



**UNIVERSIDAD EAFIT**

*Abierta a la investigación*

ISSN 1692-0694

**RESUMEN DE LOS TRABAJOS DE GRADO  
DESARROLLADOS EN INGENIERÍA DE  
PROCESOS DURANTE EL AÑO 2003**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS  
UNIVERSIDAD EAFIT**

Medellín, Junio de 2004

DOCUMENTO 20-062004



## TABLA DE CONTENIDO

Presentación .....	1
Resumen .....	2
Abstract .....	2
Elaboración de un adhesivo biodegradable para cartón .....	3
Estandarización de métodos para la determinación de la concentración de ácido urónicos y la separación de alginato bacteriano producido por <i>Azotobacter vinelandii</i> . .....	5
Diseño de un proceso a escala de laboratorio para la producción de un bronceador con propiedades anticelulíticas en spray, incorporando coadyuvantes de origen natural. ....	7
Diseño de una planta piloto para la obtención del colorante de la cáscara de plátano <i>hartón</i> .....	12
Guía metodológica para la aplicación del control estadístico de procesos en la pequeña y mediana empresa .....	24
Selección de un proceso de deshidratación de orellanas ( <i>Pleurotus pulmonarius</i> ) .....	32
Simulación del proceso de destilación criogénica de aire .....	35
Desarrollo del diseño conceptual de un vaso dewar para aplicación en el campo médico .....	37
Técnica para evitar la maduración del plátano <i>hartón</i> de urabá durante la etapa de transporte hacia el exterior .....	44
Diseño conceptual de un sistema de extracción supercrítica, a escala banco, utilizando dióxido de carbono como solvente .....	46
Definición e implementación de un sistema para el manejo de la información en las plantas de recibo de leche de la cooperativa colanta .....	55
Diseño conceptual de una planta piloto para la obtención de solasodina a partir de <i>Solanum mammosum</i> .....	57
Evaluación de la producción de pectinasa a partir de <i>Aspergillus niger</i> .....	60
Diseño de un proceso a escala de laboratorio para la producción de un depilador .....	62
Investigation of the influence of acidity and hydroxyl groups on the ring opening polymerization of poly(lactic acid) including test by reactive extrusion .....	68

Evaluación de un medio de cultivo obtenido a partir del fruto de <i>prosopis juliflora</i> .....	70
Reciclaje de poliestireno en recubrimientos .....	72
Análisis y evaluación del proceso de recuperación de solvente en química amtex s.a. ....	81
Desarrollo de la formulación para la producción de sellos farmacéuticos de caucho para una empresa productora de soluciones parenterales .....	84
Diseño básico de un proceso para la obtención de aceites esenciales de plantas aromáticas cultivadas en el Pacífico Colombiano .....	86
Diseño conceptual de un proceso para la obtención de un almidón modificado .....	89
Extracción de $\beta$ -caroteno a partir de aceite crudo de palma africana .....	92
Proceso de extracción de colorante natural a partir del repollo morado ( <i>Brassica oleracea var. rubra</i> ) .....	94
Evaluación de un encolante natural para fibras de algodón a partir del banano .....	97
Fotodegradación de cromo hexavalente y 4-clorofenol mediante catalizadores mezclados con $\text{tio}_2$ .....	100
Diseño de una metodología para la planeación y programación de la producción en tintas S.A. ...	103
Estudio de factibilidad económica de un proceso para la utilización de residuos ferrosos de una empresa metalmeccánica en la producción de sulfato ferroso .....	105
Implementación de un sistema de acidificación biológica para el cocimiento de mostos cervecedores .....	107
Evaluación de autoadhesivos obtenidos a partir de la polimerización del ácido acrílico en un medio enriquecido con almidón de yuca .....	110
Diseño de una planta piloto para la obtención del colorante del helecho común ( <i>Pteridium aquilinum</i> ). .....	112
Selección de un proceso para deshidratar uchuva ( <i>physallis perubiana</i> ) .....	115
Diseño de un proceso para el control de emisiones de material particulado en una plana productora de fertilizantes líquidos .....	118
Diseño conceptual de un reactor batch a escala industrial para la producción de fumarato ferroso .....	120
Extracción, purificación e identificación de una sapogenina a partir del <i>Solanum ovalifolium</i> .....	123



## **PRESENTACIÓN**

Como requisito para optar al título de Ingeniero de Procesos de la Universidad EAFIT, los alumnos del programa deben realizar un Proyecto de Grado cuyos resultados, que son evaluados por un Jurado integrado por profesionales versados en el área, se presentan en un informe final y una sustentación pública. Los autores entregan a la Biblioteca “Luis Echavarría Villegas” de la Universidad el documento final y un resumen en forma electrónica, que se encuentra disponible para el público.

En este documento se incluyen los resúmenes entregados por los autores al Coordinador de Trabajos de Grado quien se encargó de su recopilación. Cada resumen contiene los nombres de los autores, el título del proyecto y el nombre del asesor. Como elemento fundamental para su aprobación cada trabajo debe hacer un aporte innovativo, así sea pequeño. La calidad y pertinencia de cada uno de los trabajos que ha sido evaluada por Jurados, es una contribución importante al desarrollo de la tecnología en nuestro medio.

Algunos de los trabajos se han realizado con la colaboración de empresas de la ciudad y uno de ellos fue realizado en la Universidad de Bremen por una de las alumnas del programa.

Se agradece a todos los profesionales que sirvieron como asesores de los trabajos de grado y a las empresas que contribuyeron a su desarrollo.

**JORGE E. DEVIA P.**  
Coordinador de Trabajos de Grado  
Depto. de Ingeniería de Procesos



## **RESUMEN**

Este documento contiene los resúmenes de los trabajos de grado realizados por los alumnos de último año del programa de Ingeniería de Procesos durante el año 2003. Como requisito para optar al título de Ingeniero de Procesos los alumnos deben realizar este trabajo que tiene como condiciones mínimas contener alguna innovación y estar relacionado con alguna de las áreas del programa. Durante el desarrollo del proyecto los alumnos cuentan con la asesoría de un profesional con conocimientos suficientes en el tema de estudio. El informe final es evaluado, además del asesor, por dos profesionales expertos en el área y luego presentado en público.

Los documentos originales, en texto completo y en forma electrónica, se encuentran disponibles para el público en la Biblioteca "Luis Echavarría Villegas" de la Universidad EAFIT. Los conceptos emitidos y todos los trabajos son responsabilidad exclusiva de sus autores quienes mantienen la propiedad intelectual de su obra.



## **ABSTRACT**

This document contains the summaries of the final reports of the research projects done by the last year students of the program of Process Engineering, during 2003. As a requirement to get the title of Process Engineer each student must present this work, that has as minimum conditions to contain some innovation and to be related to some of the areas of the program. During the development of the project the students count with the advise of a professional with enough knowledge in the study subject. The final report is evaluated, in addition to the adviser, by two expert professionals and then presented in public.

The original documents, in full text and electronic form, are available to the public in the Library "Luis Echavarría Villegas" of University EAFIT. The emitted concepts and all the works are exclusive responsibility of their authors who maintain the intellectual property of their work.

# **ELABORACIÓN DE UN ADHESIVO BIODEGRADABLE PARA CARTÓN**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

CASTAÑO ZAPATA, JUAN CAMILO Y  
LÓPEZ DUQUE, JAIME ANDRÉS

## **ASESOR**

GUILLERMO LEÓN PALACIO, Ph. D.



## RESUMEN

A nivel general, la mayoría de los adhesivos existentes en el mercado, están elaborados con base en fenoles, formaldehídos y otros compuestos, que pueden resultar nocivos para la salud de los usuarios, y en ocasiones contaminar productos que se encuentren expuestos a ellos.

El uso de pegas, gomas, adhesivos y sellantes es bastante amplio, y muy común en nuestro medio, empresas del sector automotor, de la construcción, electrónicas, de textiles, de empaques, entre otras, emplean en gran cantidad estos elementos. Hasta hace algún tiempo, el uso de adhesivos no era controlado, en cuanto a los riesgos que podían generarse debido a los elementos constitutivos de estos productos, era así como se encontraban en gran cantidad pegantes tóxicos empleados al libre arbitrio. Un ejemplo concreto se da en las empresas madereras, las cuales utilizan en su proceso de sellado, adhesivos compuestos por fenoles o formaldehídos volátiles que en espacios cerrados pueden resultar bastante peligrosos para los usuarios; otro caso bastante interesante, es el uso de adhesivos tóxicos en embalajes de alimentos y productos de consumo humano.

Se han desarrollado programas a nivel mundial que tienden a controlar y reglamentar de forma precisa la utilización de estos materiales nocivos en las industrias de alimentos, muestra de esto se da en las exportaciones de banano a la comunidad europea, la cual ha venido exigiendo cada vez más, el uso de materiales biodegradables y naturales, en lo concerniente al embalaje y disposición general de la fruta.

Motivados por lo anterior surgió la idea de desarrollar un adhesivo natural, libre de compuestos tóxicos y que actúe sobre superficies de cartón.



## CONTACTOS

JUAN CAMILO CASTAÑO. [Jcastan8@eafit.edu.co](mailto:Jcastan8@eafit.edu.co)

JAIME ANDRÉS LÓPEZ. [jlopezdu@eafit.edu.co](mailto:jlopezdu@eafit.edu.co)

**ESTANDARIZACIÓN DE MÉTODOS PARA LA  
DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE  
ÁCIDO URÓNICOS Y LA SEPARACIÓN DE  
ALGINATO BACTERIANO PRODUCIDO POR  
*AZOTOBACTER VINELANDII***

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

**AUTORES**

VANEGAS VALENCIA, ALEJANDRAY  
VANEGAS VALENCIA, JULIANA

**ASESOR**

CARLOS F. PEÑA MALACARA, Ph. D.





## RESUMEN:

Los alginatos son polisacáridos lineales, que se obtienen a partir de algas marinas y de algunas especies bacterianas, como el caso de *Azotobacter vinelandii*; constituidos por bloques de ácido manurónico y gulurónico, la relación existente entre estos ácidos confiere al alginato ciertas características de viscosidad y gelificación.

Con el fin de estandarizar un método para la determinación de la concentración de los ácidos urónicos, se analizan dos métodos: espectrofotométrico y cromatográfico (HPLC).

El método espectrofotométrico es el elegido, ya que permite determinar con una alta sensibilidad (0.1-1.5 mg/ml) y precisión (reproducibilidad), la concentración de los ácidos urónicos presentes en la muestra y de esta manera encontrar la relación entre el ácido manurónico y gulurónico del alginato.

Por otro lado, existen diversos estudios con relación a los factores que participan en la síntesis por fermentación de estos polisacáridos; sin embargo, son escasos los reportes en la literatura respecto a estudios de recuperación. Para establecer una técnica de separación del alginato bacteriano que permita obtener un producto homogéneo y con altos rendimientos en el proceso de precipitación, se decide estudiar la influencia de la agitación y la concentración de isopropanol (solvente extractor) en el proceso.

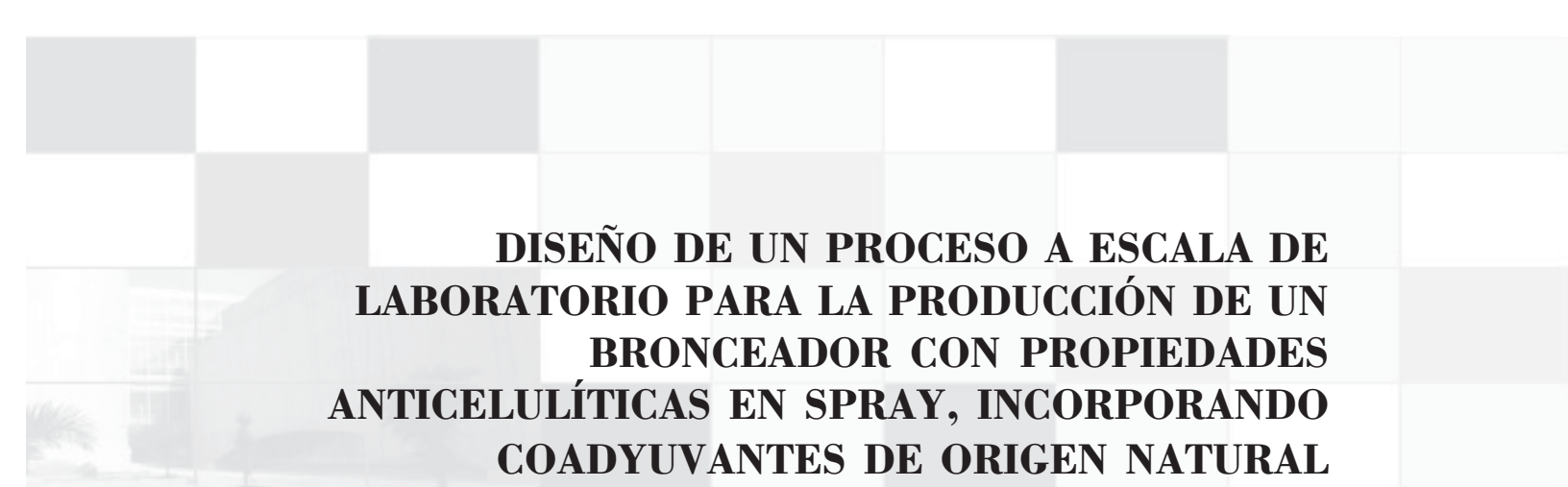
Los resultados reflejan que tanto la agitación como la concentración de isopropanol tienen un efecto significativo sobre la pureza del producto y el rendimiento del proceso; así, para determinar el mejor tipo de agitación y la mejor concentración de isopropanol dentro de las condiciones evaluadas, es necesario, establecer el parámetro deseado, es decir, si se desea un producto de alta pureza o si se pretende obtener un alto rendimiento en la precipitación. De esta manera, empleando un relación caldo/isopropanol 1:3 se alcanza un alto rendimiento en el proceso y si lo deseado es un producto de alta pureza, una relación 1:2 debe ser empleada. En cuanto a la agitación, esta favorece el proceso de precipitación y por tanto el rendimiento, pero es poco favorable si lo deseado es un producto de alta pureza.



## CONTACTOS

ALEJANDRA VANEGAS V. [Avanega1@eafit.edu.co](mailto:Avanega1@eafit.edu.co)

JULIANA VANEGAS V. [Jvanega2@eafit.edu.co](mailto:Jvanega2@eafit.edu.co)



**DISEÑO DE UN PROCESO A ESCALA DE  
LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE UN  
BRONCEADOR CON PROPIEDADES  
ANTICELULÍTICAS EN SPRAY, INCORPORANDO  
COADYUVANTES DE ORIGEN NATURAL**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

**AUTORES**

AGUIRRE VALDÉS, MARCELA Y OCAMPO CIFUENTES, ELIZABETH

**ASESOR**

LUZ HELENA RESTREPO, Q. F.



## RESUMEN

Las pieles claras, casi pálidas, fueron el ideal de belleza en épocas pasadas, cuando los rostros curtidos por el sol eran un estigma de las clases sociales bajas, que trabajaban al aire libre. Pero con la llegada del siglo XX y los locos años 20, el bronceado pasó a ser un signo de distinción de la clase burguesa, que disponía de tiempo de ocio para broncearse.

Desde entonces, el moreno ha sido interpretado como síntoma de buena salud y belleza. El bronceado favorece y da un aspecto saludable. Disimula las pequeñas imperfecciones del rostro, como venitas, granitos, pecas, espinillas y camufla las ojeras. En el cuerpo, disimula la celulitis, las varices y el vello incipiente. Con el fin de tratar de corregir éstos problemas se ha decidido diseñar el proceso para la producción de un producto que además de broncear, prevenga y proteja la piel de éstas reacciones adversas que no sólo desmejoran visiblemente el cuerpo, sino además la salud física y mental de las personas.

El primer paso de la investigación fue el estudio de la fabricación de bronceadores para luego realizar una serie de ensayos con diferentes materiales.

Posteriormente se realizó un estudio de mercado con el fin de evaluar la viabilidad de nuestro producto, éste aunque arrojo excelentes resultados no suplen una respuesta absoluta, al contrario abren un amplio espectro de posibilidades a la empresa cosmética colombiana y a quienes deseen incursionar en el mundo de la microempresa, contribuyendo con el desarrollo sostenible económico del país.

Para la elaboración del bronceador, objeto de este proyecto, se comienza por estudiar las materias primas de más alta calidad que se encuentran en la mayoría de los productos bronceadores del mercado, y que además son de posible consecución en el medio. Una vez definidas éstas, se lleva a cabo una serie de ensayos donde se evalúan factores como el vehículo y la esencia, debido a que éstos son los que presentan problemas, manteniéndose constante los parsosles, las vitaminas y los extractos.

La evaluación de tales ensayos se realizan inicialmente por medio de análisis fisicoquímicos, para luego ser evaluado por medio de encuestas, con el fin de determinar la inocuidad y viabilidad del producto en el mercado . Estas son calificadas con un método de puntajes explicado con detalle en este documento, de las que se define el vehículo y la esencia que mejor se incorpora a la formulación, y que además aporta buenas propiedades y características organolépticas al producto.

De las encuestas se encuentra que el producto cumple con las exigencias de salud y es inocuo, donde el 60% de los encuestadas respondió que el bronceador es excelente y el 23.34% que es muy bueno. Una

vez realizados los análisis de calidad, se procede a evaluar el producto, con resultados que indican la alta aceptabilidad. El 90% respondió que volvería a usar el producto, y el 93.34% respondió que lo compraría.

Con el vehículo y la esencia determinadas, se establece la formulación final, la cual es sometida a los mismos análisis de los ensayos preliminares.

“El bronceado actualmente es la expresión de un estilo de vida sano, refuerza la personalidad y sugiere salud, bienestar y fortaleza. Necesitamos el sol porque es vital para nuestro organismo, nuestros nervios, nuestra piel, sangre y la estabilidad de nuestros huesos. Pero cuando se expone la piel al sol se estimula el aumento de la producción de la conocida piel de naranja, llamada celulitis (inflamación del tejido celular cutáneo). La radiación solar (Rayos UV A y B) produce una alteración antigénica (carcinogénesis del ADN de la célula), daño que se traduce en la pérdida del colágeno y fibroplastos de la dermis, desencadenando un daño antífico que se manifiesta en el empeoramiento de la piel (Celulitis).

Los usuarios rutinarios de productos bronceadores, muestran con el paso del tiempo en su piel efectos adversos como son la resequedad, las arrugas prematuras, una pigmentación no uniforme, estrías y celulitis”.

Con el fin de tratar de corregir éstos problemas se ha decidido diseñar el proceso para la producción de un producto que además de broncear, prevenga y proteja la piel de éstas reacciones adversas que no sólo desmejoran visiblemente el cuerpo, sino además la salud física y mental de las personas.

Para prevenir las arrugas prematuras se utilizan vitamina A, Vitamina E y Betacaroteno. Con el fin de prevenir la celulitis se emplean cafeína, teofilina y extracto de hiedra. y para bloquear los rayos solares, se hace uso de parsoles.

El objetivo de esta investigación es obtener una mezcla homogénea que se mantenga con el paso del tiempo y que brinde las características ya mencionadas con la unión de cada uno de estos elementos, evaluando las reacciones que puedan darse con dicha mezcla, para finalmente obtener un producto que proporcione un color agradable a la piel e intrínsecamente prevenga la indeseable celulitis en las zonas de la piel.

La sociedad de consumo trae la moda, donde se utilizan ropas ligeras que dejan entrever esos “bultitos de grasa” que se habían tenido ocultos sin darle importancia. Sin embargo, los métodos tradicionales no son suficientes ni los más efectivos para prevenir el problema de la celulitis.

El Bronceador con propiedades anticelulíticas permite prevenir la celulitis mientras se toma el sol, mejorando la absorción de sus principios activos gracias a la acción del calor, mediante una aplicación con masajes firmes en la zona que se desee tratar. Y lo más importante es que el producto cuida la piel de

los rayos ultravioleta con un FPS (factor de protección solar) adecuado para un bronceador.

En todo el mundo y especialmente en los países tropicales, donde los rayos del sol caen con mayor intensidad, y donde el deterioro de la capa de ozono es cada vez mayor, la demanda y la inclinación del mercado por productos cosméticos que en alguna forma disminuyen el efecto adverso que la radiación ultravioleta causa en la piel, ha aumentado considerablemente en los últimos años.

El tener un buen bronceado es llamativo para muchas personas. Sin embargo, no se tiene aún la suficiente conciencia de la gravedad de sus consecuencias. De ahí el interés de ofrecer un producto que mitigue el daño que pueda causarse por las radiaciones del sol, a través de componentes antioxidantes, propiedades anticelulíticas y de un factor de protección solar adecuado.

Para el desarrollo de un producto cosmético como éste, existen innumerables variables que se deben tener en cuenta, sin embargo, la prevención de la celulitis es el factor más relevante en nuestro producto, y más aún por el hecho de que no existe el conocimiento y la conciencia de los efectos adversos que el broncearse trae consigo.

Interrogantes que se quieren llegar a responder al final de la investigación son:

1. ¿Cuál es el proceso de elaboración del producto?
2. ¿Cuál es la mejor formulación del cosmético?
3. ¿Actúa mejor como bronceador, anticelulítico, o ambos?
4. ¿Es agradable el color que deja en la piel?
5. ¿Tiene el producto una buena protección solar, o es recomendable para cierto tipo de pieles?
6. ¿Tiene un aroma agradable el producto?
7. ¿Produce alguna molestia o insatisfacción en general?
8. ¿Es un producto totalmente adecuado para el propósito?
9. ¿Muestra el producto una estabilidad y calidad apropiadas en el análisis sensorial realizado?
10. ¿Es viable el producto en el mercado?

Por otro lado, la industria Colombiana ha sido afectada por las importaciones de productos cosméticos, lo que le ha originado problemas de comercialización a los productores colombianos, porque se ven obligados a competir con multinacionales que brindan al consumidor mejores precios y productos cada vez más novedosos. Por todas estas razones, es necesario incursionar en la industria cosmética con productos que no sólo sean de buena calidad, sino que tengan una ventaja competitiva frente a los demás productos, tal como la base innovadora de el bronceador con propiedades anticelulíticas.

Todo esto lleva a buscar nuevas oportunidades de empleo, siendo la creación de empresas la propuesta más promisoría. "En un informe tan serio como el de Chenery, se reconoce el potencial de generación de

empleo de este sector y se sugiere el estímulo de estas actividades como uno de los caminos para luchar contra el desempleo. Los estudios hechos últimamente en Colombia muestran que la gran mayoría de los nuevos empleos creados en la década de los ochenta, se han dado en el sector de microempresarios, donde trabaja más del 50% del total de la fuerza laboral. Este gran volumen de empleo se ofrece con una muy baja inversión de capital.”



## **CONTACTOS**

MARCELA AGUIRRE. [Maguirr1@eafit.edu.co](mailto:Maguirr1@eafit.edu.co)  
ELIZABETH OCAMPO. [eocampoc@eafit.edu.co](mailto:eocampoc@eafit.edu.co)

# **DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DEL COLORANTE DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO *HARTÓN***

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

LONDOÑO SIERRA, BEATRIZ ELENA Y ALVIAR HENAO, SANTIAGO.

## **ASESOR**

JORGE E. DEVIAP., Ph. D.



## RESUMEN

Para diseñar un proceso de extracción del colorante de la cáscara del plátano *hartón*, se realiza un diseño de experimentos para determinar las variables críticas, y fijar las condiciones de operación que influyen en el proceso. Para el cumplimiento de este objetivo se emplean algunas técnicas y procedimientos de extracción de otros colorantes, dando como resultado que las variables más influyentes en la obtención del colorante son: concentración del solvente (NaOH 0.15 N), relación sólido / solvente (0.0375 P/V), temperatura de extracción (65° C) y tiempo de extracción (90 minutos). Estas condiciones de operación presentan un mayor rendimiento en la obtención del colorante (solución coloreada 3% en peso de sólido) que puede emplearse de forma directa como colorante o ser secada y molida para obtener el producto en polvo.

La industria de colorantes ha venido presentando grandes cambios en la generación de sus productos, ante la necesidad de remplazar parte de los colorantes sintéticos por naturales. Este sector de la industria ha emprendido nuevos proyectos para el desarrollo de procesos con el fin de obtener y producir colorantes naturales que contribuyan principalmente a la protección de la salud de los consumidores.

En la naturaleza se pueden encontrar múltiples fuentes de colorantes, capaces de generar una amplia variedad de matices y de cumplir, algunos de ellos, con los requisitos que la industria textil y alimenticia demandan. Un gran porcentaje de estas fuentes proviene de la agricultura (semillas, materiales de desecho como cáscaras, hojas, etcétera). A estos materiales se les agrega valor mediante su transformación industrial.

En las regiones bananeras el producto que no cumple con las exigencias de comercialización se convierte en material de desecho. Entre estos productos se encuentra el plátano *hartón*. Además, la cáscara de esta variedad de plátano, al igual que la de muchas otras especies, forma parte de los residuos domésticos debido a que el uso de este fruto se limita al consumo de su pulpa. Actualmente una de las más importantes aplicaciones productivas para estos desechos consiste en su transformación para generar abono. Pero, una posible alternativa para un mejor aprovechamiento de estos residuos comprende la extracción del colorante presente, en este caso, en la cáscara del plátano *hartón*, antes de su degradación ó transformación.

Los colorantes son sustancias de origen natural ó artificial que se usan para aumentar el color de los alimentos, dar color a los textiles y otros elementos como medicamentos, cosméticos e instrumental quirúrgico. En el caso de los alimentos se emplean principalmente porque el alimento ha perdido color en su tratamiento industrial ó bien para hacerlo más agradable a la vista y más apetecible al consumidor. Los colorantes se dividen en dos grandes grupos: colorantes artificiales y colorantes naturales.



Colorantes artificiales: En la actualidad se emplean colorantes artificiales en la industria alimenticia y textil, pero su uso es cada vez más restringido porque se han encontrado indicios de que pueden producir cáncer.

Colorantes naturales: Los colorantes naturales se pueden agrupar en diferentes formas: por tipo de tñido, composición química, características físicas, etc

Inicialmente se evaluó el desempeño de cuatro métodos de extracción para el colorante presente en la cáscara. Estos ensayos sirvieron para visualizar el tipo de solvente y las variables del proceso con que se trabaja de forma definitiva.

Estos equipos para extracción son los siguientes:

**Equipo para extracción No. 1:** Constituido por un balón de fondo plano, un condensador y una fuente de calor. El tiempo de extracción es de dos horas y el producto obtenido es finalmente filtrado. Se trabaja con cáscara fresca y cáscara seca.

**Equipo para extracción No. 2:** Se emplea un filtro de arena de cuarzo con el fin de seguir el método de percolación, trabajando a temperatura ambiente. Se deja en contacto el sólido con el solvente por un período de 30 minutos, se filtra y se adiciona otra cantidad igual de solvente por el mismo tiempo y por último se filtra. Se trabaja con cáscara fresca.

