

**ESTUDIO DEL PROCESO DE ADSORCIÓN EN COLUMNA CON CARBÓN  
ACTIVO PARA LA DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE  
BARBALOÍNA EN EL *Aloe barbadensis* Miller**

**SILVIA CATALINA JAIMES GÓMEZ**

**LUZ DARY MEJÍA URIBE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2009**

**ESTUDIO DEL PROCESO DE ADSORCIÓN EN COLUMNA CON CARBÓN  
ACTIVO PARA LA DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE  
BARBALOÍNA EN EL *Aloe barbadensis* Miller**

**SILVIA CATALINA JAIMES GÓMEZ**

**LUZ DARY MEJÍA URIBE**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Ingeniera Química**

**Directora**

**LUZ AMPARO LOZANO**

**Química M.Sc.**

**Co-director**

**CARLOS MUVDI**

**Ingeniero Químico Ph.D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA**

**2009**

## DEDICATORIA

*A Dios, por ser el dueño de mis triunfos, por ser mi fortaleza en todo momento y rodear mi vida de personas inolvidables.*

*A mi Mamí Consuelo, por su apoyo incondicional, por su total confianza y a quien le debo todo lo que soy, para tí este logro y todos los que vienen.*

*A mi Daddy John Jairo, por todos sus consejos, por creer en mí y por ser más que mi papá, por ser mi amigo.*

*A mi nonita Marina y mi tía Luz, por todo, absolutamente todo lo que han hecho por mí, su total dedicación, su gran amor, gracias a ustedes y por ustedes soy lo que soy.*

*A mi nonito David, por estar presente en todas las etapas de mi vida, por ese amor grande y único y por consentirme en todo, me siento orgullosa de ser tu nieta.*

*A mis amigos, porque siempre creyeron en mí, por su gran cariño y porque sin ustedes, esta historia no sería igual.*

**CATA**

## **AGRADECIMIENTOS**

A CICEIPA y la profesora Luz Amparo, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto.

Al profesor Carlos Muvdi, por sus valiosos consejos y sus grandes aportes en la realización de esta tesis.

A David y Jorge, por su gran colaboración, por todos esos momentos divertidos que pasamos en el laboratorio y por la amistad sincera que se formó.

A mi compañera de tesis Luz Dary, por el trabajo que realizamos, por la confianza que se creó y por las gratas horas que pasamos en el laboratorio.

A mis grandes amigos, Johanna, Jaime, Lilibeth, Camilo, Adriana, Juan Camilo y Andrés por todos sus consejos, por ese apoyo incondicional, por el cariño que diariamente me han demostrado y por la gran confianza que siempre han tenido en mí.

A Jonatan, por compartir a mi lado estos 5 años de carrera, por creer siempre en mi, por su presencia en los mejores y peores momentos, por su apoyo incondicional y porque durante mucho tiempo demostramos que codo a codo somos mucho más que dos.

A Mauricio, por todos los momentos inolvidables que hemos vivido, por todas las sonrisas y alegrías compartidas y por haber escrito junto a mí una historia única.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEORICO	2
1.1 ALOE VERA	2
1.1.1 Aspectos generales del <i>Aloe barbadensis</i> Miller	2
1.1.3 Componentes principales del <i>Aloe barbadensis</i> Miller	4
1.1.3.1 Barbaloína	4
1.1.3.2 Carbohidratos	4
1.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE GEL <i>Aloe barbadensis</i> Miller	5
2. MATERIALES Y MÉTODOS	8
2.1 MATERIA PRIMA	8
2.2 CARBÓN ACTIVO	8
2.3 MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES.	8
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	9
3.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DE GEL DE <i>Aloe barbadensis</i> Miller	9
3.1.1 Lavado	9
3.1.2 Desinfección	9
3.1.3 Fileteado	10
3.1.4 Homogeneización	10
3.1.5 Filtración	10
3.1.6 Pasteurización	10
3.1.7 Estabilización	11
3.2 EXTRACCIÓN DE BARBALOÍNA EN COLUMNA CON CARBÓN	11
3.2.1 Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína y azúcares reductores en el carbón activo	12
3.2.2 Influencia del carbón activo en el desempeño del proceso de extracción de barbaloína	12

3.2.3 Influencia de la humectación del carbón activo en el proceso de extracción de barbaloína	12
3.2.4 Determinación de las mejores condiciones para la extracción de barbaloína	12
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	13
4.1 INFLUENCIA DEL CAUDAL SOBRE LA RETENCIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES EN EL CARBÓN ACTIVO	13
4.2 INFLUENCIA DEL CARBÓN ACTIVO EN EL DESEMPEÑO DEL PROCESO DE RETENCIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES	16
4.3 INFLUENCIA DE LA HUMECTACIÓN DEL CARBÓN ACTIVO EN EL PROCESO DE RETENCIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES	19
4.4 DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES CONDICIONES PARA LA EXTRACCIÓN DE BARBALOÍNA	21
5. CONCLUSIONES	23
6. RECOMENDACIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXOS	28

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Aloe barbadensis Miller	3
<b>Figura 2.</b> Estructura química de la barbaloína e isobarbaloína [4].	4
<b>Figura 3.</b> Estructura del glucomanano [12].	5
<b>Figura 4.</b> Pasos en la elaboración comercial de gel <i>Aloe barbadensis</i> [13].	5
<b>Figura 5.</b> Metodología del desarrollo experimental	9
<b>Figura 6.</b> Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína en el carbón activo, para un caudal de 10 mL/min y de 30 mL/min durante 60 minutos.	13
<b>Figura 7.</b> Influencia del caudal sobre la variación del porcentaje de retención de azúcares en el carbón activo, para un caudal de 10 mL/min y de 30 mL/min durante 60 minutos.	14
<b>Figura 8 a.</b> Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína y azúcares en el carbón activo para un caudal de 10 mL/min durante 60 minutos carbón activo azúcares	15
<b>Figura 9.</b> Influencia de la altura del carbón activo en la retención de barbaloína para un caudal de 30 mL/min durante 80 minutos.	17
<b>Figura 10.</b> Influencia de la altura del carbón activo en la retención de azúcares reductores para un caudal de 30 mL/min durante 80 minutos.	18
<b>Figura 11.</b> Influencia de la humectación del carbón activo en la retención de barbaloína a 30 mL/min y 23 cm de carbón (225 g) durante 60 minutos.	19
<b>Figura 12.</b> Influencia de la humectación del carbón activo en la retención de azúcares a 30 mL/min y 23 cm de carbón (225 g) durante 60 minutos.	20
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de retención de barbaloína y azúcares reductores para los parámetros establecidos de un caudal de 30 mL/min, altura de carbón de 23 cm durante 140 minutos.	22

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Porcentaje de retención en el jugo total recuperado después de un proceso de 60 minutos para los caudales de 10 y 30 mL/min y 23 cm de carbón.	16
<b>Tabla 2.</b> Porcentaje de retención en el jugo total recuperado variando la altura de carbón activo, en un proceso de 80 minutos.	18
<b>Tabla 3.</b> Porcentaje de retención en el jugo total recuperado después de un proceso de 60 minutos utilizando carbón húmedo y seco y una altura de carbón de 23 cm.	21

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO A.</b> Componentes principales del <i>Aloe barbadensis</i> miller	28
<b>ANEXO B.</b> Método de cuantificación de barbaloína	29
<b>ANEXO C.</b> Método de cuantificación de azúcares reductores	32
<b>ANEXO D.</b> Ilustraciones del desarrollo experimental realizado en el laboratorio	34

## RESUMEN

**TITULO:** ESTUDIO DEL PROCESO DE ADSORCIÓN EN COLUMNA CON CARBÓN ACTIVO PARA LA DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE BARBALOÍNA EN EL *Aloe barbadensis* Miller.\*

**AUTORAS:** SILVIA CATALINA JAIMES GÓMEZ; LUZ DARY MEJÍA URIBE\*\*

**PALABRAS CLAVES:** *Aloe vera*, *Aloe barbadensis* Miller, derivados hidroxiantracénicos, barbaloína, carbón activo, International Aloe Science Council.

### DESCRIPCIÓN:

Debido a la gran demanda del *Aloe vera* o *Aloe barbadensis* Miller como materia prima en la producción de alimentos funcionales, se realizó la extracción de barbaloína, un derivado hidroxiantracénico de esta planta, al cual se le atribuye una fuerte acción irritante del aparato digestivo cuando es consumido.

Para la extracción de este compuesto, se utilizó una columna empacada con carbón activo granular, estudiando la influencia de ciertas variables de proceso como caudal, cantidad de medio adsorbente y humidificación del mismo, de tal forma que al final del proceso se obtuviera un producto con una concentración de barbaloína permitida por la *International Aloe Science Council* (organismo de control para los productos hechos a base de Aloe) para consumo humano. La determinación de concentración de barbaloína en las muestras, se realizó por espectrofotometría a 360 nm utilizando etanol analítico. Por otra parte, como valor agregado a este proceso, se buscó mantener una concentración alta de azúcares, realizando esta cuantificación por el método DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico) por espectrofotometría UV-VIS a 540 nm.

A partir de los resultados obtenidos, se establecieron las mejores condiciones de operación a escala de laboratorio para la extracción de barbaloína, fijando el caudal, tiempo de proceso y la altura de carbón activo logrando un producto alimenticio de *Aloe barbadensis* Miller, con la mínima concentración de barbaloína y la máxima concentración de azúcares; presentando un porcentaje de retención de barbaloína superior al 85%, bajo las condiciones establecidas.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora: M.Sc. Luz Amparo Lozano. Co-Director: Ph.D Carlos Muvdi; Universidad Industrial de Santander

## ABSTRACT

**TITLE:** STUDY OF THE ADSORPTION COLUMN PROCESS WITH ACTIVATED CARBON FOR THE REDUCTION OF BARBALOIN CONCENTRATION IN *Aloe barbadensis* Miller.\*

**AUTHORS:** SILVIA CATALINA JAIMES GÓMEZ; LUZ DARY MEJÍA URIBE\*\*

**KEY WORDS:** Aloe vera, *Aloe barbadensis* Miller, hidroxyantracenic derivative, barbaloin, activated carbon, International Aloe Science Council.

