

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

LUZ DARY MEJIA URIBE

SILVIA CATALINA JAIMES GÓMEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE QUÍMICA
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**

LUZ DARY MEJIA URIBE

Trabajo de grado para optar al título de Química

SILVIA CATALINA JAIMES GÓMEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Química

**Directora
LUZ AMPARO LOZANO URBINA
Química M. Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE QUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2009**

A Dios por iluminar cada instante de mi vida.

*A Abdénago[†] y María de Jesús, mis padres, por enseñarme
el valor del trabajo y sacrificio, con todo mi amor.*

A Daniel, por su apoyo y valiosos consejos, con todo mi amor.

*A Vanessa, por ser la bendición más grande que Dios me ha dado
y ser el motor de mi vida.*

A Nelson, por estar siempre a mi lado con su amor y apoyo.

*A Luz María, Arturo, Brayán, Julieth, Valentina y Stepane
con todo mi cariño.*

Luz Dary

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la vida, la salud y la oportunidad de culminar este primer logro.

A mi familia, por su paciencia, confianza y apoyo.

A mis dos amores Vanessa y Nelson, que con su paciencia y confianza nunca me dejaron desfallecer.

A la profesora Luz Amparo Lozano, por la oportunidad brindada y su colaboración incondicional.

A los técnicos del laboratorio de Cicelpa, Jorge y David, por su colaboración y entrega en este proyecto, por esa amistad que surgió entre nosotros.

Al profesor Carlos Muvdi, por todos sus aportes valiosos.

A los laboratoristas Alejandro Niño y Alejandro, a la profesora Mary Helena, de la escuela de Química, por su ayuda en todo momento.

A mi compañera Catalina, por su apoyo y colaboración, por su alegría que hizo mas llevadera todas las dificultades, por todos los recuerdos que llevare siempre en mi mente, por su amistad y cariño.

A todos mis compañeros, que se convirtieron en amigos y ahora colegas, por brindarme su amistad y con los cuales compartí grandes momentos que nunca olvidare.

A Doña Nelly, por su colaboración y a todos aquellos que se escapan de mi mente en este momento, pero nunca dudaron de mí.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	3
1.1.1 Aspectos Generales.....	3
1.1.2 Características del <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	5
1.1.3 Componentes principales del <i>Aloe barbadensis</i> Millar.....	6
1.2 PROCESO DE LA ELABORACIÓN DE GEL DE <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	10
1.3 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE BARBALOÍNA EN EL GEL DE <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	16
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
2.1 MATERIALES.....	17
2.1.1 Materia prima.....	17
2.1.2 Carbón Activado.....	17
2.2 MÉTODOS.....	18
2.2.1 Determinación del longitud de onda para la cuantificación de barbaloína.....	18
2.2.2 Preparación de soluciones estándar para la curva de calibración de barbaloína.....	19
2.2.3 Preparación de las muestras de gel de <i>Aloe barbadensis</i> para la	

determinación de barbaloína.....	20
2.2.4 Preparación de soluciones estándar para la curva de calibración de azúcares reductores.....	20
2.2.5 Preparación de las muestras de gel de <i>Aloe barbadensis</i> para la determinación de azúcares reductores.....	21
3. PARTE EXPERIMENTAL.....	22
3.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL GEL DE <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	23
3.1.1 Lavado.....	23
3.1.2 Desinfección.....	23
3.1.3 Fileteado.....	24
3.1.4 Homogeneización.....	25
3.1.5 Filtración.....	25
3.1.6 Pasteurización.....	26
3.1.7 Estabilización.....	26
3.2 EXTRACCIÓN DE BARBALOÍNA EN COLUMNA CON CARBÓN ACTIVO.....	27
3.2.1 Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína y azúcares reductores en el carbón activo.....	29
3.2.2 Influencia del carbón activo en el desempeño del proceso de extracción de barbaloína.....	29
3.2.3 Influencia de la humectación del carbón activo en el proceso de extracción de barbaloína.....	29
3.2.4 Determinación de las mejores condiciones para la extracción de	

barbaloína.....	30
3.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES EN EL GEL DE <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	30
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	31
4.1 INFLUENCIA DEL CAUDAL SOBRE LA RETENCIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES EN EL CARBÓN ACTIVO.....	31
4.2 INFLUENCIA DEL CARBÓN ACTIVO EN EL DESEMPEÑO DEL PROCESO DE RETENCIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES.....	35
4.3 INFLUENCIA DE LA HUMECTACIÓN DEL CARBÓN ACTIVO EN EL PROCESO DE RETENCIÓN DE BARBALOÍNA Y AZÚCARES REDUCTORES.....	38
4.4 DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES CONDICIONES PARA LA EXTRACCIÓN DE BARBALOÍNA.....	41
5. CONCLUSIONES.....	43
6. RECOMENDACIONES.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS.....	50

LISTADO DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Planta de <i>Aloe barbadensis</i> Miller, vereda Regaderos Bajos, municipio de los Santos (Santander).....	6
Figura 2. Sección de la hoja de <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	6
Figura 3. Estructura química de la barbaloína e isobarbaloína.....	8
Figura 4. Estructura de una porción del Glucomanano (GGMM).....	9
Figura 5. Estructura de una porción del Acemanano.....	10
Figura 6. Pasos en la elaboración de gel de <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	11
Figura 7. Espectro de absorción del patrón de Aloína-A (97%).....	18
Figura 8. Curva de calibración de patrón de Aloína-A determinada a 360 nm.....	19
Figura 9. Curva de calibración de patrón de Aloína-A determinada a 360 nm.....	19
Figura 10. Curva de calibración de azúcares reductores determinada a 540 nm.....	21
Figura 11. Metodología del desarrollo experimental.....	22
Figura 12. Lavado manual de las hojas de <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	23
Figura 13. Hojas de Aloe en solución de hipoclorito de sodio (100 ppm).....	24
Figura 14. Fileteado manual de la hoja de <i>Aloe barbadensis</i> Millar.....	24
Figura 15. Homogeneización de las hojas de <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	25
Figura 16. Filtración del gel de <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	25

Figura 17. Pasteurización del gel de <i>Aloe barbadensis</i>	26
Figura 18. Estabilización del gel de <i>Aloe barbadensis</i>	27
Figura 19. Montaje para la extracción de barbaloína en columna empacada.....	28
Figura 20. 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.....	31
Figura 21. Influencia del caudal sobre el porcentaje de retención de azúcares en el carbón activo, para un caudal de 10 mL/min y de 30 mL/min durante 60 minutos.....	32
Figura 22a. Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína y azúcares en el carbón activado para un caudal de 10 mL/min durante 60 minutos.....	33
Figura 22b. Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína y azúcares en el carbón activado para un caudal de 30 mL/min durante 60 minutos.....	33
Figura 23. Influencia de la altura del carbón activo en la retención de barbaloína para un caudal de 30 mL/min durante 80 min.....	35
Figura 24. Influencia de la altura del carbón activo en la retención de azúcares reductores para un caudal de 30 mL/min durante 80 minutos.....	36
Figura 25. Influencia de la humectación del carbón activo en la retención barbaloína a 30 mL/min y 23 cm de carbón (225 g) durante 60 minutos.....	38

Figura 26. Influencia de la humectación del carbón activo en la retención de azúcares reductores a 30 mL/min y 23 cm de carbón (225 g) durante 60 minutos.....39

LISTADO DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Componentes principales del <i>Aloe barbadensis</i> Miller.....	7
Tabla 2. Longitudes de onda donde presentan mayor absorción los compuestos antraquinónicos.....	16
Tabla 3. 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.....	34
Tabla 4. Porcentaje de retención en el jugo total recuperado variando la altura de carbón activo, en un proceso de 80 minutos.....	37
Tabla 5. 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.....	40

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A. Espectros de absorción obtenidos por espectrofotometría del patrón comercial de Aloína-A (97%) y extracto alcohólico de <i>Aloe</i>	51
ANEXO B. Cromatogramas obtenidos por HPLC/DAD a 360 nm del patrón comercial de Aloína-A (97%) y extracto alcohólico de <i>Aloe</i>	52

RESUMEN

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

AUTORES: Luz Dary Mejía Uribe
Silvia Catalina Jaimes Gómez**

PALABRAS CLAVES: *Aloe barbadensis* Miller, barbaloína, columnas empacadas.

Desde la antigüedad, el *Aloe barbadensis* Miller, ha sido conocido como una planta que presenta actividades biológicas notables e.g. propiedades antioxidantes, acción emoliente, coagulante, cicatrizante, etc., debido a la gran cantidad de compuestos presentes en ella. Pero a su vez, esta planta contiene compuestos que producen cierta toxicidad, entre los cuales se destaca la barbaloína, el cual presenta un fuerte efecto laxante.

