vol 1, No.1. pp. 81–88.

Chen S; Fornshell G. C. G. Effluents: Dissolved compounds. Stickney R. R. 2000. Encyclopedia of aquaculture. A Wiley-Interscience Publication. pp. 283-286.

Cesey J. P. 1980. Pulp and paper, chemistry and chemical technology. TI, third edition. pp. 201-240 y 633-659.

Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, Diario Oficial de la Federación, Miércoles 13 de diciembre de 1989.

Comisión Nacional del Agua. 2006. Síntesis del IV foro mundial del agua. México. pp. 1-15.

Demir A; Günay A; Debik E. 2002. Ammonium removal from aqueous solution by ion-exchange using packed bed natural zeolite. *Water SA*. Vol.28, No. 3. pp. 329-335.

Dizhbite T; Zakis G; Kizima A; Lasareva E; Rossinskaya G; Jurkijane V; Telysheva G; Uldis V. 1999. Lignin – a useful bioresource for the production of sorption-active materials. *Bioresource Technology*. Vol. 67. pp 221-228.

Douglas H. E. *Performance Engineering*. Oregon State University. Corvallis, Oregon. Stickney R. R. 2000. *Encyclopedia of aquaculture*. A Wiley-Interscience Publication Texas. pp. 629-645.

Ebeling J. M; Timmons M. B; Bisogni J. J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*. Vol. 257, pp. 346–358.

Emadi H; Nezhad J. E; Pourbagher H. 2001. *In vitro* Comparison of Zeolite (Clinoptilolite) and Activated Carbon as Ammonia Absorbants in Fish Culture. *Naga, The ICLARM Quarterly*, Vol. 24, No. 1 y 2. pp.18-20.

*Encyclopedia of aquaculture*. 2000. A Wiley-Interscience Publication Texas. pp. 991-999.

Gaytan A. P; Janknecht S; Barbe M; Valade J. L. 1990. Comparación de la pastas provenientes: *Pinus caribea var. Honduransis* de una plantación de mezcla de especies de bosque natural. *Celulosa y papel de Venezuela*. pp. 20-35.

Grommen, R; Van Hauteghem, I; Van Wambeke, M; Verstraete, W. 2002. An improved nitrifying enrichment to remove ammonium and nitrite from freshwater aquaria systems. *Aquaculture [Aquaculture]*. Vol. 211, no. 1-4, pp. 115-124.

Hargreaves J. A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture* 166. pp. 181–212.

Heggemann M. H; Warnecke H. J. 2001 Removal of ammonia from aqueous systems in a semibatch reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol. 40, No. 15. pp. 3361-3368.

Jorgense T; Weatherley L. 2002. Ammonia removal from wastewater by ion exchange in the presence of organic contaminants. *Water Research*. Vol. 37, pp. 1723-1728.

- Krishnani K. K; Parimala V; Meng X. 2004. Detoxification of chromium (VI) in coastal water using lignocellulosic agricultural waste. *Water SA*. Vol. 30, No. 4. pp. 541-546.
- Kohler C. C. Striped bass and hybrid stripes bass culture. Stickney R. R. 2000. *Encyclopedia of aquaculture*. A Wiley-Interscience Publication. pp. 898-907.
- Lin Y. F; Jing S. R; Lee D. Y; Wand T. W. 2002. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system *Aquaculture* 209 pp. 169-184.
- Manual de los derivados de la caña de azúcar. 1990. GEPLACEA. Segunda edición. pp.445.
- Miladinovic N; Weatherley L. R; 2007. Intensification of ammonia removal in a combined ion-exchange and nitrification column. *Chemical Engineering Journal*. doi:10.1016/j.cej.2007.02.030.
- Miretzky P; Muñoz C; Carrillo C. A. 2007. Experimental binding of lead to a low cost on biosorbent: Nopal (*Opuntia streptocantha*). *Bioresource technology*. doi:10.1016/j.biortech.2007.02.045.
- Mohan D; Pittman U. C; Steele H. P. 2006. Single binary and multi-component adsorption of copper and cadmium from aqueous solutions on Kraft lignin- a biosorbent. *Journal of colloid and interface science*. Vol. 297. pp. 489-504.
- Mohan D; Sigh K. P. 2002. Single- and multi-component adsorption of cadmium and zinc using activated carbon derived from bagasse- an agricultural waste. *Water Research*. Vol.36. pp 2304-2318.
- Nguyen M. L; Tanner C. C; 1998. Ammonium removal from wastewaters using natural New Zealand zeolites. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. Vol. 41. pp. 427-446.
- Owsley E. D. 2000. *Water management: Hatchery water and wastewater treatment systems*. Dworshak Fisheries Complex. Ahsanka, Idaho.
- Person L. R; Boeuf G; Zambonino J. I; Helgason S; Le Roux A. 1998. Short-term physiological changes in turbot and seabream juveniles exposed to exogenous ammonia. *Biochem Physiol*. Vol. 119A, No. 2. pp. 511- 518.

Peternele W. S; Winkler H. A; Gómez P. E. 1999. Adsorption of Cd(II) and Pb(II) onto functionalized formic lignin from sugar cane bagasse. *Bioresource Technology* Vol. 68. pp.95-100.

Sheng H. L.; Chang L. W. 1996. Ammonia removal from aqueous solution by ion exchange. *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol 35, No.2. pp. 553-558.

Técnica TAPPI, T 264 om-88. Preparación de Madera para el análisis químico; incluyendo para la eliminación de extraíbles y determinación de contenido de humedad. Apartado 8.2.

Timmons M. B; Ebeling J. M; Wheaton F. W; Summerfelt S. T; Vinci B. J. 2002. *Recirculating aquaculture systems*. 2<sup>nd</sup> Edición. Northeastern Regional, Aquaculture Center. pp. 19-424.

Timmons M. B; Holder J. L; Ebeling J. M. 2006. Application of microbead biological filters. *Aquacultural Engineering* 34. pp. 332-343.

Thomas W. J; Crittenden B. 1998. *Adsorption Technology and Design*. Elsevier Science & Technology Books. pp. 274.

Wheaton W. F. 1982. *Acuicultura. Diseño y construcción de sistemas*, AGT Editor, S.A., México D.f. pp. 33-147.

Yang R. T. 2003. *Adsorbents: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons, Inc. pp.403.