



Cuadernos de Investigación

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2006 ARTÍCULOS

Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Procesos
Universidad EAFIT

ISSN 1692-0694. Medellín. Junio de 2008. Documento 63 - 062008

La Universidad EAFIT aspira a ser reconocida nacional e internacionalmente por sus logros académicos e investigativos.

Para ello desarrolla la capacidad intelectual de sus alumnos y profesores en todos los programas académicos, con la investigación como soporte básico.

-De la visión institucional-

Edición

Dirección de Investigación y Docencia
Universidad EAFIT
Medellín, Colombia

Director

Félix Londoño González

Los contenidos de este documento son responsabilidad de los autores.

Se autoriza la reproducción total o parcial de este material para fines educativos siempre y cuando se cite la fuente.

Serie Cuadernos de Investigación

Carrera 49 7 sur 50

Teléfono (574) 261 95 40

www.eafit.edu.co/investigacion

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN. ABSTRACT. AUTOR

INTRODUCCIÓN	1
EXTRACCION, PURIFICACION Y DETERMINACIÓN DE POSIBLES SAPOGENINAS ESTEROIDALES PRESENTES EN EL <i>SOLANUM PSYCHOTRIOIDE</i>	3
PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DE SIMULADORES DE PROCESO EN LAS ASIGNATURAS DE INGENIERÍA DE PROCESOS	10
METODOLOGÍA PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS BUJE PARA QUINTA RUEDA HOLLAND REF GAFF # 11727 Y SOPORTE DE TRANSMISIÓN D/BRIGADIER (COL) REF GAFF # 18125 POR FABRICACIÓN NACIONAL	17
DISEÑO DE UN MÉTODO PARA LA PREVULCANIZACIÓN DE LÁTEX NATURAL	24
ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA PRODUCCION DE UN ABONO RETENEDOR DE AGUA Y NUTRIENTES	31
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS DE PINO PÁTULA	40
DISEÑO DE UNA CREMA FACIAL HIDRATANTE, CICATRIZANTE Y DESMANCHADORA A BASE DE PRODUCTOS NATURALES	52
ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO FUNCIONAL A PARTIR DE <i>GANODERMA LUCIDUM</i>	61
AISLAMIENTO Y PURIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS DEGRADADORES DE CIANURO	68
EVALUACIÓN DE ADITIVOS PARA LA FABRICACIÓN DE PASTILLAS CERÁMICAS	76
DISEÑO DE UN REPELENTE PARA INSECTOS VOLADORES CON BASE EN PRODUCTOS NATURALES	85
DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE SECADO POR MICROONDAS	90
ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO CON BASE EN COLORANTES NATURALES PARA TEÑIR EL CABELLO	96

LA PRODUCCIÓN DE CARBOXIMETILCELULOSA	101
IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL TRASLADO Y LA FUSIÓN DE PROCESOS DE DOS PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE PINTURA EN POLVO	113
DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA OBTENCIÓN DE SAPOGENINAS ESTEROIDALES DEL <i>SOLANUM HIRTUM</i> ..	123
INMOVILIZACIÓN POR ATRAPAMIENTO DE UN AISLADO NATIVO DE <i>PSEUDOMONAS SPP.</i> PARA LA BIODEGRADACIÓN DE CIANURO	129
APLICACIÓN DE FIBRAS NATURALES COMO MEDIO FILTRANTE	138
EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA PILOTO DE DERIVADOS LÁCTEOS PARA LOS PRODUCTORES LECHEROS DE LA ZONA NORTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA – SAN PEDRO DE LOS MILAGROS	145
ELABORACIÓN DE UN MATERIAL A PARTIR DE UN RESIDUO SÓLIDO NO RECICLABLE DE UNA EMPRESA DE ARTES GRÁFICAS	153
DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE ESTERIFICACIÓN Y DEL PORCENTAJE ANHÍDRIDO MALEICO EN LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS Y DE DESEMPEÑO DE UNA RESINA ALQUÍDICA PROTOTIPO	164
DISEÑO DE UN PROCESO A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE UN BRONCEADOR EN SPRAY CON PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y ANTIINFLAMATORIAS, INCORPORANDO EXTRACTOS NATURALES	170
ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO COSMÉTICO PARA EL AREA DE LOS OJOS A PARTIR DE PRODUCTOS NATURALES, A ESCALA DE LABORATORIO	177
PREPARACIÓN DE ÉSTERES GLICÉRICOS DE COLOFONIA	180
DISEÑO DE UN PROCESO A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA PRODUCCIÓN DE UN “AFTER SHAVE” CON PROPIEDADES RETARDANTES DEL CRECIMIENTO DEL VELLO	186

RESUMEN

Este documento es la recopilación de los artículos, preparados por los mismos autores, a partir de los trabajos de grado presentados por los alumnos de Ingeniería de Procesos que se graduaron durante el año 2006.