El objetivo de este proyecto se basó en obtener un gel de *Aloe barbadensis* con una concentración de barbaloína próxima a la permitida por la Internacional Aloe Science Council y una alta concentración de azúcares reductores, realizando estudios en columnas empacadas con carbón activo, variando el caudal y altura de empaque.

El carbón activo granular presentó buenos porcentajes de retención de barbaloína, por lo tanto el carbón activo resulta una excelente alternativa para el tratamiento del gel de *Aloe*, disminuyendo la concentración de barbaloína conservando una alta concentración de azúcares reductores.

Los respectivos análisis de estos compuestos químicos se realizaron por fotometría y método DNS, a longitudes de onda de 360 nm y 540 nm para la barbaloína y azúcares reductores respectivamente.

Los estudios realizados, arrojaron como mejores resultados para la matriz utilizada, que un caudal de alimentación de 30 mL/min y una altura de carbón activo de 23 cm, son las mejores condiciones para obtener un producto con una concentración de barbaloína de 10 mg/L.

* Trabajo de Grado

** Facultad de ciencias. Escuela de Química. Directora Luz Amparo Lozano

ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE PROCESS OF ADSORPTION IN COLUMN WITH ACTIVATED CHARCOAL FOR THE DECREASE OF THE CONCENTRATION of BARBALOIN IN THE *Aloe barbadensis* Miller *.

AUTHORS: Luz Dary Mejia Uribe

Silvia Catalina Jaimes Gómez**

KEYWORDS: *Aloe barbadensis* Miller, barbaloin, columns packed.

From the antiquity, the *Aloe barbadensis* Miller, has been known as a plant that presents remarkable biological activities e.g. antioxidant property, emollient, clotting, healing action, etc., due to the great quantity of compounds in her. But in turn, this plant contains compounds that produce certain toxicity, among which stands out the barbaloin, which presents strong laxative effects.

The objective of this project was based on obtaining a gel of *Aloe barbadensis* with a concentration of next barbaloin, the one allowed by the International Aloe Science Council and a high concentration of sugars reducers, carrying out studies in columns packed with activated charcoal, varying the flow and packing height.

The activated charcoal to granulate presented good percentages of barbaloin retention, therefore the activated charcoal is an excellent alternative for the treatment of the gel of *Aloe*, diminishing the barbaloin concentration conserving a high concentration of sugars reducers.

The respective analyses of these chemical compounds were carried out for photometric and method DNS, to longitudes of wave of 360 nm and 540 nm for the barbaloin and sugars reducers respectively.

The carried out studies, hurtled like better results for the used womb that a flow of feeding of 30 mL/min and a height of activated charcoal of 23 cm, these are the best conditions to obtain a product with a concentration of barbaloin of 10 mg/L.

* College thesis.

** Science Faculty. School of Chemistry. Director Luz Amparo Lozano.

INTRODUCCIÓN

Una de las preocupaciones de la sociedad moderna actual, está centrada en la calidad de los productos que consumen, ella ha condicionado a la industria de alimentos y a la misma investigación a buscar nuevos productos (naturales) que permitan, además de suministrar elementos nutritivos, puedan contribuir a 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. El *Aloe* 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 Barbaloina [1].

Este proyecto tiene como objetivo principal disminuir la concentración de la barbaloina 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% de barbaloína, para la matriz utilizada.

1. MARCO TEÓRICO

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 barbadensis* Miller, 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 barbadensis* Miller

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 mas de 360 especies y de éstas, las más utilizadas en medicina popular son: *Aloe barbadensis* Miller o *Aloe vera*, *Aloe ferox* y *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].

El *Aloe* tiene gran interés medicinal y sus propiedades se conocen desde hace más de 3000 años, pero fue oficialmente listado como purgante y protector de piel por la Farmacopea de Estados Unidos en 1820 [4].

1.1.1 Aspectos Generales

Durante los últimos treinta años, se han emprendido en diferentes partes del mundo programas dedicados a la investigación del *Aloe barbadensis* Miller, debido

a sus diversas propiedades que tienen aplicación tanto en la industria cosmética como en la medicina natural, generando una gran demanda comercial en el ámbito mundial. La producción del *Aloe barbadensis* Miller ha sido dominada básicamente por compañías estadounidenses, quienes han invertido grandes sumas de dinero en investigación y desarrollo de la producción, cosecha y procesamiento de esta planta. Las grandes plantaciones de *Aloe barbadensis* se han establecido en Texas y otras áreas alrededor del Golfo de México. Australia, Israel, países Centro Americanos y Venezuela también son fuentes importantes de producción [5].

Según CORPOICA, en Colombia existe un excelente potencial para poder producir grandes volúmenes de *Aloe*, para cubrir el déficit en la oferta de acíbar, gel fresco y pasta de *Aloe* en el mercado internacional, retribuyéndose en beneficios laborales, económicos, tecnológicos, comerciales y un mayor reconocimiento del país en el mundo como un excelente productor de *Aloe* [6].

Colombia es un productor de escasa relevancia en el contexto internacional, con tan solo unas 62 has cultivadas. 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 [6].

Según ACUDELCA, existe un gran mercado potencial en Colombia, debido a que en el país se encuentran 75 empresas y/o laboratorios (farmacéuticos, estéticos, cosmetológicos, naturistas y alimenticios), que utilizan como materia prima gel de *Aloe barbadensis* para la elaboración de distintos productos, insumos que se importan desde el exterior [6].

La iniciativa en Colombia, 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 [6].

Existen tres maneras de utilizar el *Aloe* para fines medicinales: *Aloe* látex, es usado por sus efectos laxativos; 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; y el extracto de *Aloe* es potencialmente usado para el tratamiento de cáncer [7].

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 efectos laxativos, 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 hablaremos ampliamente 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 [8].

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 [8].



Figura 1. Planta de *Aloe barbadensis* Miller, vereda Regaderos Bajos, municipio de los Santos (Santander)

1.1.3 Componentes principales del *Aloe barbadensis* Miller

La hoja se puede dividir en tres partes principalmente (Figura 2):

- Corteza;
- Acíbar: Alta concentración de antraquinonas;
- Mucílago: se encuentra la mayoría de los nutrientes.

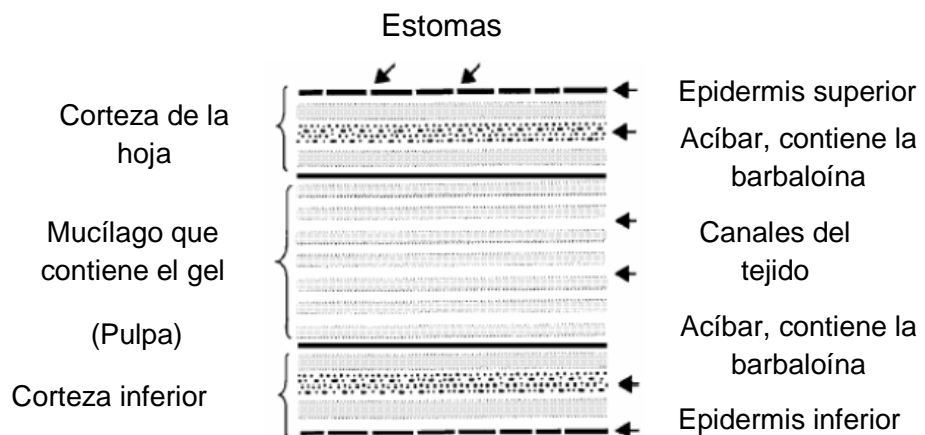


Figura 2. Sección de la hoja de *Aloe barbadensis* Miller [9]

Tabla 1. Componentes principales del *Aloe barbadensis* Miller [1,10]

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, Barbaloina, Acido aloetico, Ácido crisofanico, Emodin, Éster del ácido cinamonico, Isobarbaloina, Resestanol.	Actividad analgésica, antibacterial, 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 Acemanano.	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 libre. El complejo B y la Colina interviene en el metabolismo de aminoácidos, la B12 es necesaria para la producción de glóbulos rojos, el Ácido fólico en el desarrollo de células sanguíneas.

- Barbaloína:** La barbaloína, se encuentran en alta concentración en el acíbar (jugo viscoso de color amarillo y sabor amargo que se obtiene de las hojas del *Aloe barbadensis* al ser cortadas transversalmente). La designación química usual es 10-glucopiranosil-1,8-dihidroxi-3-hidroximetil-9(10H)-antracenona. Esta antraquinona existe en forma de dos isómeros denominados, barbaloína (Aloína A) e isobarbaloína (Aloína B), que difieren por la posición del grupo glucosa en la base del grupo antraceno (Figura 3) siendo más abundante el isomero A [4,11]. A esta sustancia se le atribuye una acción fuertemente irritante del aparato digestivo, por lo que se recomienda no usarla de manera directa sino a través de la adecuada formulación. La barbaloína tiene propiedades beneficiosas cuando se usa tópicamente, esto hace que sea un excelente ingrediente para productos de la piel, no obstante cuando se ingiere, es un fuerte laxante y se recomienda no consumir por largos periodos de tiempo ni durante el embarazo [12].