### DESCRIPTION:

Due to the high demand of Aloe Vera or Aloe barbadensis Miller as raw material in functional food production, barbaloin, a hidroxyantracenic derivative from this plant to wich a strong irritating action on the digestive system is attributed when it is consumed, was extracted.

For the extraction of this compound, a granular activated carbon packed column was used, studying the influence of process variables such as volume flow, amount of adsorbent medium and humidification of the latter, in such a way that In the end the process generated a product with a barbaloin concentration allowed by the *International Aloe Science Council* (control organization for Aloe based products) for human consumption. The Determination of barbaloin concentration on the samples was made by spectrophotometry at 360 nm using analytic ethanol. Moreover as an added value of the process, a high concentration of sugars was attempted to maintain, performing this quantification by the DNS (3,5 Dinitrosalicylic acid) method via UV-VIS spectrophotometry at 540 nm.

From the results obtained, the optimal Lab scale operating conditions for barbaloin extraction were established, setting the volume flow, process time and height of the activated carbon, achieving an Aloe barbadensis Miller food product with a minimum barbaloin concentration and maximum sugars concentration; resulting in a barbaloin retention percentage above 85% under established conditions.

---

\*Undergrate Thesis Work

\*\*Physical-Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering Department. Advisor: M.Sc Luz Amparo Lozano. Co-Advisor: Ph.D Carlos Muvdi; Universidad Industrial de Santander

## INTRODUCCIÓN

Una de las preocupaciones actuales de la sociedad, está centrada en la calidad de los productos que consumen. Esto ha condicionado a la industria de alimentos a buscar nuevos productos (naturales) que permitan además de suministrar elementos nutritivos, cambiar y favorecer la calidad de vida de la sociedad. El *Aloe barbadensis* Miller se enmarca dentro de esta nueva tendencia, ya que puede ser considerado como materia prima para la elaboración de alimentos funcionales debido a los más de 75 compuestos encontrados, los cuales son principalmente vitaminas, polisacáridos, minerales, enzimas y aminoácidos. Por otra parte presenta propiedades interesantes como lo son su acción emoliente, cicatrizante, coagulante, hidratante, antialérgica, desinfectante, antiinflamatoria y astringente [1].

A pesar de los beneficios aportados por esta planta, también exhibe componentes que producen cierta toxicidad por su uso prolongado, pues generan un efecto laxativo y confieren deficientes características organolépticas, principalmente color (amarillo) y sabor (amargo) a los productos alimenticios obtenidos de esta planta, lo cual afecta su valor comercial. Estos compuestos son conocidos químicamente, como derivados hidroxiantracénicos, entre los cuales se destaca la Barbaloína [1].

Este proyecto tiene como objetivo principal disminuir la concentración de la barbaloína en el proceso de obtención del gel, mediante una columna empacada, utilizando carbón activo como medio adsorbente, para obtener un producto con una concentración próxima a la permitida según la *International Aloe Science Council* (organismo de control y certificación de calidad para productos a base de *Aloe*) para consumo humano la cual es 10 mg/L.

Se buscaron las mejores condiciones de operación para llevar a cabo el proceso de extracción, modificando caudal, altura de empaque y humectación del mismo. Como resultado de este proceso se obtuvo una retención del 88,6% de barbaloína, para la matriz utilizada.

## 1. MARCO TEORICO

Cada día, es mayor el interés de la población por mejorar las condiciones de salud y calidad de vida, en este sentido, ha aumentado notablemente la demanda de productos naturales. Una de las materias primas de gran demanda, tanto en el mercado externo como en el nacional, es el *Aloe vera*, vegetal del cual se pueden obtener productos con fines cosméticos (todo tipo de cremas, pasta de dientes, etc.), farmacéuticos (complementos dietéticos, laxantes) y alimenticios (bebidas) [1,2].

### 1.1 ALOE VERA

El *Aloe barbadensis* Miller también conocido como *Aloe vera* y comúnmente llamada Sábila, es una planta tropical de la familia de las Liliáceas, es nativa de la región mediterránea del sur de Europa y el norte de África. En el mundo son conocidas más de 360 especies y de éstas, la más utilizada en medicina popular son: Aloe Barbados (*Aloe barbadensis* Miller o *Aloe vera*), Aloe Cape (*Aloe ferox*) y Aloe Socorra (*Aloe perryi*); no obstante, el *Aloe barbadensis* Miller es considerada como la más utilizada en la medicina natural y la más popular en el mundo [3,4].

#### 1.1.1 Aspectos generales del *Aloe barbadensis* Miller

El *Aloe barbadensis* Miller ha cobrado considerable interés en el mercado nacional e internacional derivado de las propiedades cosméticas, medicinales y nutricionales del gel de sus hojas.

Según CORPOICA, en Colombia existe un excelente potencial para poder producir grandes volúmenes de Aloe, sin embargo, Colombia es un productor de escasa relevancia en el contexto internacional, con tan solo unas 62 has cultivadas. La iniciativa nacional, consiste en captar el mercado que se abastece de los productos e insumos importados con la intención de estimular la producción nacional del cultivo, aportándole a éste un valor agregado con los correspondientes beneficios que esto representa para el país [5].

Los principales departamentos importadores de Sábila son Valle, Antioquia y Cundinamarca, los valores de importaciones anuales sobrepasan los US \$ 4 millones, del cual el Valle importa casi el 40% de ese valor.

Existen tres maneras de utilizar el Aloe para fines medicinales: Aloe latex, gel de Aloe y hoja entera de Aloe. Aloe latex es usado por sus efectos laxantes; gel de Aloe es usado para dolencias de piel, así como curar heridas, psoriasis, herpes genital e internamente por administración oral, en diabéticos y para curar úlceras gástricas; el extracto de Aloe es potencial anticancerígeno [6].

A pesar de la variedad de beneficios aportados por esta planta, también presenta componentes que producen cierta toxicidad por su uso prolongado, lo cual afecta su valor comercial. Estos compuestos son conocidos químicamente, como derivados hidroxiantracénicos, los cuales presentan propiedades laxantes, que contraindican su consumo directo por tiempos prolongados y además le confieren deficientes características organolépticas, principalmente color y sabor [4]. Entre estos compuestos se destaca la Barbaloina (Aloína A) de la cual se hablará más adelante.

### 1.1.2 Características del *Aloe barbadensis* Miller

El *Aloe barbadensis* posee hojas gruesas y espinosas, crecen de un tallo corto cerca al suelo. Las hojas maduras pueden crecer en promedio 70-90 cm de longitud. Cada planta tiene normalmente de 12 a 16 hojas, que cuando maduran pueden pesar más de 2 lb cada una (Figura 1). La flor de la planta puede ser roja, amarilla o púrpura, con franjas claras, están presentes casi todo el año, en el centro de las hojas [7].

**Figura 1.** Aloe barbadensis Miller



Las plantas pueden ser cosechadas cada 6 a 8 semanas removiendo 3 o 4 hojas por planta. Para la recolección de las hojas se buscan aquellas que sean carnosas, midan unos 50 cm de largo, 10 a 20 cm de ancho y 5 cm de grosor [7].

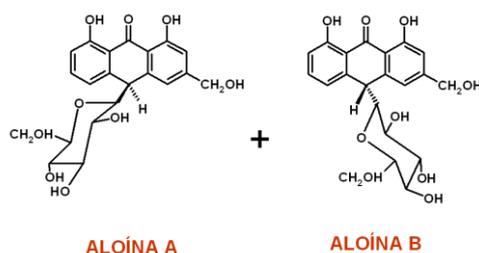
### 1.1.3 Componentes principales del *Aloe barbadensis* Miller

Aunque el Aloe contiene alrededor de 200 componentes diferentes, sólo se han conocido 75 del total de los compuestos, los cuales se congregan en diferentes grupos (ANEXO A).

#### 1.1.3.1 Barbaloína

Las antraquinonas como la aloína, presenta dos isómeros denominados, barbaloína (Aloína A) e isobarbaloína (Aloína B) (Figura 2), siendo la más abundante la barbaloína [4,8], estos dos isómeros se encuentran en alta concentración en el acíbar (líquido que brota de las hojas al ser cortadas). A la barbaloína se le atribuye una acción fuertemente irritante del aparato digestivo, por lo que se recomienda no usarla de manera directa sino a través de una adecuada formulación para utilizarla como laxante [9].

**Figura 2.** Estructura química de la barbaloína e isobarbaloína [4].

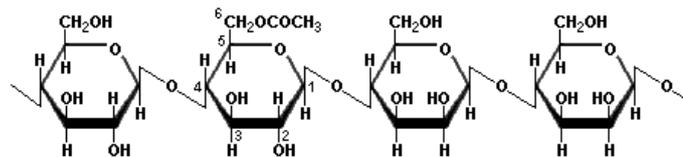


#### 1.1.3.2 Carbohidratos

Los polisacáridos son los principios activos responsables de la actividad biológica del gel de Aloe vera; entre los cuales se destaca el acemanano (polímero de manosas acetiladas), que ha despertado gran interés por sus propiedades farmacológicas y el aloérido, un polisacárido de elevado peso molecular recientemente identificado, constituido por glucosa, galactosa, manosa y arabinosa, según parece posee una mayor actividad inmunoestimulante, superior a la del acemanano [10].

Los polisacáridos constituyen casi el 60% del Aloe en base seca, sin embargo esta composición depende de la especie. Los polisacáridos del Aloe vera son cadenas lineales de  $1\beta\rightarrow4$  glucosa, unidas a moléculas de manosa; debido a la presencia de estas dos hexosas simples, también son llamados glucomananos (Figura 3), y en ocasiones tomando en cuenta que existe una mayor cantidad de manosa que de glucosa, son también denominados polimananos [11,12].