En cada artículo se describen los aspectos fundamentales del desarrollo del proyecto y los resultados obtenidos en éste. Se incluyen las direcciones electrónicas de los autores para facilitar la comunicación con ellos.

Los informes finales de los trabajos de grado fueron evaluados por ingenieros competentes en cada una de las áreas, y la responsabilidad de toda la información y resultados consignados en ellos corresponde única y exclusivamente a los autores. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan al desarrollo de la ciencia y la tecnología en el país.

ABSTRACT

This document is a compilation of articles written by the Process Engineering students graduated in 2006, on the final works submitted as a requirement for their degrees.

Each article describes the fundamentals of project development and the results obtained therein. Includes e-mail addresses of the authors to facilitate communication with them.

The final reports of the work done by the students were evaluated by competent engineers in each area, and responsibility for all information and results reflected therein rests solely to the authors. It is expected that these results will contribute to the development of science and technology in the country.

AUTOR

La recopilación de los artículos fue realizada por el Coordinador de los Proyectos de Grado de Ingeniería de Procesos.

INTRODUCCIÓN

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Como consecuencia de la complejidad que se generó en las empresas en la década de 1950 debido, entre otras razones, al mayor uso de los computadores en los que se remplazaron los tubos electrónicos por transistores, apareció el cargo de ingeniero de procesos como un empleado, generalmente un ingeniero, dedicado inicialmente a coordinar las actividades y procedimientos que se llevan a cabo en los diferentes procesos. Más tarde, ya en la década de 1980, algunas universidades de Alemania y Francia empezaron a ofrecer formación académica de pregrado en Ingeniería de Procesos. Cada una de las carreras ofrecidas estaba orientada hacia un campo específico de los procesos, de acuerdo con las necesidades de las diferentes regiones, para lograr su pertinencia. Así aparecieron carreras en ingeniería de procesos químicos, agroindustriales, metalmeccánicos, de alimentos, etc.

Para el caso de esta universidad, la carrera está orientada hacia el estudio de los procesos fisicoquímicos y biotecnológicos, porque en la región predomina este tipo de industrias y, además, son los que tienen una reconocida fundamentación científica y tecnológica.

La diversidad de trabajos que se realizan por parte de los alumnos que terminan la carrera de Ingeniería de Procesos en la Universidad Eafit es una muestra de la versatilidad de esta profesión, que se encarga del diseño, la simulación, la optimización, la operación y la gestión de los procesos, sin importar el tipo de insumos ni de productos, extrapolando el empleo de metodologías bien conocidas en otras profesiones. Con los conocimientos que los alumnos adquieren en química y biotecnología y su formación básica en tecnología, es posible llegar a utilizar las operaciones unitarias, comunes en muchas áreas de la ingeniería, para incorporarlas en el diseño de los procesos y el desarrollo de productos.

Es así como en este documento se encuentran algunos trabajos sobre el desarrollo de productos tanto de origen químico como biotecnológico, lo mismo que diseños de procesos químicos y biotecnológicos. Cada uno de los trabajos realizados contó con

la asesoría de un ingeniero conocedor del tema de estudio y el informe final fue evaluado y aprobado por un Jurado competente, antes de la presentación de los resultados al público general.

Además, se incluye una propuesta metodológica para la aplicación de la simulación en el aprendizaje de la ingeniería de procesos.

El propósito de esta recopilación de los artículos de los trabajos realizados es poner al alcance del público general

los resultados obtenidos por los alumnos, con el fin de que puedan ser aplicados cuando sea necesario, como una contribución al desarrollo del país. Los informes completos están disponibles en la Biblioteca "Luis Echavarría Villegas" de la Universidad EAFIT.

JORGE E. DEVIA P.