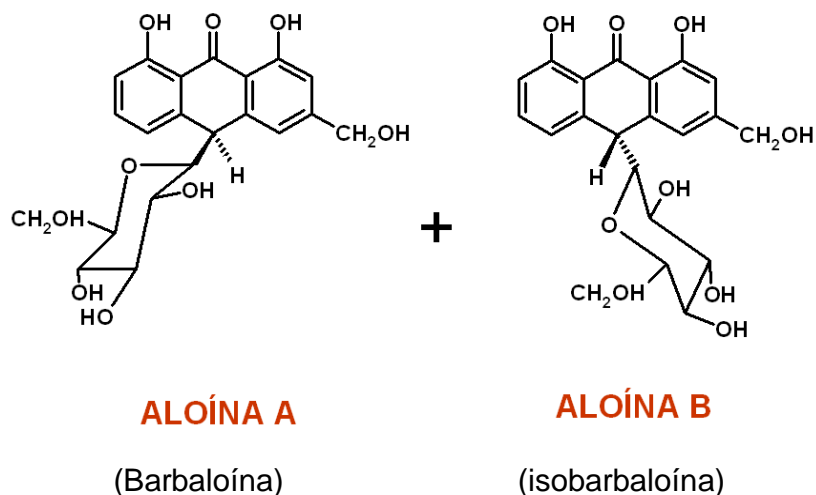


Figura 3. Estructura química de la barbaloína e isobarbaloína [4]

- Carbohidratos:** La composición química de las plantas de *Aloe* depende de la especie. Un aspecto importante del filete, es su alto contenido de

humedad que se encuentra entre el 98,5% y 99,5%; más del 60% de los sólidos totales son polisacáridos mucilaginosos ligados a azúcares como glucosa, manosa, ramnosa, xilosa, arabinosa, galactosa y ácidos urónicos. El mucílago está compuesto de diferentes polisacáridos neutros, ácidos y acetilados (mananos, glucomananos, galactomananos), responsables de la gran capacidad que tiene la planta para retener agua y poder sobrevivir en condiciones de sequía [13].

Los glucomananos (Figura 4) son polisacáridos de cadenas lineales que consiste de glucosa (G) y manosa (M) en una proporción 5:8 con enlaces $1\beta\rightarrow4$ [14].

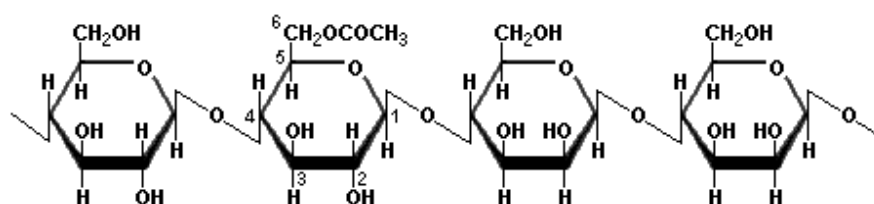


Figura 4. Estructura de una porción del glucomanano (GGMM) [13].

La unidad polimérica tiene el patrón molecular: GGMMGMMMMMGGM. Grupos de acetato en el carbono 6 se encuentran en cada 9 a 19 unidades de la cadena principal. La hidrólisis de los grupos acetatos favorece la formación de enlaces de hidrógeno intermoleculares que son responsables por la acción gelificante. El glucomanano se usa en las dietas para reducir el hambre, porque produce una sensación de plenitud y crea soluciones muy viscosas que retardan la absorción de los nutrientes de los alimentos. Un gramo de este polisacárido soluble puede absorber hasta 200 ml de agua, por esto el glucomanano también se usa para artículos absorbentes como pañales.

El acemanano (Figura 5) es un polisacárido compuesto por manosas, se considera como el principal agente activo en el filete de *Aloe*, comercialmente conocido como Carrysin. Es un polisacárido lineal compuesto de radicales 1 β 4-manosil, con C2 o C3 acetilados intercalados y alguna cadena lateral, principalmente galactosa unida a C6, unidos por enlace 1 α \rightarrow 6, del cual estudios recientes parece reforzar considerablemente el sistema inmunológico de los enfermos de cáncer y de SIDA [1].

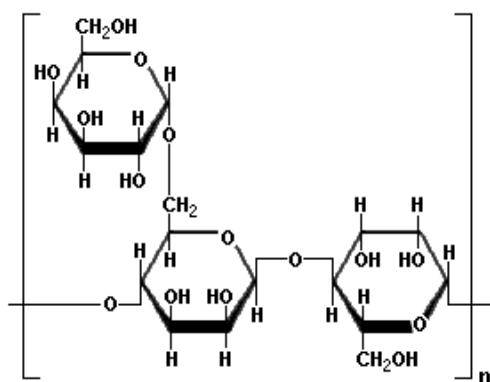


Figura 5. Estructura de una porción del acemanano [13]

El Aloérido, un polisacárido de elevado peso molecular recientemente identificado, constituido por glucosa, galactosa, manosa y arabinosa, posee una mayor actividad inmunoestimulante, superior a la del acemanano [14-16].

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

En la siguiente figura se presenta el diagrama de proceso para la elaboración comercial de gel de *Aloe barbadensis* Miller.

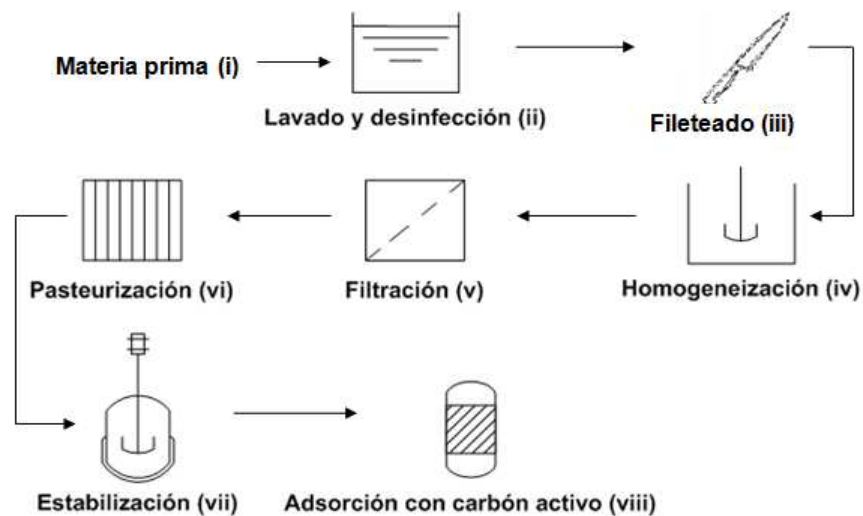


Figura 6. Pasos en la elaboración comercial de gel de *Aloe barbadensis* Miller

- (i) **Materia prima:** Cuando las hojas llegan a la fábrica, la selección del material se realiza manualmente, escogiendo las hojas que se encuentren en óptimo estado (hojas sin maltratar, gel no expuesto al ambiente); condición esencial para mantener las propiedades fisicoquímicas del Aloe por un mayor tiempo (disminución de las reacciones de descomposición del producto) [17].
- (ii) **Lavado y desinfección:** El lavado comienza con las hojas recién cortadas. Idealmente, las hojas despencadas (el despencado consiste en retirar las hojas de los racimos) deben ser lavadas entre dos a cuatro horas posteriores. Estudios demuestran que si han transcurrido 24 horas entre el despencado y el lavado, se pierde alguna actividad biológica de los componentes activos (oxidación de los compuestos activos) [17].

El lavado de la penca se realiza en tinajas de acero inoxidable o plástico en operación manual o mecanizada mediante el uso de bombas de recirculación de la solución de lavado compuesta por agua fría [18].

El lavado se realiza en dos etapas, un primer lavado con solo agua donde se busca eliminar sólidos como tierra y otros elementos, un segundo lavado es combinado con la etapa de desinfección. La función de esta operación es hacer una última limpieza, disminuyendo su carga microbiológica antes de entrar al proceso.

Para este proceso, las hojas son lavadas en una solución de 100 mg/L de hipoclorito de sodio [18].

(iii) Fileteado: Existen dos formas para realizar el fileteado.

- Fileteado manual: Mediante cuchillas adosadas a la mesa de descortezado se remueve primero la punta, posteriormente la base y los lados de la hoja, dejando el filete libre y listo para su posterior procesamiento [4].

La mesa de descortezado es de acero, aproximadamente de 1m de ancho con los bordes levantados aproximadamente de 10 cm de alto [7].

- Fileteado mecánico: Este tipo de fileteado es el más desarrollado en la industria de *A. barbadensis*. Se realiza mediante cuchillas de altura ajustable y conducción por rodillos en la mesa de descortezado [18].