**Equipo para extracción No. 3:** Con la ayuda de una bolsa de tela (filtro convencional para café) en la cual esta contenida la cáscara. Se realizan extracciones empleando un Beaker que contiene el solvente y una fuente de calor. Este ensayo se realiza con la cáscara fresca y la cáscara seca.

**Equipo para extracción No 4:** Se emplea un equipo Soxhlet con la cáscara seca y molida.

Para los equipos para extracción 1 y 3 se trabaja con 200 gr de materia prima previamente picada para incrementar la superficie de contacto durante el proceso de extracción con 300 ml de solvente. En el segundo equipo se emplean 500 gr de sólido fresco y un total de 400 ml de solvente.

La cáscara que se trabaja en estado seco se somete a una temperatura de 60° C por un período de 24 horas, en la estufa HERAEUS UT – 6, con el fin de deshidratarla completamente. Posterior a la deshidratación, la cáscara se muele para obtener un tamaño de partícula entre las mallas 4 y 30 del Tamiz. Después de realizada la filtración de la solución, el filtrado se lleva a una centrifuga por un período de 10 minutos a 3000 RPM y 20° C (Centrifuga HETTICH UNIVERSAL 32R) con el fin de eliminar la mayor cantidad de sólidos suspendidos en la solución.

Debido a las dificultades presentadas con el filtro que originalmente trae la columna de extracción, el equipo para extracción No. 2 se descarta. El equipo Soxhlet (equipo para extracción No. 4) presenta dificultades con la filtración del colorante y además se incrementa significativamente el tiempo de extracción comparado con los otros montajes. La filtración y el consumo adicional de agua son algunas de las limitantes del equipo No. 1

Se elige el equipo para extracción No. 3, empleando cáscara seca y molida, porque su operación implica una mayor facilidad en el manejo de este sólido y además se elimina la etapa de filtración previa a la centrifugación. Al emplear el equipo para extracción No. 3 no se requiere un consumo adicional de agua, porque no es necesario el uso de un condensador. Otra ventaja que presenta el método de extracción seleccionado reside en la facilidad de su operación en cuanto al control de temperatura.

Según la literatura, la temperatura de extracción no debe superar los 100° C porque puede ocurrir la disolución del sólido en el solvente y la degradación de algunos compuestos presentes en la cáscara.

Al realizar los experimentos preliminares se puede apreciar que las variables que influyen en la extracción del colorante son las siguientes: Tipo de solvente. Posterior a los ensayos para la selección del método de extracción, se realizan pruebas con diferentes solventes con el fin de determinar el solvente más adecuado. No se emplean solventes orgánicos como el Cloroformo, Benceno ó Hexano, porque uno de los posibles usos del colorante es en la industria alimenticia.

Las soluciones resultantes presentan una coloración más fuerte cuando el proceso de extracción se realiza con soluciones básicas, lo que implica una concentración más alta de colorante. La extracción realizada con agua presenta color pero la turbidez de la solución resultante es mucho menor que la de las extracciones realizadas en medio básico, por esta razón se considera baja la concentración del colorante en esta solución.

Después de estos ensayos se realizan pruebas de tinción para comparar la eficacia de los colorantes extraídos con agua y con NaOH en solución.

Solución básica (NaOH):	Alta concentración del colorante
Solución básica (KOH):	Alta concentración del colorante
Solución ácida (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ):	Extracción nula del colorante
Etol – Agua:	Extracción nula del colorante
Etol – Agua – NaOH:	Media concentración del colorante
Agua:	Baja concentración del colorante

El hecho de obtener el colorante empleando agua como solvente indica que sus propiedades facilitarían la aplicación en la industria alimenticia si éste se compara con un colorante extraído con una solución

básica. Las soluciones básicas son las que mejor desempeño presentan, tanto en la extracción como en la tinción, y por razones económicas, se selecciona la solución de NaOH como el solvente extractor.

Concentración del solvente. Después de seleccionar el solvente para la extracción, se realizan varios ensayos con diferentes concentraciones para analizar la capacidad de extracción. Se observa que a muy altas concentraciones del solvente (solución de NaOH 2 N), se presenta disolución de la cáscara y que a concentraciones de éste inferiores a 0,25 N se detectaron buenos resultados.

Tamaño de partícula. Se considera aceptable el tamaño de partícula empleado en los ensayos, el cual presenta la cáscara deshidratada después de la molienda y su posterior tamizado (malla 4 hasta malla 30), porque además de incrementar la superficie de contacto no obstruye el filtro de tela.

Relación sólido / solvente. Se debe tener en cuenta la cantidad de cáscara a utilizar por volumen de solvente extractor para evaluar la extracción con diferentes volúmenes de solvente. Los ensayos preliminares sugieren manejar tres relaciones, en gramos de cáscara por mililitros de solvente, para un adecuado diseño de experimentos.

Temperatura de extracción. Para evitar la degradación del colorante, la temperatura de extracción debe estar entre 50 y 100 ° C.

Un poco de temperatura aumenta la velocidad de extracción, pero si ésta sobrepasa los 100° C ocurre la disolución de la celulosa presente en la cáscara y además la evaporación del agua, lo cual conduce a la concentración de la solución básica.

Tiempo de extracción. En los ensayos se nota que la extracción comienza desde el instante en que el solvente hace contacto con el sólido. También se observa que un tiempo de 2 horas es muy alto para este proceso, porque no se presentaron cambios representativos durante los últimos 30 minutos.

Para definir las condiciones de operación más adecuadas, se hace un Diseño de Experimentos que incluye las variables que afectan el proceso de forma significativa. Se hace un completo análisis de las variables críticas, como también de las interacciones que ocurren entre ellas y los rangos para los que verdaderamente son representativas.

Para cada una de estas variables se seleccionan tres niveles para poder apreciar el fenómeno en un mayor rango de posibilidades. Para este diseño, las variables más importantes y sus respectivos niveles son:

- Temperatura: 50, 65 y 80° C.

- Tiempo: 30, 60, 90 minutos
- Concentración del solvente: 0.05, 0.15 y 0.25 N (eq-gr / L sln)
- Relación sólido solvente: 0.025, 0.0375 y 0.05 P/V

La variable de respuesta a medir que sirve para definir las condiciones de operación es el porcentaje de peso sólido de cada solución de colorante extraído en los ensayos del diseño de experimentos.

Estas variables y las restricciones, principalmente el tiempo, sugieren el Diseño de Superficie de Respuesta. Se selecciona específicamente el Draper Lin Small Composite Design de Cara Centrada, como el modelo a seguir. Este diseño presenta un nivel de confiabilidad similar al del modelo factorial (incluyendo todas las interacciones entre variables) pero con un número de ensayos inferior, lo cual facilita hacer replicas de los ensayos para eliminar el ruido y representa una ventaja en cuanto a costos de realización. El diseño de experimentos y su respectivo análisis de resultados se realizan con la ayuda del software Statgraphics-Plus V 5.0. De este diseño resultan 18 experimentos.

Después de cada extracción las muestras se someten a una centrifugación a 3000 RPM por 10 minutos, posteriormente se toman 4 ml de cada una y se lleva a una completa deshidratación en el secador (SARTORIUS BP 301S) a 100° C por 2 horas con el fin de obtener resultados de forma rápida. Para las variables seleccionadas y sus respectivos niveles se obtienen resultados de los cuales se puede inferir que:

- Para los ensayos en los que se emplearon concentraciones altas de solvente (0.25 N) se presenta un valor superior de porcentaje de sólido, posiblemente debido a una mayor degradación de la celulosa de la cáscara en NaOH. En la solución resultante se observa una presencia de sólidos suspendidos de carácter fibroso. Por esta razón se descartan las pruebas realizadas con esta concentración de solvente.
- Las mayores temperaturas, aunque no arrojaron resultados elevados de porcentaje de sólido extraído, influyen también de forma significativa en la descomposición de la cáscara y por esta razón es preferible no tenerlas en cuenta.
- Al realizar los ensayos, se puede observar que a temperaturas de operación bajas (50 ° C) la extracción del colorante es más lenta, lo cual hace pensar que se requieren tiempos de operación mayores.
- Para relaciones de sólido / solvente de 0.025 (10 gr cáscara / 400 ml de solución) se obtiene porcentajes de peso seco considerablemente inferiores. Debido a la poca eficiencia, se descarta esta condición.
- En general, el tiempo de extracción de 30 minutos no arroja buenos resultados de porcentaje de sólidos, aunque el ensayo # 11 demuestra lo contrario. En este ensayo se trabaja con la máxima concentración (0.25 N), máxima temperatura (80° C) y máxima relación sólido / solvente (0.05 p/v).

Para realizar el análisis de los resultados del diseño de experimentos se tomaron los valores promedio del porcentaje de peso sólido de cada ensayo, y empleando el software Statgraphics-Plus V 5.0. se encuentran las diferentes relaciones entre las variables críticas del proceso. Se observa que las cuatro variables seleccionadas son significativas para el proceso, además la interacción entre la Temperatura y la Relación sólido/solvente también presenta una relación con los resultados. Con un nivel de confiabilidad del 95%, es posible asegurar su relevancia para el estudio.

Al ingresar las variables de respuesta, el programa establece una concentración de solvente de 0.15 N y una relación sólido / solvente de 0.0375 con el objeto de encontrar un valor óptimo para la variable de respuesta. Una vez fijados estos valores y elaborada la superficie de respuesta se observa como las variables tiempo y temperatura afectan el proceso. Se puede apreciar claramente que el tiempo influye más que la temperatura cuando se quiere obtener un mayor porcentaje de sólidos.

Humedad de la cáscara. Después de realizar múltiples ensayos la cáscara presenta una humedad promedio de 84.81%.

Pruebas físico-químicas del colorante:

***Cromatografía de capa delgada.*** Se seleccionan varios eluentes tales como: Etanol, metanol, ácido acético, NaOH, tetracloruro de carbono, agua y etanol-agua. Ninguno de los ensayos presenta separación alguna de los componentes presentes en la solución. Se puede afirmar que el colorante en solventes no polares es completamente insoluble y a medida que se aumenta la polaridad, el colorante se hace más soluble. Esto se comprueba con el desempeño del colorante en las soluciones acuosas.

***Espectro UV – VIS.*** En el ensayo del espectro visible se encuentra que el colorante presenta un máximo de absorbancia en una longitud de onda de 288 nm para valores de pH de 2, 7 y 12. El hecho de que la longitud de onda no varía para el valor de máxima absorbancia al modificar el pH del colorante en solución, es un indicador de que la sustancia cromófora no es del grupo de las antocianinas (UBC, 2003). Esto confirma la presencia de carotenoides en la cáscara del plátano. Además, las antocianinas presentan una banda de absorción en el UV entre 260 y 280nm y otra banda en la región del visible entre 490 y 550nm. El cambio de color durante la maduración de la frutas desde el verde hacia el amarillo o rojo se debe frecuentemente a la desaparición de la clorofila, la cual enmascara el carotenoide presente. Este es el caso del plátano.

***Espectro Infrarrojo.*** Para realizar este análisis se prepara una pastilla de KBr con el colorante disuelto en éste. Después de varios ensayos se opta por una dilución en agua de los dos compuestos y una posterior deshidratación para asegurar la solubilidad completa del colorante en el KBr, porque los ensayos convencionales para la fabricación de la pastilla presentaron dificultades con la translucidez de ésta.

Se sabe que algunos carotenoides poseen anillos aromáticos dentro de sus estructuras moleculares, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el espectro infrarrojo. El enlace C=C característico de los compuestos aromáticos se encuentra cercano a 1600  $\text{cm}^{-1}$ . La banda de absorción cercana a 3300  $\text{cm}^{-1}$  es característica de los grupos funcionales O-H de alcohol, Este grupo funcional también es constituyente de algunos carotenoides, principalmente del tipo xantófilas.

Según lo observado en el laboratorio y en el análisis de los resultados tanto del proceso como del diseño de experimentos se definen las condiciones para la extracción del colorante de la cáscara de plátano *hartón*, así:

Concentración del solvente:	0.15 N
Relación sólido/solvente:	0.0375
Temperatura:	65° C
Tiempo:	90 min.

Concentración del solvente: la concentración del solvente es la variable que más influye en el proceso de extracción porque afecta la estabilidad de la cáscara, razón por la cual se descarta la concentración de 0.25 N como parámetro de operación. Los resultados obtenidos con la solución 0.15 N son satisfactorios, lo cual coincide con el análisis realizado con el software Statgraphics-Plus.

Relación sólido / solvente: siendo ésta la segunda variable de mayor influencia en el porcentaje de sólido obtenido y teniendo en cuenta el análisis realizado con el software para la superficie de respuesta, se elige la relación 0.0375 P/V como uno de los parámetros de operación.

Temperatura de extracción: anteriormente se mencionó que elevadas temperaturas facilitan la descomposición de la celulosa de la cáscara en el solvente. Por esto se descarta la temperatura de 80° C. La operación a 65° C ofrece un mejor desempeño.

Tiempo de extracción: por medio de los ensayos preliminares se puede apreciar que tiempos superiores a 90 minutos no presentan mayor ventaja en la obtención del colorante. Esto se comprueba con los valores de porcentaje de sólido obtenido para los ensayos en los que la concentración de solvente fue 0.15 N, la relación sólido/solvente 0.0375 P/V y la temperatura 65° C

Con el fin de evaluar la capacidad tintórea del colorante Se seleccionan dos fibras, una natural y otra sintética. Dichas telas son algodón 100% y poliéster 100%. Las telas se tratan con mordientes químicos como piedra alumbre, sulfato de cobre y sulfato de hierro, a dos concentraciones diferentes. También se tratan con mordientes naturales (Taninos) extraídos de la corteza de algarrobo y corteza de eucalipto. La solución de taninos se obtiene después de dejar en remojo la corteza del árbol en agua caliente, por un período de 12 horas. Posterior a esto la solución se filtra y se emplea directamente como mordiente.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Algodón:** Al trabajar la fibra de algodón con los mordientes seleccionados se encuentra que responden de forma satisfactoria excepto frente a la piedra alumbre. Con el sulfato de cobre se presenta una coloración clara a concentración de 2% P/V y una coloración más intensa a concentraciones de 5% P/V, ambas en tonos de color café. La tinción del algodón con el mordiente de sulfato de hierro presenta muy buena coloración para las dos concentraciones. Se observan tonalidades amarillo- naranja con mayor intensidad para la concentración de 5% P/V. Para el caso de los mordientes naturales, se trabaja a una sola concentración porque se desconoce la cantidad de taninos en la solución original. El algarrobo ayuda a la fijación de un color rosado claro sobre el algodón, mientras que el eucalipto contribuye a la fijación de un color beige.

**Poliéster:** Los ensayos de tinción para esta fibra sintética no ofrecen buenos resultados. Los mordientes químicos no presentan fijación alguna de color para ambas concentraciones. Los mordientes naturales ayudaron a una mejor fijación del color pero también presentan un desempeño inferior al compararlas con los ensayos realizados en la fibra natural.

También se ensaya la capacidad del colorante en alimentos como los lácteos y sus derivados. Al colorear la leche se observa un color beige con una completa estabilidad y un buen grado de suspensión del colorante. Con la ayuda de sumo de limón se acelera el corte de la leche, previamente coloreada, observándose la generación de una suspensión (cuajo) que conserva el color, la cual posteriormente se precipita. Dentro de los posibles usos del colorante recomendados en alimentos están margarinas, mantequillas, bebidas refrescantes, yogures, cereales, confituras, mermeladas, quesos y golosinas. Puede ser empleado en harinas aportando coloración a mezclas para panificación y repostería.

**Otros usos:** La literatura sugiere múltiples usos para los colorantes de origen natural. Pueden ser mezclados con tiza en polvo y luego moldeados y secados para obtener tizas convencionales o colores Pastel. También se pueden mezclar con ceras líquidas para obtener crayones. Mezclados con cremas apropiadas para la fabricación de cosméticos ó en la industria farmacéutica. También puede utilizarse para teñir madera y cuero.

**Parámetros de Diseño:** Teniendo en cuenta la selección de los parámetros de las variables críticas para el proceso de extracción y la cantidad de colorante a producir en la planta piloto se realiza el diseño del proceso incluyendo las especificaciones principales de los equipos que intervienen en éste. En el diseño de la planta piloto para la obtención del colorante de la cáscara del plátano *hartón* se fija como criterio de diseño la producción de 70.99 L de solución coloreada, que contiene un 3 % en peso seco de colorante, para cada lote de producción. Se realiza un total de 4 lotes de producción al día, requiriendo 5 Kg de cáscara seca cada uno y que equivalen a producir 283.9 L de solución coloreada.

**Molino giratorio de discos:** En la producción del colorante es necesario incrementar el área de contacto de la cáscara seca con la solución de NaOH. Para tal fin se emplea un molino eléctrico giratorio de discos. También se requiere un tamiz clasificador que garantice un tamaño de partícula entre las mallas 4 y 30.

**Molino:** Alimento Cáscara de Plátano; Capacidad 5 Kg/min; Tipo Giratorio de discos; material Fundición gris; Potencia del motor ½ hp

**Tanque de almacenamiento de NaOH 0.15 N:** Para los 5 Kg de cáscara seca y molida en cada lote se requieren 133.3 L de solución acuosa de NaOH 0.15 N, lo que equivale a 2666 L por semana. Para cumplir estos requisitos semanales y para manejar un margen de seguridad razonable se diseña un tanque de almacenamiento con una capacidad de 3000 L.

**Tanque extractor (V-101):** En este equipo se realiza la extracción sólido líquido. La cáscara se deposita en una canasta removible de forma tal que facilite la manipulación del sólido sin interferir en el contacto de la cáscara con el solvente extractor.

**Tanque de almacenamiento:** Sustancia NaOH 0.15 N; Capacidad 3000 L; Longitud / diámetro 3; Diámetro 1084 mm; Altura 3252 mm; Material Polipropileno; Espesor 0.5 in; Fondo Plano; Posición Vertical

**Tanque extractor:** Sustancia Solución coloreada; Volumen total 381.2 L; Volumen de operación 190.6 L; Altura del líquido /Diámetro 1; Diámetro interno 432 mm; Altura 1300 mm; Material Acero inoxidable 304; Espesor 0.25 in; Fondo Plano; Posición Vertical

**Canasta:** Diámetro 346 mm; Altura 1280 mm; Material Acero inoxidable 304; Espesor 1/32 in; Diámetro del orificio 0.5 mm

**Quemador:** Masa del líquido 133.3 Kg; Cp promedio agua 4.186 Kj/gr-mol\*° C; Cambio de temperatura 40° C; Cantidad calorífica requerida 1'705403.14 Kj; Combustible Gas natural; Capacidad calórica del gas 37158Kj/m<sup>3</sup>; Consumo por lote 45.89 m<sup>3</sup>; Consumo por minuto 0.51 m<sup>3</sup>

**Otros equipos:** Para completar el diseño se requiere de los siguientes equipos:

- Una estufa cuya capacidad sea suficiente para deshidratar a 60° C la cáscara requerida para la producción diaria (120 Kg por día de cáscara fresca).
- Una centrifuga capaz de retirar la mayor cantidad de sólidos suspendidos después de la extracción sin afectar el tiempo de operación del siguiente lote.



- Dos bombas centrifugas para impulsar la solución. El diagrama PFD contribuye a una mejor comprensión del diseño de la planta piloto.

**Análisis Económico Preliminar:** Del análisis económico preliminar se puede observar que tanto las materias primas como los servicios son de fácil adquisición y a un costo considerablemente bajo. El gas natural representa una alternativa energética económica pero debido a su elevado consumo representa más del 70 % de los costos variables.

Los costos fijos están representados por el uso de los servicios públicos para una pequeña industria, el arrendamiento de un inmueble y el pago de salarios de tiempo completo de un operador y un ingeniero. Sólo a partir del tercer año de operación se comienza a recibir dividendos, esto se debe principalmente a la alta tasa de interés para la financiación del proyecto. Este período muerto para las utilidades también se debe al lapso de tiempo que toma la introducción del producto en el mercado, lo cual se refleja en el nivel de operación de la planta durante los primeros dos años.

Se puede concluir lo siguiente:

- El método propuesto para la extracción del colorante de la cáscara del plátano *hartón* consiste en una separación sólido-líquido, donde la cáscara, con una humedad promedio de 84.81 %, es deshidratada y molida para luego con temperatura y empleando un solvente acuoso y básico, se obtiene una solución coloreada con un contenido de sólido del 3% en peso después de su centrifugación.
- Partiendo del diseño experimental se seleccionan las siguientes variables y sus respectivos parámetros: la concentración del solvente NaOH de 0.15 N, relación sólido / solvente 0.0375 P/V, temperatura de extracción 65° C y un tiempo de extracción de 90 minutos.
- De acuerdo a los análisis realizados al colorante se concluye que sólo contiene una sustancia que genera color, la cual pertenece al grupo de los carotenoides y presenta un máximo de absorbancia en 288 nm.
- Los ensayos efectuados para determinar posibles usos para este colorante sugieren que puede ser empleado en: telas y lácteos. Las pruebas realizadas en telas presentan buena coloración en fibras naturales como el algodón tanto con mordientes químicos como naturales. En las fibras sintéticas, los mejores resultados se obtienen con los mordientes naturales. En productos lácteos el colorante demuestra buena estabilidad y coloración.
- El análisis económico para la elaboración de la planta piloto para la extracción del colorante de la cáscara del plátano *hartón* indica que tiene una tasa interna de retorno del proyecto (TIR) del 20%, un valor presente neto para el flujo de caja con una tasa mínima de retorno (TMR) del 8% igual a

\$12'014.956. El proyecto presenta utilidades netas al tercer año de operación si el precio de venta inicial del producto es de 7.300 \$/litro.



## CONTACTOS

BEATRIZ ELENA LONDOÑO [bels@epm.net.co](mailto:bels@epm.net.co)

SANTIAGO ALVIAR HENAO [Salviar1@eafit.edu.co](mailto:Salviar1@eafit.edu.co)

# **GUÍA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS EN LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

GÓMEZ BERRÍO, ANA MARÍA Y SUÁREZ GRANADOS, TATIANA

## **ASESOR**

RAFAEL DAVID RINCÓN BERMÚDEZ



## RESUMEN

La bibliografía común sobre Control Estadístico de Procesos (CEP) presenta ciertas falencias con respecto a los temas de gestión requeridos para la implementación de CEP en las organizaciones; en este artículo que se apoya en el proyecto de grado del Departamento de Ingeniería de Procesos de la Universidad EAFIT titulado: Guía Metodológica para la Aplicación del Control Estadístico de Procesos en la Pequeña y mediana Empresa, pretende hacer un aporte al problema encontrado.

Se explica brevemente y se muestran algunos resultados de las actividades más importantes realizadas en el proyecto de grado, tales como el diagnóstico de la aplicación del CEP en las empresas de fabricación e industria ubicadas en el área metropolitana de Medellín, y la validación de la Guía Metodológica (GM) desarrollada. Además se hace una corta descripción de cada una de las etapas que conforman la GM.

Aunque el Control Estadístico de Procesos (CEP) es una metodología desarrollada desde comienzos del siglo XX y por tanto la bibliografía existente sobre el tema es amplia, ésta se enfoca más en los aspectos técnicos y en la herramienta principal de dicha metodología (las gráficas de control), descuidando, y en ocasiones omitiendo, otros aspectos importantes relacionados con las actividades, especialmente de gestión, que deben ser llevadas a cabo antes, durante y después de la aplicación de las gráficas de control, lo cual en algunos casos ha dificultado a las empresas implementar con éxito el CEP, y en otros simplemente, las ha hecho desistir de este propósito.

El proyecto de grado de Ingeniería de procesos de la Universidad EAFIT, denominado Guía Metodológica Para La Aplicación Del Control Estadístico De Procesos En La Pequeña Y Mediana Empresa, es un medio bibliográfico que pretende dar solución a las falencias mencionadas y convertirse en un medio útil, práctico y completamente asequible para la implementación exitosa de CEP en las empresas, primordialmente las PYMEs.

### *Aplicación de CEP en el área metropolitana de Medellín*

En el desarrollo del proyecto de grado en cuestión, durante el mes de diciembre del 2002 se realizó un diagnóstico acerca de la aplicación del CEP en las empresas de fabricación e industria, ubicadas en el área metropolitana de Medellín, a través de una encuesta.

Para conocer la población total de empresas de fabricación e industria ubicadas en el área metropolitana de Medellín se consultó el listado de empresas, registradas por actividad económica en la Cámara de Comercio de la Ciudad (CCM, 2002), obteniendo como resultado una población de 1009 empresas de varios sectores (alimentos, textiles, metalmecánico, etc.) y tamaños (grandes, medianas y pequeñas). A partir de esta información fue posible determinar una muestra representativa de 64 empresas a encuestar.

Al analizar las encuestas se encontró que la decisión de implementar CEP en las empresas obedece en gran parte al tamaño y los recursos de éstas (económicos, humanos, técnicos, etc.) y muy poco al sector industrial al que pertenezcan. Además, se detectó que solo el 41.7% de las empresas encuestadas emplean el CEP para el control de sus procesos. La diferencia en la participación de las empresas, de acuerdo al tamaño, en el porcentaje anterior es notable, ya que son las grandes empresas las que aplican CEP en mayor medida, seguidas por las medianas y pequeñas.

Las empresas del área metropolitana de Medellín que cuentan con CEP para el control de sus procesos, coinciden en afirmar que los mayores inconvenientes que se presentan durante su implementación son: la falta de conocimientos sobre el tema, poseer una cultura organizacional orientada a la corrección mas que a la prevención, y la falta de una cultura de medición y mejora continua.

En las empresas del área metropolitana de Medellín donde aun no se ha implementado CEP, los principales inconvenientes que impide o dificulta esta implementación son: la falta de recursos y la falta de conocimientos acerca del tema, pudiendo ser esta última una consecuencia de la primera; estos dos inconvenientes se acentúan en la pequeña y mediana empresa.

El medio más empleado en la implementación de CEP en las empresas encuestadas resulta ser los cursos y capacitaciones, seguido por bibliografía sobre el tema. Los programas de software también son utilizados, sin embargo estos últimos son más útiles una vez se está aplicando el CEP; además se encontró que algunas empresas han desarrollado sus propios programas de software para ello.

### *La Guía Metodológica*

A partir del diagnóstico realizado sobre la aplicación de CEP en las empresas de fabricación e industria del área metropolitana de Medellín y una extensa revisión bibliográfica, fue posible elaborar y redactar una Guía Metodológica para aplicación de CEP, especialmente dirigida a la pequeña y mediana empresa, donde se tratan importantes temas de gestión para la exitosa implementación de CEP, sin descuidar los aspectos teóricos y técnicos del mismo.

La Guía Metodológica desarrollada se divide en seis etapas, que pueden ubicarse en un ciclo de calidad PHVA (planear, hacer, verificar y actuar).