**Figura 3.** Estructura del glucomanano [12].

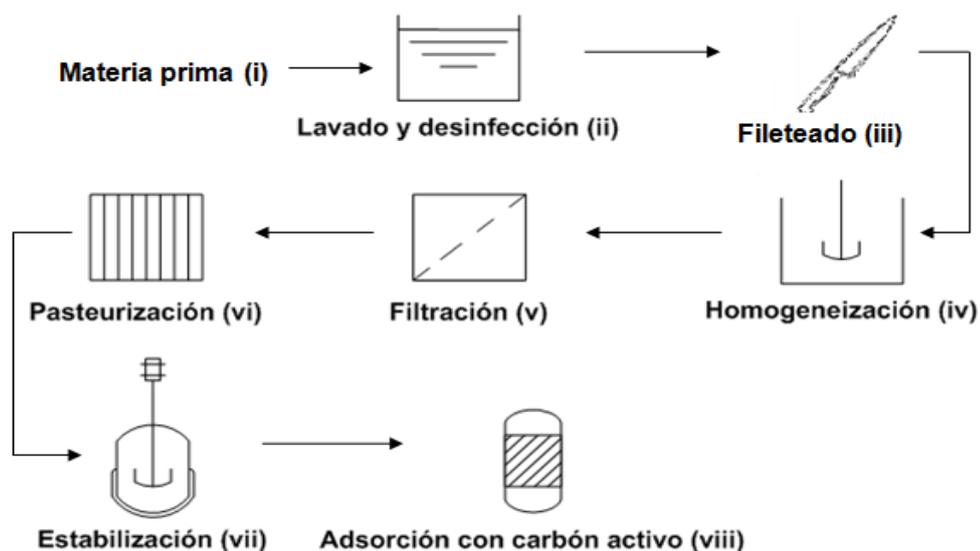


Las fracciones de polisacárido pueden ser clasificados dependiendo de su tamaño, ya que cada una de ellas posee diferentes características físicas y distinta actividad biológica. Sin importar esto, todos los polisacáridos son agrupados y denominados como polisacáridos del Aloe.

## 1.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE GEL *Aloe barbadensis* Miller

El proceso para la obtención del gel de *Aloe barbadensis* Miller a nivel industrial se muestra en el siguiente diagrama de flujo (figura 4).

**Figura 4.** Pasos en la elaboración comercial de gel *Aloe barbadensis* [13].



- (i) Materia prima:** Cuando las hojas o pencas llegan a la fábrica, se seleccionan las hojas que se encuentren en óptimo estado con el fin de mantener las propiedades fisicoquímicas del Aloe por un mayor tiempo [13].
- (ii) Lavado y desinfección:** El lavado se realiza en tinas de acero inoxidable o plástico en operación manual o mecanizada utilizando bombas de recirculación [13,14].  
La desinfección se realiza con una solución de 100 ppm de hipoclorito de sodio, con el fin de disminuir la carga microbiológica de las hojas del Aloe antes de entrar al proceso [13].
- (iii) Fileteado:** Se puede realizar de forma manual mediante cuchillas en una mesa de descortezado o de forma mecánica mediante cuchillas de altura ajustable y conducción por rodillos en la mesa de descortezado [15].
- (iv) Homogeneización:** Debido a las fibras que contiene el gel, es necesario disminuir el tamaño de las partículas de la mezcla, logrando como resultado una dispersión uniforme. Los principales pasos en este proceso incluyen trituración o molienda [16].
- (v) Filtración:** Esta operación influye en la estabilidad del gel de Aloe vera. Este proceso se realiza para eliminar los residuos vegetales procedentes de la matriz del gel. Normalmente se utiliza un filtro centrífugo a temperatura ambiente [17].
- (vi) Pasteurización:** Este paso puede afectar el sabor, la apariencia y el contenido de la actividad biológica del producto gel de Aloe [18]. Existen dos tipos de pasteurización: Pasteurización por lotes y HTST (High Temperature/Short Time) siendo este el mejor método de pasteurización, el cual en cuestión de segundos, eleva y baja la

temperatura aplicando 71°C en intervalo de 15 segundos. Un intercambiador final enfría el gel a 5 °C [13].

**(vii) Estabilización:** Esta etapa se realiza sometiendo el gel a un rango de temperatura de 35°C a 80°C, añadiendo peróxido de hidrógeno en solución acuosa al 30% p/p en cantidades alrededor de 0.3 mL por cada 5 L del gel preparado [19] en agitación continua. Una vez completada esta etapa, es necesario añadir 0.2 g/L de ácido ascórbico con el fin de detener la oxidación catalítica [20].

Posteriormente, se añade 1 g/L de ácido cítrico con el fin de mantener el pH de la composición definitiva dentro de un rango de 4 a 6 [20].

**(viii) Proceso de extracción de aloínas:** El método más usado es la extracción con carbón activo pues también se puede realizar la extracción con solventes.

En el primer proceso se hace pasar una corriente de gel a través de un lecho de carbón activo en el cual es adsorbida una buena parte de la aloína, obteniéndose una corriente de gel con alta pureza [20].

La relación entre tiempo de adsorción y cantidad de carbón activo es recíproca. Mientras mayor área superficial disponible tenga el carbón, mejor adsorbente podrá ser [21,22].

Existen cuatro grupos de parámetros a ser optimizados para una exitosa adsorción: (1) Tiempo; (2) Temperatura: en el rango de 4°C a 60°C; (3) Cantidad de carbón; (4) Tipo de carbón activo empleado [13].

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

En este capítulo se explica brevemente los materiales y métodos empleados.

### **2.1 MATERIA PRIMA**

Las pencas de *Aloe barbadensis* Miller fueron suministradas por la Finca El Rocío, ubicada en la Vereda Regaderos Bajos, municipio de Los Santos (Santander), a una altura de 1000 msnm y una temperatura promedio de 26 °C. Estas plantas son utilizadas industrialmente para la producción de gel de Aloe.

Las hojas presentaban edad superior a los 2 años debido a su alto valor en carbohidratos [23] y dimensiones promedio de: 50 cm de longitud, 7.5 cm de ancho y 3 cm de grosor interno, un peso promedio de 750 g cada una.

El gel estabilizado de *Aloe* obtenido con las hojas anteriormente descritas, presentó una concentración inicial entre 90 ppm y 150 ppm de barbaloína, y entre 3000 ppm y 5000 ppm de azúcares reductores.

### **2.2 CARBÓN ACTIVO**

El carbón activo utilizado fue granular, pues el proceso a realizar era en columna empacada. Producto comercial con un área superficial de 500 a 1500 m<sup>2</sup>/g.

### **2.3 MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES.**

La preparación de muestras del gel y su respectiva determinación de barbaloína, se realizó por espectrofotometría a 360 nm [23] utilizando etanol analítico (para método detallado ver ANEXO B). La determinación de azúcares se realizó por el método DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico) por espectrofotometría UV-VIS a 540 nm [24,25] (para método detallado ver ANEXO C). El espectrofotómetro utilizado, fue un espectrofotómetro marca Shimadzu UV-2401, UV-VIS Recording spectrophotometer.

### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La metodología seguida durante el desarrollo experimental del proyecto (ANEXO D) se muestra en el siguiente diagrama de bloques (Figura 5).

**Figura 5.** Metodología del desarrollo experimental



#### 3.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DE GEL DE *Aloe barbadensis* Miller

##### 3.1.1 Lavado

En esta etapa las pencas fueron lavadas de forma manual, sumergiéndolas en tinas plásticas con agua, utilizando cepillos suaves para remover el material no deseado (tierra) de la superficie de las hojas. La ventaja de este tipo de tratamiento es que es muy cuidadoso con el material [14]. El agua utilizada en este proceso fue de 1.5 L/Kg de material.

##### 3.1.2 Desinfección

Con el fin de disminuir la carga microbiológica, una vez finalizado el proceso de lavado, las pencas fueron sumergidas en tinas plásticas, con una solución esterilizadora de 100 ppm de hipoclorito de sodio (comercialmente al 5.25%) durante 30 minutos [26]. Transcurrido este tiempo, las pencas fueron ubicadas en otras tinas sin agua, para comenzar el proceso de fileteado.

### **3.1.3 Fileteado**

Este proceso se hizo de forma manual debido a que se evita la contaminación del filete con el acíbar drenado por la hoja.

El fileteado se realizó en un mesón de baldosa (el cual fue previamente desinfectado con hipoclorito de sodio al 5.25%) siguiendo la metodología expuesta en el numeral 1.2.

Una vez fileteado, los cristales fueron cortados en cuadros pequeños y depositados en vasijas de vidrio esterilizadas.

### **3.1.4 Homogeneización**

Este proceso se realizó en una licuadora industrial, acondicionada con un aspa metálica a 3000 rpm, durante 90 s y a temperatura ambiente (25°C). El material fue introducido secuencialmente en la licuadora, con el fin de obtener una homogeneización uniforme. Terminado este proceso, el extracto fue almacenado en recipientes de vidrio previamente esterilizados.

### **3.1.5 Filtración**

Para retirar las fibras presentes en el material homogeneizado, se realizó la filtración utilizando un juego de mallas No. 100 y 120, un embudo buchner y un erlenmeyer de salida superior lateral conectado a una bomba de vacío.

Este proceso duró aproximadamente 2 horas para 20 Kg de material.

### **3.1.6 Pasteurización**

Para esta etapa, el material ya filtrado fue distribuido en proporciones iguales en erlenmeyers esterilizados, los cuales se introdujeron en una olla de autoclave, la cual contenía agua precalentada a 90°C a fin de obtener una pasteurización tipo HTST (High Temperature/Short Time). La pasteurización se realizó con un calentamiento a 71°C en un intervalo de tiempo de 15 segundos y un enfriamiento en un baño de hielo a 4°C [13, 27, 28].

El proceso de pasteurización tuvo una duración de 30 minutos.