(iv) Homogeneización: Debido a las fibras que contiene el gel, es necesario llevar a cabo una etapa de homogeneización en la cual se busca disminuir el tamaño de las partículas de la mezcla, logrando como resultado una dispersión uniforme [19].

Los principales pasos en este proceso incluyen trituración o molienda. Los filetes del gel de *Aloe* deben ser triturados y homogeneizados usando un triturador comercial de tejido de alta velocidad a temperatura ambiente (25 °C). A mayor tiempo de trituración/molienda es más alto el

índice de oscurecimiento en el jugo del gel de *Aloe barbadensis*, debido a la reacción de oxidación enzimática.

Debido a esto, la trituración o molienda debe reducirse entre 10-20 minutos [20].

(v) Filtración: Esta operación influye en la estabilidad del gel de *Aloe barbadensis*. Este proceso se realiza para eliminar los residuos vegetales procedentes de la matriz del gel. Normalmente se utiliza un filtro centrífugo a temperatura ambiente [20].

(vi) Pasteurización: Este paso puede afectar el sabor, la apariencia y el contenido de la actividad biológica del producto gel de *Aloe*.

Este tratamiento térmico se realiza a temperaturas inferiores a los 100°C, logrando una inactivación enzimática y destrucción de microorganismos [21].

- **Pasteurización Por lotes:** Es el método tradicional para reducir el número de bacterias. Normalmente de 100 a 2.000 galones (400 a 8.000 Litros) se introducen en una chaqueta-vapor, calentamiento eléctrico o calentamiento a gas, el cual eleva la temperatura a 65° C. La consecución de esta temperatura puede tomar de 15 a 60 minutos dependiendo del equipo utilizado en la instalación del procesamiento. En la norma de pasteurización el material se mantiene a 65° C durante 15 minutos. Con lotes más pequeños, la materia se deja enfriar al ambiente cerca de radiación y/o convección.

Con grandes lotes, intercambiadores de calor se suelen utilizar para reducir rápidamente la temperatura del gel al punto en el cual puede utilizarse [18].

- HTST (High Temperature/Short Time): Es el mejor método de pasteurización el cual emplea una serie de intercambiadores de calor, que rápidamente, en cuestión de segundos, eleva y baja la temperatura del gel, aplicando 71° C en intervalo de 15 segundos [22]. Un intercambiador final enfría el gel a 5 °C. La duración de la pasteurización se determina por el caudal [18].

(vii) Estabilización: La estabilización es una etapa que ha permitido conservar por más tiempo las propiedades del gel obtenido y esto a su vez ha permitido ampliar sus usos y comercialización. Estos procesos conservan las cualidades terapéuticas del gel un máximo de 12 meses aproximadamente [20].

El primer paso en la estabilización de un lote preparado de gel de *Aloe barbadensis* es añadir proporciones de un catalizador oxidante no tóxico como el peróxido de hidrógeno. La preparación del gel se somete a un rango de temperatura de 35°C a 80°C, el oxidante no tóxico se añade con agitación, y el calentamiento se continúa hasta que la solución supone una apariencia menos viscosa, en la que el tiempo de oxidación es prácticamente completo. Generalmente, esto no toma más de unos 30 minutos, pero en algunos casos, los resultados positivos se han obtenido casi inmediatamente después de añadir el oxidante [23].

El material preferido para la oxidación catalítica es el peróxido de hidrógeno, que no es tóxico, fácilmente disponible y relativamente barato. Los mejores resultados se han obtenido utilizando el peróxido de hidrógeno en solución acuosa al 30% en cantidades alrededor de 0.3 mililitros por cada 5 litros del gel preparado [24].

Una vez que la etapa de oxidación se ha completado, es necesario añadir un material antioxidante con el fin de detener la oxidación catalítica.

Se ha descubierto, que mediante el empleo de cantidades relativamente pequeñas de ácido ascórbico en combinación con ácido cítrico, se logra el efecto de amortiguamiento ideal para este propósito. Los mejores resultados se han obtenido utilizando el ácido ascórbico en una cantidad de alrededor de 0.015 a 0.05 onzas por galón de gel de *Aloe vera* (preferiblemente alrededor de 0.02 onzas por galón de gel de *Aloe vera*) es empleado por primera vez para detener la oxidación catalítica del peróxido de hidrógeno [23,25]. Posteriormente, el ácido cítrico en la cantidad de aproximadamente 0.4 a 0.8 onzas por cada galón de gel de aloe vera (preferiblemente en una cantidad de alrededor de 0.5 onzas por galón de gel de *Aloe vera*) se añade con el fin de mantener el pH de la composición definitiva dentro de un rango de 4 a 6 [23,25].

(viii) Proceso de extracción de aloínas: Para retirar la aloína el método más usado es la extracción con carbón activado.

En este proceso se hace pasar una corriente de gel a través de un lecho de carbón activado en el cual es adsorbida una buena parte de la aloína, obteniéndose una corriente de gel con alta pureza [24].

La relación entre tiempo de adsorción y cantidad de carbón activado es recíproca.

Hay 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 material a tratar; (4) Cantidad y tipo de carbón activado empleado [17]. En la actualidad también se utilizan membranas de ultrafiltración para la extracción de la barbaloína del gel de *Aloe barbadensis* [26]

El carbón activado, es un compuesto covalente y por lo tanto, muestra preferencia por moléculas covalentes; es decir, por moléculas que tienden a ser no iónicas y poco polares. La unión entre el carbón y el adsorbato (molécula atrapada) se lleva a cabo por medio de fuerzas de

London, que son una de las clases de fuerzas de van der Waals. Éstas son relativamente débiles y, por lo tanto, reversibles. La relación entre altura de carbón y diámetro de la columna oscila entre 2 a 1 y 5 a 1. Mientras mayor área superficial disponible tenga el carbón, mejor adsorbente podrá ser [27].

1.3 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE BARBALOÍNA EN EL GEL DE *Aloe barbadensis* Miller

Generalmente, la detección de los compuestos antraquinónicos se realiza por HPLC/DAD [28,29]. Otros métodos para realizar el análisis de estos compuestos es cromatografía líquida acoplada con espectrometría de masas [30] y cromatografía de gases acoplada con espectrometría de masas [31].

También se utiliza la espectrofotometría para la cuantificación de los compuestos antraquinónicos, ya que estos compuestos absorben en el ultravioleta [29]. En la tabla 2 se presentan las longitudes de onda, donde presentan la mayor absorción los compuestos antraquinónicos.

Tabla 2. Longitudes de onda donde presentan mayor absorción los compuestos antraquinónicos

Longitud de onda (nm)	Identificación
214	Aloesina
212	Aloeresin A
210	Hidroxialoína
360	Aloína B
359	Aloína A
253	Aloinósido B

2. MATERIALES Y MÉTODOS

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

2.1 MATERIALES

2.1.1 Materia prima

Las pencas (hojas) de *Aloe* 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*.

La edad de las plantas despenadas era superior a los 2 años, debido a su alto valor en carbohidratos [32]. Las hojas presentaban unas dimensiones promedio de: 50 cm de longitud, 7.5 cm de ancho y 3 cm de grosor interno, un peso promedio de 750 g c/u.

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

2.1.2 Carbón Activado

El carbón activado utilizado fue granular, pues el proceso a realizar era en columna empacada. Por tratarse de un producto comercial, presentaba un área superficial de 500 a 1500 m²/g.

2.2 MÉTODOS

El método de cuantificación utilizado, para la determinación de la concentración de barbaloína y azúcares reductores fue el UV-Visible. El equipo utilizado, fue un espectrofotómetro marca Shimadzu UV-2401, UV-VIS Recording spectrophotometer.

2.2.1 Determinación de la longitud de onda para la cuantificación de barbaloína

Debido al costo de reactivos que implican las técnicas mencionadas en el **Numeral 1.3**, fue necesario utilizar la espectrofotometría como técnica de cuantificación de la barbaloína en el gel de *Aloe barbadensis*, para lo cual se obtuvo el espectro de un patrón comercial de Aloína-A distribuido por Sigma-Aldrich (97%) en etanol analítico en la región de 200 nm a 700 nm, donde se determinó que la longitud de onda a la cual presenta su mayor absorción es 360 nm. De igual manera se obtuvo un espectro de absorción del extracto alcohólico de *Aloe*, donde se comprobó experimentalmente que a 360 nm presenta su mayor absorción este compuesto (ANEXO A).

Finalmente para comprobar que a esta longitud de onda absorbe solo este compuesto, se realizó un análisis por HPLC/DAD, del patrón comercial de Aloína-A (97%) y del extracto alcohólico de *Aloe* (ANEXO B). Fijando longitud de onda a 360 nm, una fase móvil de acetonitrilo y una columna C18 apolar [28,29].

Esta técnica, comprobó que la barbaloína es el único compuesto que absorbe a 360 nm, por lo tanto la fotometría, es una buena técnica para realizar la cuantificación de este compuesto.