#### **• Etapa I: Una Cultura Organizacional Hacia El CEP**

Para implementar con éxito CEP en las empresas es necesario que exista una cultura de medición y mejora continua, que de no tenerse previamente, debe ser introducida de forma incesante en toda la organización, desde la gerencia hasta el personal de producción. Para lo anterior, la GM plantea actividades a realizar para dos contextos diferentes: el compromiso de la gerencia y la sensibilización y capacitación

del personal. Frente al compromiso de la gerencia, las actividades planteadas buscan evidenciar con hechos concretos ante toda la organización, que el compromiso por parte de la gerencia es real y mostrar un liderazgo con el proyecto que motive al resto del personal de la organización.

Con respecto a la Sensibilización y Capacitación del personal, las actividades propuestas por la GM se enfocan en la divulgación de todo lo relacionado con la implementación de CEP (conceptos básicos, ventajas y beneficios para la organización, etc.), la previsión y solución a la resistencia al cambio y la medición, entre otros.

#### • **Etapas II: Conocer El Proceso, Punto De Partida Del CEP**

Esta etapa toca tres aspectos: la caracterización del proceso, el diagnóstico de la situación del proceso antes de implementar CEP y la rectificación de especificaciones del producto. Con el primer aspecto se pretende resaltar la importancia de conocer y comprender el proceso antes de intentar controlarlo. La manera que indica la GM para lograrlo es la disposición de diagramas de flujos y caracterizaciones del proceso, asegurando que todas las personas involucradas en él manejen estas herramientas y, si es necesario, participen en la realización de las mismas.

El diagnóstico de la situación del proceso antes de implementar CEP busca establecer indicadores que cuantifiquen y permitan comparar la situación del proceso antes y después de implementar el CEP.

El tercer aspecto pretende evitar, mediante la rectificación de especificaciones del producto, el consumo de recursos en el control de un proceso que no entregue productos que cumplan con las necesidades del cliente, aún después de lograr un control estadístico. Con este fin la GM proporciona ciertas ideas de cómo realizar la rectificación y cuáles podrían ser las acciones a tomar, de acuerdo con los resultados obtenidos en la rectificación.

#### • **Etapas III: Identificar Las Características, Clave Para Saber Qué Debe Ser Controlado**

Un proceso productivo tiene numerosas características, entre variables y atributos, las cuales serían prácticamente imposibles de controlar en su totalidad. La GM plantea con respecto a lo anterior, una exhaustiva identificación de las características del proceso, la priorización de las mismas, con criterios claros y bien definidos que permitan una posterior selección de las características más importantes a controlar.

Propone además, la revisión del sistema de medición, con el fin de asegurar que éste cumpla con los requerimientos de medición de las características, tales como la correcta capacitación de las personas que realicen las mediciones, la calibración de los equipos de medición, la disposición de formatos de registro adecuados, entre otros.

Un beneficio derivado de la etapa III es que permite descartar actividades de supervisión o inspección de características poco importantes para el proceso, y así optimizar la distribución de los recursos y los esfuerzos entre las características más importantes.

• **Etapa IV: Variación, un desafío para el CEP**

Aunque es normal que todo proceso presente variación, es importante saber qué la genera, identificando si se debe a una causa aleatoria o a una causa asignable, y además reconocer los efectos que la variación trae al proceso. Esta etapa busca originar una lista de posibles causas atribuibles y establecer cuáles serían las acciones a tomar cuando estas se presenten en el proceso. Es una forma de prever los problemas y atender su solución.

• **Etapa V: Gráficas de control, la herramienta**

Dado que el CEP emplea como herramienta básica las gráficas de control, la GM aborda este ineludible tema en una sola etapa, en la cual, a pesar de tratar los mismos conceptos que la bibliografía común sobre el CEP, la forma como los considera pretende ser más clara, expresando concretamente a las empresas lo que deben hacer para implementar con éxito las gráficas de control.

Esta etapa hace énfasis en el análisis de los resultados, con el fin de aprovechar al máximo las gráficas con que cuenta esta metodología y mejorar efectivamente el proceso.

Algunos aspectos importantes que se incluyen en esta etapa son:

- La selección de la gráfica de control adecuada para cada característica
- La determinación del subgrupo racional

El análisis de las gráficas de control, entre otros.

• **Etapa VI: Control de la aplicación de CEP**

Todas las actividades humanas deben ser verificadas para evaluar si se cumplen a cabalidad los objetivos de las mismas. La implementación de CEP no es la excepción, por lo cual la GM plantea la forma de verificar si se cumplen o no los objetivos y metas, trazados en etapas anteriores y de acuerdo con los resultados tomar las acciones correctivas pertinentes.

*Validación de la GM*

Para dar cumplimiento a uno de los objetivos específicos del proyecto de grado, la GM desarrollada fue validada y de esta forma se puso a prueba, bajo las condiciones reales de la industria, lo que se plantea en la guía. Por lo anterior se llevó a cabo una validación de la Guía en tres contextos diferentes, donde los

dos primeros fueron revisiones y el tercero fue la validación propiamente dicha: el primero fue una revisión por parte de un académico conocedor del tema, el segundo consistió en una apreciación por parte de un profesional encargado del manejo del CEP en una empresa que aplica, con gran éxito, esta metodología en sus procesos, y el tercero fue un trabajo de validación más exhaustivo y práctico que los dos anteriores, ya que se realizó una revisión a la guía, paso por paso, en una empresa que no aplicaba CEP.

El primer contexto fue la valoración de la GM por el Ingeniero Javier Manzanera Quintana<sup>3</sup>, académico conocedor del tema, quien consideró la guía metodológica como una buena herramienta por su fácil entendimiento y el buen contenido de ésta; adicionalmente, dado que él en conjunto con otras personas están haciendo una investigación para desarrollar la PYME ideal en Chihuahua, México, mostró la guía metodológica en algunas PYMEs de esta ciudad para que dieran su opinión sobre el material, quienes opinaron que era un documento amigable y fácil de entender, e incluso manifestaron interés en emplearla para una futura implementación de CEP en sus empresas.

Javier Manzanera Quintana es Ingeniero Industrial en Producción del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), campus Chihuahua y Maestro en Ingeniería en Sistemas de Calidad del ITESM, campus Monterrey, México. Actualmente se desempeña como Director de Extensión Universitaria, Director del Centro de Calidad Integral y profesor en el área de ingeniería del ITESM, campus Chihuahua, México.

La segunda revisión fue realizada por Diego Alberto Espinal Meneses, asistente de Control Estadístico en Bonem S.A., empresa del área metropolitana de Medellín, donde se aplica con buenos resultados el Control Estadístico de Procesos desde hace varios años. En esta revisión se encontró similitud entre la GM propuesta y el proceso que en dicha empresa se tiene estandarizado para la implementación y manejo de CEP.

Antes de hacer referencia a la validación, es importante resaltar que validación es diferente a implementación, ya que esta última implica llegar hasta la ejecución total de las actividades, en este caso las propuestas en la GM, demandando entonces para la evaluación, una gran disposición de tiempo y recursos, además sujetando su culminación a los inconvenientes de la empresa. La validación en cambio, ejecuta algunas de las actividades a modo de ensayo, y para otras simplemente se estudia la viabilidad de su realización en la empresa, lo cual demanda poco tiempo y recursos.

La validación a nivel industrial de la guía metodológica se realizó en Tratar S.A., una mediana empresa del sector metalmeccánico ubicada en Medellín. La ejecución tardó dos semanas y se hizo a través de reuniones diarias, con una duración promedio de dos horas. Para el seguimiento de algunas actividades se elaboraron listas de chequeo para cada etapa, con el fin de evaluar la aplicabilidad de los diferentes aspectos considerados e identificar aspectos a mejorar, bien fuese por falta de claridad en la explicación dada en la guía o por poca concordancia de ésta con la realidad de la industria. Otras actividades fue



posible revisarlas por medio de ejercicios prácticos, en los cuales se contó con la participación de los operarios y el jefe del proceso seleccionado, además en todas las actividades se tuvo el acompañamiento de Carlos Julio Gómez, coordinador de calidad de TRATAR S.A. Concluida la Validación en TRATAR S.A., fue posible detectar algunos aspectos que debieron ser corregidos para mejorar el entendimiento de los diferentes temas tratados en la GM y plantear las actividades de las distintas etapas, de manera que fuesen más acordes con la realidad de las PYMEs.

El resultado de la retroalimentación obtenida por medio de la validación y las diferentes revisiones realizadas, constituye la Guía Metodológica Para La Aplicación Del Control Estadístico De Procesos En La Pequeña Y Mediana Empresa, que es a su vez el resultado tangible del proyecto de grado en cuestión.



## **CONCLUSIONES**

El nivel de aplicación de CEP en las empresas de fabricación e industria del área metropolitana de Medellín se considera medio-bajo, ya que solo el 41.7% de éstas emplean CEP para el control de Calidad de sus procesos. A pesar de lo anterior, el nivel de aplicación varía con el tamaño de la empresa, siendo las grandes las que más lo emplean. Por el contrario, la mayor parte de las PYMEs hacen parte del 58.3% que no aplican CEP.

La decisión de implantar CEP generalmente no depende del sector de la industria al que pertenezca una empresa, sino que obedece en gran medida al tamaño y los recursos (económicos, humanos, técnicos, etc.) de ésta.

Las empresas del área metropolitana de Medellín en el proceso de implementación de CEP se apoyan, en la mayoría de los casos en medios como los cursos y capacitaciones y en menor medida en la bibliografía y software.

La validación de la guía metodológica permitió verificar la claridad y el entendimiento del material redactado, e identificar los aspectos a mejorar, tanto de fondo como de forma, en la guía metodológica final, aumentando la aplicabilidad y efectividad de la herramienta en la industria.

La retroalimentación recibida tanto en la validación como en las revisiones realizadas, muestra que la metodología desarrollada es una herramienta útil para la pequeña y mediana empresa gracias a: la viabilidad de las actividades y medidas que plantea; la claridad con que se sugieren estas actividades y medidas; y la amplia cobertura con que cuenta para la implementación de CEP, pues se incluyen los aspectos de gestión antes, durante y después de implementar las gráficas de control, sin descuidar los aspectos técnicos relacionados con éstas.

Dado el desconocimiento que hay en las PYMEs del área metropolitana sobre Control Estadístico de Procesos, se hace necesario realizar una divulgación en este tipo de empresas e incluso en la industria colombiana, acerca de la importancia, beneficios y ventajas del CEP, y de esta forma crear una inquietud por el tema, que lleve a una consulta de la Guía Metodológica desarrollada y a una posterior utilización, dado el caso en que se decida iniciar una implementación por parte de alguna empresa.



## **CONTACTOS**

ANA MARÍA GÓMEZ B. [agomezbe@eafit.edu.co](mailto:agomezbe@eafit.edu.co)

TATIANA SUAREZ G. [tsuarezg@eafit.edu.co](mailto:tsuarezg@eafit.edu.co)



# **SELECCIÓN DE UN PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE ORELLANAS (*PLEUROTUS PULMONARIUS*)**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

ANGARITA VELÁSQUEZ, LUISA CAROLINA Y JARAMILLO RESTREPO, LAURA CAROLINA.

## **ASESOR**

JORGE E. DEVIAP, Ph. D.



## RESUMEN

Para seleccionar el mejor proceso de deshidratación de orellanas se preseleccionan inicialmente, con base en literatura y los resultados de otras investigaciones en el tema, tres procesos de secado para ser evaluados (secado al sol, secado con aire caliente, liofilización) y un pretratamiento (deshidratación osmótica); éste último se emplea como pretratamiento en combinación con los demás procesos, en busca de una reducción del tiempo de operación del proceso posterior, porque genera productos de humedad intermedia; además se evalúa cada uno de los procesos en forma individual.

Como criterios de selección del mejor proceso de deshidratación de orellanas se tienen en cuenta el porcentaje de pérdida de humedad y el de rehidratación, pero principalmente, el resultado de las pruebas sensoriales. Es importante que la humedad final del producto después del proceso sea del 9 al 12 % para garantizar la preservación durante su almacenamiento.

Se descarta la evaluación del secado solar como proceso de deshidratación debido a los pésimos resultados que se reportan en otras investigaciones, como cambios organolépticos y en la estructura biológica del alimento.

Para los demás procesos se realizan experimentos preliminares donde se determinan las variables más influyentes y sus valores óptimos.

Con la aplicación de la deshidratación osmótica se encuentra que el NaCl, o sal común, es el soluto que genera los mejores resultados en cuanto a pérdida de humedad, que es hasta de un 41 %, y a propiedades organolépticas, empleando una concentración al 2 % en volumen, a 34° C y durante 4 horas, parámetros que se obtienen del diseño de experimentos y que se ratifican con el análisis sensorial; pero al combinar este proceso con cada uno de los demás, no se logra el efecto esperado de reducción en el tiempo de proceso posterior.

En el secado con aire caliente, se replican las condiciones óptimas encontradas en una investigación anterior: una temperatura de bulbo seco de 35° C, una humedad relativa del 56 %, con las que se determina una temperatura de bulbo húmedo de 23.3° C, y un tiempo de operación de 6 horas. Los resultados que se consiguen son muy diferentes a los que se reportan, y tanto el producto que se obtiene en este proceso, como en el combinado con deshidratación osmótica, no cumplen con ninguno de los criterios de selección, siendo inferior el primero de éstos con el que se logra una humedad de tan solo 59.06 %, una apariencia bastante deteriorada y sin reducción del tiempo de proceso, mientras que en el segundo se obtiene un 61.87 % de humedad y un producto que a simple vista se rechaza.

En la liofilización se logra un producto de excelente apariencia y de gran aceptación, demostrado por los análisis sensoriales y fisicoquímicos aplicados; con humedades del 9 al 12 %, y porcentajes de rehidratación entre 60 y 70 %. Los tiempos óptimos de proceso fluctúan entre 14 y 16 horas. No se recomienda combinar este proceso con la deshidratación osmótica porque se alteran negativamente las propiedades físicas y organolépticas, y no se logra el objetivo de reducir el tiempo de proceso.

Al seleccionar la liofilización como el proceso de deshidratación adecuado para las orellanas, se hace un análisis microbiológico y se encuentra una contaminación por mesófilos aeróbios y coliformes que se origina desde antes de la cosecha del producto. Se escaldó (a 85° C por 3 minutos) y desinfectó (con solución de dioxychlor al 2 % y ácido cítrico a un pH de 4.5) a las condiciones mínimas recomendadas con el fin de evitar al máximo la degradación del producto, y aunque pueden reducir la carga microbiana hasta valores permisibles, originan un deterioro notable de las características organolépticas del producto y provocan su rechazo; por lo anterior, y por tratarse de microorganismos de alerta, y no de carácter o criterio imperativo ni indicadores de higiene, sumado a la escasez de recursos para la investigación, se decidió continuar con el proyecto.

Previamente a la etapa de empaque, se realiza una prueba sensorial para determinar si el producto obtenido es viable en el ámbito comercial, obteniendo una aceptación muy buena por parte del público. Se procede entonces al almacenamiento por un período de un mes, en el que se empacan muestras de orellanas con y sin atmósferas modificadas. Los resultados de las pruebas sensoriales después de este período, muestran una respuesta igualmente muy favorable en ambos casos y a la vez muy similares, con lo que se concluye que no se justifica el uso de empaques con atmósferas modificadas (N2).

Finalmente, un análisis del agua que se extrae del producto durante su deshidratación por liofilización, muestra un contenido de proteína bastante bajo, de solo 0.97 g/l, con el que se garantiza la conservación de la principal propiedad nutricional del hongo.



## CONTACTOS

LUISA ANGARITA V. [langarit@eafit.edu.co](mailto:langarit@eafit.edu.co)

LAURA JARAMILLO R. [Ljarami9@eafit.edu.co](mailto:Ljarami9@eafit.edu.co)



# **SIMULACIÓN DEL PROCESO DE DESTILACIÓN CRIOGÉNICA DE AIRE**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

GÓMEZ RAMÍREZ, GLORIA EUGENIA Y MARTÍNEZ SOSA, ISABEL CRISTINA.

## **ASESOR**

ALEJANDRO RIVERA, Ph. D.



## RESUMEN

Este trabajo tiene como finalidad la obtención de un simulador en estado estacionario del proceso de destilación criogénica del aire, por medio de la aplicación del modelo Mc Cabe Thiele al proceso específico de Cryogas Barbosa.

El volumen de control del proceso que se toma para la simulación comprende las tres torres de destilación en donde ocurre la separación de los componentes del aire para obtener nitrógeno, oxígeno y argón con altas purezas. Dos de estas torres están organizadas en forma similar a un sistema Linde de Doble Columna, para lograr la integración de calor entre el condensador de la torre de alta presión, ubicada en parte inferior y el rehervidor de la torre de baja presión, ubicada en la parte superior. En la torre de alta presión es donde se obtiene el nitrógeno líquido producto mientras que en la de baja presión se obtiene el oxígeno producto. En la otra columna se da la separación del argón y el oxígeno, obteniendo el argón como producto de alta pureza.

Las ecuaciones matemáticas del modelo Mc Cabe Thiele, aplicado a este proceso, se obtienen a partir de balances de masa alrededor de zonas generadas en cada torre, y posteriormente presentado en gráficas para la comprobación visual de los cálculos realizados y los resultados obtenidos.

Para la resolución de los sistemas de ecuaciones y la visualización gráfica del modelo, se elige la herramienta Microsoft Excel que brinda la posibilidad de realizar iteraciones, programar ecuaciones, construir gráficas y matrices, logrando generar un programa de una forma no muy compleja. Además este software es de fácil acceso para los usuarios del programa. Después de programar el modelo, se ingresaron datos reales de la planta de Cryogas Barbosa, para verificar si el simulador si refleja el comportamiento real de las torres, dando un resultado positivo.



## CONTACTOS

GLORIA E. GÓMEZ R. [Ggomezr2@eafit.edu.co](mailto:Ggomezr2@eafit.edu.co)

ISABEL C. MARTÍNEZ. [Imartin3@eafit.edu.co](mailto:Imartin3@eafit.edu.co)



# **DESARROLLO DEL DISEÑO CONCEPTUAL DE UN VASO DEWAR PARA APLICACIÓN EN EL CAMPO MÉDICO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

ECHEVERRI MORENO, MARÍA CRISTINA Y MOLINA SOTO, DIANA MARCELA.

## **ASESOR**

JAIME ALBERTO ESCOBAR ARANGO, I. Q.





## RESUMEN

En 1892 el escocés James Dewar desarrolló un recipiente especial para el trabajo con bajas temperaturas. Necesitaba mantener la temperatura de los líquidos que utilizaba en sus experimentos. Estos líquidos son gases licuados por enfriamiento, los cuales se condensan a presión atmosférica en un rango de temperatura de  $-180$  a  $-200^{\circ}$  C. Teniendo presente estas características James Dewar intentó hacer un vaso que no sólo los contuviera, sino que además los aislara de la temperatura externa.

La historia de estos termos puede ser clasificada en tres generaciones a partir de 1950, cada una de ellas mejorando las falencias de la generación anterior, hasta llegar al modelo conocido hoy en día el cual es un envase portátil, fabricado de doble pared con aislamiento más alto vacío, que se usa para la distribución de oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono y argón en estado líquido.

Posee dispositivos que mantienen la presión dentro de los límites prefijados, vaporizando líquido cuando la presión baja y eliminando gas de la fase gaseosa cuando la presión sube, como: un serpentín vaporizador para calentar el líquido durante el vaciado del gas, un regulador para mantener la presión de operación, un regulador economizador para eliminar el exceso de presión dentro del sistema de gas y un indicador de flotador para medir el nivel del líquido contenido.

El vaso interior está sostenido por varillas o cables ubicados en el interior de la chaqueta de vacío, en este diseño estos soportes se reemplazan por perlita expandida, que a la vez hace las veces de aislante, de manera que se pueda minimizar las pérdidas externas de calor y los requerimientos de enfriamiento del material. El espesor de las paredes de ambos vasos es relativamente pequeño para reducir el peso del contenedor y minimizar los efectos de enfriamiento.

Estos vasos pueden entregar su contenido tanto en estado líquido como gaseoso, abriendo en cada caso la válvula correspondiente.

El vaso Dewar puede llenarse mediante dos procedimientos, el primero es una operación de transferencia de presión, el segundo procedimiento se lleva a cabo empleando una bomba centrífuga la cual permite disminuir las pérdidas de producto debido a que el líquido es introducido directamente dentro del envase interior a través de la válvula de venteo.

La forma de estos tanques de almacenamiento se selecciona con el fin de minimizar la relación entre el área superficial y el volumen del contenedor, reducir las pérdidas de calor del criogénico almacenado, y además se tiene en cuenta los aspectos económicos y de transporte.

Los tanques esféricos tienen la más pequeña relación área volumen y por esto son los más usados en sistemas de almacenamiento fijo, sin embargo, los envases cilíndricos, son más fáciles de transportar y poseen menos costos por lo que son ampliamente usados, aunque su relación área volumen sea un poco mayor que la de la esfera.

Los tanques de almacenamiento criogénico transportables y estacionarios son diseñados para un volumen de 90% de líquido y 10% de vapor; este 10% es para ampliar el tiempo que el tanque interior tiene antes de que el nivel de presión requiera un alivio de vapor, formado sobre el líquido debido a las pérdidas de calor.

**COMPONENTES FUNCIONALES DEL EQUIPO:** Para elaborar el diseño conceptual del vaso Dewar, es decir, un concepto que se refiere a la combinación de principios físicos, químicos y biológicos, que satisfacen la función o propósito del equipo, así como las características, atributos y restricciones deseadas; después de analizar y escoger la mejor alternativa; es necesario explicar claramente la función de cada una de las partes que lo constituyen, y de igual manera especificar las características más relevantes de dichas partes.

El diseño del vaso Dewar, consta de siete sistemas:

- Sistema de llenado
- Sistema de medición de nivel
- Sistema de seguridad: de alta y de baja presión
- Sistema de venteo
- Sistema de entrega al cliente
- Sistema economizador
- Sistema elevador de presión interna

## **ALGORITMO DE DISEÑO**

**DEFINICIÓN DEL VOLUMEN:** El volumen a calcular para este envase será aquel que garantice una duración suficiente del gas requerido para que una persona oxígeno dependiente, pueda realizar actividades durante todo el día y dormir tranquilamente toda la noche, tomando como base un consumo promedio de dos a tres litros de gas por minuto y un consumo máximo de ocho litros de gas por minuto. La capacidad calculada es de 13 litros líquidos.

**SELECCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN:** La selección de los materiales se basa en que la resistencia de éstos sea la adecuada a las condiciones de operación del equipo y a la compatibilidad de éstos con el fluido almacenado.

Los metales y aleaciones que tienen ductilidad aceptable a la temperatura del oxígeno y el nitrógeno líquido incluyen el acero inoxidable austenítico (304, 316), aleaciones níquel cromo, níquel, monel 400, cobre, latón, bronce, aluminio y fibras sintéticas.

El material elegido para el envase interior es acero inoxidable AISI 304 y para el envase exterior acero al carbón AISI 1020.

**ENVASE INTERIOR:** Es el recipiente que contiene el líquido criogénico; su forma es cilíndrica, debido a que con esta forma se facilita su fabricación y transporte, aunque no se logra la mínima relación área volumen, que es lo deseado en este tipo de diseños.

Teniendo como base el volumen ( $\bullet r^2 L = 13\text{litros}$ ) y conociendo que la relación óptima de  $L/D=3$ , se tiene que las dimensiones del envase son:  $D_i = 0.177\text{ m}$  y  $L_i = 0.53\text{ m}$ .

El espesor de pared del envase se determina por medio de una ecuación que relaciona, las dimensiones del envase con la presión y las restricciones del material de construcción del diseño. También se tiene en cuenta el espesor mínimo recomendado por código ASME y un factor de corrosión para el material de construcción, obteniendo así un espesor de  $0.275\text{in}$ .

**ENVASE EXTERIOR:** Este forma una chaqueta de vacío y actúa como barrera de vapor para garantizar el aislamiento deseado. Su forma al igual que la del envase interior es cilíndrica.

El diámetro exterior será de  $0.225\text{m}$  ( $8.858\text{in}$ ) lo que determinará un espacio de vacío de aproximadamente  $1\text{cm}$  ( $0.453\text{in}$ ) permitiendo que se tenga una buena capacitancia en el sistema, es decir, que exista una cantidad suficiente de vacío para así garantizar un buen aislamiento.

La longitud y el espesor de este envase se calculan teniendo en cuenta la heurística y las recomendaciones dadas por el código ASME, obteniendo una longitud de  $0.675\text{m}$  y un espesor de  $0.275\text{in}$ .

**TIPO DE AISLAMIENTO:** Los factores que se consideran en la selección de este aislamiento incluyen su robustez, conveniencia, volumen, peso, fácil fabricación y manejo, y por supuesto, su efectividad térmica y costo. Adicionalmente, se consideran las características del sistema, las cuales incluyen el tipo de líquido, el uso específico del sistema, los alrededores y la seguridad del mismo.

Cálculo del calor transferido del aislamiento de sólo vacío: El vacío entre dos superficies reduce el número de moléculas de gas disponibles para transportar energía de la superficie caliente a la superficie fría.

El aislamiento de vacío elimina la convección. Por otra parte, dependiendo del grado de vacío, se puede reducir significativamente la conducción a través del gas residual. De esta manera, la radiación entre la superficie caliente y fría tiende a ser el modo de transferencia de calor dominante en este tipo de aislamiento.

El calor transferido a través de este tipo de aislamiento es de 0.347W.

Cálculo del calor transferido a través del aislamiento con sólo perlita: La perlita expandida un silicato de origen volcánico con un porcentaje de 4% de agua es un tipo de aislamiento que incluye baja conductividad térmica ( $26 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{K}$ ), baja densidad ( $50 \text{ Kg/m}^3$ ) y una distribución de tamaño de partícula (malla 4-8) que minimiza los efectos de golpe y vibración.

Además de sus excelentes propiedades térmicas, el aislamiento con perlita es relativamente bajo en costo y su instalación y manejo son sumamente fáciles. El aislamiento con perlita no evacuada logra una reducción o eliminación de la transferencia de calor por convección debido a los pequeños vacíos de gas presentes entre la perlita. La presencia del sólido particulado también reduce la radiación e inhibe la conducción del gas; por lo tanto la conducción es el mecanismo de transferencia de calor predominante.

El calor transferido a través de este tipo de aislamiento es de 141.959W.

Cálculo del calor transferido a través del aislamiento con perlita evacuada: Este tipo de aislamiento se utiliza para disminuir la conductividad térmica al reducir la presión del gas residual generando vacío. El calor transferido a través de este tipo de aislamiento es de 8.19W.

## **SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PLOMERÍA**

**SERPENTÍN VAPORIZADOR:** Éste permite la salida del líquido almacenado en forma gaseosa. Debe tener un espesor de pared que sea lo suficientemente pequeño para que favorezca la transferencia de calor y a la vez soporte la presión interna, que es la presión de trabajo del equipo; el diámetro debe garantizar un flujo turbulento que favorezca la transferencia de calor.

La longitud de la tubería dentro del espacio del aislamiento debe ser tan larga como sea posible para cumplir con su objetivo.

**VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN:** Es la válvula que automáticamente libera presión cuando esta excede la presión máxima de trabajo y provee una trayectoria para la salida del material que hay en el sistema. Su presión de operación se fija en 1.1 veces la presión de trabajo.

**VÁLVULA DE LÍQUIDO:** Es la válvula usada para permitir la descarga del líquido directamente del tanque interior, está normalmente cerrada.

**VÁLVULA DE VENDEO O DESAHOGO:** Es la válvula usada para permitir el escape de presión del espacio de vapor del tanque interior. Esta válvula está normalmente cerrada.

**VÁLVULA DE GAS:** Es la válvula usada para permitir que el líquido fluya dentro del vaporizador, donde es convertido en gas, está normalmente abierta.

**REGULADOR ECONOMIZADOR:** Con este dispositivo se mantiene la seguridad en la entrega del gas, donde su diafragma actúa para abrirse o cerrarse manteniendo la presión constante dentro del tanque interior.

**DISCO DE RUPTURA:** Es un dispositivo de seguridad adicional para el envase interior en caso de un mal funcionamiento de la válvula de alivio, estos discos se fijan para que revienten aproximadamente a 1.2 veces la presión de trabajo.

**DISCO DE RUPTURA DEL TANQUE EXTERIOR:** Este es el disco que se romperá completamente en el caso de que la presión de la chaqueta de vacío del contenedor alcance una presión predeterminada. Éste sirve para prevenir el colapso del envase interior debido a la presión externa, así como para prevenir el daño del envase exterior de la presión interna.

**MANÓMETRO:** Es usado para mostrar la presión de vapor del envase interior.

**MEDIDOR DE NIVEL:** Permite medir el volumen de líquido en el tanque; es un medidor de nivel de flotador con resorte, fabricado en acero inoxidable para que resista las temperaturas de los líquidos criogénicos.

**COSTO DE CAPITAL DEL EQUIPO:** El costo de capital aproximado del equipo, equivale a la suma del valor de cada uno de los componentes funcionales anteriormente descritos. Esto equivale a \$3.228.433

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS:** Al realizar este análisis se busca evaluar la inversión requerida para cada una de las alternativas existentes en la distribución de oxígeno domiciliario (cilindros, generadores y vaso Dewar), y con esto evaluar cual es la mejor alternativa, tanto para el cliente como para la compañía que presta el servicio.

De tres alternativas evaluadas, la más favorable para el cliente directo es la de suministro de oxígeno por generadores, sin embargo se debe tener en cuenta que esta opción sólo es adecuada para pacientes que consuman oxígeno con un flujo promedio, es decir, de dos a tres litros por minuto y no sería adecuado para pacientes que requieran más flujo o más presión, como si lo sería el vaso Dewar que es la siguiente alternativa más económica.

**PESO Y VIDA ÚTIL DEL EQUIPO:** El peso total aproximado del equipo es de 19.659 Kg. La vida útil del equipo esta asociada directamente con la selección del material de construcción, teniendo en cuenta el servicio para el cual esta diseñado el equipo y la corrosión a la que esté sometido. De acuerdo a lo anterior se tiene que la vida útil del vaso Dewar, está entre 10 y 15 años.

**ESTUDIO PRELIMINAR DE MERCADO:** Es importante tener en cuenta el hecho que para que sea posible la comercialización de un equipo como el vaso Dewar, debe existir una compañía posicionada en el mercado con un proceso ya establecido de producción de oxígeno en estado líquido, que decida realizar esta inversión innovando y siendo más competitiva.

El diseño del vaso Dewar puede llegar a tener una gran aceptación en el mercado, sin embargo para que esto sea posible lo primero que se debe hacer es informar al público sobre la existencia, características y funciones de este equipo, de lo contrario sería complicado que el diseño se posicionara en el mercado.

**CONCLUSIONES:** El diseño del vaso Dewar se realizó seleccionando los materiales, dispositivos y tipo de aislamiento apropiados para garantizar una mayor duración y comodidad en el almacenamiento y transporte de líquidos criogénicos como el oxígeno, siendo empleado de esta manera por los pacientes oxígeno dependientes.

El vaso Dewar es un equipo diseñado con las especificaciones y normas ASME, lo que garantiza que el diseño sea reconocido y aceptado como un equipo seguro a nivel mundial.

El diseño del vaso Dewar es una innovación, ya que innovar no es sólo crear nuevas cosas, innovar también es mejorar y reajustar las cosas que ya existen. En este caso el tamaño del equipo y la duración de entrega de oxígeno del vaso Dewar marcan una diferencia con los equipos tradicionales que se emplean para el suministro de oxígeno; logrando con esto el objetivo de mejorar la calidad de vida de determinadas personas.



## CONTACTOS

DIANA MARCELA MOLINA. [Dmolina1@eafit.edu.co](mailto:Dmolina1@eafit.edu.co)

MARÍA CRISTINA ECHEVERRI. [Mecheve8@eafit.edu.co](mailto:Mecheve8@eafit.edu.co)

# **TÉCNICA PARA EVITAR LA MADURACIÓN DEL PLÁTANO *HARTÓN* DE URABÁ DURANTE LA ETAPA DE TRANSPORTE HACIA EL EXTERIOR**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTOR**

MARÍN VALENCIA, DAVID ALEJANDRO

## **ASESOR**

INGENIERO ALVARO HENAO ORTIZ



## RESUMEN

La maduración del plátano hartón por efecto del etileno, generado durante el periodo climatérico del fruto, es uno de los factores más críticos para las comercializadoras, obligándolas a controlar una serie de condiciones que garanticen la inhibición de dicho proceso natural. A pesar de que existen diversas técnicas y métodos de conservación, que pueden mitigar este proceso irreversible de senescencia, las limitaciones tecnológicas de la zona de Urabá sólo han permitido tener como alternativa de control, durante la etapa de transporte marítimo hacia el exterior, la conservación de la fruta a temperaturas entre los 9 y 11° C, lo que en algunos casos no es suficiente y genera pérdidas de dinero por los rechazos y/o reclamos de maduración de los compradores extranjeros.

Este trabajo pretendió desarrollar una técnica aplicable al proceso de comercialización de Urabá, que permitiera evitar la maduración de la fruta mediante la adsorción de etileno con zeolita (clinoptilolita). Para la parte experimental se simularon las condiciones normales de viaje y se comparó la eficiencia en la conservación de la fruta entre la clinoptilolita, un control y un producto comercial. Se encontró que a medida que se aumenta la dosis de clinoptilolita, el periodo de vida verde de la fruta se extiende, como consecuencia de una mayor adsorción de etileno por parte del mineral. La dosis más adecuada del producto natural se encontró entre los 25 y los 35 gramos, alcanzando una conservación, en estado verde, de 14 días. Respecto al producto comercial, se observó una mayor eficiencia en la conservación de la fruta, alcanzando la duplicación del tiempo de vida útil. En conclusión, el uso de la clinoptilolita natural logra un efecto retardante de la maduración del plátano hartón, circunstancia que no satisface las expectativas de conservación de las comercializadoras.



## CONTACTOS

DAVID ALEJANDRO MARÍN. [dmarinva@eafit.edu.co](mailto:dmarinva@eafit.edu.co)



# **DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN SUPERCRÍTICA, A ESCALA BANCO, UTILIZANDO DIÓXIDO DE CARBONO COMO SOLVENTE**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

GALLEGO ECHEVERRI, ISABEL CRISTINA Y CASTAÑEDA ZÚÑIGA, DIEGO MAURICIO.

## **ASESOR**

MARCELA MORA VARGAS, I. Q. M.Sc.



## RESUMEN

Desde los años 70's se ha desarrollado la tecnología de los fluidos supercríticos debido principalmente a la necesidad de implementar procesos con menor consumo de energía y menor impacto ambiental. Se define como fluido supercrítico (FSC) a una sustancia que se encuentra en condiciones por encima de su temperatura y presión crítica correspondientes; bajo estas características los estados de líquido y vapor saturado son idénticos, su compresibilidad isotérmica tiende a infinito y se imposibilita un cambio de fase.

Uno de los atractivos de estos fluidos es que presentan características similares a las de los líquidos como su densidad y propiedades físicas similares a las de los gases como su difusividad y viscosidad, las cuales inciden directamente sobre la velocidad y capacidad de transferencia de masa. Además su tensión superficial es igual a cero, lo que permite una fácil penetración en los micro-poros de materiales tales como matrices herbáceas, semillas y polímeros, entre otros. Estos fluidos han permitido el desarrollo de nuevos procesos con aplicaciones en diferentes áreas y la obtención de productos de alto valor agregado, lo cual ha producido el desplazamiento de técnicas convencionales.

Dentro de estas aplicaciones se encuentra la extracción de antioxidantes, esteroides, vitaminas, especias, aceites esenciales, aceites comestibles; reacciones químicas y enzimáticas; técnicas de micronización de sólidos; encapsulamiento de contaminantes; entre otros. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es la sustancia más utilizada como FSC, debido a que presenta ventajas comparativas como su bajo costo; fácil obtención; propiedades críticas bajas (7.38 MPa; 304.15° K), lo que permite la extracción de productos sensibles a la temperatura; es no-corrosivo en ausencia de humedad; es no tóxico; es libre de bacterias y gérmenes; no inflamable, no explosivo y es amigable con el ambiente.

**Extracción supercrítica (ESC):** Operación unitaria de transferencia de masa que se efectúa por encima del punto crítico del solvente; esta extracción permite controlar y manipular propiedades tales como la difusividad, viscosidad y densidad del fluido mediante pequeños cambios en la presión y la temperatura, lo que conlleva a una variación en la selectividad y el poder de solvencia del mismo. Presenta ventajas comparativas sobre los métodos de extracción convencionales como facilidad de recuperación de los solventes supercríticos y de los solutos extraídos; gran poder disolvente y capacidad de penetración; reducción de los costos energéticos de separación; y una fácil remoción de las últimas trazas de solvente en el producto obtenido.

Este tipo de procesos de extracción cuentan con cuatro etapas básicas indispensables, las cuales varían su complejidad dependiendo del tipo de matriz tratada y del extracto deseado, y son explicadas a continuación:

**Etapa de Presurización.** Con el fin de alcanzar la presión necesaria para la extracción se requiere ya sea de un compresor o de una bomba.

**Etapa de ajuste de Temperatura.** Remoción o adición de energía térmica ya sea con un intercambiador de calor, baños térmicos o resistencias eléctricas, para llevar el fluido comprimido a la temperatura de extracción requerida.

**Etapa de Extracción.** Es llevada a cabo en un recipiente extractor a alta presión, el cual contiene la matriz que será procesada. En esta etapa el fluido supercrítico entra en contacto con la matriz y arrastra el soluto deseado.

**Etapa de Separación.** Se utilizan dos clases de separadores, ciclónico y gravitatorio; el primero de ellos posee elevadas eficiencias (>99%) y el segundo es recomendado cuando la concentración en el extracto es muy elevada (>10% wt).

Parámetro Proceso Batch Proceso Semi-Batch Proceso Continuo:

- Recuperación del SFC No se recupera Si se recupera Si se recupera
- Carga de la matriz Al inicio del proceso Al inicio del proceso Continua
- Descarga de la matriz Al final del proceso Al final del proceso Continua
- Tiempos muertos Carga, presurización, despresurización y descarga.
- Carga, presurización, despresurización y descarga. No posee

**Ventajas del proceso:** Alta pureza del soluto obtenido, debido a que no requiere de otros mecanismos de separación.

Ahorro energético en la etapa de presurización. Permite la utilización de co- solventes para mejorar la extracción de solutos difíciles de obtener.

**Limitantes** No permite la utilización de co- solventes en la extracción. Difícil recuperación del extracto a partir del adsorbente. Requiere etapas posteriores de separación.

**DESARROLLO DEL PROYECTO:** Este trabajo tiene como objetivo principal realizar el diseño conceptual de un sistema de extracción supercrítico, a escala banco, que permita la obtención de productos orgánicos de interés comercial, de una forma eficiente, utilizando CO<sub>2</sub> como solvente; y que sirva de base para una futura construcción. Los pasos por los cuales fue necesario atravesar para el logro de los resultados finales de este proyecto de investigación son enunciados en los numerales presentados a continuación:

**Selecciones Iniciales:** Restringe los alcances y la capacidad del proceso diseñado en términos de producción y en el número de operaciones unitarias.

**Selección del Tipo de Proceso:** La configuración escogida es Semi - Batch tipo A, con el fin de lograr una reducción de costos en el consumo de CO<sub>2</sub> por recircularlo, y utilizar un método de expansión del fluido líquido para obtener ahorros energéticos en la bomba.

**Selección de Equipos Básicos:** Para llevar a cabo las operaciones unitarias básicas requeridas en la extracción supercrítica se utiliza:

Bomba para la etapa de compresión por manejar alimentación y recirculación de CO<sub>2</sub> en estado líquido.

Intercambiador de calor para la etapa de ajuste de temperatura por requerir servicios disponibles en planta (vapor, agua caliente) y más económicos que otros medios de calentamiento (p.e. energía eléctrica).

Recipiente de alta presión que contenga la matriz sólida y resista las condiciones de presión y temperatura requeridas en la etapa de extracción.

Separador ciclónico para la etapa de separación por presentar altas eficiencias en esta operación.

- Se requiere además de una serie de equipos que acondicionen las corrientes de entrada en cada una de las operaciones unitarias básicas; entre ellos se encuentra un filtro adsorbente en la recirculación, un baño refrigerante anterior a la bomba y una válvula de expansión previa al separador ciclónico.

**Selección de la matriz sólida:** Para la realización de los cálculos y dimensiones requeridos en el diseño del sistema de ESC se escoge como matriz sólida las semillas de girasol de la cual se extrae el aceite; esto se debe a los estudios que se le han realizado en este campo, disponibilidad de parámetros en la literatura y la adaptación que presenta al tipo de proceso escogido. Las condiciones de extracción son 28 MPa y 313.15° K por favorecer la selectividad del solvente y la composición final del producto obtenido (aceite de girasol). La presión de separación es fijada en 6.2 MPa lo cual conlleva a una disminución de la temperatura del CO<sub>2</sub>, inherente a la descompresión, hasta 297° K. Este valor es escogido con el fin de disminuir significativamente la solubilidad del aceite de girasol en el CO<sub>2</sub> y llevar el solvente hasta una fase líquida de características similares de las de un cilindro comercial de CO<sub>2</sub> (líquido comprimido 6.2 MPa, 296.15° K)

**Tamaño del Proceso:** Se parte de un volumen efectivo del extractor de 5 litros y un flujo de solvente máximo de 50 kg/h, el cual es consecuente con los rangos determinados para la escala banco. Este

tamaño tiene como ventaja que requiere menores cantidades de materia prima y ocupa menos espacio físico que una planta piloto, y genera condiciones menos idealizadas que una escala laboratorio.

**Análisis Termodinámico:** Determina finalmente las condiciones de P y T requeridas para el diseño conceptual del proceso, además de los requerimientos energéticos dentro del mismo. Lo anterior es realizado sobre el Diagrama T-S del CO<sub>2</sub> y la descripción del proceso cíclico es como sigue a continuación:

Proceso 5-1-2. Baño refrigerante: Enfriamiento isobárico del CO<sub>2</sub> (6.2 MPa) con el fin de disminuir su presión de vapor y evitar cavitación de la bomba. El calor removido al dióxido de carbono es igual a 1042 W.

Proceso 2-3. Bomba. Compresión isentrópica del fluido hasta la presión de extracción (28 MPa). La energía entregada por la bomba al CO<sub>2</sub>, por unidad de masa, para alcanzar la presión de extracción es igual a 24 kJ/kg.

Proceso 3-4. Intercambiador de calor: Calentamiento isobárico del CO<sub>2</sub> hasta la temperatura de extracción de 313.15° K. El calor requerido por el CO<sub>2</sub> es 708 W.

Proceso 4-5. Válvula de expansión: Expansión isentálpica desde 28 MPa hasta 6.2 MPa, la disminución inherente de la temperatura es hasta 297° K aproximadamente.

**Balances de Materia.** Entre las consideraciones realizadas para esto se tiene:

La reactividad del CO<sub>2</sub> es despreciable, no hay reacción química entre el FSC y cualquiera de los componentes de la matriz sólida.

Varios componentes están generalmente involucrados en la extracción; los ácidos grasos que conforman el aceite de girasol y el agua contenida en las semillas serán considerados como un único pseudo-componente denominado "extracto".

Base de Cálculo: 1 hora para todo el proceso.

Proceso en estado estacionario, es decir, cuando el reciclo está operando. Adicional a lo anterior se requiere de correlaciones que involucran las condiciones del fluido supercrítico con el soluto de interés; dentro de este grupo se encuentra la ecuación de Chrastil para el cálculo de solubilidades en el equilibrio. Se han realizado algunas modificaciones a esta ecuación para brindar una mayor precisión en los resultados y ampliar el rango de condiciones de operación en las cuales la correlación es aplicable.

**Diseño de los equipos principales.** Con el fin de proveer versatilidad en la operación de este sistema, ampliar su rango de aplicaciones una vez esté construido y dar un factor de seguridad extra en el funcionamiento del mismo, los equipos se conciben para las condiciones más adversas de uso, tales como un flujo máximo de CO<sub>2</sub> de 50 kg/h y una presión de diseño que duplica la presión de operación escogida en este trabajo (28 MPa). Las consideraciones y restricciones en el diseño de los equipos se dan a continuación:

**Intercambiador de Calor:** Se emplea el algoritmo para intercambiadores de doble tubo. El fluido a presión (CO<sub>2</sub>) debe ir por el tubo interno y el medio de calentamiento por el ánulo o tubo externo; esto por razones de costo y facilidad en la construcción. Se escoge el agua líquida a 365.15° K como medio de calentamiento debido a su costo relativamente bajo y fácil obtención en laboratorios y plantas industriales.

El material de construcción sugerido es acero inoxidable 316L, debido a que resiste tanto corrosión por CO<sub>2</sub> húmedo (en el interior del tubo) como por el agua caliente.

**Recipiente Extractor :** El algoritmo empleado es una recopilación y adaptación de metodologías seguidas por otros y las reglas de heurística aplicadas al diseño de recipientes de la literatura.

La presión de diseño se toma como el doble de la presión de operación; esto para darle versatilidad y un amplio rango de aplicabilidad al equipo una vez construido. El material de construcción sugerido es Acero Inoxidable 316L, debido a que es el más apropiado para aplicaciones en industrias alimenticias y farmacéuticas.

- Como la presión de diseño es positiva y excede el factor 0.385· S· E, se utilizan las fórmulas de Stress Circunferencial.
- El volumen efectivo del extractor: 5 litros.
- El recipiente en posición vertical y la entrada del fluido desde el fondo del mismo evita que las partículas se aglomeren y canalicen el flujo del solvente supercrítico.

**Separador Ciclónico:** - El algoritmo es una adaptación del modelo de Bradley para hidrociclones líquido – sólido, aproximando a las gotas de aceite como esferas sólidas. Esto puede justificarse debido a que existe diferencia entre las densidades de los líquidos (aceite y CO<sub>2</sub>), el tamaño de las gotas (50?m) es aproximadamente igual al de las partículas sólidas (40m – 400?m) tratadas en este tipo de equipos y el dimensionado resultante es coherente.

- Material de construcción sugerido: acero inoxidable 316L.
- Como la presión de diseño es positiva y no excede el factor 0.385· S· E, se utilizan las fórmulas de Stress Circunferencial para paredes cilíndricas tomadas de la referencia.

**Seguridad en las instalaciones.** Este factor determina los elementos de seguridad básicos necesarios para contrarrestar riesgos de diferente naturaleza tales como discos de ruptura y válvulas de alivio; para el caso de instalaciones supercríticas, se deben considerar los siguientes riesgos:

- Corrosión. Tiende a agravarse con la presencia de humedad en el CO<sub>2</sub>.
- Fatiga. Generado por el número creciente de ciclos de operación.
- Fragilización. Ocasionada por descensos de temperatura (hasta 233.15° K) debido a una rápida expansión del CO<sub>2</sub> en caso de fugas.
- Formación de CO<sub>2</sub> sólido. Es producido por una expansión rápida del dióxido de carbono.
- Factores externos. Presentados por causas ajenas a la operación del equipo tales como incendios y fenómenos naturales.

**Modelo Matemático de Transferencia de Masa:** Debido a que la extracción supercrítica es una operación unitaria de esta naturaleza, es necesario modelar las interacciones que se presentan entre el FSC, la matriz y el extracto, con el fin de predecir algunos datos de la extracción previo a una experimentación.

## RESULTADOS OBTENIDOS

**Descripción del Proceso.** Entran al proceso 50 kg/h de CO<sub>2</sub> líquido a una presión de 6.2 MPa y a una temperatura de 296.15° K, proveniente de un cilindro dotado con un sifón, a un filtro de carbón activado, en donde la humedad y las impurezas contenidas son retiradas.

Posteriormente entra a un baño refrigerante, constituido por CO<sub>2</sub> sólido, en el cual es enfriado para disminuir su temperatura en un rango de 273.15° K – 278.15° K (con el fin de evitar cavitación y un caudal irregular en la presurización). El CO<sub>2</sub> enfriado es succionado por una bomba de desplazamiento positivo, en donde aumenta su presión hasta 28 MPa; aquí el aumento de temperatura del CO<sub>2</sub> inherente a la etapa de compresión es hasta 285 ° K.

Posteriormente es conducido a través de un intercambiador de calor con el fin de ajustar su temperatura a las condiciones de extracción (313.15° K). Alcanzadas las condiciones supercríticas, el dióxido de carbono ingresa a un vessel extractor, el cual contiene 1.6135 kg de semillas de girasol, tratadas previamente (control de humedad y del tamaño de partícula), con el fin de extraer el aceite contenido en cada una de ellas. Una vez la mezcla de CO<sub>2</sub> supercrítico y aceite de girasol abandona el extractor sufre una despresurización hasta 6.2 MPa y 297° K, la cual conlleva a una disminución de la solubilidad y por ende a una separación de las dos fases, llevada a cabo en un separador ciclónico. El aceite de girasol sale del sistema para ser recolectado, mientras que el CO<sub>2</sub> es recirculado hacia el filtro de carbón activado para dar inicio una vez más al proceso.

En el momento en que ya no es posible retirar más aceite de girasol, se debe parar el proceso y despresurizar, para cargar nuevamente el extractor con la matriz sólida.

**Seguridad en los sistemas con FSC:** Utilizando un algoritmo de tipo cualitativo, en el cual se escoge entre dos sistemas de seguridad diferentes: válvulas de alivio y discos de ruptura, se escoge este último ya que no presentaría problemas de taponamiento por solidificación del CO<sub>2</sub> ante una rápida despresurización como sí lo presentaría una válvula de alivio. El número de discos de ruptura empleados en cada una de las zonas del proceso es uno, debido a que no es un proceso continuo y por lo tanto puede ser "parado" para reemplazar el disco.

**Estimación Económica preliminar:** Por tratarse de una estimación preliminar grado estudio, estos costos están basados en el PFD del proceso, con un rango de desviación de 30%. Para la actualización de los costos a octubre de 2002 se utiliza el Chemical Engineering Plant Cost Index por ser apropiado para procesos químicos e industriales. Sin embargo, lo anterior debe ser confrontado con cotizaciones realizadas por proveedores especializados en estas aplicaciones por presentar un valor calculado de costos un poco divergente con la realidad en algunos equipos.

## CONCLUSIONES

Se realizó el diseño conceptual de un equipo de extracción supercrítica, a escala banco, empleando dióxido de carbono como solvente, para la extracción de aceite de girasol a partir de sus semillas. Las condiciones de operación fueron fijadas en 28 MPa y 313.15° K por ser consideradas óptimas en la literatura para la selectividad y solubilidad del extracto en el solvente.

Mediante la selección de este tipo de matriz se logró presentar la versatilidad del proceso de ESC dentro de la industria alimenticia, hasta hoy considerado exclusivo para solutos de alto valor agregado en bajas concentraciones. Además se demostró la viabilidad operacional que posee este tipo de sistemas para la obtención de productos comunes de interés comercial que son producidos hoy en día por métodos convencionales.

Dentro del análisis de la interacción solvente – soluto se presentó una modelación matemática y un nomograma de la solubilidad en estado estacionario a las condiciones de extracción elegidas, que permite determinar teóricamente la cantidad de extracto presente en la fase supercrítica al variar el flujo másico de alimentación de CO<sub>2</sub> (y por ende el tiempo de residencia en el interior de la matriz), teniendo como resultados valores de concentración cercanos a la saturación.

Se seleccionó una configuración del proceso escala banco, semi-batch, con recuperación del solvente y despresurización hasta el estado líquido por presentar ahorros de tipo económico y energético comparado con otros arreglos existentes. Esta selección determina finalmente las operaciones unitarias requeridas



en el proceso, los equipos necesarios para su funcionamiento y los cambios energéticos del solvente.

El estudio termodinámico de cada una de las etapas involucradas en la ESC y del comportamiento del dióxido de carbono permitió la identificación de todas las condiciones de operación (temperatura y presión) requeridas para el diseño preliminar de los equipos y la selección de accesorios, dispositivos de seguridad y equipos complementarios.

El dimensionado resultante de los equipos principales, los materiales de construcción sugeridos y las recomendaciones para la construcción cumplen con la normatividad general para el diseño a altas presiones, la elaboración de productos para el consumo humano y reglas de seguridad básicas que deben ser tenidas en cuenta en este tipo de sistemas para un diseño detallado posterior y futuro montaje.

Aunque la estimación económica de este tipo de sistemas no es muy precisa por las altas presiones involucradas, en los resultados obtenidos en los recipientes a presión se lograron aproximaciones aceptables al ser comparadas con las propuestas económicas hechas por proveedores.

Se comprobó además que la estimación económica de los costos de capital en los principales equipos depende directamente de las condiciones de operación requeridas en cada una de las etapas, y se cuantificó cómo ligeras variaciones en éstas se ven traducidas en considerables ahorros o pérdidas de dinero.



## CONTACTOS

ISABEL CRISTINA GALLEGO     [igallego@eafit.edu.co](mailto:igallego@eafit.edu.co)  
DIEGO MAURICIO CASTAÑEDA     [dcastane@eafit.edu.co](mailto:dcastane@eafit.edu.co)

# **DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA EL MANEJO DE LA INFORMACIÓN EN LAS PLANTAS DE RECIBO DE LECHE DE LA COOPERATIVA COLANTA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

MONTOYA ROLDÁN, NATALIA Y JARAMILLO BARRERA, CATALINA

## **ASESOR**

INGENIERO ALBERTO CANO R.



## RESUMEN

En este proyecto se unifico, integro, organizo y sistematizo la información manejada en los diez recibos de leche de la Cooperativa Colanta; utilizando aplicaciones de programas ya existentes y diseñando herramientas en Excel que permitan el análisis, control y manejo eficiente de la información: inventarios, transporte, análisis calidad, pesaje, costos, compras, entradas, salidas, ventas, maquilas y distribución, de leche cruda.