Coodinador de Proyectos de Grado

Departamento de Ingeniería de Procesos

EXTRACCIÓN, PURIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DE POSIBLES SAPOGENINAS ESTEROIDALES PRESENTES EN el *Solanum psychotrioides*

Germán Alfredo Schäfer Elejalde

gschafer@eafit.edu.co

Carolina Sánchez Arbeláez

csanch13@eafit.edu.co

RESUMEN

Las saponinas son glicósidos consistentes de una o más cadenas de oligosacáridos unida a una aglicona (sapogenina) esterooidal o alcaloidal con un esqueleto típico. La hidrólisis de las saponinas produce sapogeninas y azúcares. De plantas del género *Solanum* se obtienen saponinas, muchas de las cuales son de importancia farmacéutica, cosmética, veterinaria, nutracéutica y en limpieza. El objetivo de esta investigación fue extraer, purificar e identificar posibles sapogeninas alcaloidales presentes en el *Solanum psychotrioides*. Los resultados obtenidos en este proyecto fueron, la obtención e identificación de saponinas y sapogeninas tales como: solasonina y solasodina. La cantidad de solasodina obtenida fue de 134.7 miligramos en alto grado de pureza.

ABSTRACT

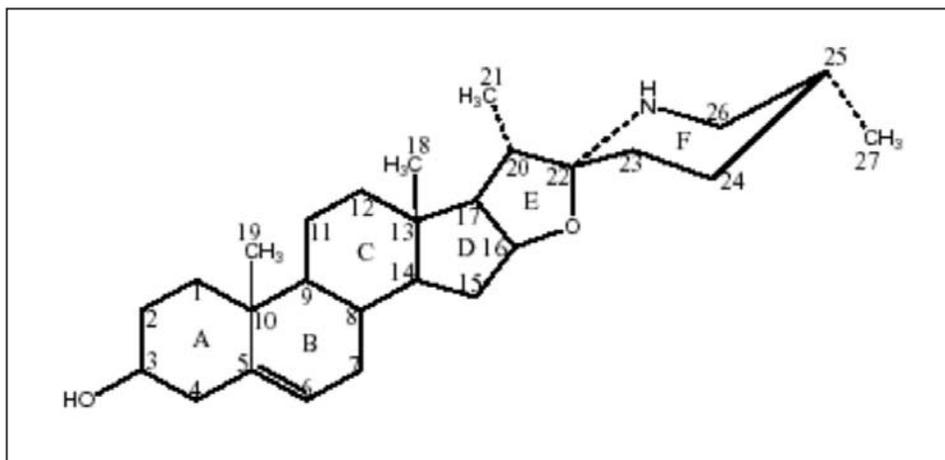
Saponins are glycosides composed by one or more chains of oligosaccharide linked to a steroidal or alkaloidal aglicon (sapogenin) with a typical structure. The hydrolysis of saponins produces sapogenins and sugars. Saponins are obtained from *Solanum* plants, some of them are used in pharmaceuticals, cosmetics, veterinary, nutraceuticals, and cleaning. The objective of this research was to extract, purify, and identify alkaloidal sapogenins present in *Solanum psychotrioides*. The results obtained in this research were: obtention and identification of saponins and sapogenins such as: solasonin and solasodine. The amount of solasodine obtained was 134.7 milligrams in a high degree of purity.

INTRODUCCIÓN

En todo el mundo se ha intensificado la búsqueda de fuentes naturales de saponinas. En 1944 Marker realizó una investigación exhaustiva en todo género de plantas del norte de México, hoy sistemáticamente en España, Colombia, India, Hungría, Nueva Zelanda, Alemania, Rusia, Japón, etc., se van extrayendo e identificando una gran variedad de saponinas. De una manera paralela se han identificado una serie de compuestos naturales que poseen el núcleo básico esteroidal, con la diferencia de que poseen nitrógeno en el mismo núcleo o en alguna o algunas de las cadenas laterales, a estos compuestos se les conoce con

el nombre genérico de azasteroides. Para las sapogeninas esteroides la bibliografía registra algunas de valor en lo que concierne a su degradación a compuestos intermedios hormonales: diosgenina, hecogenina, botogenina, etc. Las facilidades de cultivo y rendimiento de las plantas que las sintetizan han sido los elementos dirimientes de la supremacía de la diosgenina, además naturalmente de la mayor o menor facilidad de extracción y purificación de las sapogeninas. En el caso de los azasteroides la bibliografía registra como favorable, de una manera casi exclusiva, en lo que respecta a la degradación, a la solasodina. Se ha reportado la presencia de azasteroides en los géneros *Solanum* y *Veratrum* (1).