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

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%). 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 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 8) y otra curva con patrones de baja concentración (0 - 5 mg/L) (Figura 9), utilizando como solvente etanol analítico.

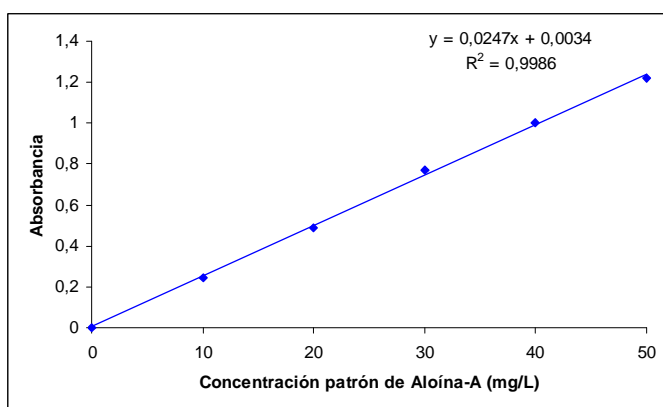


Figura 8. Curva de calibración de patrón de Aloína-A determinada a 360 nm.

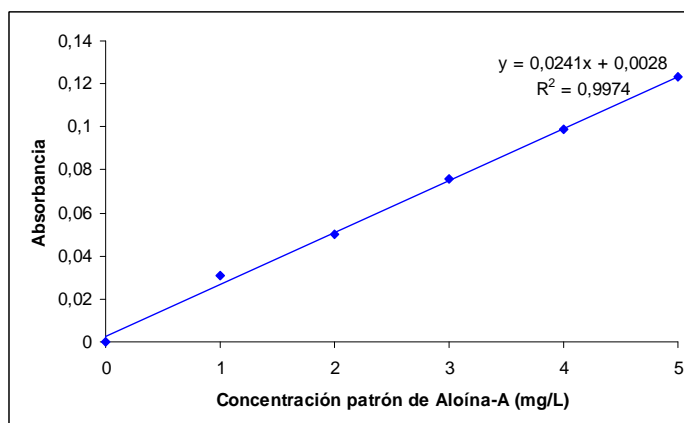


Figura 9. Curva de calibración de patrón de Aloína-A determinada a 360 nm.

2.2.3 Preparación de las muestras de gel de *Aloe barbadensis* para la determinación de barbaloina

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.

2.2.4 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% 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 [33].

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 10).

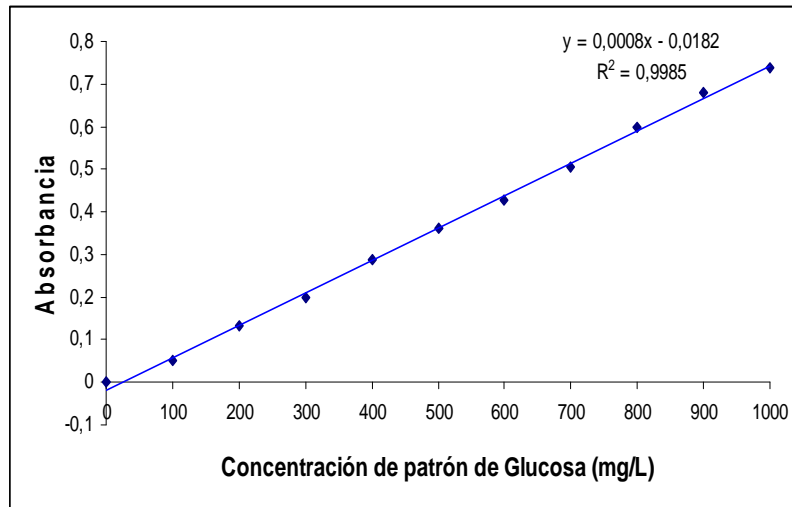


Figura 10. Curva de calibración de Azúcares reductores determinada a 540 nm.

2.2.5 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 las muestras fueron determinadas por la ecuación de la recta. Las muestras se prepararon por duplicado.

3. PARTE EXPERIMENTAL

Debido a la falta de reportes de investigaciones sobre trabajos realizados con el *Aloe vera* en Colombia, fue necesario basar el proyecto en patentes y artículos publicados en la Web y base de datos disponibles.

La experimentación de este proyecto se realizó en el Laboratorio de Cicelpa de la escuela de Química en la Universidad Industrial de Santander, sede Bucaramanga.

Además se contó con la colaboración del Laboratorio de Instrumentación Química de la escuela de Química y del Laboratorio de Procesos de Ingeniería Química.

El diagrama de bloques muestra la metodología seguida durante el desarrollo experimental del proyecto (Figura 11).



Figura 11. 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 (Figura 12), sumergiéndolas en tinas plásticas con agua fría, 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 [18].

El agua utilizada en este proceso fue de 1.5 L/Kg de material.



Figura 12. Lavado manual de hojas de *Aloe barbadensis* Miller

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 (Figura 13) [18,34].

Transcurrido este tiempo, las pencas fueron ubicadas en otras tinas sin agua, para comenzar el proceso de fileteado.



Figura 13. Hojas de *Aloe* en solución de hipoclorito de sodio (100 ppm)

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 (Figura 14).

El fileteado se realizó en un mesón de baldosa, el cual fue previamente desinfectado con hipoclorito de sodio al 5.25%. Una vez desinfectado, con el vestuario e implementos de seguridad adecuados (bata, guantes, gorro y tapabocas), utilizando un cuchillo se removi6 primero la punta, posteriormente la base, los lados de la hoja y finalmente la corteza [18,34].

Una vez fileteado, para obtener una posterior homogeneización uniforme, los cristales fueron cortados en cuadros pequeños y depositados en vasijas de vidrio esterilizadas.



Figura 14. Fileteado manual de la hoja de *Aloe barbadensis* Miller

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 gel fue almacenado en recipientes de vidrio (Figura 15).

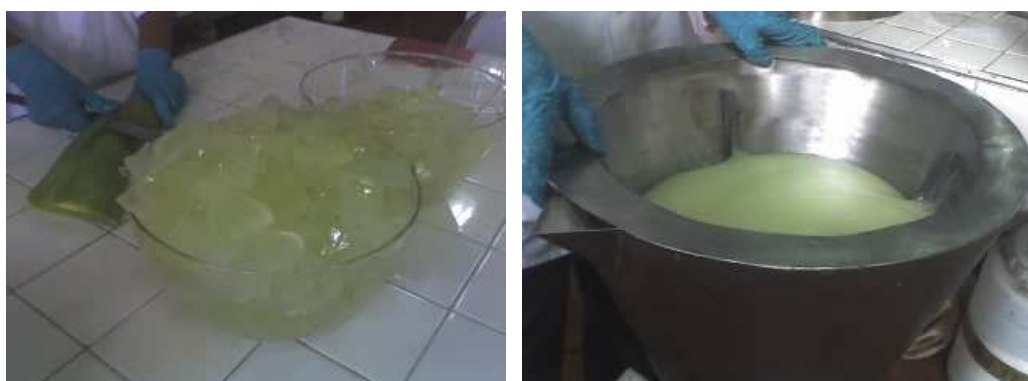


Figura 15. Homogeneización de las hojas de *Aloe barbadensis* Miller

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 (Figura 16). Este proceso duró aproximadamente 2 horas para 20 Kg de material.



Figura 16. Filtración del gel de *Aloe barbadensis* Miller

3.1.6 Pasteurización

Con la finalidad de inhibir la actividad enzimática y la reproducción de microorganismos, se realizó este proceso en una olla de autoclave.

El material ya filtrado fue distribuido en proporciones iguales en erlenmeyeres esterilizados, los cuales se introdujeron en el autoclave, que contenía agua precalentada a 90°C a fin de obtener una pasteurización tipo HSTS.

Una vez la solución alcanzó una temperatura de 71°C durante 15 segundos, los erlenmeyers fueron colocados en un baño de hielo (4°C) [18,22,35]. El proceso de pasteurización tuvo una duración de 30 minutos (Figura 17).



Figura 17. Pasteurización del gel de *Aloe barbadensis*

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 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% 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 [37] Una vez alcanzados los 80°C, se mantuvo esta temperatura durante 5 min y posteriormente, los erlenmeyers fueron puestos en un baño de hielo (4°C) hasta alcanzar una temperatura de 30°C [22]. La duración de esta parte del proceso fue de 30 minutos (Figura 18).

Una vez completada la etapa de oxidación, fue necesario añadir un material antioxidante con el fin de detener la oxidación catalítica. Cantidades relativamente pequeñas de ácido ascórbico en combinación con ácido cítrico, logran este efecto de amortiguamiento.

Se utilizó el 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) [36].



Figura 18. Estabilización del gel de *Aloe barbadensis*

3.2 EXTRACCIÓN DE BARBALOÍNA EN COLUMNA CON CARBÓN ACTIVADO

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 activado (Figura 19).