### **3.1.7 Estabilización**

Esta etapa se realizó con el fin de preservar el extracto, debido a su alta inestabilidad al quedar expuesto al ambiente, presentando oxidación.

Este proceso se llevó a cabo en una olla de autoclave, la cual contenía agua previamente calentada a 90°C, con la finalidad de obtener una rampa de calentamiento rápida.

El material pasteurizado ya distribuido en los erlenmeyers, fue introducido en la olla de autoclave. El primer paso para la estabilización fue la adición de peróxido de hidrogeno al 30% p/p en cantidades alrededor de 0.3 mL por cada 5 L del gel preparado, en un rango de temperatura de 35°C a 80°C, distribuido en 4 porciones iguales y con agitación continua [29]. Una vez alcanzados los 80°C, se procedió a ubicarlos en un baño de hielo (4°C) hasta alcanzar una temperatura de 30°C [30]. La duración de esta parte del proceso fue de 30 minutos. Una vez completada la etapa de oxidación, para detenerla, se utilizó ácido ascórbico en una cantidad de 0.2 g/L de gel, el cual se adicionó cuando el material se encontraba a 30°C. Posteriormente, se adicionó el ácido cítrico hasta ajustar pH 4.0 (aproximadamente 1 g/L) [30].

### **3.2 EXTRACCIÓN DE BARBALOÍNA EN COLUMNA CON CARBÓN**

Una vez estabilizado el material vegetal, se procedió a pasarlo por una columna de vidrio de longitud de 49 cm y un diámetro de 5.2 cm. Esta columna fue equipada con mallas de acero inoxidable No. 60, soportes de PVC para garantizar una distribución uniforme del gel y empacada con carbón activo. Para esta parte del proceso se realizaron pruebas preliminares con caudales de 10, 15, 30, 40 mL/min y alturas de carbón de 5, 7, 10, 13 y 23 cm. De acuerdo a los resultados, expresados en función del porcentaje de retención (de barbaloína y de azúcares reductores), se decidió trabajar a un caudal de 10 y 30 mL/min y una altura de carbón activo de 7, 13 y 23 cm. Una vez establecidos estos parámetros se analizó la influencia de estas variables en el proceso de extracción.

### **3.2.1 Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína y azúcares reductores en el carbón activo**

Para este estudio, se varió el caudal respecto a una misma altura de carbón activo 23 cm (225 g), con el objetivo de determinar, su influencia sobre la adsorción de las dos variables de respuesta (barbaloína y azúcares reductores). El caudal es una variable de gran importancia, pues de él depende el tiempo de contacto que habrá entre el carbón activo y el material vegetal, lo cual afecta la adsorción.

### **3.2.2 Influencia del carbón activo en el desempeño del proceso de extracción de barbaloína**

Una vez establecido el caudal (30 mL/min), se varió la altura de carbón, teniendo en cuenta la capacidad de la columna (1:2 - 1:5 diámetro de la columna:altura de carbón activo) [28], con el objetivo de observar la influencia de éste, respecto a la retención de las variables de respuesta.

### **3.2.3 Influencia de la humectación del carbón activo en el proceso de extracción de barbaloína**

Para realizar esta etapa, una vez establecido el caudal (30 mL/min) y la altura de carbón 23 cm (225 g), se humectó el carbón activo con agua destilada y gel de *Aloe barbadensis* Miller estabilizado, antes de empacar la columna. El objetivo de este estudio, fue comparar la retención de barbaloína y azúcares reductores en el carbón activo humectado con agua y gel de *Aloe* respecto al carbón activo seco.

### **3.2.4 Determinación de las mejores condiciones para la extracción de barbaloína**

Como parte final del trabajo, ya con las variables de proceso determinadas (23 cm de CA, caudal 30 mL/min), se procedió a realizar una serie de ensayos, en la cual se obtuviera la mayor utilidad a la columna empacada con carbón activo y los mejores porcentajes de retención, los cuales se realizaron a las mismas condiciones pero variando el tiempo de proceso.

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

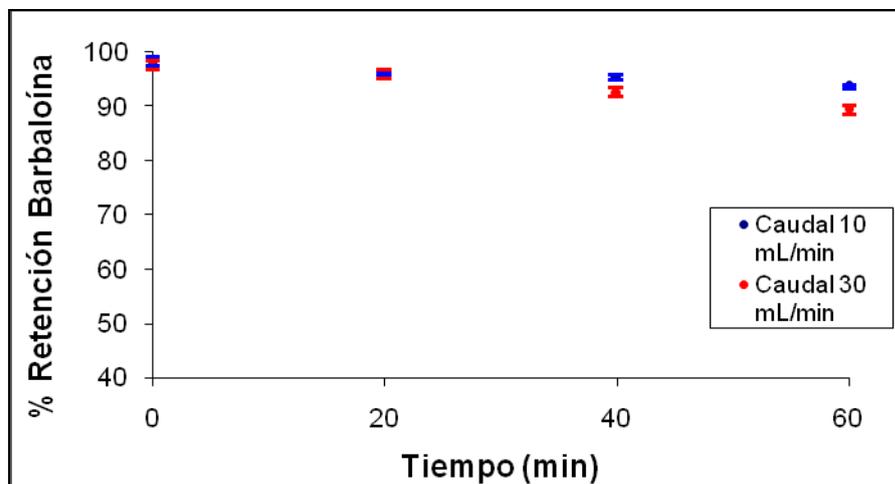
En este capítulo se mostrarán los resultados de las pruebas obtenidas en el laboratorio al modificar las variables del proceso (caudal, cantidad de carbón y humectación del medio adsorbente) y se realizará un análisis de ellos.

### 4.1 INFLUENCIA DEL CAUDAL SOBRE LA RETENCIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES EN EL CARBÓN ACTIVO

Realizando la metodología propuesta en el numeral 3.2.1 los resultados obtenidos fueron los siguientes.

En la figura 6 se representa la influencia de dos caudales (10 mL/min y 30 mL/min) sobre la retención de barbaloína para una altura de 23 cm de carbón activo (225 g) en función del tiempo.

**Figura 6.** Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína en el carbón activo, para un caudal de 10 mL/min y de 30 mL/min durante 60 minutos.



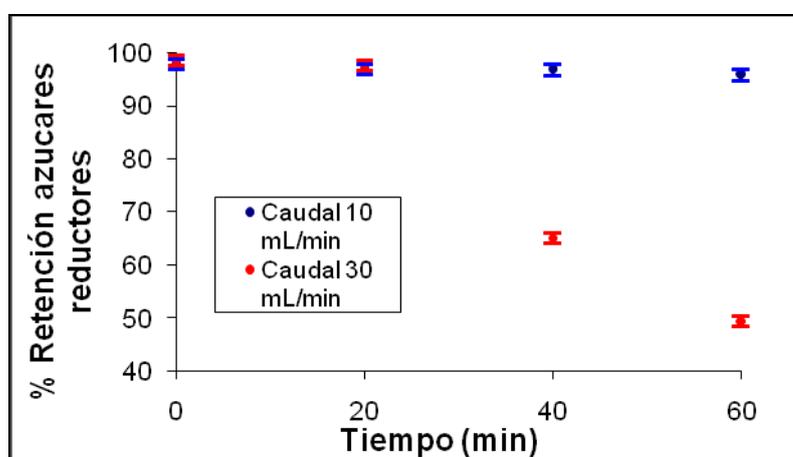
En dicha figura, se puede observar que el porcentaje de retención disminuye con el tiempo, esto se debe a la saturación que presenta el carbón con respecto a este compuesto.

Es de importancia resaltar que al cabo de una hora de proceso, aunque se aumentó 3 veces el caudal, no se presenta una marcada diferencia en el porcentaje de retención de barbaloína, pues la diferencia entre los dos

caudales es sólo del 4%, lo cual indica que el efecto del caudal sobre la retención de barbaloína no es significativa bajo las condiciones de operación utilizadas.

En la figura 7 se representa la variación del porcentaje de retención de azúcares reductores para dos caudales (10 mL/min y 30 mL/min) y una altura de carbón activo de 23 cm (225 g) en función del tiempo.

**Figura 7.** Influencia del caudal sobre la variación del porcentaje de retención de azúcares en el carbón activo, para un caudal de 10 mL/min y de 30 mL/min durante 60 minutos.



Se puede observar, que a diferencia de la figura 6, para el caso de los azúcares existe una marcada diferencia en el porcentaje de retención, para los dos caudales trabajados.

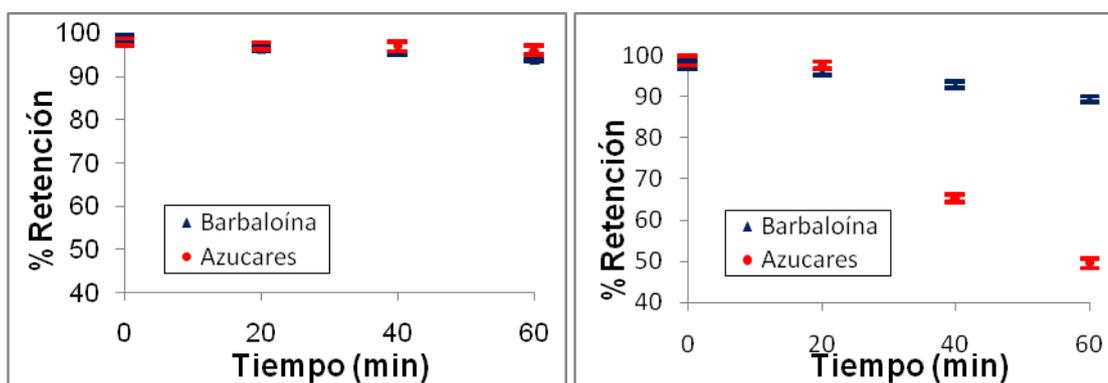
La cinética para un caudal de 10 mL/min evidencia una mayor retención de azúcares que se mantiene en el tiempo, lo cual implica que bajo estas condiciones de operación se favorece la interacción de los azúcares reductores con el medio adsorbente. Por otra parte, la cinética para un caudal de 30 mL/min evidencia una menor retención de azúcares. Esto se puede explicar por el hecho que al aumentar el caudal, se disminuye el tiempo de residencia y con ello las interacciones de los azúcares con el medio; esto acompañado de una cinética de adsorción lenta para estos compuestos.