FIGURA 1
Estructura numerada de la solasodina



Las sapogeninas tienen muchas aplicaciones en varios sectores de la industria. En la industria farmacéutica los mayores usos de estos productos están en la síntesis de hormonas, drogas para el tratamiento contra el cáncer y el Alzheimer, control del colesterol, investigación de vacunas para humanos (Herpes y HIV) entre otros. En la industria cosmética se emplean para preparar champú, acondicionadores, cremas para el cuidado de la piel, pomadas hidratantes, tónicos para estimular el crecimiento del cabello, tratamientos para la seborrea y jabones. Las sapogeninas son del interés en la industria nutracéutica pues estas han demostrado ser útiles como potenciadores del sistema inmunológico en humanos, además de tener propiedades antioxidantes y surfactantes, servir como preservativo soluble en agua, y espumante para licores. En la industria veterinaria las saponinas y las sapogeninas se emplean como adyuvante para vacunas de animales (2), para potenciar el sistema inmunológico de los animales sin tener el efecto nocivo de los antibióticos, también reducen los niveles de amoníaco en la cría de cerdos, así como también reducen el colesterol en huevos de gallina y carne de bovinos (3-10), también se emplean para el aumento de la tasa de crecimiento del cultivo de peces y crustáceos (11). Son bien conocidas las propiedades detergentes que poseen las saponinas, de hecho su nombre proviene de allí (del latín Sapa: jabón). Las saponinas constituyen los principios activos de muchas raíces, frutos y cortezas que han sido utilizadas por algunos pueblos primitivos

como sustitutivos del jabón (12). Actualmente en el mundo existe una tendencia a sustituir los nocivos aditivos que se emplean en la producción de jabones y detergentes, por saponinas, las cuales poseen características similares a estos insumos químicos pero sin las malas consecuencias para la naturaleza. La electro obtención, es un método minero para producir metales (13-16). Para producir cobre de buena calidad por este método, es necesario que la solución esté bastante limpia de contaminantes, por lo que se efectúa un proceso de extracción por solventes antes de la depositación del cobre. Como en el ánodo se genera ácido y es necesario calentar la solución para obtener una buena eficiencia, en este proceso se produce la llamada "neblina acida", que es necesario contener para evitar problemas ambientales, en la salud de los operarios y en la infraestructura de la planta, para este fin se utilizan extractos de saponinas los cuales reducen significativamente las emisiones al medio ambiente de esta neblina.

INVESTIGACIÓN Y PRINCIPALES RESULTADOS

En esta investigación se realizaron las actividades siguientes (17-24):

1. Identificación y recolección de los frutos de la planta en varios sectores del Departamento de Antioquia, Colombia.
2. Secado y molienda del material recolectado. El material debe secarse y molerse ya que con esto se asegura una mejor extracción de los compuestos de interés.
3. Desengrase en extractor tipo Soxhlet con un solvente de baja polaridad para extraer grasas y otros lípidos presentes en el material.
4. Extracción de glicósidos y compuestos de polaridad similar (extracto A) en un extractor Soxhlet con etanol acuoso.
5. Concentración hasta sequedad de los glicósidos obtenidos en la etapa anterior. 6. Disolución de los glicósidos obtenidos en ácido acético diluido.
7. Filtración de la solución anterior.
8. Precipitación con amoníaco de los glicósidos crudos.
9. Centrifugación para separar los glicósidos del sobrenadante.
10. Repetición de las etapas 6 a 9 con el fin de purificar al máximo los glicósidos alcaloidales.
11. Filtración e hidrólisis de los glicósidos alcaloidales. La hidrólisis se realiza con HCl diluido en metanol.
12. Precipitación de las sapogeninas alcaloidales con amoníaco a pH entre 10 y 11.
13. Filtración para separar las sapogeninas alcaloidales de sus aguas madres.
14. Cristalización de las sapogeninas obtenidas.
15. Cromatografía de capa fina. Se realiza para encontrar las condiciones adecuadas (adsorbente y sistema eluyente) para la separación por cromatografía de columna de las diferentes sapogeninas alcaloidales.
16. Determinación de propiedades físicas (punto de fusión, rotación específica) de éstos compuestos.
17. Preparación de algunos derivados (25-27).
18. Análisis espectral (Infrarrojo, espectrometría de masas, RMN de ¹H y ¹³C, 2D RMN y análisis elemental) de los compuestos obtenidos (28-30).
19. Comparación de los resultados obtenidos con los ya existentes en la literatura para determinar si los compuestos identificados corresponden a esteroides alcaloidales nuevos o ya reportados.
20. Cuantificación de las sapogeninas y otros compuestos alcaloidales obtenidos.