Para esta parte del proceso se realizaron pruebas preliminares para determinar los parámetros de extracción de aloínas en el carbón activado (caudales de 10, 15, 30, 40 mL/min y alturas de carbón 5, 7, 10, 13 y 23 cm), teniendo en cuenta las variables de respuesta (retención de aloínas y azúcares reductores en el carbón activado). De acuerdo a los resultados obtenidos y para posteriores estudios, se decidió trabajar con caudales de 10 y 30 mL/min y alturas de medio adsorbente (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.



Figura 19. Montaje para la extracción de barbaloina en columna empacada.

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 activado 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) [27], 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 activado 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, era 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, los cuales se realizaron a las mismas condiciones pero variando el tiempo de proceso.

3.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE BARBALOÍNAS Y AZUCARES REDUCTORES EN EL GEL DE *Aloe barbadensis* Miller

Como parte de un control de calidad del producto obtenido después de los tratamientos, la barbaloína y los azúcares reductores fueron escogidos como variables de respuesta, para los diferentes procesos realizados al gel de *Aloe*.

El porcentaje de retención de los compuestos se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\%P_R = \left(1 - \frac{C_f}{C_i}\right) \times 100$$

Donde

$\%P_R$ = porcentaje de retención en la columna de carbón activo;

C_f = Concentración final de la muestra después del tratamiento con el carbón activo;

C_i = Concentración inicial de la muestra estabilizada de gel de *Aloe* sin tratamiento.

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 20 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.

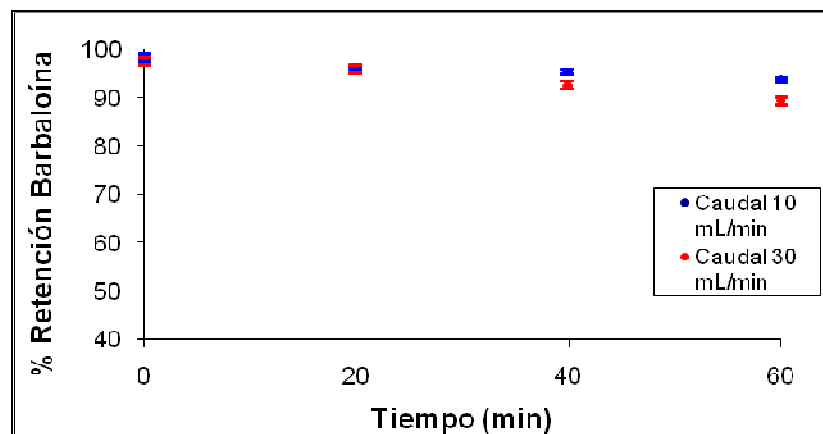


Figura 20. Influencia del caudal sobre el porcentaje de retención de barbaloína en el carbón activo, para un caudal de 10 mL/min y de 30 mL/min durante 60 minutos.

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 21 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.

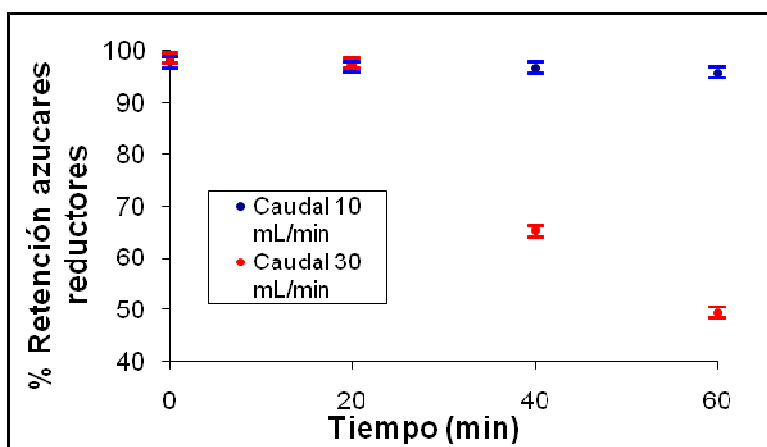


Figura 21. Influencia del caudal sobre la variación del porcentaje de retención de azúcares en el carbón activo, para un caudal de 10 mL/min y de 30 mL/min durante 60 minutos.

Se puede observar, que a diferencia de la figura 20, 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 22 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 22 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.

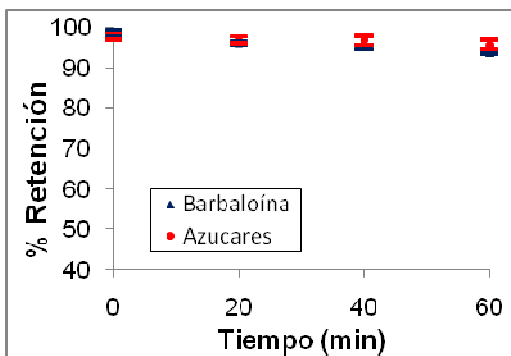


Figura 22 a. Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína y azúcares en el carbón activo para un caudal de 10 mL/min durante 60 minutos.

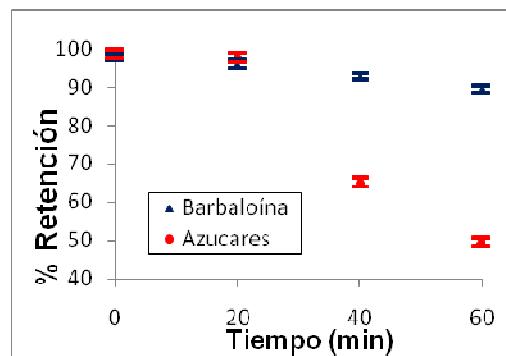


Figura 22 b. Influencia del caudal sobre la retención de barbaloína y azúcares en el carbón activo, para un caudal de 30 mL/min durante 60 minutos.

En la figura 22 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 activado es suficiente para que exista una mayor interacción de éste con los dos grupos estudiados y por consiguiente, una mayor adsorción.

En la figura 22 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 3 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 3. 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.

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 23 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.

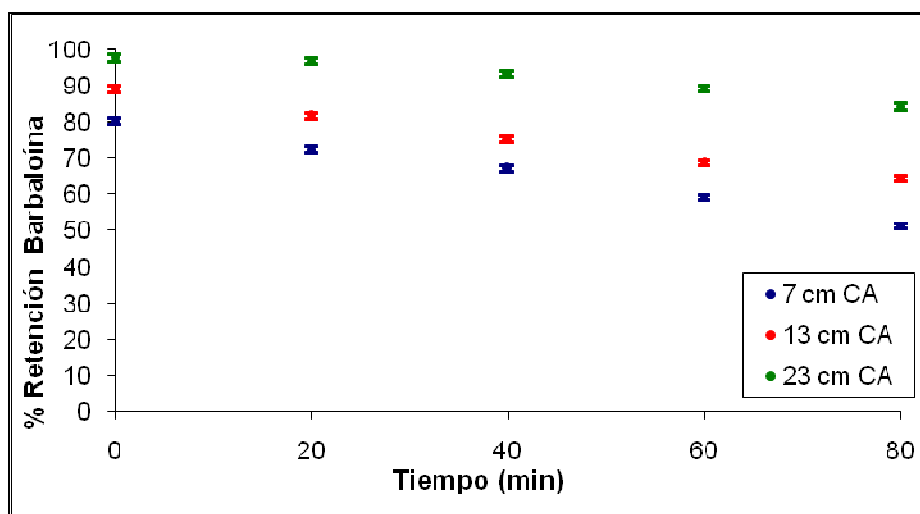


Figura 23. Influencia de la altura del carbón activo en la retención de barbaloína para un caudal de 30 mL/min durante 80 minutos.

En dicha figura, al igual que en la figura 20, 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 activado, 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 24 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.

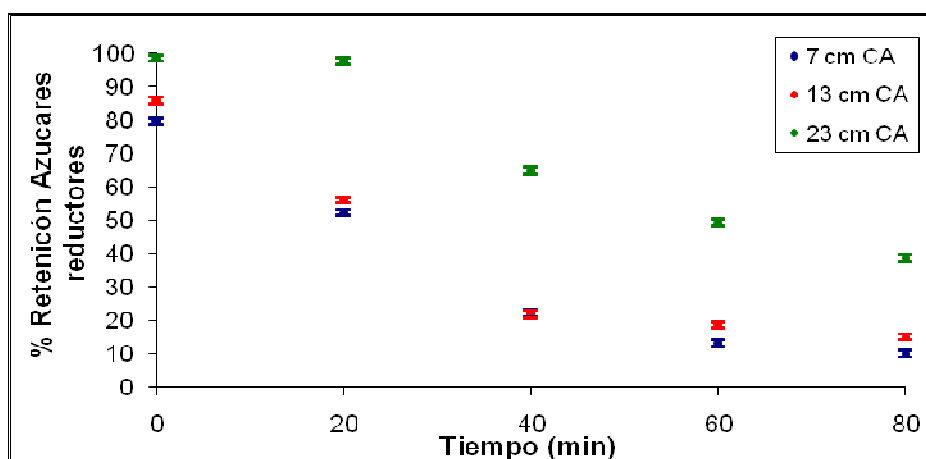


Figura 24. Influencia de la altura del carbón activo en la retención de azúcares reductores para un caudal de 30 mL/min durante 80 minutos.