En la figura 8 a. se representa la variación del porcentaje de retención de barbaloína y azúcares, para un caudal de 10 mL/min en función del tiempo. De

igual manera, en la figura 8 b. se representa la variación del porcentaje de retención de barbaloína y azúcares reductores, para un caudal de 30 mL/min en función del tiempo.

**Figura 8 a.** Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína y azúcares en el carbón activo para un caudal de 10 mL/min durante 60 minutos carbón activo azúcares

**Figura 8 b.** Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína y azúcares en el carbón activo, para un caudal de 30 mL/min durante 60 minutos



En la figura 8 a. se observa que a un caudal de 10 mL/min no existe diferencia en el porcentaje de retención de los dos compuestos activos, debido a que para este caudal, la altura de carbón activo es suficiente para que exista una mayor interacción de éste con los dos grupos estudiados y por consiguiente, una mayor adsorción.

En la figura 8 b. se evidencia una mayor retención de barbaloína con respecto a los azúcares bajo las mismas condiciones de operación. Este resultado es importante ya que indica que se puede realizar una separación selectiva de estos dos grupos químicos, jugando con el caudal de alimentación.

La tabla 1 resume los porcentajes de retención de barbaloína y azúcares reductores en el jugo total recuperado después de la realización de los experimentos para los caudales de 10 y 30 mL/min.

**Tabla 1.** Porcentaje de retención en el jugo total recuperado después de un proceso de 60 minutos para los caudales de 10 y 30 mL/min y 23 cm de carbón.

Caudal (mL/min)	% Retención Barbaloína	%Retención de azúcares
10	91,52±1,5	87,71±2,2
30	87,71±3,0	65,10±2,5

Esta tabla es importante ya que los procesos de producción actualmente utilizados son discontinuos y el interés se centra en las propiedades finales del producto obtenido.

En esta tabla se evidencia que el caudal no afecta considerablemente la retención de barbaloína para el producto total tratado bajo esas condiciones de proceso.

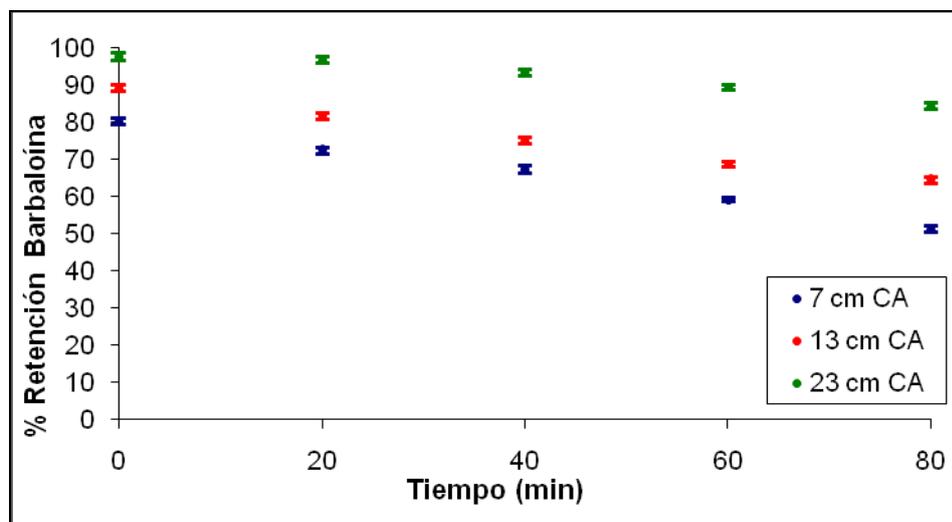
Teniendo en cuenta el anterior análisis, se decidió continuar realizando los experimentos a un caudal de 30 mL/min, ya que se garantiza una menor retención de azúcares y una mayor producción, sin afectar considerablemente la retención de barbaloína.

#### **4.2 INFLUENCIA DEL CARBÓN ACTIVO EN EL DESEMPEÑO DEL PROCESO DE RETENCIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES**

Realizando la metodología propuesta en el numeral 3.2.2 los resultados obtenidos fueron los siguientes.

En la figura 9 se presenta la variación en la retención de barbaloína al modificar la altura de carbón activo entre 7, 13 y 23 cm, a un caudal de 30 mL/min durante 80 minutos de proceso.

**Figura 9.** Influencia de la altura del carbón activo en la retención de barbaloína para un caudal de 30 mL/min durante 80 minutos.

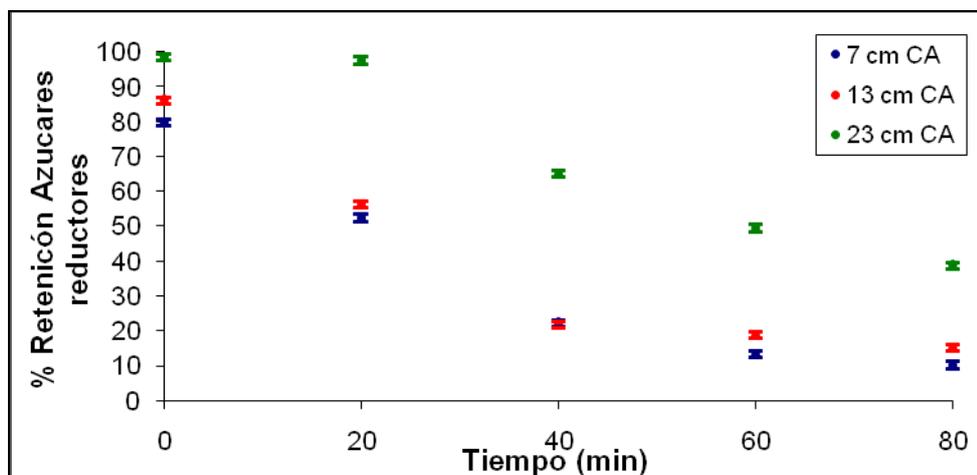


En dicha figura, al igual que en la figura 6, se observa que a mayor tiempo de proceso, se presenta menor retención de barbaloína, independiente de la altura de carbón activo empleado; esto debido a procesos de saturación del medio adsorbente.

También se evidencia, que a mayor altura de columna empacada, se presenta mayor retención de este compuesto activo, esto se justifica debido a que a mayor cantidad de carbón activo, mayor tiempo de contacto entre el gel de Aloe y el carbón. Sin embargo, esto no implica que al aumentar al doble la altura de carbón, se duplique el porcentaje de retención, pues al minuto 80, el porcentaje de retención para una altura de 7 cm es 51%, mientras que para ese mismo tiempo y una altura de 13 cm, el porcentaje de retención es 64%.

En la figura 10 se presenta la variación en la retención de azúcares reductores al modificar la altura de carbón activo entre 7, 13 y 23 cm, a un caudal de 30 mL/min en función del tiempo.

**Figura 10.** Influencia de la altura del carbón activo en la retención de azúcares reductores para un caudal de 30 mL/min durante 80 minutos.



En esta figura se observa, que al aumentar la altura de carbón, se produce una mayor retención de azúcares, debido a que se presenta mayor tiempo de residencia del gel en la columna. Como se analizó en el numeral 4.1, la adsorción de azúcares en el medio presenta cinéticas más lentas.

En la tabla 2 se resume los porcentajes de retención de barbaloína y azúcares reductores en el jugo total recuperado, después de los experimentos, luego de un tiempo de proceso de 80 minutos, para diferentes alturas de carbón.

**Tabla 2.** Porcentaje de retención en el jugo total recuperado variando la altura de carbón activo, en un proceso de 80 minutos.

Cantidad CA (g)	% Retención Barbaloína	%Retención de azúcares	Concentración de Barbaloína (mg/L)
65	70,00±1,8	21,00±3,1	50±1
130	77,00±2,0	27,00±1,7	30±1
225	82,78±2,5	57,06±2,0	13±1

En dicha tabla se observa que para un mismo caudal, a menor altura de carbón, se presenta menor capacidad de retención, siendo más marcada en los azúcares, lo que indica que existe una mayor interacción entre la barbaloína y el carbón activo en comparación con los azúcares y el carbón. De esta forma, se podría considerar a la altura de 13 cm como la más adecuada (bajo las condiciones de operación utilizadas) pues así se evita una retención importante

de azúcares reductores sin influir considerablemente a la retención de barbaloína.

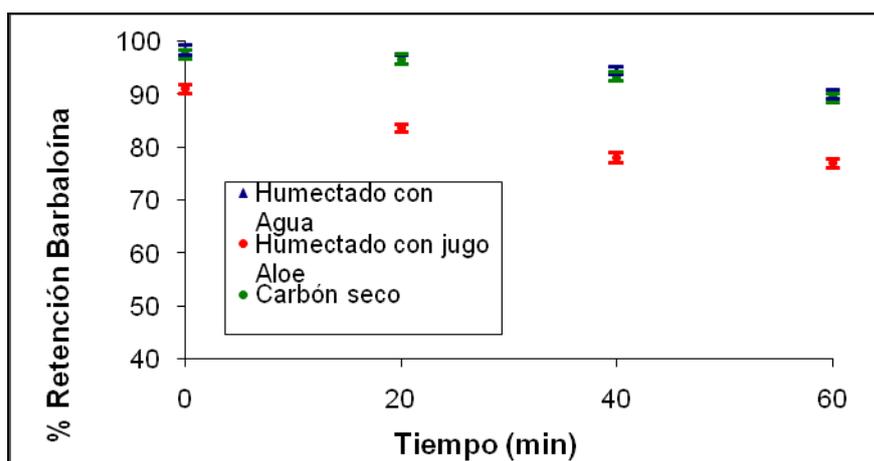
Es importante señalar que aunque a una altura de 23 cm (225 g) de carbón se presenta una mayor retención de barbaloína, esta induce una mayor retención de azúcares. Sin embargo, para este estudio se continuó trabajando a una altura de 23 cm de carbón activo, pues con ella se obtuvo un producto con una concentración próxima a la permitida según la *International Aloe Science Council* para consumo humano la cual es 10 mg/L.