Anteriormente los diez recibos ubicados en: Yarumal, Frontino, Santa Rosa, Pintada, Puerto Boyacá, Armenia, San Pedro, Medellín, Funza y Planeta Rica, Utilizaban formatos manuales para el manejo de la información diaria y luego semanalmente eran enviados por correo o por carrotaques a la Planta Medellín, donde allí se encargaban de reunirla. Esta era una forma poco segura, poco confiable y no eficiente de manejar la información. Debido a esto se vio la necesidad de: sistematizar todos los recibos, instalar redes de comunicación como Internet y módem, implementar las herramientas diseñadas y capacitar personal para el uso ellas, permitiendo: obtener información segura y confiable, mantener la información en línea, tener un acceso fácil a la toda la información que se requiere al momento de realizar un informe detallado, controlar las variaciones de inventarios, controlar todo el proceso desde la recolección de la leche hasta el descargue de la misma, conocer los carros que se encuentren en vía, implementar indicadores, reducir los errores, evaluar la labor de los supervisores, reducir desperdicios, verificar la calidad del producto, evaluar productores, entre otras.



## CONTACTOS

NATALIA MONTOYA R. [Nmontoy4@eafit.edu.co](mailto:Nmontoy4@eafit.edu.co)

CATALINA JARAMILLO B. [Cjaram20@eafit.edu.co](mailto:Cjaram20@eafit.edu.co)



**DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PILOTO  
PARA LA OBTENCIÓN DE SOLASODINA A  
PARTIR DE *SOLANUM MAMMOSUM***

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

**AUTORES**

ARROYAVE ESCOBAR, CATALINA Y RENDÓN FRANCO, JUAN FERNANDO.

**ASESOR**

JORGE ENRIQUE DEVIA P., Ph. D.



## RESUMEN

El *Solanum mammosum*, conocido como "Lulo de teta", es una especie perteneciente a la familia de las solanáceas, reconocida por su alto contenido de alcaloides aprovechables farmacéuticamente. Se ha encontrado que el alcaloide con mayor presencia en esta fruta es la solasodina, que es el compuesto nitrogenado análogo a la diosgenina, materia prima para la producción de anticonceptivos y otros compuestos esteroidales.

El primer paso para la obtención de solasodina es la extracción de los glicósidos del material vegetal, para lo cual se consideran dos procesos diferentes reportados en la literatura, escogiendo el de mayor rendimiento. La extracción de los glicósidos se hace por lixiviación del material vegetal con un tamaño de partícula tal que quede retenido en el tamiz de malla 50 y utilizando como solvente etanol comercial. Por medio de un diseño de experimentos factorial de dos factores a dos niveles se determina que el proceso de extracción de glicósidos debe realizarse en un tiempo de 100 minutos y un tamaño de partícula malla 50.

Los glicósidos obtenidos se purifican para pasar a la etapa de hidrólisis que se lleva a cabo durante tres horas, a 75° C, para formar el clorhidrato de solasodina y disminuir la formación de clorhidrato de solasodieno que se considera una impureza.

Luego se libera de la base del clorhidrato de solasodina para cristalizarla y así lograr la separación o aislamiento de la solasodina de otros compuestos. Una vez finalizado el proceso de extracción se obtiene un rendimiento de 1.473% de solasodina con respecto de los glicósidos puros susceptibles de ser hidrolizados. Este rendimiento se aproxima al reportado en la literatura revisada para la realización de este proyecto.

Para realizar el diseño conceptual del proceso de obtención de solasodina en planta piloto se establece como criterio de diseño producir 11 g del producto de interés, dado que el comercio de dicha sustancia se hace en cantidades pequeñas (miligramos). Para producir esta cantidad de alcaloide se requieren aproximadamente 18 Kg. de *Solanum mammosum* en estado "pintón" recolectados en el municipio de Barbosa (Antioquia). La cantidad de solasodina varía según las condiciones del lugar y estado de madurez donde se cultive esta fruta.

Se determina que el posible mercado de la solasodina es la industria productora de anticonceptivos, hormonas sexuales, inmunosupresores, corticosteroides, anticancerígenos, entre otras drogas esteroidales. Los posibles clientes serían los laboratorios que a nivel mundial fabrican estos fármacos como Schering Ploug, Bayer, Merck, Pfizer, entre otros. Por ser un producto netamente de exportación,

dado que en Colombia no hay ningún laboratorio que logre transformarla en precursor para principios activos de dichos fármacos, se lograría una gran cantidad de dinero por su venta ya que su precio internacional es de US \$ 184 por cada 100 mg. de la sustancia, aumentando las divisas que ingresan al país y contribuyendo al mejoramiento de la economía y a la generación de empleo.

Se hace un análisis económico preliminar del proyecto y con base en éste se determina la inversión requerida, que es de 66'315.170\$



## **CONTACTOS**

CATALINA ARROYAVE E. [carroyav@eafit.edu.co](mailto:carroyav@eafit.edu.co)

JUAN FERNANDO RENDÓN F. [jrendonf@eafit.edu.co](mailto:jrendonf@eafit.edu.co)



# **EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PECTINASA A PARTIR DE *ASPERGILLUS* *NÍGER***

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

MARÍN PALACIO, LUZ DEISY Y SALAZAR VÁSQUEZ, ANA MARÍA.

## **ASESOR**

ALEX ARMANDO SAEZ, QUIM. M.Sc.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo evaluar la producción de pectinasa a partir de una cepa nativa de *Aspergillus niger* AL 01 en sustratos elaborados a partir de la cáscara de naranja.

En el desarrollo del trabajo se realiza el estudio de la cinética de crecimiento celular, consumo de sustrato, generación de producto y actividad enzimática para la exo y endopoligalacturonasa de la cepa nativa a 30°C y 150 rpm, en medios con concentraciones de pectina extraída del albedo de naranja de 4.5, 10 y 15 g/l a un pH de 6 y un medio de control con 15 g/l de pectina cítrica comercial.

Se encontró que la mayor producción de biomasa se da en los medios de 10 y 15 g/l de pectina extraída; la mayor actividad enzimática encontrada, para la exopoligalacturonasa se da en el medio de 10 g/l y para la endopoligalacturonasa se da en el medio de control (15 g/l de pectina cítrica comercial), sin embargo, la actividad de este último es muy similar a la de los medios evaluados, por lo cual se puede decir que el medio más adecuado para la producción de pectinasa es el medio que contiene 10 g/l de pectina extraída de cáscara de naranja, además las productividades de los medios evaluados fueron mayores que las del medio de control.

Al comparar la mezcla enzimática obtenida en el laboratorio con una mezcla enzimática comercial (Citrozym Ultra L) de la casa Novozymes, se encuentra que la solución enzimática obtenida en el laboratorio posee una mayor actividad enzimática que la comercial, ya que requiere menor cantidad de exo-PG para liberar una micromol de ácido galacturónico por minuto, y una menor cantidad de endo-PG para reducir la viscosidad de una solución de pectina en un 50%.

Los resultados obtenidos permiten recomendar la solución pectina extraída de la cáscara de naranja como medio inductor y la cepa *Aspergillus niger* como productora de enzimas pectinolíticas usadas en la industria de zumos y mostos.

Este proyecto plantea además un nuevo uso para desechos como son las cáscaras de naranja resultantes de la fabricación de jugos y concentrados.



## CONTACTOS

LUZ DEISY MARÍN P. [Imarinpa@eafit.edu.co](mailto:Imarinpa@eafit.edu.co)

ANA MARÍA SALAZAR V. [Asalaza8@eafit.edu.co](mailto:Asalaza8@eafit.edu.co)



# **DISEÑO DE UN PROCESO A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE UN DEPILADOR**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

ARENAS CANO, ELIANA MARÍA Y DÍAZ YEPES, JULIANA.

## **ASESOR**

JORGE ENRIQUE DEVIA. Ph.D.



## RESUMEN

Con el desarrollo de este proyecto se pretende elaborar un depilador en spray como una buena innovación en el campo cosmético, con características de tiempo de acción, aroma y facilidad de uso como punto comparativo a los productos similares del mercado nacional.

Para el cumplimiento de este propósito se parte de una evaluación previa de la elaboración de los depiladores, al igual que los insumos requeridos para el proceso, con la finalidad de llevar a cabo diferentes ensayos que permitan seleccionar una formulación adecuada, otorgando al producto las características deseadas.

Este diseño, a escala de laboratorio, no pretende agotar posibilidades, ni ser un hecho aislado, sino por el contrario, ser la base para un posterior escalado llevando a la realidad la idea de producir un depilador como una alternativa de negocio, que favorezca el crecimiento de la economía colombiana.

**Ensayos preliminares:** Se evalúa el pH como una variable importante en cuatro valores respectivos: 10, 11, 12 y 12.5 y a diferentes concentraciones de Tioglicolato de Calcio y Urea. Para el ajuste del pH se usan dos bases distintas NaOH y Ca (OH)<sub>2</sub> al 20% para evaluar su efecto. A partir de este ensayo se logra determinar los mejores resultados a un pH de 12.0, que se encuentra en el intervalo sugerido en la literatura, por lo tanto esta variable se mantiene fija tanto en el diseño de experimentos como en los ensayos posteriores.

**Diseño de experimentos:** Este diseño evalúa primordialmente la acción de los dos componentes activos que son el Tioglicolato de Calcio como agente depilatorio y la Urea como acelerador de la reacción, para encontrar la concentración óptima de los mismos, mediante un diseño factorial de tres niveles cuya variable de respuesta es el porcentaje de depilación. Este diseño se hace por duplicado para tener una mayor confiabilidad en los resultados.

**Ensayos posteriore :** Para verificar la acción de la Urea como acelerador, se realiza un ensayo a tres niveles de Tioglicolato de Calcio (6, 8 y 10%) sin la presencia de Urea, en un tiempo de 10 minutos y a un pH de 12.0.

Adicionalmente se hace un ensayo partiendo de las mejores concentraciones del diseño de experimentos y se adiciona a todas las muestras un mismo porcentaje de extracto de caléndula al 2%, vitamina E al 1%, y distintos aromas en la búsqueda de disminuir el fuerte olor del componente .

Para complementar la formulación del depilador se adicionan otros componentes humectantes que conjuntamente sirven para darle al depilador una apariencia más homogénea y de mayor penetración en la piel.

Los resultados del ensayo de verificación de la acción de la Urea no son positivos porque el porcentaje de depilación es muy bajo, entre el 5% y el 30%, además se forman grandes aglomerados, es decir, no hay una buena disolución de las sustancias presentes en la mezcla.

La muestra N. 7 parece ser la más apropiada con respecto a las otras porque continúa con un porcentaje bastante alto de depilación 98-100%, presenta una coloración estable y poca sedimentación, además la esencia puede percibirse en un nivel aceptable.

Con base en las pruebas organolépticas que se aplican a cada muestra del diseño de experimentos, las mejores esencias que perduran con el tiempo son: maracuyá, fresa y manzanilla.

Luego de diferentes ensayos para la elaboración del depilador se determina la necesidad de adicionar otros componentes humectantes tales como sorbitol y aloe vera (zábila), que mejoran las propiedades del depilador en cuanto a humectación y apariencia, con el propósito de encontrar la formulación más completa.

La formulación final se muestra en la siguiente tabla:

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Tioglicolato de Calcio	10
Urea	4.0
Sorbitol	0.5
Vitamina E	1.0
Extracto de Aloe Vera	0.3
Extracto de Caléndula	2.0
Esencia	1.2
Agua desionizada	81
<b>Total</b>	<b>100</b>

De acuerdo con los resultados se encuentra que la mejor combinación de los componentes activos se obtiene en una concentración de 10% de Tioglicolato de Calcio y en la menor concentración de Urea, 4 %.

En un período de diez minutos se observan los mejores resultados del porcentaje de depilación donde el vello es degradado totalmente. En un tiempo aproximado de seis minutos, se presenta un efecto parcial porque el vello no se degrada por completo y quedan pequeñas raíces del pelo. En un período de dos

minutos no hay cambios significativos en la acción del depilador. Sin embargo, estos tiempos están relacionados con la estructura del vello de cada individuo.

El bajo efecto depilatorio de las muestras en el ensayo sin la adición de Urea, determina que su presencia es significativa para acelerar la acción depilatoria. Sin embargo en altas concentraciones su efecto es contrario al deseado. Uno de los factores más críticos durante los ensayos es el fuerte olor del componente activo, porque las esencias no logran enmascararlo totalmente. Sin embargo algunas de éstas, como la manzanilla y el maracuyá responden aceptablemente a esta característica.

**Factibilidad económica:** La cuantificación de los costos del producto a escala de laboratorio permite hacer un análisis económico preliminar para determinar la viabilidad de la introducción del producto al mercado, dichos costos se ilustran en la siguiente tabla.

#### Costo Unitario del producto

ITEM	COSTO UNITARIO (\$)
Materia Prima	4051
Envase	850
Etiqueta	250
Gastos Administrativos	405
Servicios Públicos	405
Mano de Obra	102
<b>TOTAL</b>	<b>6063</b>

De acuerdo al costo por unidad del producto, el precio de venta puede oscilar con base a la rentabilidad deseada y a un porcentaje de 35% asignado para el distribuidor, como se muestra a continuación:

#### Precio de Venta del producto

RENTABILIDAD (%)	PRECIO DE VENTA DE 120 ML (\$)
80	14800
100	16400
130	18900
150	20500

Existen productos de naturaleza similar que se encuentran en el mercado virtual y otros generalmente importados se ofrecen a nivel nacional, algunos de estos se presentan en la siguiente tabla:

**Productos depilatorios**

PRODUCTO	CONTENIDO (ml)	PRECIO (\$)
Epil Stop Spray	120	53100
Xelance - Spray	200	20621
Xelance - Crema	50	14721
Depiouro Spray	120	122769
Veet - Crema	100 gr	7750
Depilex - Crema	100 gr	7250
Touch me - Crema	100 gr	70000

Como se observa, el depilador se ajusta al margen de precios de los productos que cumplen una función similar, dispuestos en el mercado nacional e internacional.

**CONCLUSIONES**

Para definir las materias primas del producto es necesario analizar los aspectos de factibilidad en su consecución, los costos de estos insumos, al igual que la calidad de los mismos.

De acuerdo con el resultado del diseño de experimentos se recomienda que el tiempo necesario para una depilación satisfactoria sea de diez minutos, puesto que al cabo de este tiempo el vello es totalmente degradado.

El período de tiempo de acción del depilador, varía proporcionalmente con base en las características y sensibilidad del vello y a la piel particular de cada individuo.

El bajo porcentaje de depilación de algunas muestras puede asociarse a la alta sedimentación y presencia de aglomerados sólidos, en los cuales es posible que se concentre el Tioglicolato de Calcio, afectando de manera negativa la acción depilatoria.

Es necesario encontrar un equilibrio en las concentraciones de cada componente de la formulación y su respectiva interacción, porque si se presentan excesos en estos, su efecto puede disminuir.

El aroma es un factor crítico. Luego de realizar varios ensayos, se encuentra que las esencias de maracuyá, manzanilla y fresa presentan los resultados más satisfactorios, puesto que en el producto final se percibe un olor aceptable.

De acuerdo con la pre-factibilidad económica del producto se puede apreciar que este se acopla al intervalo de precios de productos análogos ofrecidos por la industria cosmética.

El proceso a escala de laboratorio para la producción del depilador permite visualizar un posible escalamiento, debido a que dicho proceso es sencillo, las materias primas son de fácil consecución, no requiere alta tecnología y exige poca mano de obra.



## **CONTACTOS**

ELIANA MARÍA ARENAS C. [Earenasc@eafit.edu.co](mailto:Earenasc@eafit.edu.co)

JULIANA DÍAZ Y. [jdiazyp@eafit.edu.co](mailto:jdiazyp@eafit.edu.co)

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF  
ACIDITY AND HYDROXYL GROUPS ON THE  
RING OPENING POLIMERIZATION OF  
POLY(LACTIC ACID) INCLUDING TEST BY  
REACTIVE EXTRUSION**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

**AUTOR**

SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, PAULA ANDREA.

**ASESOR**

MAREN HEINEMANN, ENG. RES. ASST



## RESUMEN

Poliláctido (PLA) es un poliéster alifático biodegradable producido a partir de recursos naturales renovables. Se espera que en el futuro los polímeros de ácido láctico como el poliláctido, desempeñen un papel importante no solo en la industria farmacéutica, sino también en la industria textil y de empaques; para esto es necesario llevar a cabo una producción comercialmente rentable mediante la optimización de las tecnologías de producción y las propiedades del material.

Con el fin de optimizar la producción se estudió la influencia de la acidez del monómero y la presencia de grupos hidróxidos en la conversión, la velocidad de reacción, el peso molecular resultante, así como su influencia en las propiedades térmicas, reológicas y mecánicas del polímero.

El efecto de la acidez del monómero en la producción de PLA mediante polimerización por apertura de anillo, utilizando como catalizador una solución equimolar de octoato de estaño y trifenolfosfina fue muy pronunciado. A medida que aumenta la acidez, aumenta el tiempo requerido para alcanzar velocidades de conversión constantes y la conversión final es menor. El aumento en la acidez es acompañado por la reducción del peso molecular del polímero y por lo tanto en la reducción de las propiedades reológicas. El porcentaje de cristalinidad del polímero es menor a medida que la acidez se incrementa. La temperatura de ebullición y de transición vítrea disminuyen cuando la acidez disminuye.

Estas relaciones eran esperadas, ya que las propiedades térmicas son dependientes del peso molecular, debido a que el aumento en este disminuye la movilidad de las cadenas y además el peso molecular está directamente relacionado con la acidez del monómero.

La adición de grupos hidróxidos disminuye el tiempo para alcanzar velocidad constante de conversión. Sin embargo a pesar de que el peso molecular se reduce no se observaron efectos negativos en las propiedades térmicas y mecánicas.



## CONTACTOS

PAULA ANDREA SÁNCHEZ [psanche2@eafit.edu.co](mailto:psanche2@eafit.edu.co)





# **EVALUACIÓN DE UN MEDIO DE CULTIVO OBTENIDO A PARTIR DEL FRUTO DE *PROSOPIS JULIFLORA***

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

MARTÍNEZ MORENO, ANA MARÍA Y SOLARTE VÁSQUEZ, JUAN FELIPE.

## **ASESOR**

ALEX ARMANDO SAEZ V., QUIM. M. Sc.



## RESUMEN

En este trabajo de investigación se evaluó un medio de cultivo para hongos elaborado a partir del fruto del árbol *Prosopis juliflora* como fuente nutricional, además de plantear una alternativa económica y ambiental, mediante la siembra y aprovechamiento integral del *Prosopis juliflora*.

En el desarrollo del trabajo se muestra los ensayos previos y la posterior selección de las etapas necesarias para la elaboración del medio de cultivo, mediante el procesamiento del fruto, aprovechando su alto contenido de carbohidratos.

La evaluación del medio obtenido se hizo cultivando tres hongos en medio líquido a concentraciones de 30,40 y 45 g/l de azúcares reductores, cantidades superior, igual y menor al azúcar reductor presente en el medio de control Sabouraud con 40 g/l de glucosa. Los parámetros tomados a consideración para el estudio del comportamiento de los hongos en el medio fueron las cinéticas de biomasa y sustrato, y el comportamiento de proteína y pH en el tiempo. Adicionalmente, se midió la actividad enzimática endopoligacturonasa para el *A. niger* y se evaluó el desarrollo de otros hongos del cepario del Laboratorio de Biotecnología de la Universidad EAFIT, en medio sólido.

Los hongos evaluados tuvieron una buena adaptación al medio y un crecimiento mayor a medida que aumentaba su concentración de azúcares reductores. El control presentó un buen crecimiento siendo menor al observado en el medio evaluado como control. La esporulación del *A. niger* y el *A. flavus* en el medios evaluados fue alta desde el inicio de la fermentación, contrario a lo observado en el control.

Los microorganismos presentaron una buena adaptación al sustrato. En el caso del *A. niger* el sustrato se consumió en su totalidad, a diferencia del *A. flavus* y el *T. harzianum* que aunque su consumo fue bueno no se agotó totalmente, quedando azúcares no metabolizables por estos microorganismos.



## CONTACTOS

ANA MARÍA MARTÍNEZ [amartin6@eafit.edu.co](mailto:amartin6@eafit.edu.co)

JUAN FELIPE SOLARTE [jsolarte@eafit.edu.co](mailto:jsolarte@eafit.edu.co)



# **RECICLAJE DE POLIESTIRENO EN RECUBRIMIENTOS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTOR**

OCHOA DÍAZ, CLAUDIA PATRICIA.

## **ASESOR**

JOSÉ ALBERTO ORREGO D., QUIM.



## RESUMEN

El comportamiento medioambiental de los materiales, que intervienen en todas y cada una de las actividades humanas es un tema de interés y trascendencia crecientes.

En la actualidad el Poliestireno que resulta como desecho en una enorme cantidad de aplicaciones primarias, es empleado en la industria de la construcción incorporándolo a otros materiales para usos específicos, en la fabricación de nuevas piezas de EPS, mejora de suelos, pero su inclusión como posible formador de película en recubrimientos ha sido tímida y muy discreta .

El poliestireno expandido no contiene CFCs (Clorofluorocarbonados) ni HCFCs (Hidroclorofluorocarbonados) agentes causantes de la degradación de la Capa de Ozono y por lo tanto, su fabricación y uso no conlleva ningún tipo de efecto sobre la degradación de esta.

La posibilidad de incluirlo como materia prima en fabricación de recubrimientos artesanales y/o esmaltes sintéticos o barnices , se formuló como objetivo general del presente trabajo de grado: Utilizar el Poliestireno de desecho en la elaboración de recubrimientos artesanales y/o como sustituto parcial de resinas en esmaltes sintéticos.

El poliestireno fue disuelto, para dar origen a una Solución de Poliestireno, el cual fue incluido como sustituto parcial de una materia prima en la elaboración de un esmalte semimate de uso doméstico y/o artesanal .

El poliestireno expansible es obtenido por la polimerización del monómero de estireno durante el cual se le agregan aditivos y agentes expansores, principalmente pentano.

Tanto el monómero de estireno como el pentano, son hidrocarburos puros derivados del petróleo y están constituidos solamente por hidrógeno y carbono. Por su bajo peso y bajo factor de conductividad térmica es usado principalmente como aligerante o aislante en la industria de la construcción y como material de embalaje por su ligereza y excelente poder amortiguador de impactos, entre otras muchas aplicaciones.

**Propiedades del Poliestireno:** Hay que tener en cuenta que, además de los enlaces covalentes que mantienen unidas a las moléculas de los monómeros, suelen producirse otras interacciones intermoleculares e intramoleculares que influyen notablemente en las propiedades físicas del polímero, que son diferentes de las que presentan las moléculas de partida. El poliestireno, en general, posee elasticidad, cierta resistencia al ataque químico, buena resistencia mecánica, térmica y eléctrica y baja densidad.

El poliestireno es un polímero termoplástico. En estos polímeros las fuerzas intermoleculares son muy débiles y al calentar las cadenas pueden moverse unas con relación a otras y el polímero puede moldearse. Cuando el polímero se enfría vuelven a establecerse las fuerzas intermoleculares pero entre átomos diferentes, con lo que cambia la ordenación de las cadenas.

EPS en Rellenos Sanitarios, Tiraderos y Basureros. Cuando el reciclado o rehúso no sea posible económicamente porque la cantidad involucrada es muy pequeña, los desperdicios del EPS pueden ser depositados en basureros o en rellenos sanitarios. Para esto, deben ser partidos en pedazos pequeños para facilitar su compactación.

El EPS en basureros o en rellenos sanitarios, lleva a una mejor ventilación, acelerando la degradación de otras sustancias orgánicas y disminuyendo el riesgo de pequeños incendios y gases molestos debido a su alta porosidad e hidrofobicidad.

El almacenamiento de las espumas de EPS no representa ningún problema, ya que no desprenden ninguna sustancia dañina al aire, suelo ni a los mantos freáticos.

¿El poliestireno expandido tiene emanaciones tóxicas y/o peligrosas para el ser humano?. El EPS no contiene ninguna sustancia peligrosa para el ser humano, ni para ningún ser viviente. La prueba más verdadera de ello es su utilización como conservador de frío para muchos alimentos, así como su uso, muy difundido como lecho filtrante en canchales, o como receptáculo de plántulas de diversas especies vegetales o en miles de artículos como vasos desechables, cucharas, entre otros.

¿El EPS, sufre algún proceso de deterioro con el paso del tiempo (putrefacción, evaporación, etc.)? ¿Cuál es su vida útil?. El EPS no sufre procesos de degradación, ya sea por el paso del tiempo, la influencia de los cambios climáticos, ni por los cambios de estado, ni de desprendimientos de ninguna partícula volátil o sólida.

¿Que Necesita la Producción de EPS en Términos de Recursos Naturales?. Dado que la producción de poliestireno expandido utiliza el petróleo y los productos petroquímicos, para el EPS son necesarios recursos naturales fósiles. De todos modos, comparado a otras áreas de la industria, el consumo de este recurso natural, para la realización del EPS, es realmente muy limitado. Toda la producción de embalaje en plástico no utiliza más del 2% de la producción mundial de petróleo. El embalaje en EPS utiliza menos del 0.1% de este recurso natural. Más del 86% del petróleo consumido se utiliza como combustible para la industria del transporte y para uso doméstico.

El Impacto Ambiental en la Producción de Embalaje en EPS. Todos los procesos de producción tienen un impacto ambiental, el cual puede ser causado por el consumo energético, o de los recursos naturales, por la contaminación atmosférica o por la generación de desechos.

Los análisis del ciclo de vida han demostrado que el embalaje en poliestireno expandido es más seguro a nivel ambiental respecto a materiales que le compiten. Durante la producción, el embalaje en poliestireno expandido tiene un impacto ambiental absolutamente inferior respecto a los productos en cartón en términos de contaminación atmosférica, energía utilizada, contaminación hídrica y efecto sobre el calentamiento global.

¿El EPS representa verdaderamente un problema como Material de Descarte?. El embalaje de poliestireno expandido consiste en 98% de aire y es comúnmente blanco, es fácilmente visible cuando viene eliminado.

Mientras esta visibilidad es extremadamente útil durante el proceso de separación y selección, la sucesiva recolección genera confusión en cuanto a la cantidad real de EPS usado. A causa del desarrollo del mercado de productos reciclados y el consiguiente aumento de la demanda de materiales usados, el EPS adquiere siempre un valor mayor. Si el EPS está disponible en cantidades suficientes, recogerlo para reciclarlo o recuperarlo sucesivamente puede ser una práctica realizable desde un punto de vista ambiental y económico. En el caso que el reciclaje mecánico no fuese posible, la recuperación de energía (combustible alternativo) puede resultar una alternativa adecuada.

¿El Poliestireno Expandido puede ser Reciclado?. Si el Poliestireno Expandido puede ser y es reciclado en todo el mundo. De todos modos como cualquier otro producto, no es acertado recogerlo si para reciclarlo se consume mayor energía que la que se podría obtener del material usado. No se debe consumir más recursos a través del reciclo de lo que se puede ahorrar.