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

En la tabla 4 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 4. Porcentaje de retención en el jugo total recuperado variando la altura de carbón activo, en un proceso de 80 minutos

Altura de CA (cm)	% Retención Barbaloína	%Retención de azúcares	Concentración de Barbaloína (mg/L)
7	70,00±1,8	21,00±3,1	50±1
13	77,00±2,0	27,00±1,7	30±1
23	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 activado, 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 ACTIVADO 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 25 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.

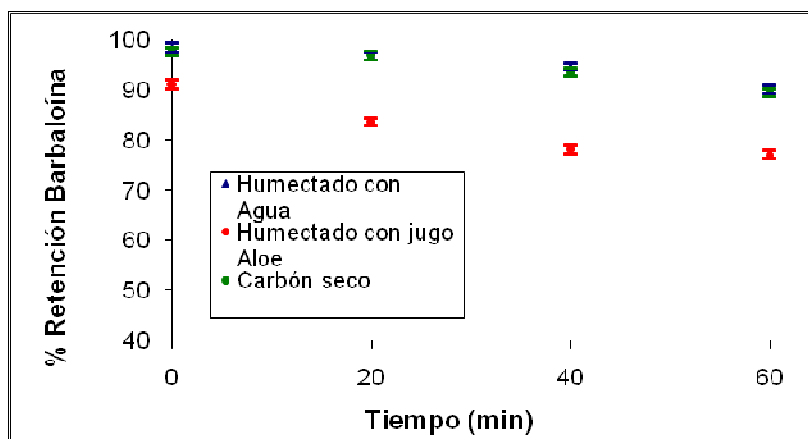


Figura 25. Influencia de la humectación del carbón activo en la retención de barbaloína a 30 mL/min y 23 cm de carbón (225 g) durante 60 minutos.

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 26 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.

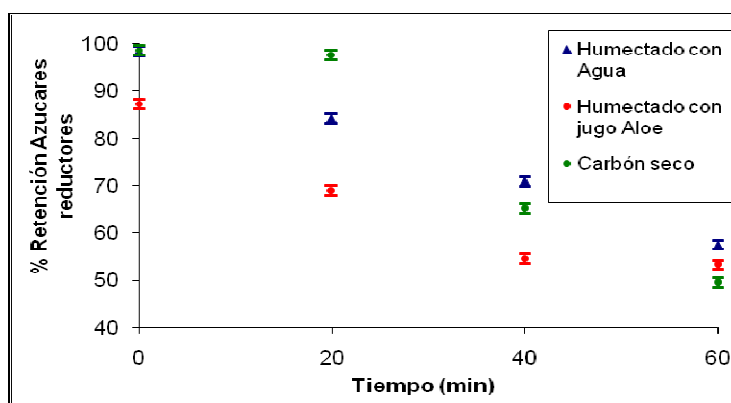


Figura 26. Influencia de la humectación del carbón activo en la retención de azúcares a 30 mL/min y 23 cm de carbón (225 g) durante 60 minutos.

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 25).

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 5 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 5. 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 activado 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 27 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.

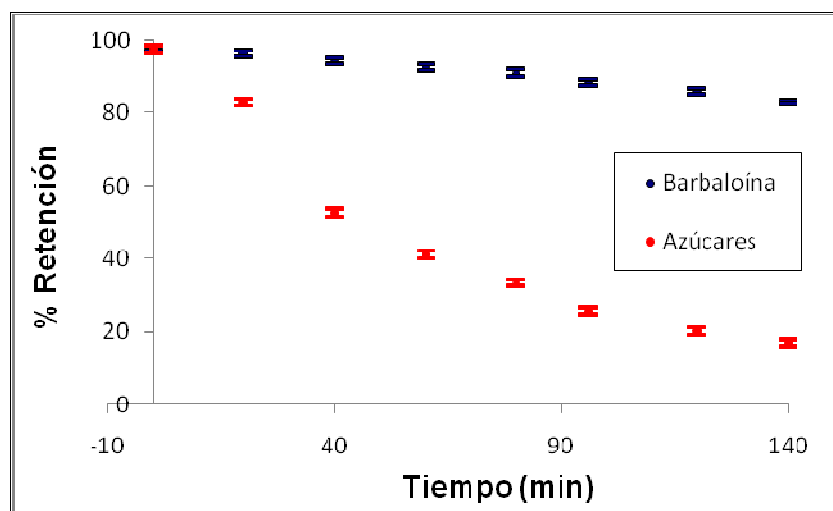


Figura 27. Porcentaje de retención de barbaloína y azúcares reductores para los parámetros establecidos de un caudal de 30 mL/min, altura de carbón de 23 cm durante 140 minutos.

En la figura 27 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 nos 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 barbaloína permitida (10 mg/L). Una vez realizado este proceso, las características del jugo integrado 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 ± 1 ppm y 3160 ± 10 ppm de azúcares reductores, el cual representa una retención de $88 \pm 2\%$ y $41 \pm 1\%$ respectivamente.

5. CONCLUSIONES

- ✓ Se pudo implementar a escala de laboratorio la etapas necesarias (acondicionamiento de la muestra, pasteurización, estabilización y adsorción) para el tratamiento y producción del gel de *Aloe barbadensis* Miller.
- ✓ Se pudieron estudiar parámetros importantes como flujo 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, se decidió trabajar con el carbón activo seco bajo las condiciones de operación utilizadas.
- ✓ 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 $88 \pm 2\%$ el cual se mantuvo casi constante con las condiciones establecidas.

6. RECOMENDACIONES

- ❖ Profundizar en el fenómeno de adsorción de la barbaloina sobre el carbón activo y evaluar otras formas de extracción para mejorar la eficacia del proceso.
- ❖ Evaluar la aplicación de otro tipo de aditivos alimentarios para la estabilización del gel y de esta forma determinar el efecto de 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.

5. BIBLIOGRAFIA

1. VEGA G, Antonio; AMPUERO C, Nevenka; DIAZ N, Luis y LEMUS M, Roberto. El Aloe vera (*Aloe barbadensis miller*) como componente de alimentos funcionales. Rev. Chil. Nutr. 2005, vol. 32, no. 3. pp. 201-214.
2. SCHEWEIZER, MArc. Aloe vera, la planta que cura. 1994. ISBN 2-912978-02-5. [on line]. Disponible en internet: <<http://www.aloeinfo.info/aloesp.pdf>>.
3. LOOTS,D; WESTHUIZEN,F; BOTES,L. Aloe ferox leaf gel phytochemical content Antioxidant Capacity and possible healf benefits. En: Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007. Vol 55. Pág. 6891-6896.
4. PARK, J., y KWON, S. New Perspectives of *Aloe*. Chemical components of Aloe and its analysis. Springer. Park (ed). 2006. pp: 27.
5. Agrogestión Ambiental de Chile (Chile). 2006. [on line]. Disponible en Internet: < <http://agrogestion.com/aloe/main.htm#15>>.
6. HURTADO, J. Colombia en el contexto mundial de la producción de Aloe vera. 2007. [on line]. Disponible en internet: <http://www.humboldt.org.co/obio/simbio/documentos/comercializacion_sabila.pdf>
7. MASCOLO, N. et al. The genus *Aloes*. Healing powers of *Aloes*. CRC PRESS. 2004. pp: 209

8. The complete story of Aloe vera. [on line]. Disponible en internet: <<http://www.iasc.org/aloe.html>>.

9. Investigación, desarrollo tecnológico e innovación. Ministerio de agricultura. 2007. [on line]. Disponible en Internet: www.colombiaaloe.org/pdf/14.pdf

10. Descripción de la planta de sábila. [on line]. Disponible en internet: <<http://www.colombiaaloe.org/pdf/15.pdf>>.

11. 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. Pág. 91-97.