#### 4.3 INFLUENCIA DE LA HUMECTACIÓN DEL CARBÓN ACTIVO EN EL PROCESO DE RETENCIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES

Se realizaron las pruebas propuestas en el numeral 3.2.3 obteniéndose los siguientes resultados.

En la figura 11 se presenta el efecto de la humectación del carbón sobre el porcentaje de retención de la barbaloína, a un caudal de 30 mL/min utilizando una altura de carbón de 23 cm en función del tiempo.

**Figura 11.** Influencia de la humectación del carbón activo en la retención de barbaloína a 30 mL/min y 23 cm de carbón (225 g) durante 60 minutos.



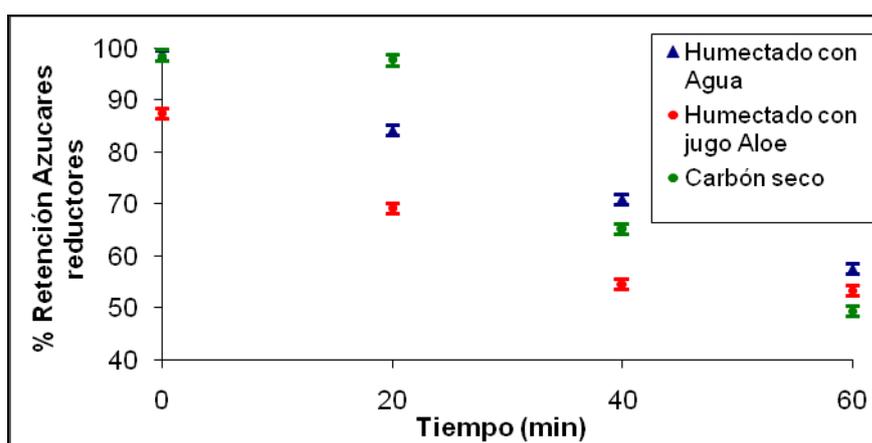
En dicha gráfica, se observa que el porcentaje de retención de barbaloína se ve disminuido cuando el carbón a utilizar ha sido previamente humectado con gel de Aloe, el cual influye negativamente en la capacidad de la columna a retener barbaloína, comparado con el efecto producido cuando el carbón se encuentra

seco y cuando se ha humectado previamente con agua destilada. Este efecto negativo, es debido a la posible formación de una película sobre la superficie externa del carbón, ocasionando una disminución en la transferencia de masa de la barbaloína a través de la película creada. Además el hecho de que al utilizar como pre-humectante el gel de Aloe se induce a la adsorción de compuestos ya presentes en esta solución pre-humectante, disminuyendo la capacidad de retención del medio.

Por otra parte, cuando el carbón ha sido humectado con agua destilada, el porcentaje de retención obtenido no presenta diferencia con el porcentaje de retención cuando el carbón se encuentra seco, sin embargo se evidenció en los experimentos, la formación de caminos preferenciales difíciles de eliminar cuando las columnas fueron pre-humectadas, por lo cual las mejores condiciones se obtienen cuando el carbón se encuentra seco.

En la figura 12 se presenta el efecto de la humectación del carbón activo sobre el porcentaje de retención de azúcares a un caudal de 30 mL/min utilizando una altura de carbón de 23 cm (225 g) en función del tiempo.

**Figura 12.** Influencia de la humectación del carbón activo en la retención de azúcares a 30 mL/min y 23 cm de carbón (225 g) durante 60 minutos.



En dicha figura, se observa una disminución de la retención de azúcares en función del tiempo, la cual es más marcada en comparación con la retención de barbaloína (figura 11).

De igual forma, la menor retención se presentó para el sistema pre-humectado con el gel de Aloe por las razones anteriormente expuestas (posible formación de una película en la superficie que disminuye la transferencia de masa hacia el medio adsorbente).

En la tabla 3 se resume los porcentajes de retención de barbaloína y azúcares reductores en el jugo total recuperado después de los experimentos, luego de un proceso de 60 minutos a 30 mL/min, una altura de carbón de 23 cm y utilizando carbón seco y humectado (agua y gel de Aloe).

**Tabla 3.** Porcentaje de retención en el jugo total recuperado después de un proceso de 60 minutos utilizando carbón húmedo y seco y una altura de carbón de 23 cm.

Humectado	% Retención Barbaloína	%Retención de azúcares
Con Agua	90,78± 3,4	68,29±3,4
Con Jugo Aloe	83,56±1,9	67,26±2,9
Carbón activo seco	87,71±3,0	65,10±2,5

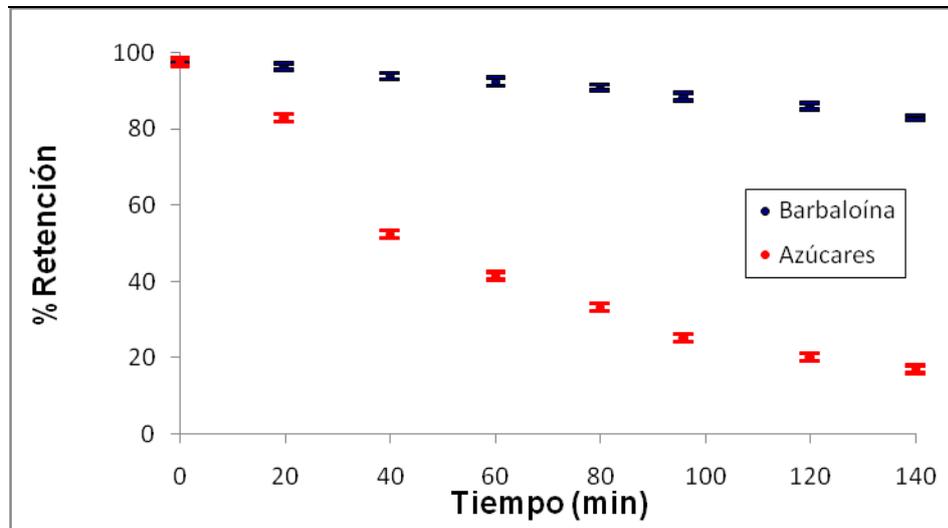
En dicha tabla se observa que utilizando carbón seco o humectado, no se presenta una diferencia significativa en cuanto al porcentaje de retención de barbaloína y azúcares, sin embargo, teniendo en cuenta que en los experimentos las columnas pre-humectadas exhiben caminos preferenciales difíciles de eliminar, además que implican mayores costos, el mejor tipo de carbón a utilizar, bajo las condiciones de operación utilizadas, es el seco.

#### **4.4 DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES CONDICIONES PARA LA EXTRACCIÓN DE BARBALOÍNA**

Realizando las pruebas propuestas en el numeral 3.2.4, los resultados obtenidos fueron los siguientes.

En la figura 13 se presenta el porcentaje de retención de barbaloína y azúcares reductores para un caudal de 30 mL/min utilizando una altura de carbón de 23 cm (225 g) durante 140 minutos, siendo estos los parámetros establecidos teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los numerales anteriores.

**Figura 13.** Porcentaje de retención de barbaloína y azúcares reductores para los parámetros establecidos de un caudal de 30 mL/min, altura de carbón de 23 cm durante 140 minutos.



En la figura 13 se puede observar un comportamiento lineal en cuanto al porcentaje de retención de barbaloína en el carbón, no obstante, transcurrido un tiempo de 140 minutos, el porcentaje de retención es del 88%, lo cual sigue siendo un alto valor y por consiguiente aceptable. Por otra parte, se observa un decaimiento significativo de la retención de azúcares en el tiempo, presentándose el mayor cambio durante el minuto 20 al 40, lo que indica que el carbón presenta una posible saturación con respecto a los azúcares.

El proceso se detuvo al minuto 140, debido a pruebas preliminares, las cuales arrojaron que a este tiempo, el análisis del jugo total recuperado daba como resultado la máxima concentración de barbaloínas permitidas (10 ppm). Una vez realizado este proceso, las características del jugo recuperado a los 140 minutos presentó una densidad de 1.02 g/mL, humedad de 99%, pH 3.8, sólidos 0.72%, cenizas 4.38%, grasas 0.49%, proteínas 0.27% en base seca y una concentración final de barbaloína de  $10.5 \pm 1$  ppm y  $3160 \pm 10$  ppm de azúcares reductores, el cual representa una retención de 88% y 41% respectivamente.

## 5. CONCLUSIONES

- ✓ Se logró implementar a escala de laboratorio las etapas necesarias (acondicionamiento, pasteurización, estabilización y adsorción) para el tratamiento y producción del gel de *Aloe barbadensis* Miller.
- ✓ Se pudieron estudiar parámetros importantes de proceso, como caudal y cantidad de medio adsorbente y se encontró que las mejores condiciones de operación para la extracción de barbaloína, a escala de laboratorio, es un caudal de 30 mL/min, una altura de carbón de 23 cm y un tiempo de proceso de 140 minutos.
- ✓ Al comparar el efecto de adsorción entre el carbón activo seco y humectado, no se presentó una diferencia significativa en el porcentaje de retención de barbaloína y azúcares, sin embargo en los experimentos se observó la formación de caminos preferenciales en las columnas pre-humectadas, por lo cual se decidió trabajar con el carbón activo seco.
- ✓ Se pudo obtener un producto con una concentración de 10 mg/L (concentración máxima permitida por la *International Aloe Science Council* para consumo humano). El procedimiento planteado, presentó un comportamiento repetitivo pues se obtuvo un porcentaje de retención de barbaloína de  $88,6\pm 1\%$  el cual se mantuvo casi constante con las condiciones establecidas.