¿El Poliestireno Expandido esta prohibido en alguna parte del mundo?. No, el Poliestireno Expandido no está prohibido en ninguna parte del mundo.

**Las pinturas:** Una pintura consiste esencialmente en un pigmento suspendido en un liquido adecuado, denominado vehículo. El vehículo puede ser un aceite, un barniz, o una disolución o suspensión de resinas naturales o sintéticas en un disolvente orgánico o acuoso.

El componente más importante de la pintura, según se deduce de su definición, es el ligante, el aglutinante o la resina: sin resina no habría capa de pintura. Las resinas ejercen un efecto barrera en las pinturas secas y sirven para aglomerar los pigmentos de las pinturas.

Existen dos objetivos principales: protección y decoración.

**Protección:** Frente a los agentes atmosféricos como humedad, radiación solar, productos químicos y daños mecánicos, es muy importante.

**Decoración:** (o aspecto visual), es una razón importante para pintar, ya que los elementos pintados se utilizan frecuentemente para comunicar algo visualmente.

Las pinturas están constituidas por:

Las Resinas o Ligantes. Son sustancias que forman una película continua que se adhiere al sustrato sobre un lado, se enlaza junto con otras sustancias en el recubrimiento para formar una película, que presenta una superficie adecuadamente dura hacia el exterior. Son materiales de origen natural (gomas, brea, caseína) o sintético (poliésteres, poliuretanos, alquídicas, Acrílicas), solubles en determinados disolventes, que al secar la pintura forman una capa sólida que resiste ciertas condiciones físicas y químicas.

Según la composición química las resinas se clasifican como: alquídicas, fenólicas, vinílicas, acrílicas, cauchos sintéticos, celulósicas, siliconas, poliésteres, poliuretanos; epóxicas, nitrocelulósicas, etc.

Pigmentos. Son sólidos insolubles finamente divididos, los cuales son dispersados en el vehículo (componentes volátiles) y permanecen suspendidos en el ligante después de la formación de la película.

El propósito primario de los pigmentos es proporcionar color y opacidad a la película de pintura. Sin embargo, ellos proporcionan efectos importantes sobre las características de aplicación y resistencias sobre las películas formadas.

Los Solventes. Son líquidos o mezclas de líquidos que son capaces de disolver los ligantes. Ellos hacen que el recubrimiento fluya lo suficiente en el proceso de aplicación y posteriormente se evaporen durante y después de la aplicación.

Los Aditivos. Son sustancias que son generalmente adicionadas en pequeñas cantidades y las cuales tienen efectos tecnológicos ó químicos particulares.

Los Espesantes y modificadores reológicos: Estos aditivos influyen sobre una serie de propiedades tales como: viscosidad, consistencia, retención de agua, tiempo abierto, nivelación, comportamiento a la sedimentación, estabilidad de almacenamiento, propiedades de aplicación tales como chorreo, salpicado, entre otros.

Estos productos pueden ser orgánicos e inorgánicos, de tipo natural ó sintético. Pueden ser basados en polisacáridos como la HEC, CMC; espesantes sintéticos como los acrílicos ó uretánicos ; inorgánicos como las bentonitas, hectoritas, etc.

Pastas Colorantes Concentradas. Son dispersiones de pigmento único en un medio adecuado, normalmente no filmogéno, escogido por su compatibilidad con una cierta gama de pinturas.

**Clasificación de las Pinturas:** De acuerdo con su composición y la manera como secan, las pinturas se clasifican como:

- Vinilos. Conocidos popularmente como "Pinturas arquitectónicas diluibles con agua" cubren los objetos con una capa coloreada, de brillo variable, que oculta la superficie y seca por evaporación del agua.
- Esmaltes. Son pinturas coloreadas que aplicadas a los objetos los cubren con una capa brillante, semibrillante o mate, que oculta la superficie y seca por oxidación con el oxígeno del aire como los esmaltes, por reacción con calor como los esmaltes horneables para autos y electrodomésticos, o por reacción química como los esmaltes poliuretanos para aviones.
- Barnices. Son productos transparentes, con brillo o sin él, cubren los objetos dejando visible la apariencia de la superficie. Algunos barnices secan por oxidación con el oxígeno del aire, otros secan por reacción con calor o por reacción química.
- Lacas. Son pinturas coloreadas o incoloras, transparentes, brillantes, semibrillantes o mates, que secan principalmente por evaporación de los componentes volátiles.
- Pinturas en Polvo. Son productos sin disolvente, aplicables con equipos especiales (pistola electrostática o lecho fluidizado), curan por horneado y se caracterizan por su extraordinaria resistencia física y química. Se ofrecen en variados colores y grados de brillo. En la industria de la construcción se utilizan en perfiles, cocinas, cielos rasos, lámparas y otros objetos metálicos.

Obtención de la solución de poliestireno: Inicialmente se realizaron una serie de experimentos con los cuales se pretendía encontrar la concentración óptima por peso del Poliestireno reciclado disuelto en Xilol, esto se logró variando las dosificaciones de los materiales. La concentración óptima de la Solución de Poliestireno encontrada fue del 35% en peso.

### **Proceso para producir la solución e poliestireno**

Pesar cada una de las materias primas por separado según las cantidades establecidas previamente.

Cargar a reactor el Xilol.

Agregar los trozos de Poliestireno lentamente con agitación continua.

Agitar por un periodo de 20 minutos a velocidad media.

Recuperar 100 % de perdidas por peso con Xilol.

Pasar la Solución de Poliestireno por una salchicha de Nylon y luego por un filtro Cuno, con el fin de disminuir las impurezas en el producto.

Envasar y almacenar.

Recolección Materia Prima. La recolección debería llevarse a cabo a través de un sistema similar al empleado para la recuperación de desechos de papel o de vidrio, es decir, a través de recuperadores callejeros.



**Selección del Material.** Se realiza en forma manual. Su objetivo es, por una parte, clasificar el material en forma definitiva y, por otra, eliminar las impurezas gruesas del material, tal como etiquetas, corchetes, scotch, etc.

**Elaboración de la Solución.** La solución se elabora disolviendo el Poliestireno reciclado (luego de ser filtrado) con Xilol en un Dispersador de Alta Velocidad con agitación continua.

**Filtrado.** Al tener la solución terminada, primero se pasa la solución por una salchicha de nylon y luego con el fin de eliminar al máximo las impurezas (polvo, mugre, tintas, etc) que pueda tener este se procede a filtrarlo en un filtro cuno.

Cuando la solución sale del filtro, se encuentra óptima para ser empleada como materia prima en la elaboración del barniz.

**Controles antes de Envasar.** Se realiza la caracterización completa de la Solución de Poliestireno, con el fin de conocer sus propiedades y establecer si su desempeño es bueno.

**Envasado.** Se procede a envasar y almacenar el producto (Solución de Poliestireno).

### **Elaboración del esmalte empleando Poliestireno reciclado como parte de una materia prima**

Al encontrar el % óptimo en peso de Poliestireno , se realizaron 44 ensayos combinando la Solución de Poliestireno con otras resinas como: Resinas Alquídicas en Xilol, Resinas Alquídicas en Varsol, Resina Acrílica, Maléica, Ester de Colofonia, Caucho Clorado, Resina Estirenada y Nitrocelulosa; con el fin de hallar la compatibilidad entre estas.

Al final se encontró que era compatible solamente con la Resina Alquídica Corta en Xilol, y se procedió a la elaboración de un barniz.

Se llevaron a cabo una serie de ensayos, con los cuales se pretendía determinar la incidencia del Poliestireno al ser incluido en la formulación de una pintura comercial (esmalte semi-mate). Esto se logro modificando la concentración de la Resina Alquídica.

Cada uno de los ensayos realizados se comparó con relación a un esmalte semimate de la Compañía, siendo definido este como el estándar.

Los elementos empleados en los ensayos son: Resina Alquídica, Solución de Poliestireno, Varsol, Cargas o Extendedores (Carbonato de Calcio y Talco), Pasta Blanca, Xilol, Secantes.

### **Selección de las Materias Primas**

Se seleccionó el Dióxido de Titanio como pigmento activo por su excelente resistencia y su gran poder tintóreo (luz, intemperie, etc)

Se optó por trabajar con Carbonato de Calcio y Talco como pigmentos no reactivos en este sistema, ya que estos pigmentos actúan como rellenos (disminuyen costos, son inertes dentro del sistema y promueven la resistencia a la intemperie ).

La Resina Alquídica corta de soya en Xilol, se seleccionó principalmente por su compatibilidad con el sistema que se evaluó (Solución de Poliestireno).

El disolvente seleccionado fue el Xilol, ya que es el más compatible y económico para el sistema (Solución de Poliestireno – Resina Alquídica).

### **Descripción del Proceso de fabricación del esmalte**

Los procesos de producción se llevan a cabo de la siguiente forma:

Pesar cada una de las materias primas por separado en orden y en las cantidades indicadas para empastado.

Cargar en un tanque con agitación continua, dispersar por un periodo de tiempo de 45 minutos en un Dispersador de Alta Velocidad hasta que la mezcla este homogénea con agitación constante.

Chequear el Grado de Dispersión o Molienda, mínimo 3.5 Hegman.

Recuperar 100 % de pérdidas por peso con Xilol.

Agregar con agitación continua los demás componentes en el orden indicado durante 10 minutos.

Agregar Xilol para ajustar viscosidad.

Pasar el Esmalte por una salchicha de Nylon, con el fin de disminuir las impurezas en el producto.

Envasar.

Evaluar propiedades.

Almacenar.

La razón por la cual se decidió trabajar con Poliestireno Expandido (EPS) o Icopor, fue el hecho de que existían antecedentes de éxito con este material reciclado, aplicado a otras aplicaciones como adhesivos para PVC, Barnices artesanales, etc.

Otra razón es el hecho de materializar la posibilidad de recoger un poco el volumen de este material desechado y recuperarlo en la fabricación de otro producto que no generará un impacto ambiental tan grande.

Si bien el nuevo producto tiene un desempeño levemente inferior al estándar, el cual no tiene Solución de Poliestireno, constituye una nueva forma de aprovechar los desechos de Poliestireno y, en forma promisoria, sugiere la posibilidad de generación de empleo para los recicladores o empresas de reciclaje, las cuales

podrían captar el Poliestireno, convertirlo en Solución y venderlo filtrado a la Compañía Pintuco S.A. para esta emplearlo en la fabricación del esmalte. Esto constituiría un éxito del trabajo.

Todo el EPS reciclado puede ser empleado como materia prima para la fabricación de la Solución . Las posibles fuentes de abastecimiento de Poliestireno reciclado son diversas, y los proveedores podrían ser entidades o empresas dedicadas al reciclaje, generando de este modo una fuente de trabajo.

El factor ecológico se ve beneficiado al tener una alternativa para la disposición de los residuos del EPS, ya que con la inclusión de este en la formulación de una pintura se disminuye en un 6% la cantidad de Resina Alquídica contenida en esta clase de productos.

No se requieren de procesos alternativos a los de la elaboración de la pintura tradicional para que el Poliestireno seleccionado pueda ser incluido en una formulación de pintura.

Debido a que el EPS contiene hasta un 98 % de aire encapsulado, su presentación generalmente ocupa volúmenes grandes, por lo que es recomendable tener un espacio suficiente para el almacenamiento del mismo, además de su pronta dilución, con el fin de disminuir costos locativos y evitar contaminaciones visuales.



## **CONTACTOS**

CLAUDIA PATRICIA OCHOA [cochoadi@eafit.edu.co](mailto:cochoadi@eafit.edu.co)



# **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE SOLVENTE EN QUÍMICA AMTEX S.A.**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

ARAQUE OCHOA, LILIANA MARÍA Y MALDONADO CASTAÑO, CATALINA MARÍA.

## **ASESOR**

MANUEL LAMBRAÑO, I. Q.



## RESUMEN

Este trabajo tiene como finalidad evaluar el proceso de recuperación y purificación del solvente usado en la etapa de lavado de la CMC (Carboximetilcelulosa) en Química AMTEX S.A. con el fin de establecer los parámetros que permitan predecir las pérdidas de dicho solvente en el proceso.

En la etapa de purificación, se purifica el solvente proveniente de la etapa de lavado el cual contiene sales de Glicolato de Sodio y Cloruro de Sodio.

En la etapa de recuperación, el solvente remanente en la CMC es recuperado por medio de un sistema de vacío e inyección de vapor en un equipo llamado CGT.

El nombre del solvente a analizar se mantiene en reserva por petición de la empresa Química AMTEX S.A.

La metodología para abordar el problema consiste en la toma de muestras de alimentación, fondo y destilado de las torres de destilación (etapa de purificación) para su posterior análisis y determinación de la concentración real de solvente presente en las mismas, determinando así la composición real de cada una de las corrientes.

Para la determinación de la concentración real de solvente se realizan destilaciones a las muestras de alimentación y fondo en el laboratorio, con el fin de retirar el Glicolato de Sodio y Cloruro de Sodio presentes en dichas muestras, los cuales son subproductos generados por reacciones de eterificación. Luego se procede a la medición de densidades para el caso de las muestras de alimentación y destilado.

En las muestras de fondo, la concentración de solvente presente se determina por medio de cromatografía de gases, ya que las cantidades de solvente presentes en esta corriente son mínimas.

Una vez conocidas las composiciones reales de cada corriente se procede a diseñar una hoja de cálculo en donde se predicen los flujos de las torres de destilación de acuerdo con la variación de la alimentación, a través de balances de materia.

Para el análisis de la etapa de recuperación se realiza un diseño de experimentos que ayuda a determinar las pérdidas de solvente y los parámetros de operación que hacen que éstas disminuyan. Así, primero se estudian las variables que se controlan en esta etapa y se eligen las de mayor influencia, siendo estas el flujo de alcohol, la presión de vapor y la viscosidad, para su análisis.

Se mide la concentración de solvente presente en muestras de CMC húmeda tomadas a la entrada y salida del equipo de recuperación de solvente (CGT).

La determinación de la concentración de solvente se realiza por cromatografía de gases. Como las muestras se encuentran en estado sólido se realizan diluciones preliminares.

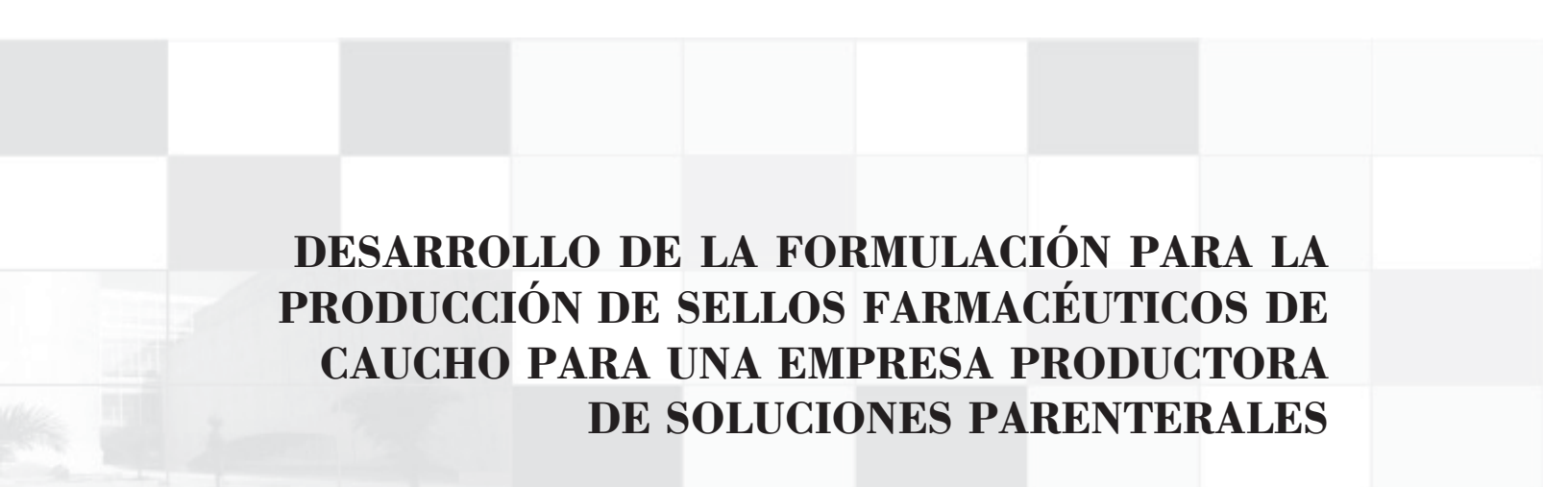
Conociendo las concentraciones de solvente en cada corriente del CGT se elabora una hoja de cálculo en donde se presentan los flujos y composiciones de entrada, salida y recuperación de solvente.



## **CONTACTOS**

LILIANA MARÍA ARAQUE [laraqueo@eafit.edu.co](mailto:laraqueo@eafit.edu.co)

CATALINA MARÍA MALDONADO [cmaldona@eafit.edu.co](mailto:cmaldona@eafit.edu.co)



**DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN PARA LA  
PRODUCCIÓN DE SELLOS FARMACÉUTICOS DE  
CAUCHO PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA  
DE SOLUCIONES PARENTERALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

**AUTOR**

GONZÁLEZ ISAZA, DIANA PATRICIA.

**ASESOR**

NELSON CASTAÑO CIRO, I. Q.



## RESUMEN

Las soluciones parenterales son productos que requieren un estricto control de calidad debido a que son usadas como tratamiento terapéutico y son inyectadas vía sanguínea en personas que presentan problemas de salud. Por lo anterior, las soluciones parenterales se deben producir bajo unas condiciones asépticas muy especiales que garanticen la ausencia de sustancias que puedan afectar adversamente la efectividad terapéutica como sustancias que puedan presentar reacciones tóxicas, pirogénicas ó hemolíticas. Por lo tanto, las materias primas y los insumos utilizados en su producción deben cumplir requerimientos especiales.

Las soluciones parenterales son empacadas en bolsas de polietileno de baja densidad. Entre la bolsa y la tapa lleva un sello farmacéutico de caucho, que sirve para facilitar la dilución de medicamentos y/ó el retiro de la solución. A este sello se le hace un minucioso análisis de calidad que incluye pruebas de resistencia al procesamiento, de manipulación y de desempeño. Cuando se presentan problemas de calidad se debe devolver el insumo al proveedor para que sea cambiado por uno de óptima calidad.

En algunas ocasiones la empresa ha tenido problemas de calidad con el sello farmacéutico de caucho, que es importado, con el inconveniente de un alto costo, tramitología y demora para devolverlo al proveedor en el exterior, y su posterior reposición. Además no se ha encontrado quien pueda producirlo a nivel nacional cumpliendo con las estrictas especificaciones de calidad.

Debido a los requerimientos de calidad, los sellos farmacéuticos de caucho deben ser producidos bajo condiciones ambientales especiales que son difíciles de lograr en una empresa de caucho convencional, y requerirían una inversión muy alta por parte del proveedor. Por lo tanto, es muy difícil conseguir un proveedor dentro de Colombia, y especialmente en la ciudad de Medellín. La empresa está interesada en solucionar de raíz este problema, produciendo este insumo directamente dentro de sus instalaciones, debido a que cuenta con las condiciones ambientales necesarias para garantizar la asepsia del producto. Razón por la cual no habría necesidad de una inversión adicional por este concepto.



## CONTACTOS

DIANA PATRICIA GONZÁLEZ [dgonzal4@eafit.edu.co](mailto:dgonzal4@eafit.edu.co)





# **DISEÑO BÁSICO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES DE PLANTAS AROMÁTICAS CULTIVADAS EN EL PACÍFICO COLOMBIANO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

LOZADA PERDOMO, INGRID Y GARCÉS TIRADO, ANA MARÍA.

## **ASESOR**

JORGE ENRIQUE DEVIA P., Ph. D.



## RESUMEN

Dentro de las plantas aromáticas y medicinales cultivadas en el Pacífico Colombiano, un grupo de más de siete variedades de albahaca (*Ocimum spp.*), corresponde a uno de los recursos con mayor atractivo debido al alto valor comercial y a la amplia gama de aplicaciones de sus aceites esenciales.

La identificación de las necesidades tecnológicas para emprender en el negocio de los aceites esenciales de albahacas, requiere necesariamente desarrollar una etapa investigativa, donde se lleven a cabo pruebas de extracción y validación de la experiencia productiva. Por lo tanto, la construcción de un equipo de extracción a una escala adecuada es necesaria para este fin.

El diseño básico de una planta piloto de extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas realizado en el presente proyecto de grado, permitirá posteriormente su construcción, montaje y puesta en marcha, para luego, de acuerdo con los resultados obtenidos, implementar un modelo de desarrollo bioempresarial en el Pacífico Colombiano.

El diseño básico de una planta de extracción por arrastre con vapor de 200 L de capacidad en el tanque extractor, comprende:

- PFD (Process Flow Diagram).
- Diseño básico de los siguientes equipos: tanque extractor, intercambiador de calor y separador.
- Selección del generador de vapor.
- Selección de accesorios y equipos complementarios.
- Estimación de costos de inversión y de operación.

Los criterios de sostenibilidad social, ambiental y económica que enmarcan el proyecto garantizan un favorable impacto sobre la comunidad, el ambiente y el desarrollo económico de la región.

El aprovechamiento sostenible de los recursos vegetales aromáticos se refiere, no solamente a la conservación de los recursos en su medio natural, sino también a la conservación de la *biodiversidad cultural* que los integra y los aprovecha. Es claro que la pérdida de la identidad cultural es uno de los factores que más afecta la estabilidad de las especies en su medio natural. Además, lograr la reintegración del individuo con su medio natural es fundamental para fortalecer los procesos de desarrollo socioeconómico de sus poblaciones.

Bajo estas premisas, las comunidades del Pacífico Colombiano, coadyuvadas por organizaciones amigas, entre ellas la Fundación Espavé, se vislumbran hoy como un sistema de aprovechamiento sostenible de

los recursos aromáticos cultivados en esta zona. El reto actual se constituye entonces en la identificación de iniciativas sostenibles para la transformación de estos recursos en productos de mayor valor agregado, orientada a la comercialización a niveles más que locales.

El emprendimiento en el negocio de los **aceites esenciales**, como una de estas iniciativas, comprende inicialmente la identificación de una demanda potencial, la selección de las plantas aromáticas promisorias y la identificación de las necesidades tecnológicas, todas enmarcadas en criterios de sostenibilidad social, ambiental y económica.

Dentro de las plantas aromáticas y medicinales cultivadas en el Pacífico Colombiano, un grupo de más de siete variedades de albahaca (*Ocimum spp.*), corresponde a uno de los recursos con mayor atractivo debido al alto valor comercial y a la amplia gama de aplicaciones de sus aceites esenciales.

Para la identificación de las necesidades tecnológicas en este emprendimiento, es necesario desarrollar una etapa investigativa, donde se lleven a cabo pruebas de extracción y validación de la experiencia productiva. Por lo tanto, la construcción de un equipo de extracción a una escala adecuada es necesaria para este fin.

El diseño básico de una planta piloto de extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas realizado en el presente proyecto de grado, permitirá posteriormente su construcción, montaje y puesta en marcha, para luego, de acuerdo con los resultados obtenidos, implementar un modelo de desarrollo bioempresarial en el Pacífico Colombiano.

Como resultado de la investigación se da respuesta a las siguientes preguntas:

- Cuáles son los parámetros de operación del proceso de extracción de aceites esenciales de variedades de albahaca reportados en la literatura?
- Cuáles son los rangos de operación requeridos para un proceso con una versatilidad tal que permita la extracción de aceites esenciales de distintas plantas aromáticas y medicinales?
- Cuáles operaciones unitarias son requeridas en el proceso de extracción de aceites esenciales por arrastre con vapor a escala piloto? Cuáles son los equipos correspondientes a dichas operaciones?
- Cuáles son los parámetros de diseño de los equipos requeridos?
- Cuáles son las características de los accesorios y equipos complementarios que se deben seleccionar?
- Cuáles son los costos de inversión y de operación de la planta piloto?



## CONTACTOS

INGRID LOZADA P. [ilozadap@eafit.edu.co](mailto:ilozadap@eafit.edu.co)

ANA MARÍA GARCÉS T. [agarcest@eafit.edu.co](mailto:agarcest@eafit.edu.co)



# **DISEÑO CONCEPTUAL DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UN ALMIDÓN MODIFICADO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

HERNÁNDEZ USUGA, VÍCTOR HUGO Y SOTO PEREZ, JUAN DAVID.

## **ASESOR**

GUILLERMO LEÓN PALACIO G., Ph. D.



## RESUMEN

En este proyecto se estudia el proceso para la obtención de un almidón modificado extraído a partir del almidón de yuca dulce por medio de la modificación química de entrecruzamiento con el reactivo base oxiclورو de fósforo.

Partiendo de un polímero natural de gran abundancia en el reino vegetal como el almidón, se puede obtener una alta variedad de usos industriales y principalmente aplicaciones en la preparación de alimentos. El empleo del almidón se basa en su capacidad de formar pastas y geles en medios acuosos, estas características son otorgadas sus principales componentes, la amilosa y amilopectina.

A partir de la experimentación se logró determinar las variables críticas del proceso como son el porcentaje de oxiclورو de fósforo (POCl<sub>3</sub>), relación Agua/ Almidón y tiempo de reacción; donde los rangos de operación se establecieron entre 0.05% - 0.1% para el oxiclورو de fósforo, entre 1.25 y 4.75 para la relación y un mínimo de 45 minutos y máximo de 195 minutos para el tiempo de reacción.

En el mercado mundial los almidones están ganando terreno debido a que su variabilidad de modificaciones le permite entrar a nuevos mercados con nuevos productos.

Hoy en día los mayores productores son América y Asia y los mayores consumidores de almidones modificados son Estados Unidos y Japón, donde Colombia participa en un pequeño porcentaje de importaciones para la industria de alimentos principalmente. Con este proyecto se pretende proponer una forma de abastecer internamente esta necesidad.

En la actualidad en Colombia se posee una alta demanda de aditivos para productos alimenticios, cerca de ocho millones de dólares se están generando por importaciones de almidones modificados, pues no poseen industrias ni procesos especializados en la modificación del almidón.

Los almidones modificados poseen un amplio rango de aplicaciones, estas variaciones parten desde la extracción del almidón nativo hasta el tipo de modificación que se le realice, ya sea química o física, y estas a su vez varían dependiendo del tipo de reactivo y de las condiciones en que se realice el proceso.

Siempre teniendo en cuenta como objetivo final, el consumidor. Por esta razón se pretende generar tecnologías que faciliten la producción del almidón modificado a partir de almidón nativo para obtener un producto final con mayor valor agregado. El valor agregado incorporado al producto, no sólo representa grandes ganancias, además proporcionara una base técnica para determinar líneas de procesos versátiles que permitan la fabricación de diferentes almidones modificados usados en la industria de alimentos.