12. MARTINEZ, Alejandro. Quinonas y compuestos relacionados. Universidad de Antioquia. Facultad de Quimica Farmaceutica. Medellín. 2005. pp. 1-31

13. Carbohidratos o glúcidos. Estructura química. [on line]. Disponible en internet: <<http://www.scientificphythic/fitness/xantan.fig>>

14. PUGH, N; ELSOHLY, 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. 2001. Vol 49. Pág. 1030- 1034.

15. FEMENIA, A; SÁNCHEZ, E. Compositional features of polysaccharides from Aloe vera (Aloe barbadensis Miller) plant tissues. En: Carbohydrate Polymers. Vol.39. 1999. pp.109-117

16. SUNG, C. New Perspectives of Aloe. The history of Aloe. Springer. Park (ed). 2006. pp.11

17. WALLER, T., PELLEY, R. Aloes: The Genus *Aloe*. Industrial processing and quality control of *Aloe barbadensis* (aloe vera) gel. CRC PRESS. 2004. pp.139-205.
18. O'BRIEN, C. Physical and chemical characteristics of *Aloe* gels. 2005. pp. 14.
19. GOWDA, D; NEELISIDDAIAH, B. Structural studies of polysaccharides from *Aloe saponaria* and *Aloe vanbalenii*. Carbohydrate Res. 1980. Vol.83. pp.402-405.
20. MAUGHAN, R. Method to increase color fastness of stabilized aloe vera. U.S. Patente No. 4,465,629. 1984-08-14
21. BAHILLO HERRERO, R. Tecnología de los alimentos. Universidad de Valladolid. España. 2002
22. CHANG, X; WANG, C; 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. Vol.75. 2006. pp.245-251.
23. COBBLE, H. Stabilized *Aloe vera* gel and preparation of same. U.S. Patente No. 3,892,853. 1975-07-01
24. COATS, B. Hypoallergenic stabilized aloe vera gel. U.S. Patente No. 4,178,372. 1979-12-11.
25. McANALLEY, Bill. Process for preparation of *Aloe* products. U.S. Patent No. 4,957,907. 1990-09-18.
26. VITTORI, N. Method of isolating mucilaginous polysaccharides and uses thereof. U.S. Patent No. 6,482,942. 2002-11-19.

27. Granular activated carbon absorption and regeneration. 2000. Estados Unidos.
En: EPA. [on line]. Disponible en internet:
http://epa.gov/owm/mtb/carbon_absorption.pdf
28. OKAMURA,N; ASAI,M; HINE,N; YAGI,A. High-Performance Liquid Chromatographic determination of phenolic compounds in Aloe species. En: Journal of Chromatography A. 1996. Vol 746. Pág. 225- 231.
29. 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. Pág. 99-106.
30. ELSOHLY, M; KHAN, I ; AVULA,B. Determination of the Anthraquinones Aloe-Emodin and Aloin-A by Liquid Chromatography with Mass Spectrometry and Diode Array Detection. En: Journal of A.O.A.C International. 2007. Vol 90. No. 1. Pág. 28-42.
31. ELSOHLY, M; GUL, W; MURPHY, T. Analysis of the anthraquinones aloe-emodin and aloin by gass chromatography/mass spectrometry. En: International immonopharmacology. Vol 1. 2004. Pág. 1739-1744.
32. HU,Y; XU,J; HU,Q. Evaluation of Antioxidant Potential of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) extracts. En: Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003. Vol 51. Pág. 7788- 7791.
33. MILLER, G L. Use of dinitrosalicylic reagent for determination of reducing sugar. Química analítica. 1999. Volumen 31, No. 3. pp: 426-428.

34. COATS, B. Method of processing stabilized aloe vera gel obtained from the whole aloe vera leaf. U.S. Patente No. 5,356,811. 1994-10-18

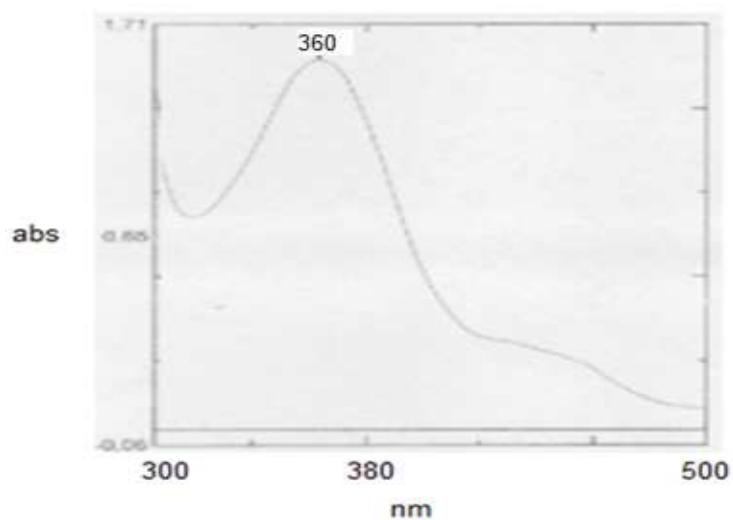
35. AVALOS, R., DANHOF, I. Method of processing aloe leaves. U.S. Patente No. 6,083,508. 2000-07-04

36. COBBLE, H. Stailized aloe vera gel and preparation of same. U.S. Patente No. 3,892,853. 1975-07-01

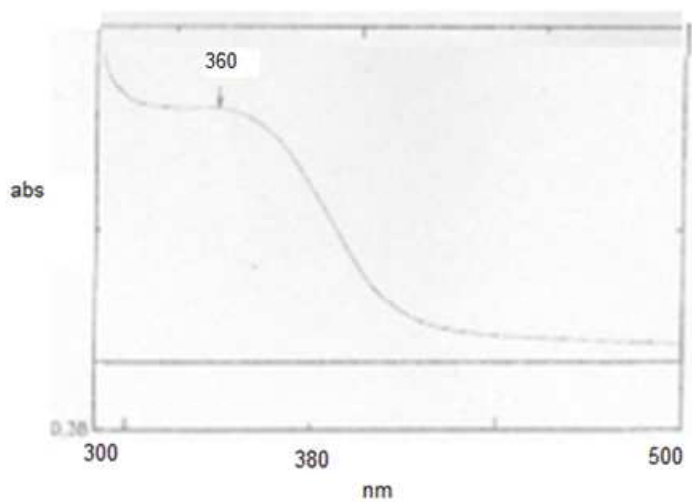
ANEXOS

ANEXO A

Determinación de la longitud de onda por método espectrofotométrico para la cuantificación de barbaloína.



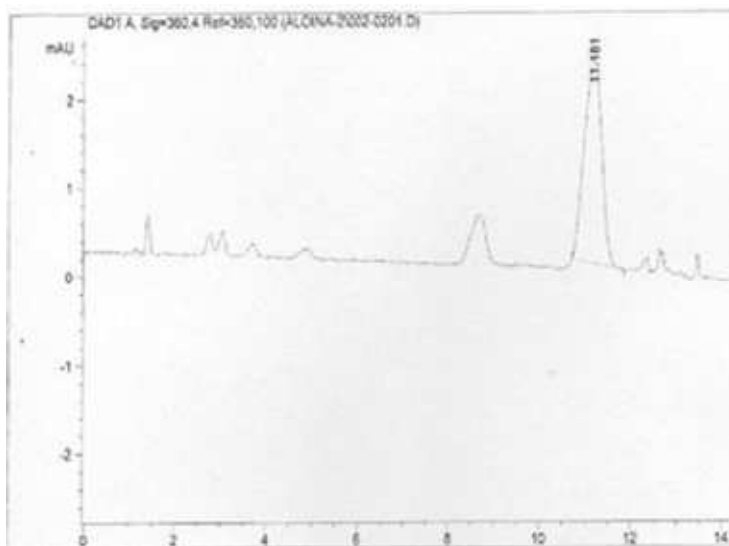
Espectro de absorción patrón comercial de Aloína-A (97%).



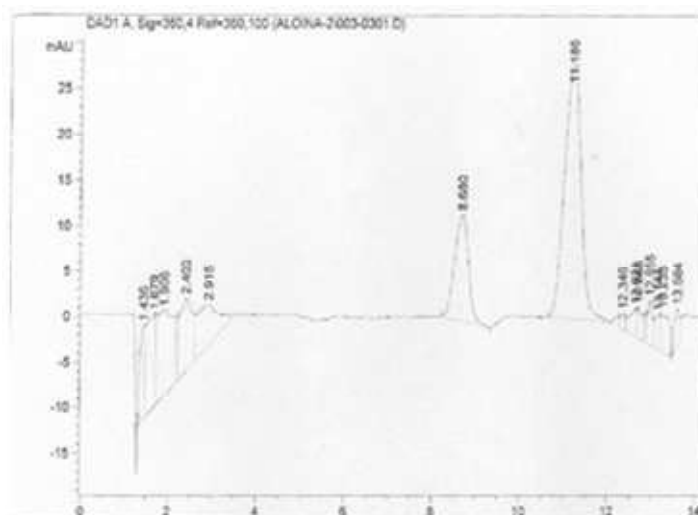
Espectro de absorción extracto alcohólico de *Aloe barbadensis* Miller.

ANEXO B

Comprobación de la longitud de onda por método HPLC/DAD, para la barbaloína.



Cromatograma patrón comercial de Aloína-A (97%) a 360 nm.



Cromatograma extracto alcohólico de *Aloe barbadensis* Miller a 360 nm.