## 6. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda profundizar en el fenómeno de adsorción de la barbaloina sobre el carbón activo y evaluar otras formas de extracción, de manera a mejorar la eficacia del proceso.
- ❖ Se sugiere evaluar la aplicación de otro tipo de aditivos alimentarios para la estabilización del gel y de esta forma, determinar el efecto en la conservación de las propiedades del gel obtenido a través del tiempo.
- ❖ Implementar un sistema de dispersión en la columna, para evitar la formación de caminos preferenciales cuando el carbón ha sido previamente humectado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] VEGA, A; AMPUERO, N; DIAZ, N. El Aloe vera (*Aloe barbadensis miller*) como componente de alimentos funcionales. *Revista Chile Nutritiva*. 2005. Vol. 32, No. 3. pp. 201-214.
- [2] SCHEWEIZER, M. Aloe vera, la planta que cura. 1994. ISBN 2-912978-02-5. Internet: <http://www.aloeinfo.info/aloesp.pdf>.
- [3] LOOTS, D; WESTHUIZEN, F; BOTES, L. Aloe ferox leaf gel phytochemical content Antioxidant Capacity and possible health benefits. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007. Vol 55. pp. 6891-6896.
- [4] PARK, J., y KWON, S. Chemical components of Aloe and its analysis. En: Park (ed.). *New Perspectives of Aloe*. Estados Unidos. 2006. pp: 27.
- [5] HURTADO, J. Colombia en el contexto mundial de la producción de Aloe vera. 2007. Internet: [http://www.humboldt.org.co/obio/simbio/documentos/comercializacion\\_sabila.pdf](http://www.humboldt.org.co/obio/simbio/documentos/comercializacion_sabila.pdf)
- [6] MASCOLO, N. et al. Healing powers of aloes. En: Reynolds (ed.). *Aloes: The genus Aloe*. CRC PRESS. Inglaterra. pp: 209.
- [7] The complete story of Aloe vera. Internet: <http://www.iasc.org/aloe.html>.
- [8] KUSUYA, H; TAMAI, I; BEPPU, H; SHIMPO, K; CHIHARA, T. Determination of aloenin, barbaloin and isobarbaloin in Aloe species by micellar electrokinetic chromatography. En: *Journal of Chromatography B*. 2001. Vol 752. pp. 91-97.
- [9] ZAMBRANO, H. Perfil preliminar del mercado de la zábila (*Aloe barbadensis Mill.*) en el estado falcón, Venezuela. En: *Bioagro*. 2005. Vol 17. pp: 82-95.

- [10] PUGH, N; ROSS, S; ELSOHL, M; PASCO, D. Characterization of Aloeride, a new High-Molecular-Weight Polysaccharide from *Aloe vera* with potent immunostimulatory activity. En: Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. Vol 49. pp: 1030-1034.
- [11] FEMENIA, A, et-al. Composition features of polysaccharides from Aloe Vera (*Aloe barbadensis* Miller) plant tissues. En: Journal of carbohydrate polymers. Vol 39. 1999. pp: 109-117
- [12] KOJO, E., Qian, H. Aloe vera: A valuable ingredient for the food, pharmaceutical and cosmetic industries-a review. En: Food Science and Nutrition. 2004. Vol 44. pp: 91-96.
- [13] WALLER, T.A., Pelley, R.P. y Strickland, F.M. 2004. Industrial processing and quality control of *Aloe barbadensis* (*Aloe vera*) gel. En: Reynolds (ed.) Aloes: The genus *Aloe*. CRC PRESS. Inglaterra. pp: 139-205.
- [14] SUNG, C. The history of Aloe. En: Park (ed.). New perspectives of Aloe. Estados Unidos. Springer. 2006. pp: 11.
- [15] O'BRIEN, C. 2005. Harvesting. Physical and chemical characteristics of aloe gels. 2005. Universidad de Johannesburgo. Estados Unidos. pp: 14
- [16] GOWDA, D., NEELISIDDAIAH ,B. Structural studies of polysaccharides from *Aloe saponaria* and *Aloe vanbalenii*. 1980. Vol 83. pp: 402-405
- [17] MAUGHAN, R. Method to increase color fastness of stabilized aloe vera. U.S. Patente No. 4,465,629. 1984-08-14.
- [18] LOPEZ, S. et-al. Nuevas aplicaciones Del Aloe vera en la industria alimenticia. España. Patente No. 2,154,609. 1999-09-29.
- [19] COBBLE, H. Stabilized aloe vera gel and preparation of same. U.S. Patente No. 3,892,853. 1975-07-01
- [20] COATS, B. Hypoallergenic stabilized aloe vera gel. U.S. Patente No. 4,178,372. 1979-12-11.

- [21] McANALLEY, Bill. Process for preparation of Aloe products. U.S. Patent No. 4,957,907. 1990-09-18.
- [22] Granular activated carbon absorption and regeneration. En: EPA. Estados Unidos. 2000. Internet: [http://epa.gov/owm/mtb/carbon\\_absorption.pdf](http://epa.gov/owm/mtb/carbon_absorption.pdf)
- [23] VARON, J., ALVAREZ, C., TORRES, J., LOPEZ, Y., GUERRERO, G. Obtención de algunos parámetros de referencia del suelo y del mucílago de Aloe vera cultivado en el corregimiento de Colombia Risaralda y en el municipio de Montenegro Quindío. Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia Et Technica. No. 33. 2007. pp. 145-149.
- [24] ZONTA, F; BOGONI, P; MASOTTI, P; MICALI, G. High-performance liquid chromatographic profiles of aloe constituents and determination of aloin in beverages, with reference to the EEC regulation for flavouring substances. En: Journal of Chromatography A. 1995. Vol.718. pp. 99-106
- [25] MILLER, G L. Use of dinitrosalicylic reagent for determination of reducing sugar. Química analítica. 1999. Volumen 31, No. 3. pp: 426-428.
- [26] WALLER, S., MANGIAFICO, S. A chemical investigation of Aloe barbadensis Miller. En: Proceedings Okland Academy of Sciences. Estados Unidos. 1978. Vol 58. pp: 69-76
- [27] COATS, B. Method of processing stabilized aloe vera gel obtained from the whole aloe vera leaf. Estados Unidos. Patente No. 5,356,811. 1994-10-18
- [28] AVALOS, R., DANHOF, I. Method of processing aloe leaves. Estados Unidos. Patente No. 6,083,508. 2000-07-04
- [29] CHANG, X. et al. Effects of heat treatments on the stabilities of polysaccharides substances and barbaloin in gel juice from Aloe vera Miller. En: Journal of food engineering. 2006. Vol 75. pp: 245-251.
- [30] COBBLE, H. Stailized aloe vera gel and preparation of same. U.S. Patente No. 3,892,853. 1975-07-01

## ANEXOS

### ANEXO A. COMPONENTES PRINCIPALES DEL *Aloe barbadensis* Miller

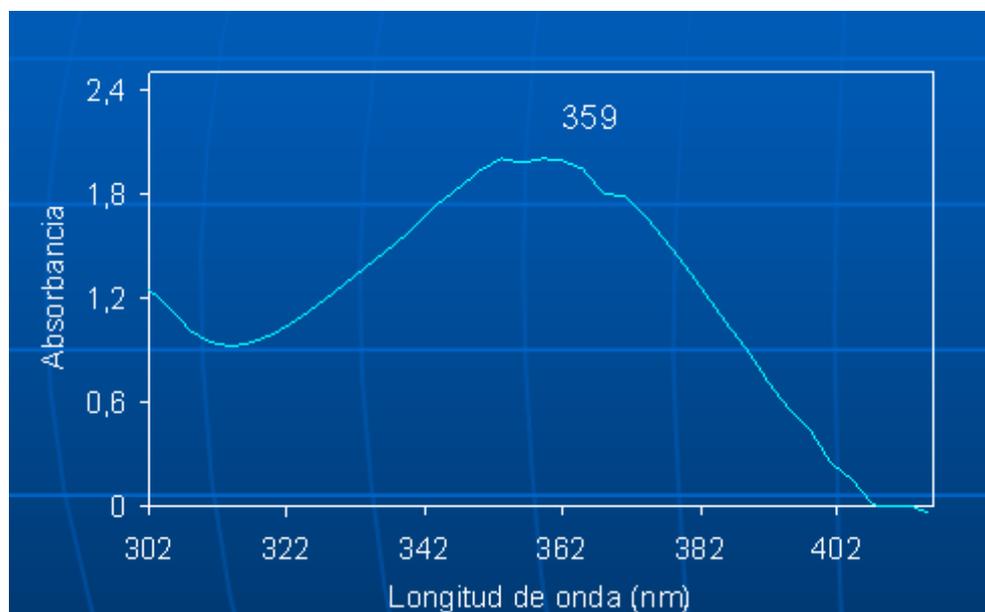
Componente	Identificación	Propiedades
Aminoácidos	Proporciona 20 de los 22 aminoácidos requeridos por los humanos y 7 de los 8 esenciales.	Proporciona los bloques básicos de proteínas en la producción de tejidos.
Antraquinonas	Aloe emodin, Antraceno, Antranol, Barbaloína, Ácido aloético, Ácido crisofánico, Emodin, Éster del ácido cinamónico, Isobarbaloína, Resestanol.	Actividad analgésica, antibacteriana, antifúngica y antiviral
Minerales	Calcio, Cromo, Cobre, Hierro, Aluminio, Magnesio, Manganeso, Potasio, Sodio, Zinc.	Esenciales para la buena salud, trabajan en combinaciones entre sí, con vitaminas y otros elementos
Azúcares	Monosacáridos: Glucosa, Manosa y Fructosa  Polisacáridos: Glucomanano y	Acción antiinflamatoria, antiviral, actividad moduladora del sistema inmune de Acemanano
Vitaminas	A, B, C, E, Colina, B12, Ácido fólico	Antioxidantes (A, C, E): neutralizan radicales libres. El complejo B y la Colina intervienen en el metabolismo de aminoácidos, la B12 es necesaria para la producción de glóbulos rojos..