En este trabajo se estudian las posibilidades técnicas y comerciales del proceso de modificación química del almidón. El diseño conceptual elaborado genera una base preliminar de cómo se puede desarrollar el proceso, además se encuentra en conjunto con su análisis económico.

Para ello, se efectúa la investigación de las propiedades básicas del almidón de yuca, así como de las condiciones óptimas del proceso de obtención. Igualmente, se buscan las propiedades más importantes de los almidones que se encuentran en el mercado.

El propósito fundamental de este trabajo es generar información de excelente calidad para que las empresas productoras de almidón nativo, se enfoquen en desarrollar alternativas de nuevos productos.



## **CONTACTOS**

VÍCTOR HUGO HERNÁNDEZ. [vhernán2@eafit.edu.co](mailto:vhernán2@eafit.edu.co)

JUAN DAVID SOTO P. [jsotoper@eafit.edu.co](mailto:jsotoper@eafit.edu.co)

# **EXTRACCIÓN DE $\beta$ -CAROTENO A PARTIR DE ACEITE CRUDO DE PALMA AFRICANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

GRISALES GONZÁLEZ, NATALIA Y JARAMILLO OSORIO, CAROLINA.

## **ASESOR**

GUILLERMO LEÓN PALACIO G., Ph. D.



## RESUMEN

Este proyecto de investigación se realiza con el objetivo de extraer un colorante natural: el  $\beta$ -caroteno, a partir del aceite crudo de palma africana, debido a que como se reporta en la literatura, el aceite de palma presenta una de las más altas concentraciones del pigmento en la naturaleza. Su estructura química es la siguiente:

Para lograr tal fin la investigación se apoyó en un diseño de experimentos que permitió a encontrar los factores y sus niveles, de manera que se optimicen tanto el proceso de extracción como la concentración del compuesto de interés.

Para la extracción del  $\beta$ -caroteno se realizó inicialmente la saponificación alcalina del aceite, seguida de la extracción correspondiente con el solvente y una serie de etapas de separación que contribuyen a incrementar la pureza del pigmento, finalmente se realizaron pruebas de cuantificación mediante espectroscopía UVVIS.

Los resultados arrojados por los ensayos de laboratorio se analizaron con el programa estadístico STATGRAPHICS®, el cual determinó que el punto óptimo de extracción es:

- Tiempo de saponificación de 4 horas
- Éter de petróleo como solvente extractor
- KOH en solución metanólica (17% p/v) como base para la saponificación

Como resultado final del proceso se obtiene el  $\beta$ -caroteno en solución de éter de petróleo. El compuesto se caracteriza por medio de técnicas instrumentales tales como espectroscopia UV-VIS e infrarroja y una prueba cualitativa con ácido sulfúrico.

Se realiza un análisis económico preliminar para comprobar la factibilidad económica del proyecto, arrojando una tasa interna de retorno (TIR) del 150%, un valor presente neto para el flujo de caja de \$59.65 millones y utilidades a partir del primer año de operación.



## CONTACTOS

NATALIA GRISALES G. [ngrisale@eafit.edu.co](mailto:ngrisale@eafit.edu.co)

CAROLINA JARAMILLO O. [Cjaram21@eafit.edu.co](mailto:Cjaram21@eafit.edu.co)



**PROCESO DE EXTRACCIÓN DE COLORANTE  
NATURAL A PARTIR DEL REPOLLO MORADO  
(*BRASSICA OLERACEA VAR. RUBRA*)**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

**AUTOR**

LOPERA LOPERA, SANTIAGO.

**ASESOR**

JORGE E. DEVIA PINEDA, Ph. D.



## RESUMEN

La utilización de compuestos colorantes como aditivos para mejorar la apariencia y mercadeo de los alimentos es una práctica muy común en la industria.

A mediados del siglo XIX los colorantes utilizados en diferentes aplicaciones (incluyendo la industria alimenticia) provenían únicamente de sustancias encontradas en la naturaleza. Sin embargo, a medida que el siglo XX se aproximaba, fueron surgiendo de los laboratorios químicos sustancias sintetizadas a partir de derivados del petróleo con características colorantes muy interesantes. Estos colorantes sintéticos, debido a su bajo costo y gran poder de coloración, rápidamente desplazaron del mercado a los colorantes naturales, al mismo tiempo que creaban una gran variedad de problemas para el medio ambiente y para la salud de sus consumidores.

La FDA (U.S. Food and Drug Administration) es la agencia estadounidense encargada de regular el uso de colorantes en alimentos, drogas y cosméticos. Es así como, esta agencia clasifica los colorantes permitidos en "certificables" y "exentos de certificación". Los primeros son aquellos diseñados y manufacturados por el hombre. Existen nueve en esta lista: *Azul No.1, Azul No.2, Verde No.3, Rojo No.3, Rojo No.40, Amarillo No.5, Amarillo No.6, Naranja B y Rojo Citrus No.2*. En tanto que los colorantes "exentos de certificación" son aquellos obtenidos de fuentes naturales, sean estas vegetales, animales o minerales. Se incluyen en esta lista: *Annatto (extracto de Achiote), Beta-caroteno, Betanina, Caramelo, Carmín, Antocianinas, Paprika, Riboflavina*, entre otros.

La mayor preocupación con respecto a los colorantes orgánicos sintéticos está relacionada con la salud pública. Algunas acusaciones han sido hechas con respecto a reacciones alérgicas causadas por la *tartrazina (Amarillo No. 5)* y a cáncer de tiroides en ratas de laboratorio causado por el *Rojo 3*. La percepción del público de que los productos naturales son más saludables que los sintéticos ha hecho que, a pesar de sus limitaciones en cuanto a costo, la demanda de colorantes naturales se haya incrementado a tasas mayores que la de colorantes sintéticos en los últimos años (4% anual de los naturales frente a 2% anual de los sintéticos, en promedio). Además, el uso de colorantes naturales en Europa y Estados Unidos está siendo impulsado por la funcionalidad nutritiva y farmacéutica encontrada en algunos de ellos. Por ejemplo, las *antocianinas* (pigmento rojo presente en algunas frutas y vegetales, incluyendo el repollo morado) exhiben una actividad antioxidante atractiva.

En la actualidad existen empresas a nivel mundial que extraen antocianinas de diversas fuentes, incluyendo el repollo morado. Sin embargo, en Colombia no se aprovecha el potencial de esta hortaliza, que se comercializa sólo como alimento. El precio promedio de un kilogramo de repollo morado en el mercado colombiano es de \$ 300 (trescientos pesos).

Con este proyecto se pretende dar solución al problema de demanda creciente de colorantes naturales en el mundo, en detrimento del consumo de colorantes sintéticos, mediante el diseño de un proceso de extracción del colorante de las hojas de repollo morado (*antocianinas*) que es útil en reemplazo de los colorantes *Rojo No.3*, *Rojo No.40* y *Rojo Citrus No.2*, dando al mismo tiempo un mayor valor agregado a un producto agrícola que en la actualidad es de muy bajo costo en el país. Para esto, es necesario determinar el método más apropiado para la extracción del colorante y las variables que influyen en el proceso, posterior optimización de dichas variables mediante un diseño de experimentos y caracterización del colorante obtenido.



## **CONTACTO**

SANTIAGO LOPERA L. [slopera@gamma.com.co](mailto:slopera@gamma.com.co)

# **EVALUACIÓN DE UN ENCOLANTE NATURAL PARA FIBRAS DE ALGODÓN A PARTIR DEL BANANO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

MEJÍA GUTIÉRREZ, PAULA ANDREA Y MUÑOZ SIERRA, MARÍA PAOLA.

## **ASESOR**

GUILLERMO LEÓN PALACIO G., Ph. D.



## RESUMEN

La fabricación de telas modernas es un proceso complicado y complejo. El éxito en el campo textil no se logra porque sí. Es el resultado de mucho pensar y planificar. Es el producto final de la habilidad para enfocar un bagaje de conocimientos que comprenden el uso correcto de hombres, materiales y maquinaria.

De todas las decisiones tomadas en una operación textil, ninguna es más importante que la decisión de cómo y con qué se habrá de encolar la urdimbre, con el cual se facilitará directamente el proceso de tejeduría.

Esta afirmación ha sido ampliamente confirmada por el desarrollo de nuevos telares de alta velocidad donde el encolante juega el papel fundamental para lograr la máxima eficiencia.

La tecnología química ofrece una abundante cantidad de materiales encolantes, productos basados en polímeros naturales, semi-sintéticos y sintéticos, que juegan un papel primordial junto con los desarrollos logrados en fibras y combinaciones de fibras, equipos nuevos y modificaciones de los existentes, en el éxito de una planta textil.

Esto se logra seleccionando los materiales encolantes que más se adaptan al hilado o filamento que se encole y mediante la correcta aplicación de la cola en la urdimbre. Los materiales encolantes más finos y costosos no harán el trabajo por si solos si se cometen errores al seleccionar los ingredientes o al pasar la urdimbre por la encoladora. Tampoco los materiales encolantes más pobres tendrán éxito en las mejores condiciones. Invariablemente es indispensable la combinación correcta de materiales, equipos y procesos.

Todas aquellas personas que trabajan en el proceso de encolado, tejeduría e ingeniería de cualquier industria textil, deben estar atentos a todos los desarrollos en productos encolantes, con el fin de aprovechar cualquier ventaja competitiva o distintiva que puedan ofrecer estos en sus operaciones.

Ya que reconocemos la importancia de este proceso en la industria textil, hemos llevado a cabo este trabajo de investigación, con el fin de aportar ideas innovadoras en el campo de los encolantes aprovechando nuevas materias primas, que como el almidón de banano, no han sido tomadas en cuenta en los productos existentes y que pueden convertirse por si solas en una alternativa para mejorar la productividad de las instalaciones textiles, y dinamizar además el sector agroindustrial con una nueva fuente de desarrollo.

Estamos conscientes de que muchas veces, un nuevo o distinto material encolante puede aumentar enormemente la eficiencia en la sala de tejeduría, o reducir costos operativos o, en último caso, ambos.

Se desea que el producto obtenido en la realización de este proyecto tenga unas características competitivas en la industria basadas en los siguientes parámetros, los cuales enfocan de una manera muy amplia y completa la formación del Ingeniero de Procesos:

**Aprovechamiento de residuos como fuente de materias primas:** Según AUGURA (Asociación de Bananeros de Colombia) actualmente se cultiva al rededor de 30.000 hectáreas de banano en la zona del Urabá Antioqueño. En el año 2000, Colombia exportó 84 millones de cajas de banano, convirtiéndose en uno de los primeros productos agrícolas de exportación del país. Sin embargo, aproximadamente una tercera parte del banano cultivado en esta zona es desperdiciado por no cumplir con los requisitos de exportación; según el estado en que se encuentre, se regala o se vende a muy bajo costo, convirtiéndose en una materia prima altamente aprovechable y de alto valor para la producción de este tipo de producto, ya que posee las cualidades básicas necesarias.

Gracias a esto, se le puede dar un valor agregado adicional, obteniendo el almidón contenido en el banano, el cual puede usarse como base del agente encolante, proporcionando las cualidades mínimas requeridas para formar una película flexible capaz de adherirse y dar resistencia a las fibras de algodón en particular, dentro del proceso de producción de telas.

**Biodegradabilidad del producto:** Uno de los mayores problemas del uso de encolantes sintéticos es la gran carga contaminante que producen al ambiente, especialmente al agua que es un recurso natural no renovable, por lo cual se requiere la producción de encolantes que se bioeliminan fácilmente y que no requieran procesos adicionales de tratamiento de aguas. Este problema ambiental se reduce significativamente al usar el almidón como base del encolante ya que se degrada biológicamente .

**Desarrollo de nuevos productos en la industria colombiana:** El producir un encolante natural especializado en fibras de algodón, puede llevar a generar una nueva posibilidad de negocio, ya que en el país no se ha obtenido este tipo de producto con estas especificaciones, a partir del banano como materia prima, proyectándose en el futuro con buen impacto laboral y económico.



## CONTACTOS

PAULA ANDREA MEJÍA G. [pmejagu@eafit.edu.co](mailto:pmejagu@eafit.edu.co)

MARÍA PAOLA MUÑOZ S. [paomunoz@eafit.edu.co](mailto:paomunoz@eafit.edu.co)

# **FOTODEGRADACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE Y 4-CLOROFENOL MEDIANTE CATALIZADORES MEZCLADOS CON $\text{TIO}_2$ .**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

PALACIOS CHAMAT, CLAUDIA; BAENA RESTREPO, CATALINA Y MEDINA FLÓREZ, JUAN MIGUEL.

## **ASESOR**

EDISON GIL PAVAS, I. Q., M. Sc.



## RESUMEN

Dada la fuerte contaminación a la cual nos vemos enfrentados, a causa de la actividad industrial en la que se generan vertimientos con un alto grado de compuestos como el cromo hexavalente y 4-clorofenol, se han desarrollado técnicas eficientes como la "fotocatálisis" que logran disminuir o eliminar la concentración de dichos contaminantes o transformarlos en materiales inocuos al hombre y a la naturaleza.

También pueden ser procesados eficientemente por plantas de tratamiento biológico, por adsorción con carbón activado u otros adsorbentes, o por tratamientos químicos convencionales (oxidación térmica, cloración, ozonización, permanganato de potasio, etc.). Sin embargo, en algunos casos estos procedimientos resultan inadecuados para alcanzar el grado de pureza requerido por ley o por el uso ulterior del efluente tratado. La fotocatalisis, en cambio, logra reducir la concentración de estos contaminantes hasta los niveles permisibles por el ministerio del medio ambiente.

Por esta razón se elige este método, que además presenta las siguientes ventajas.

- No sólo cambian de fase al contaminante (como ocurre en el arrastre con aire o en el tratamiento con carbón activado), sino que lo transforman químicamente.
- Generalmente se consigue la mineralización completa (destrucción) del contaminante. En cambio, las tecnologías convencionales, que no emplean especies muy fuertemente oxidantes, no alcanzan a oxidar completamente la materia orgánica.
- Usualmente no generan barros que a su vez requieren de un proceso de tratamiento y/o disposición.
- Sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración (por ejemplo, ppb).
- No se forman subproductos de reacción, o se forman en baja concentración.
- Son ideales para disminuir la concentración de compuestos formados por pretratamientos alternativos, como la desinfección.
- Generalmente, mejoran las propiedades organolépticas del agua tratada.
- En muchos casos, consumen mucha menos energía que otros métodos (por ejemplo, la incineración).
- Eliminan efectos sobre la salud de desinfectantes y oxidantes residuales.

Con base en las ventajas anteriormente descritas, se puede decir que la fotocatalisis es un método rentable, de fácil implementación y uso.



El desarrollo de este método tiene diferentes impactos:

- *Impacto Académico:* este proyecto permitirá a la Universidad EAFIT impulsar el desarrollo del método de descontaminación de aguas residuales en el ámbito local, regional, nacional e incluso internacional. También, permitirá adquirir una conciencia ambiental, ya que el proceso de transformación a utilizar es más "amigable" con el medio ambiente.
- *Impacto Tecnológico:* La fotocatalisis es uno de los métodos más promisorios para la destrucción de sustancias tóxicas. Es una reacción química heterogénea generada por la radiación UV y la incorporación de fotocatalizadores sólidos en suspensión. La interacción de la luz con la materia ha sido tema de investigación por las autoridades científicas de tiempo atrás y, aun hoy, se continúa estudiando en el ámbito mundial.
- *Impacto Ambiental:* los recursos de tipo hídrico han sido objeto de especial interés y preocupación, siendo necesarios para cualquier actividad industrial, agrícola o de supervivencia humana. La comprensión de esta realidad ha hecho que se comience a legislar y controlar el uso, la conservación y la descarga de las corrientes hídricas.

El proceso de detoxificación, basado en el uso de catalizadores a base de titanio, mediante una reacción de fotocatalisis, presenta un alto potencial de aplicación en la industria, mediante la destrucción de compuestos orgánicos tóxicos presentes en agua produciendo así un cambio del medio contaminante.

- *Impacto Social:* el hombre, en su empeño por satisfacer sus necesidades, ha causado innumerables modificaciones en la naturaleza, sin desconocer que todas estas actividades han contribuido a mejorar las condiciones de vida en muchas regiones, pero también en muchos casos ha comprometido seriamente el recurso agua.

A medida que la población aumenta las industrias también crecen, las cuales a su vez vierten en las aguas un vasto conjunto de contaminantes. En éste proyecto, el método de descontaminación, se presenta como una práctica prometedora para la recuperación de fuentes hídricas contaminadas; el procedimiento hace parte de las acciones concretas y oportunas para garantizar en un futuro la calidad de las fuentes de agua.



## CONTACTOS

CLAUDIA PALACIOS [cpalaci7@eafit.edu.co](mailto:cpalaci7@eafit.edu.co)

CATALINA BAENA [cbaenare@eafit.edu.co](mailto:cbaenare@eafit.edu.co)

JUAN MIGUEL MEDINA [jmedina2@eafit.edu.co](mailto:jmedina2@eafit.edu.co)

# **DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN TINTAS S.A.**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTOR**

GONZÁLEZ ESTRADA, JUAN DIEGO.

## **ASESOR**

INGENIERO CARLOS ANDRÉS OCHOA



## RESUMEN

La Planeación y Programación de la manufactura en una compañía, es una actividad compleja que requiere de un equipo de trabajo que se desempeñe bajo un marco uniforme y con la búsqueda de cumplir los objetivos, estrategias y políticas dictadas por la alta dirección de la empresa. Existen múltiples enfoques para diseñar e implementar el sistema único y formal en el que una compañía manufacturera debe abordar su actividad de planeación y programación de la producción. Estos sistemas se han desarrollado, implementado y probado en diferentes compañías y culturas del mundo y suelen atribuirse a países o empresas en particular como es el caso de JIT y MRPII en Japón (Toyota) y Estados Unidos (IBM) respectivamente. Incluso llegan a atribuirse estas filosofías a reconocidos personajes de la academia y la industria.

Hoy en Tintas S.A. se cuenta con un conjunto de herramientas que se han desarrollado al interior con base en las necesidades que se han presentado en el tiempo y obedeciendo a los cambios que la compañía ha sufrido durante su crecimiento. Estas herramientas representan un sistema informal y desintegrado que apoya la actividad de los departamentos de Logística y Producción y con el que estos se sienten cómodos para el cumplimiento de sus responsabilidades. Sin embargo, estos sistemas informales son fuente de problemas no cuantificados hasta hoy como son la desintegración de la información, la fuga de conocimiento dentro de la compañía, los obstáculos en la comunicación y la toma de decisiones no oportuna y desactualizada, además de un exceso de adiciones a los programas de compras y producción.

En Tintas existe un sistema ERP llamado Royal 4 en el que se administra el flujo de información en las actividades de inventarios, contabilidad, compras, ventas y otros departamentos. Como muchos sistemas de su tipo, Royal 4 incluye un módulo para la planeación y programación de la manufactura que la compañía no ha explotado hasta ahora, por lo que se puede afirmar que este ERP es subutilizado. Se identifica entonces como una oportunidad de mejora para Tintas la implementación de este módulo como sistema único para la planeación y programación de la manufactura. La filosofía de planeación y programación incluida en Royal 4 es el MRPII puro, y en este proyecto se presenta el diseño de una metodología para la implementación del Módulo MPS como punto de partida para que la empresa se proponga formalizar la implementación de todo el sistema MRP.

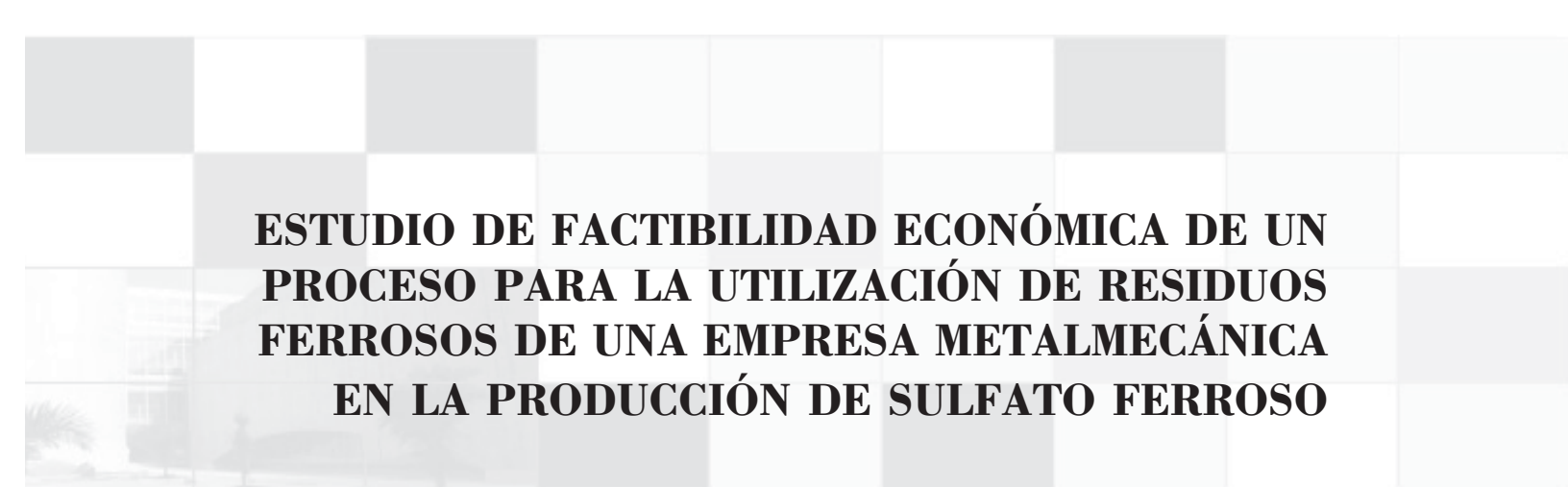
En el diseño de la metodología se calculan los parámetros técnicos requeridos como entradas al sistema, se desarrollan políticas y procedimientos de comunicación y ejecución para cada una de las áreas involucradas y se presenta la corrida de pruebas piloto con análisis de resultados y recomendaciones.

Además, se aborda el tema de los pronósticos ya que son fuente de polémica al interior de la empresa y es una entrada fundamental para el módulo MPS.



## CONTACTO

JUAN DIEGO GONZÁLEZ [jdgonzalez@grupomun.com](mailto:jdgonzalez@grupomun.com)



**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE UN  
PROCESO PARA LA UTILIZACIÓN DE RESIDUOS  
FERROSOS DE UNA EMPRESA METALMECÁNICA  
EN LA PRODUCCIÓN DE SULFATO FERROSO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

**AUTORES**

TAMAYO TORO, CARLOS AUGUSTO Y VILLEGAS GARCÍA, JAIME ANDRÉS

**ASESOR**

INGENIERO LUIS OLIVERIO CÁRDENAS



## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de grado es presentar un análisis económico que permita determinar si el proceso de obtención de sulfato ferroso heptahidratado a partir de los desechos de una industria metalmeccánica es una alternativa viable de ingreso para las empresas de este sector y una solución a los problemas ambientales que originan.

Para la realización del estudio de factibilidad económica del mencionado proceso se comienza por corroborar los datos que obtenidos en un anterior diseño de experimentos realizado por un grupo de estudiantes en su proyecto de grado "Análisis y alternativas de solución para las emisiones de una industria metalmeccánica". Los resultados de dicha comprobación experimental supero las expectativas y por recomendaciones del cuerpo docente de la universidad se decide enviar las muestras obtenidas en el laboratorio a un proceso de caracterización con el fin de determinar el nivel de pureza y su composición.

Luego de realizada la caracterización, el laboratorio encargado de dicho proceso determinó que la muestra cumplía con los estándares de calidad del sulfato ferroso según la norma USP – 24, apto para el consumo humano y de óptima calidad.

Posteriormente se procede a seleccionar los equipos necesarios para la producción del sulfato ferrosos a partir de la limalla de acero. Se determina que el reactor debe cumplir con las siguientes características: resistente a los ácidos, a cambios bruscos de temperaturas, a trabajo en elevadas temperaturas y finalmente debe ser de bajo costo. Se concluyó entonces que dicho reactor debe ser elaborado en fibra de vidrio con una resina de bifenol A. Al mismo tiempo se comienza proceso de inteligencia de mercados, con una exhaustiva búsqueda de información sobre importaciones de este producto al país, para determinar la demanda y generar una proyección más acertada del negocio.

Para la recolección de esta información se usan bases de datos como Intlexport, Proexport, Andi, Bacex entre otras. El estudio de esta información demuestra que el producto tiene buen potencial para ser comercializado en el mundo y a nivel nacional, permitiendo identificar estos dos mercados como aptos para ser atacados.

Con base en la información recolectada hasta este punto se realiza un análisis financiero, que incluye el cálculo de los costos, los ingresos, las inversiones necesarias y los estados financieros proyectados a cinco años. Estos análisis dan como resultado utilidades positivas a partir del segundo año, obteniendo pérdidas sólo para el año en que se inician las operaciones. Adicionalmente, se obtiene una TIR del 64%, lo que representa una opción atractiva para los inversionistas



## CONTACTOS

CARLOS TAMAYO [ctamayo1@eafit.edu.co](mailto:ctamayo1@eafit.edu.co)

JAIME ANDRÉS VILLEGAS [jvilleg5@eafit.edu.co](mailto:jvilleg5@eafit.edu.co)



# **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ACIDIFICACIÓN BIOLÓGICA PARA EL COCIMIENTO DE MOSTOS CERVECEROS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

**AUTOR**

RESTREPO MORENO, DIANA MARCELA

**ASESOR**

ING. ESNER ELÍAS VALENCIA



## RESUMEN

El presente trabajo de grado, tuvo como objetivo implementar un sistema de acidificación biológica a escala laboratorio, que permitiera acondicionar los valores de pH en las etapas de maceración y cocción del proceso de cocimiento de mostos cerveceros y que proporcionara la información suficiente para un escalamiento futuro del sistema. Para ello se empleo el ácido láctico obtenido a partir del *Lactobacillus amylolyticus*.

Para llevar a cabo el trabajo se determinó el protocolo de manejo, conservación y almacenamiento del microorganismo a evaluar (*Lactobacillus amylolyticus*) en períodos cortos de tiempo, se establecieron las técnicas de análisis para la cuantificación de ácido láctico producido, cuantificación de biomasa producida, extracto y pH; además se realizó un diseño de experimentos para determinar los valores óptimos de las variables de proceso, definidas de acuerdo con el conocimiento del proceso fermentativo. Posteriormente se realizaron las recomendaciones para llevar a cabo el escalamiento industrial del sistema.

Mediante los experimentos realizados se encontró que el método más adecuado para la conservación y almacenamiento del microorganismo (*Lactobacillus amylolyticus*) era el de preservación en aceite mineral estéril a 4°C; además se estableció que la técnica más adecuada para la cuantificación de ácido láctico producido era la espectrofotométrica debido a que ésta es más sencilla y precisa. Además de la técnica espectrofotométrica, se empleó la técnica de titulación volumétrica debido a que esta es ampliamente utilizada en la industria. Para el caso de la cuantificación de la biomasa producida se utilizó la técnica de conteo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC), ya que esta es la que más se adecua al microorganismo. La medición del extracto original se realizó por medio de un densímetro y la medición de pH por medio de pH metro.