RECOLECCIÓN, ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Se realizaron 2 salidas de campo para la recolección del material vegetal.

CUADRO 1
Porcentaje de humedad del material vegetal recolectado. Peso dado en kilogramos

<i>Solanum psychotrioides</i>	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	% Humedad
Recolección 1	1607	311.7	80.6
Recolección 2	5412	941.6	82.6

Con todos los materiales mencionados se realizaron extracciones en un Soxhlet con capacidad para 200gr, primero se hizo un desengrase y posteriormente una extracción con etanol acuoso (70%). Para las sapogeninas alcaloidales se adoptó una modificación muy importante que tiene que ver con la hidrólisis en dos fases inmiscibles – agua y tolueno. La hidrólisis propiamente se realiza en medio acuoso y a medida que se genera la sapogenina, ésta se disuelve en la fase de tolueno. Después de 5 horas de reflujo el tolueno se separa de la fase acuosa, se concentra y las sapogeninas presentes se purifican por cristalización o por cromatografía CC. Se obtuvo solasodieno por deshidratación en medio ácido de solasodina. En el cuadro 2 se resumen los resultados obtenidos para cada una de las plantas de las cuales la línea de investigación de productos naturales de la Universidad EAFIT ha aislado los esteroides alcaloidales.

CONCLUSIONES

- Se aisló solasonina, un glicósido alcaloidal, de *Solanum psychotrioides*.
- Se aisló solasodina, una sapogenina alcaloidal, de *Solanum psychotrioides*.
- Las dos conclusiones anteriores están respaldadas al comparar los Rf, espectros IR, puntos de fusión y RMN respectivos con los que aparecen en la literatura.
- El rendimiento de sapogeninas alcaloidales para esta planta fue de 0.0143 % con base en el peso del material seco.
- El proceso de hidrólisis de los glicósidos alcaloidales en fase tolueno – agua permite obtener sapogeninas más fáciles de purificar bien sea por CC o por cristalización.
- Teniendo en cuenta que muchas de estas plantas son de crecimiento rápido, producen todo el año y no requieren suelos ricos, ni cuidados especiales y presentan una amplia distribución en los diferentes pisos térmicos, el estudio y aprovechamiento económico de este género de plantas sería una alternativa para recuperar en gran medida la economía de regiones aptas para su cultivo, cumpliendo con las nuevas tendencias ambientales para el aprovechamiento de recursos locales y plantas nativas.
- El desarrollo y comercialización de estos metabolitos tiene un impacto positivo en la salud humana y en la conservación del medio ambiente, ya que muchas de estas especies están en vía de extinción.

BIBLIOGRAFÍA

- W. Jacome, y O. Proaño, "Obtención de solasodina a partir del fruto de *Solanum marginatum*" Escuela Politécnica Nacional de Ecuador
- C. R. Kensil, Critical reviews in Therapeutic Drug Carrier Systems, 13: 1 – 55 (1996)
- S. R. Chavali and J. B. Campbell, Adjuvant effects of orally administered saponins on humoral and cellular immune responses in mice. Immunobiol, 174: 347-359 (1987)
- S.R. Chavali, B. James, . Campbell, Immunomodulatory effects of orally administered saponins and non-specific resistance against rabies infection. Int. Archs. Allergy Appl. Immun, 84: 129-134 (1987)
- G. Francis, H.P.S. Makkar, K. Becke, Effect of Quillaja saponins on growth, metabolism, egg production and