## ANEXO B. MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE BARBALOÍNA

### Preparación de soluciones estándar para la curva de calibración de barbaloína

Realizando un barrido entre 200 y 700 nm se estableció la longitud de onda a la cual se obtuviera la mayor adsorción de barbaloína, encontrándose a 360 nm el mayor valor.

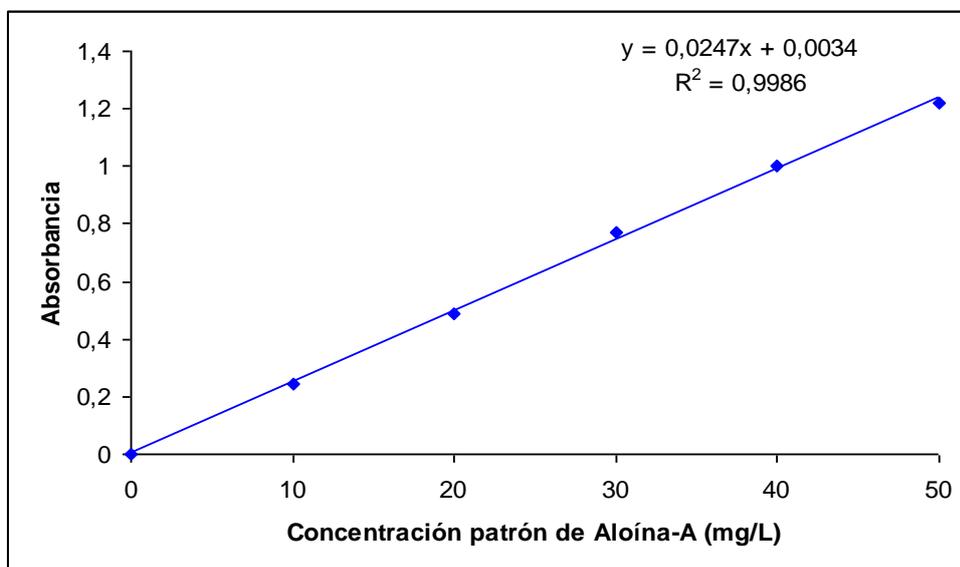
**Figura 1.** Espectro de absorción, patrón Aloína- A (97%).



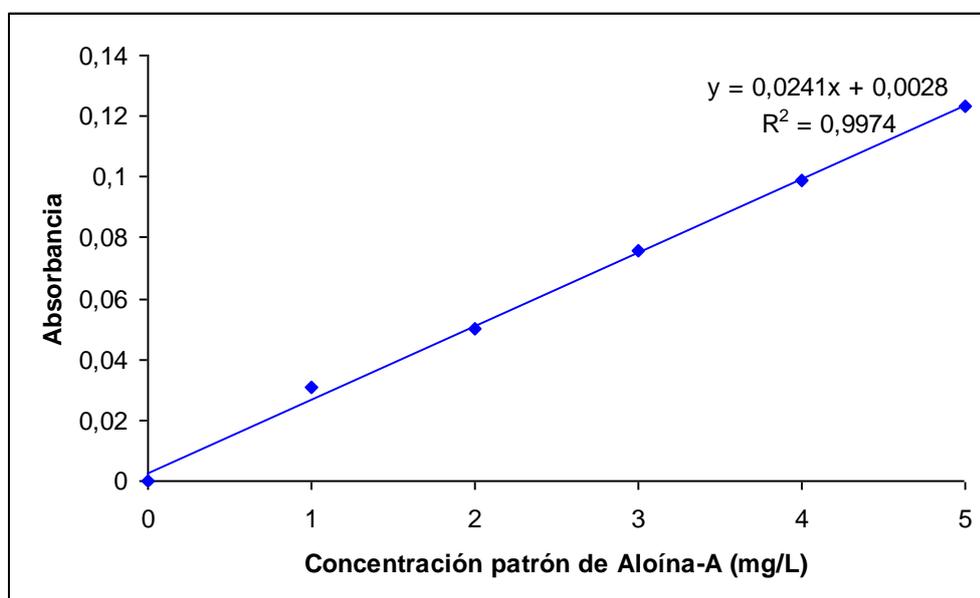
Para la determinación de la concentración de barbaloína en el gel de *Aloe barbadensis*, se realizaron dos curvas de calibración del espectrofotómetro, utilizando un patrón de Aloína-A distribuida por Sigma-Aldrich (97%) a 360 nm.

Se preparó una solución stock de Aloína-A (100 mg/L) utilizando como solvente etanol analítico. A partir de esta solución, se prepararon por dilución las soluciones de patrón necesarias para la realización de las curvas de calibración. Una curva de calibración se realizó con patrones de alta concentración (0 - 60 mg/L) (Figura 2) y otra curva con patrones de baja concentración (0 - 5 mg/L) (Figura 3), utilizando como solvente etanol analítico, la absorbancia fue determinada a la longitud de onda de 360 nm.

**Figura 2.** Curva de calibración de Aloína-A de alta concentración (0 – 60 mg/L) determinada a 360 nm.



**Figura 3.** Curva de calibración de Aloína-A de baja concentración (0 – 5 mg/L) determinada a 360 nm.



### **Preparación de las muestras de gel de *Aloe barbadensis* para la determinación de barbaloína**

Se tomó 1 mL de gel de *Aloe* en un tubo de ensayo y se adicionaron 4 mL de etanol analítico, la muestra fue centrifugada a 2400 rpm durante 8 min. La lectura de la absorbancia fue medida a 360 nm y la concentración de las muestras fueron determinadas por la ecuación de la recta. Las muestras se prepararon por duplicado.

## ANEXO C. MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES

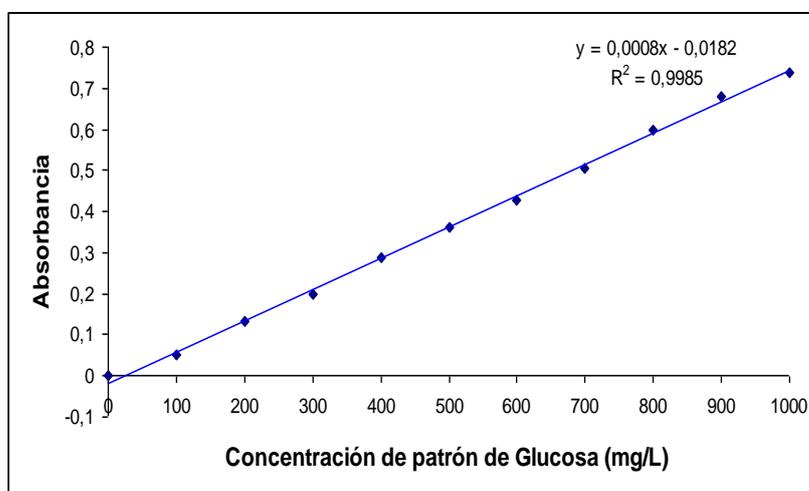
### Preparación de las soluciones estándar para la curva de calibración de azúcares reductores

La determinación de la concentración de azúcares reductores en el gel de *Aloe barbadensis* se realizó por colorimetría. Los reactivos utilizados fueron el ácido 3,5-dinitrosalicílico al 1% p/p y una solución stock de glucosa anhidra (1 mg/mL).

Se construyó una curva de calibración a partir de una solución stock de glucosa (1000 mg/L), utilizando como solvente agua destilada. A partir de la solución stock, se prepararon por dilución las soluciones patrón (0 – 1000 mg/L). A cada solución patrón se adicionó cierta cantidad del reactivo DNS. La lectura de absorbancia del blanco y cada solución patrón fue determinada a 540 nm.

En tubos de ensayo se depositó 1 mL de cada solución patrón, en un tubo adicional fue agregado 1 mL de agua destilada, a cada tubo se adicionó 1 mL del reactivo DNS, se agitaron manualmente y fueron puestos en un baño maría (100 °C) durante 5 min. Los tubos fueron transferidos rápidamente a baño de hielo (4 °C) para detener la reacción, una vez enfriada la solución, se adicionó a cada tubo 10 mL de agua destilada. Se dejó en reposo durante 15 min, y se midió su absorbancia a 540 nm. (Figura 1).

**Figura 1.** Curva de calibración de Azúcares reductores determinada a 540 nm.



### **Preparación de las muestras de gel de *Aloe barbadensis* para la determinación de azúcares reductores**

Se tomó 0,5 mL de muestra en un tubo de ensayo, se adicionó 0,5 mL de reactivo DNS, se agitó manualmente y fueron colocados en baño maría (100°C) durante 5 min. Los tubos fueron transferidos rápidamente a baño de hielo (4 °C) y se adicionó 5 mL de agua destilada. Como las muestras de gel de *Aloe* contienen grandes concentraciones de azúcar, fue necesario realizar varias diluciones, este factor de dilución se tuvo en cuenta para la determinación de las concentraciones en cada muestra. La absorbancia fue medida a 540 nm y la concentración de la muestras fueron determinadas por la ecuación de la recta. Las muestras se prepararon por duplicado.

## ANEXO D. ILUSTRACIONES DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL REALIZADO EN EL LABORATORIO

### Lavado

**Figura 1.** Lavado manual de las hojas de *Aloe barbadensis* Miller.



### Desinfección

**Figura 2.** Hojas de *Aloe* en solución de hipoclorito de sodio (100 ppm)



## Fileteado

**Figura 3.** Fileteado manual de la hoja de *Aloe barbadensis*



## Homogeneización

**Figura 4.** Homogeneización de las hojas de *Aloe*



## Filtración

**Figura 5.** Filtración del gel de *Aloe barbadensis*



## Pasteurización

**Figura 6.** Pasteurización del gel de *Aloe barbadensis*



## Estabilización

**Figura 7.** Estabilización del gel de *Aloe barbadensis*



## Extracción de barbaloína en columna con carbón activo

**Figura 8.** Montaje para la extracción de barbaloína en columna con carbón activo