Para determinar los valores óptimos para el rango de trabajo de las variables definidas para el proceso de acidificación biológica, se realizó un diseño de experimentos del tipo 2k con adición de puntos centrales, tomando como variables de entrada la temperatura y el extracto y como variables de respuesta el porcentaje de ácido láctico producido y el pH.

A través del diseño de experimentos se logro determinar que la temperatura y el extracto son variables significativas en la producción de ácido láctico y que solo la temperatura es relevante en la reducción de pH del mosto. Además se logró determinar que los valores óptimos de temperatura y extracto para el proceso de acidificación biológica son 47° C y 16° C, logrando así una concentración óptima de ácido láctico del 1,1% (W/V) y un pH óptimo de 3,0.

Para llevar a cabo el escalamiento industrial del proceso se recomendó trabajar en los valores temperatura y extracto anteriormente mencionados, con una dosificación de ácido láctico de 3,14 hL tanto para la olla de cocción como para la olla de masas. Además se recomendó usar un reactor tipo cilíndrico – cónico de 100 hL para realizar la fermentación.



## **CONTACTO**

DIANA MARCELA RESTREPO [drestr15@eafit.edu.co](mailto:drestr15@eafit.edu.co)



# **EVALUACIÓN DE AUTOADHESIVOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA POLIMERIZACIÓN DEL ÁCIDO ACRÍLICO EN UN MEDIO ENRIQUECIDO CON ALMIDÓN DE YUCA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

COSSIO MESA, LINA FERNANDA Y ROMERO QUINTERO, SARAH.

## **ASESOR**

GUILLERMO LEÓN PALACIO, Ph. D.



## RESUMEN

En el presente proyecto experimental se ponen a prueba las propiedades adhesivas, cohesivas y conductoras de la electricidad de las mezclas poliméricas de ácido acrílico en un medio enriquecido de almidón de yuca con objetivo final de obtener un autoadhesivo de presión sensitiva.

Se estandarizan las condiciones de operación físicas y químicas, estableciendo los rangos en que son viables las mezclas de ácido acrílico con almidón de yuca.

Como criterios de selección del mejor proceso polimérico y la mejor combinación de materias primas se escogen las normas de resistencia al pelado, resistencia al cizallamiento y adhesión instantánea de la PSTC (Pressure Sensitive Tape Council) para evaluación de adhesivos de presión sensitiva. Para cuantificar el desempeño como elemento conductor entre la piel humana y un aparato electromédico se harán medidas de resistencia eléctrica.

Se define un porcentaje óptimo de almidón de yuca del 3.44% con un 24% de ácido acrílico, con tiempo de curado de 15 minutos a 95° C para conseguir un electrodo funcional que cumple con los requerimientos para su uso en aplicaciones biomédicas que involucran conducción de corriente eléctrica.

Se realiza todo el proceso de elaboración del autoadhesivo, empezando en la polimerización, pasando por la aplicación sobre el sustrato y el curado final para obtener el producto en forma sólida. Finalmente se costea el proceso a nivel de laboratorio para estimar los gastos de producción.



## CONTACTOS

LINA FERNANDA COSSIO [lcossio1@eafit.edu.co](mailto:lcossio1@eafit.edu.co)

SARAH ROMERO [sromeroq@eafit.edu.co](mailto:sromeroq@eafit.edu.co)

**DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PARA LA  
OBTENCIÓN DEL COLORANTE DEL HELECHO  
COMÚN (*PTERIDIUM AQUILINUM*).**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

**AUTORES**

BRACHO DÍAZ, CAMILO AMARÚ Y PAREDES ALVARADO, RODOLFO AQUILEO.

**ASESOR**

JORGE ENRIQUE DEVIA PINEDA, Ph. D.



## RESUMEN

Los colorantes han sido durante mucho tiempo una parte importante en la cultura humana. Arqueólogos han descubierto colorantes cosméticos que datan del año 5000 A.C.; un análisis de muestras de lana tomadas de algunos de los tapices flamencos en la colección del Museo Metropolitano de Arte en Nueva York se llevó a cabo en el "Institut Royal du patrimoine artistique" en Bruselas.

El análisis químico mostró que la amplia gama de colores de los tapices se obtuvo de tres colorantes de tres vegetales: 1) colorante rojo de la raíz de la planta perenne herbácea *Rubia tinctorum*, 2) colorante amarillo proveniente de una planta herbácea, *Reseda luteola* y 3) colorante azul de la planta cruciforme *Isatis tinctoria*. En aquella época se utilizaban estos colorantes primarios para obtener los tintes que se necesitaban, tales como: amarillo brillante, naranjas y ocre, amarillo castaño, azul verdoso, azul índigo, negro, el cual se obtenía con sales de aluminio como mordiente, además de otros colores secundarios.

La evidencia arqueológica de otro textil muestra el uso de otros colorantes nativos de plantas que producen el espectro castaño – púrpura y amarillo. También se encontraron colorantes provenientes de insectos tales como: el kermes (*Kermococcus vermilio*), un insecto que infesta el roble del kermes europeo del sur, el cual produce un rojo luminoso al ser aplastado; la cochinilla polaca (*Porphyrophora polonica*) es un insecto del centro de Europa con propiedades similares; el bicho de la cochinilla (*Dactylopius coccus*) no fue conocido sino hasta el descubrimiento de América. Un rango amplio de tintes sutiles puede lograrse combinando dos y a veces tres colores, y por la adición de los mordientes metálicos se mejora la permanencia y la durabilidad de los colores. En nuestro país, comunidades indígenas utilizaban tintes negros obtenidos de la jagua y rojos obtenidos del achiote para teñir tejidos de algodón y pintar utensilios de cocina entre otros (Londoño, 2001). Sin embargo, los colorantes naturales fueron desplazados por los sintéticos en el siglo XIX por su bajo costo y su alto rendimiento en el teñido.

Actualmente, el mercado de colorantes es dominado por los sintéticos y la industria de colorantes y pigmentos se está enfrentando a un gran reto a nivel mundial porque se ha encontrado que la gran mayoría de colorantes que se obtienen sintéticamente presentan problemas de tipo ambiental y de salud, por lo que se les han impuesto muchos controles y reglamentaciones que aumentan significativamente los costos; esto se evidenció cuando en 1977 Dupont descontinuó su producción de su línea "colorantes de tina" ya que se hizo inviable el proceso por el incremento de los costos debido a los controles ambientales.

Además, la industria maneja un gran número de intermediarios cíclicos, muchos de los cuales se han sabido son carcinogénicos y otros están bajo sospecha. A nivel nacional, la producción de colorantes sintéticos domina este tipo de industria, debido a que en Colombia no se ha establecido aún ningún tipo de control significativo, sin embargo, el impacto ambiental en la actualidad es importante, por tal motivo, la tendencia de la legislación colombiana, presionada por los estándares ambientales internacionales,

es de aumentar su severidad, lo cual implicaría grandes incrementos en los costos de producción de este tipo de colorantes. Algunas de las materias primas principales para la producción de colorantes sintéticos son importadas, y se está desperdiciando una gran cantidad de recursos naturales con los que cuenta el país.

Los colorantes naturales se han convertido en una alternativa eficaz en vista de la creciente conciencia ecológica y el aumento en costos de la producción de colorantes sintéticos por las cada vez más exigentes restricciones ambientales, por esta razón la industria de colorantes naturales está creciendo más rápido que la de los artificiales.

Atendiendo al naciente mercado de los colorantes naturales en Colombia y para contribuir a resolver el problema de salud y de contaminación que se genera con los colorantes sintéticos se propone este proyecto con el fin de continuar la búsqueda de fuentes naturales de colorantes que puedan ser utilizados en las diferentes industrias, como la textil. El impacto económico y ambiental del proyecto es importante, ya que la industria de colorantes naturales trae consecuencias positivas en la búsqueda de la reactivación económica mediante el aprovechamiento responsable de los recursos naturales colombianos, la reducción de costos en el tratamiento de las aguas residuales de los procesos de tintura, la conservación del medio ambiente y el cuidado de la salud de las personas implicadas en el proceso de producción de colorantes.

Por esto el proyecto se enfoca al aprovechamiento de una planta que es muy común en nuestro medio y que traería grandes beneficios, además de lo anteriormente mencionado, en la industria textil. Existe una gran riqueza de colorantes naturales no explotados en el país. Este proyecto contribuye a la explotación de una de estas riquezas creando un impacto social importante en el campesinado, ya que muchas veces no se sabe qué hacer con la maleza y no se ve como una oportunidad de trabajo.

El *Pteridium aquilinum*, en particular, es considerado como maleza y sus condiciones de cultivo no son muy exigentes, es por esta razón que la adquisición de la materia prima es una gran ventaja competitiva ante otro tipo de colorante; además se abre un campo importante en la investigación académica orientada hacia la obtención de otros colorantes a partir de plantas que no han sido investigadas hasta ahora.



## CONTACTOS

CAMILO AMARÚ BACHO [cbrachod@eafit.edu.co](mailto:cbrachod@eafit.edu.co)

RODOLFO PAREDES [rparede1@eafit.edu.co](mailto:rparede1@eafit.edu.co)



# **SELECCIÓN DE UN PROCESO PARA DESHIDRATAR UCHUVA (PHYSALLIS PERUBIANA)**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

MEJÍA RUIZ, CARLOS ALBERTO Y ZULUAGA GIRALDO, VÍCTOR HUGO.

## **ASESOR**

JORGE ENRIQUE DEVIAP., Ph. D.



## RESUMEN

En el presente proyecto se estudia el comportamiento de la uchuva sometida a diferentes procesos de deshidratación, de forma aislada y combinada.

Inicialmente se evalúan procesos aislados de deshidratación como deshidratación osmótica (DO), secado por aire caliente (SAC), y secado al sol.

En la DO se estudia el desempeño de varios agente osmodeshidratante, como azúcar, miel de abeja y sorbitol a diferentes concentraciones; se evalúa la pérdida de peso y porcentaje de humedad, también se realizan experimentos a condiciones de vacío, temperaturas por encima de la ambiental y con agitación.

También se evalúa el desempeño del SAC con uchuvas sin un pretratamiento y uchuvas con pretratamiento de DO.

Se encuentra que las mejores condiciones de operación se presentaban con un proceso combinado DO-SAC, siendo el azúcar el mejor agente osmodeshidratante, a una concentración de 70° Brix por un tiempo de 24 horas; de igual modo se determinaron las mejores condiciones para el SAC por medio de una prueba sensorial para determinar la aceptación del producto, hallándose el mejor punto de operación a una temperatura de 58° C y un periodo de 11 horas. Se utiliza un diseño de experimentos de 2 variables con tres niveles, tanto para la DO como para el SAC.

Se hace un análisis microbiológico que arroja unos resultados positivos con todos los límites aceptables según el INVIMA para frutos deshidratados, asegurando así un producto en condiciones óptimas para el consumo humano.

Al final se desarrolla un análisis financiero, para determinar la viabilidad económica del proyecto. Se encuentra que la inversión inicial del proyecto es de \$ 84.535.298.00., un valor presente neto de \$105.995.522.00 y una tasa interna de retorno del 44.65%

En años recientes el consumo de frutas tropicales ha venido aumentando en regiones donde dichos frutos no crecen (Europa, Estados Unidos, etc) y en nuestro país la producción y exportación de ellas se ha aumentado desde la década de los ochenta. La uchuva en particular no ha sido ajena a este proceso y su consumo también aumento, debido a sus excelentes características nutricionales y a su sabor. En la actualidad la uchuva pertenece al grupo de frutas tropicales exóticas y goza de un alto posicionamiento caracterizado por su precio elevado, el consumo elitista y la distribución en puntos de venta de frutas exóticas exclusivas. Comparativamente a la uchuva sudafricana y europea, la cultivada en Colombia es

mas dulce, presenta un color más atractivo, lo que representa una oportunidad de promoción y diferenciación para el mercado del producto nacional.

El problema para la comercialización y exportación de la uchuva radica principalmente en la conservación de la fruta; si la fruta se almacena con el cáliz a temperaturas entre 17 y 19° C se puede conservar hasta por 15 días y si se almacena a temperaturas entre 2 y 4° C la fruta se conserva hasta por 4 meses sin que ocurran pérdidas; cuando la fruta se almacena sin el cáliz el proceso de descomposición se acelera. Estos factores influyen de manera directa en el encarecimiento de los costos de transporte y almacenamiento al momento de exportar la fruta, lo que obliga al consumidor a ingerir el producto casi de manera inmediata; pues su alto contenido de humedad (76%) acelera los procesos de descomposición.

El consumo de frutas deshidratadas se encuentra en un buen momento debido a la facilidad que se presenta para su exportación, pues se minimizan los daños del fruto y la presencia de infecciones fungosas, esto se logra con la disminución de la actividad del agua. Así también se obtiene una mayor economía en su almacenamiento optimizando el espacio y evitando el uso de facilidades adicionales, por ejemplo: la energía requerida para la refrigeración del fruto; traduciéndose esto en economía de transporte.

Con la obtención de productos deshidratados, los frutos se conservan durante períodos de tiempo más largos, proporcionando un valor agregado y aprovechando las épocas de cosecha, por otro lado garantizan un abastecimiento del producto en cualquier época del año en óptimas condiciones, sin necesidad de incurrir en costos extras de almacenamiento para su comercialización.

El objetivo de esta investigación es desarrollar un proceso de deshidratación de la uchuva, por medio de una técnica aislada o combinada, que proporciona un mejor reconocimiento de las variables que influyen en el proceso, para obtener un fruto deshidratado con las mejores características sensoriales. Para tal fin se evaluarán diferentes métodos de deshidratación, se desarrollará un análisis sensorial y microbiológico del producto obtenido para reconocer su aceptación, de igual modo se desarrolla un diseño de experimentos para el método seleccionado y se realiza un análisis de costos para estudiar su rentabilidad.



## CONTACTOS

CARLOS ALBERTO MEJÍA [cmejjaru@eafit.edu.co](mailto:cmejjaru@eafit.edu.co)

VICTOR HUGO ZULUAGA [vzuluaga@eafit.edu.co](mailto:vzuluaga@eafit.edu.co)



**DISEÑO DE UN PROCESO PARA EL CONTROL  
DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO EN  
UNA PLANA PRODUCTORA DE FERTILIZANTES  
LÍQUIDOS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

**AUTOR**

MENDOZA ARISTIZABAL, GUSTAVO ADOLFO.

**ASESOR**

ING. LUIS OLIVERIO CÁRDENAS



## RESUMEN

La Ingeniería de Procesos, es la rama de la ingeniería orientada a la aplicación creativa de los conocimientos en química, física, matemáticas y biología, así como de la tecnología, en el diseño, gestión, automatización e innovación de los procesos químicos y biotecnológicos de la industria, para aumentar la competitividad de las empresas dentro de una ética empresarial que promueva la protección del medio ambiente.

Parte de la definición anterior referente a lo que es Ingeniería de Procesos, es lo que se aplica en éste trabajo de grado, el cual se orienta al control de emisiones de material particulado generado en una empresa productora de fertilizantes líquidos.

El presente proyecto de grado intenta recopilar parte del conocimiento adquirido a lo largo del estudio de éste pregrado, enfocándose especialmente en el área de Diseño de Procesos, pues toma muchos conocimientos de ésta línea de énfasis para dar solución a un problema ambiental.

El trabajo, de forma muy general, se puede dividir en tres áreas:

- Planteamiento del problema ambiental al cual se le desea dar solución.
- Marco teórico en el cual se sustenta la investigación.
- Diseño básico de un proceso que controla emisiones de material particulado proveniente de la fabricación de fertilizantes.



## CONTACTO

GUSTAVO MENDOZA [gmendoza@eafit.edu.co](mailto:gmendoza@eafit.edu.co)

# **DISEÑO CONCEPTUAL DE UN REACTOR BATCH A ESCALA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE FUMARATO FERROSO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GRADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTORES**

ARANGO PÉREZ, ANA CATALINA; BETANCUR GALLEGO, ANA MILENA Y  
PÉREZ BOTERO LILIANA PATRICIA.

## **ASESOR**

ARSENIO ALVAREZ, I. O.



## RESUMEN

El fumarato ferroso es un compuesto derivado del ácido fumárico en reacción con una sal de hierro. Su principal uso es servir de materia prima en la industria farmacéutica y alimenticia, para la elaboración de tabletas y en suplementos vitamínicos, con el fin de suplir la deficiencia de hierro en el organismo.

Las mejores condiciones de operación a las cuales se obtiene el fumarato ferroso en el laboratorio se encuentran a partir de un análisis experimental que define que para alcanzar una pureza del producto de 98.85% se debe trabajar a un pH de 6, con una cantidad de sulfato ferroso heptahidratado de 43,3gr y sin el uso de un agente quelante como glicina.

El proceso de producción del fumarato ferroso, resulta de la reacción de una solución acuosa de fumarato de sodio con una solución de sulfato ferroso, esta reacción de sustitución se realiza en un reactor batch de 13,503 m<sup>3</sup>, que opera a presión atmosférica y a una temperatura de 90° C.

Para el diseño del reactor batch es necesario conocer el comportamiento cinético de la reacción de producción de fumarato ferroso, la cual depende en gran medida de la concentración de los reactivos debido a que se encuentra que el orden global de la reacción es de 2,57. La velocidad de la reacción a las condiciones de operación es de 3,469mol/lit\*min. Además se deben tener en cuenta procedimientos que involucran parámetros físicos y químicos que son utilizados como herramienta fundamental para el dimensionamiento del reactor a escala industrial, y otros mecanismos que favorecen el buen desarrollo de la reacción, teniendo en cuenta criterios internacionales para la realización de un diseño conceptual como: Balances de materia y energía, diagrama de bloques (BFD), estimación de costos de capital y manufactura y diagrama de flujo de proceso (PFD).

Las necesidades nutricionales y la deficiencia de hierro en un alto porcentaje de la población mundial, hacen que el uso de suplementos alimenticios sea indispensable para conservar una buena salud, éste aumento en la demanda hace que los niveles de producción mundial de estos productos, así como sus materias primas se incrementen, posibilitando la creación de nuevas empresas para suplir las necesidades del mercado.

Una parte importante del mercado de los suplementos alimenticios lo componen las sales de hierro, cuya demanda presenta un aumento significativo en los niveles de producción, esto incluye al fumarato ferroso, debido a que se ha comprobado que las sales derivadas del ácido fumárico tienen mayor capacidad de ser absorbidas en el organismo que otras sales comercialmente usadas.

La producción de fumarato ferroso en Colombia es baja y las necesidades del mercado obligan a su importación. Esta posibilidad en el mercado y las ventajas de la economía globalizada permiten el desarrollo de productos nacionales que sean competitivos en el mercado mundial.

A nivel nacional no existe un método de manufactura definido para la producción de fumarato ferroso. Debido a la falta de información para la obtención de fumarato ferroso se plantea el desarrollo de una metodología práctica, basada en la experimentación y la aplicación de algoritmos para el diseño conceptual de un sistema de reacción para la producción de fumarato ferroso.

Con este trabajo se pretende hacer un diseño conceptual de un reactor batch a escala industrial, que abarque el máximo de variables involucradas en el proceso de producción. Esto se apoya en determinar las variables críticas para éste proceso, realizando ensayos de laboratorio y posteriormente la definición de parámetros de diseño del reactor para la producción industrial.

En los procesos actuales se busca eficiencia y maximización de recursos disponibles como tecnología e insumos nacionales, con el fin de encontrar un equilibrio entre producción y eficiencia del proceso, disminuyendo los sobrecostos y subproductos. Se utiliza esta visión en el desarrollo del trabajo con el fin de realizar un proceso que resulte viable de implementar en una industria Antioqueña.



## CONTACTOS

ANA CATALINA ARANGO [aarango7@eafit.edu.co](mailto:aarango7@eafit.edu.co)

ANA MILENA BETANCURT [abetan10@eafit.edu.co](mailto:abetan10@eafit.edu.co)

LILIANA PÉREZ BOTERO [lperezbo@eafit.edu.co](mailto:lperezbo@eafit.edu.co)



# **EXTRACCIÓN, PURIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE UNA SAPOGENINA A PARTIR DEL *SOLANUM OVALIFOLIUM***

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS - 2003  
PROYECTO DE GADO - UNIVERSIDAD EAFIT**

## **AUTOR**

URREGO RESTREPO, SERGIO ANDRÉS.

## **ASESOR**

GUILLERMO LEÓN PALACIO G., Ph. D.

## RESUMEN

El *Solanum ovalifolium* es una especie perteneciente a la familia de las Solanáceas, es un arbusto de mediana estatura que crece en forma silvestre en todos los climas, pero principalmente en clima medio. Es una planta con abundantes tunas que se considera una maleza para la agricultura y la ganadería.

Este tipo de plantas son reconocidas por su alto contenido de compuestos esteroidales aprovechables farmacéuticamente. Por estudios realizados anteriormente en la Universidad de Antioquia se conoce que en esta planta se encuentran compuestos como las sapogeninas, que son altamente usados en la producción de anticonceptivos y otros compuestos esteroidales.

Con este trabajo se buscó determinar por medio de un proceso de extracción y purificación la presencia de sapogeninas esteroidales en los frutos de la planta "*Solanum ovalifolium*"

El primer paso para la obtención de sapogeninas es la extracción de los glucósidos del material vegetal, para lo cual se realizaron dos tipos de extracciones, una en frío y otra en caliente. La extracción en frío se hizo almacenando el material vegetal molido en un tanque con el solvente extractor (etanol). El producto obtenido se filtró utilizando tela (liencillo) como medio filtrante para obtener una fase líquida y otra que forma un ripio. Este ripio se sometió a una extracción con etanol caliente a reflujo durante 20 horas para así asegurarse de tener una mejor extracción de los glucósidos. El extracto se desengrasó utilizando bencina de petróleo para retirar lípidos que pueden entorpecer las etapas posteriores. Se adicionó NaCl y se ajustó el pH antes de extraer con butanol. El extracto butanólico concentrado se hidrolizó con HCl 10N durante 4 horas a reflujo, se ajustó nuevamente el pH a 7.0 y se extrajo con bencina a reflujo durante una hora. Se hizo un último lavado con agua para separar alquitranes que resultan después de la hidrólisis. Se llevaron a cabo una serie de cromatografías de capa fina para confirmar la presencia de sapogeninas y pasar a un proceso de purificación con columnas cromatográficas. Este proceso de purificación también se complementa en la cristalización con etanol.

Para realizar la identificación de los cristales ya obtenidos se llevó a cabo una serie de análisis de sus propiedades químicas, físicas y espectroscópicas, se obtuvo un sólido cristalino de punto de fusión 247-250° C (etanol) y una rotación específica  $[\alpha]_D^{25} = -72^\circ$ . Se produjo el acetato de la sapogenina, el cual se analiza utilizando los mismos métodos que para la sapogenina. Todos los resultados obtenidos se comparan con los reportados en la literatura. Se obtiene un rendimiento de 0.1096% con base en el peso seco inicial del fruto recogido.

## CONTACTO

SERGIO ANDRÉS URREGO [surregor@eafit.edu.co](mailto:surregor@eafit.edu.co)



## TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

### Cuaderno 1 - Marzo 2002

**Sector bancario y coyuntura económica el caso colombiano 1990 - 2000**

Alberto Jaramillo, Adriana Ángel Jiménez, Andrea Restrepo Ramírez, Ana Serrano Domínguez y Juan Sebastián Maya Arango.

### Cuaderno 2 - Julio 2002

**Cuerpos y controles, formas de regulación civil. Discursos y prácticas en Medellín 1948 - 1952**

Cruz Elena Espinal Pérez.

### Cuaderno 3 - Agosto 2002

**Una introducción al uso de LAPACK**

Carlos E. Mejía, Tomás Restrepo y Christian Trefftz.

### Cuaderno 4 - Septiembre 2002

**Las marcas propias desde la perspectiva del fabricante**

Belisario Cabrejos Doig.

### Cuaderno 5 - Septiembre 2002

**Inferencia visual para los sistemas deductivos LBPco, LBPC y LBPO**

Manuel Sierra Aristizábal.

### Cuaderno 6 - Noviembre 2002

**Lo colectivo en la constitución de 1991**

Ana Victoria Vásquez Cárdenas, Mario Alberto Montoya Brand.

### Cuaderno 7 - Febrero 2003

**Análisis de varianza de los beneficios de las empresas manufactureras en Colombia, 1995 - 2000**

Alberto Jaramillo (Coordinador), Juan Sebastián Maya Arango, Hermilson Velásquez Ceballos, Javier Santiago Ortiz, Lina Marcela Cardona Sosa.

### Cuaderno 8 - Marzo 2003

**Los dilemas del Rector: El caso de la Universidad EAFIT**

Álvaro Pineda Botero

### Cuaderno 9 - Abril 2003

**Informe de Coyuntura: Abril de 2003**

Grupo de Análisis de Coyuntura Económica

### Cuaderno 10 - Mayo 2003

**Grupos de Investigación Escuela de Administración**

Dirección de Investigación y Docencia



Cuaderno 11 - Junio 2003

Grupos de Investigación Escuela de Ciencias y Humanidades, Escuela de Derecho, Centro de Idiomas y Departamento de Desarrollo Estudiantil

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 12 - Junio 2003

Grupos de Investigación Escuela de Ingeniería

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 13 - Julio 2003

Programa Jóvenes Investigadores - Colciencias: El Área de Libre Comercio de las Américas y las Negociaciones de Servicios  
Grupo de Estudios en Economía y Empresa

Cuaderno 14 - Noviembre 2003

Bibliografía de la Novela Colombiana

Álvaro Pineda Botero, Sandra Isabel Pérez, María del Carmen Rosero y María Graciela Calle

Cuaderno 15 - Febrero 2004

Publicaciones y Ponencia 2003

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 16 - Marzo 2004

La Aplicación del Derecho en los Sistemas Jurídicos Constitucionalizados

Gloria Patricia Lopera Mesa

Cuaderno 17 - Mayo 2004

Productos y Servicios Financieros a gran Escala para la Microempresa: Hacia un Modelo Viable

Nicolás Ossa Betancur

Cuaderno 18 - Mayo 2004

Artículos resultado de los Proyectos de Grado realizados por los Estudiantes de Ingeniería de Producción que se graduaron en el 2003

Departamento de Ingeniería de Producción

Cuaderno 19 - Junio 2004

Artículos de los Proyectos de Grado realizados por los Estudiantes de Ingeniería Mecánica que se graduaron en el año 2003

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 20 - Junio 2004

Artículos resultado de los Proyectos de Grado realizados por los Estudiantes de Ingeniería de Procesos que se graduaron en el 2003

Departamento de Ingeniería de Procesos

Copia disponible en: [www.EAFIT.edu.co/investigacion/cuadernosdeinv.htm](http://www.EAFIT.edu.co/investigacion/cuadernosdeinv.htm)