- muscle cholesterol in individually reared Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 129: 105-114 (2001)
6. H.P.S. Makkar and K. Becker, Beneficial effects of saponins on animal production. In: *Saponins in food, feedstuffs and medicinal plants*. Eds. W. Oleszek and A. Martson. *Proceedings of the Phytochemical Society of Europe*, 45: 281-286. Kluwer Academic Press, The Netherlands. (2000)
 7. S. Hoshi, A. Uchino, N. Saito, K. Kusanagi, T. Ihara, S. Ueda, Comparison of adjuvants with respect to serum IgG antibody response in orally immunized chickens. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, Vol. 22 (1) pp. 63-69 (1999)
 8. Ikeda and Suzuki, Feed additive for reducing ammonia in urine-contains extract of Quillaja saponaria Molina. *August 22 (1995)*, JP 07222555
 9. M. Yamamoto, S. Kameda, Feed additives containing quillaja saponins and/or Yucca saponins for poultry, egg production with the saponins, and low-cholesterol eggs produced by the poultry. 19 Jan (1993), JP0507462
 10. K. Jenkins and Atwal, Effects of dietary saponins on fecal bile acids and neutral sterols, and availability of vitamins A and E in the chick. *A. J. Nutr. Biochem*, 5(3), 134-7 (1994)
 11. Y. Terutake, N. Tsunao, O. Toshihiro, M. Takeshi, Antipseudorabies and disease-resistant feed for livestock, poultry, fishes and shellfishes and additive for feed. October 13 (1992), JP 9174841 (Japan).
 12. L. F. Fieser and M. Fieser, *Steroids*. New York: Reinhold Publishing Co. (1959)
 13. Alfantazi, A.M., Dreisenger, D.B., Boissonbeault, M., and Synnott, J, Effects of some foaming reagents on acid mist control and zinc electrowinning from Kidd Creek zinc electrolyte. *Aqueous Electrotechnologies: Progress in Theory and Practice*. *Proceedings of the TMS Annual Meeting, Warrendale, PA*, p 139 – 161 (1997)
 14. S. Bourke, Control agent for reducing metal acid emissions from electrolytic cell operations (1999). US Patent 5,997,711.
 15. D. Mackinnon, The effects of saponin, antimony and glue on zinc electrowinning from Kidd Creek electrolyte. *Journal of Applied Electrochemistry*, 20: 955-963 (1990)
 16. D. Mackinnon, The effects of Dowfroth, antimony and saponin on zinc electrowinning from Kidd Creek electrolyte. *Journal of Applied Electrochemistry*, 21: 213-220 (1991)
 17. G. L. Palacio, *Sapogeninas del Solanum ovalifolium*, Tesis, Medellín: Universidad de Antioquia Facultad de Ciencias (1974).
 18. F.A. Gutiérrez, *Sapogeninas en Solanum torvum*, Tesis, Medellín: Universidad de Antioquia, departamento de Química (1978).
 19. E. Torijano, G. Palacio, *Sapogeninas del Solanum ovalifolium*, Tesis, Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias (1980).
 20. W. A. Oleszek, *Journal of Chromatography Volume 967, Issue 1, 16 August, Pages 147- 162 (2002)*,
 21. S. Sang, S. Mao, A. Lao, Z. Chen, C. Ho, J. Agric. Food Chem, 49, 1475-1478 (2001)
 22. M. Aldana, C. Lima, *Afinidad*, 56 (484): 393-396 (1999)
 23. Zamilpa, J. Tortoriello, V. Navarro, G. Delgado, L. Álvarez, *J. Nat. Prod*, 65, 1815- 1819 (2002)
 24. W. Pan, F. Chang, L. Wei, Y. Wu, *J. Nat. Prod*, 66, 161-168 (2003)
 25. M. Arteaga, R. Gil, C. Martínez, F. Machado, *Synthetic Communications*, 30 (1): 163-170 (2000)
 26. Goswami, R. Kotoky, C. Rastogi, A. Ghos, *Organic Process Research & Development*, 7, 306-308 (2003).
 27. Q. Xu, X. Peng, W. Tian, *Tetrahedron Letters*, 44 (52): 9375-9377 (2003)

28. D. H. W. Dickson, J. E. Page, D. Rogers, J. Chem. Soc, 443-7 (1955)
29. P. Agrawal, P. Bunsawansong, G. Morris, Phytochemistry (1998).
30. Wawer, J. Nartowska, A. A. Cichowlas, Solid State Nuclear Magnetic Resonance, 20 1-2): 35-45 (2001)

CUADRO 2
Resultados obtenidos para cada una de las plantas
de las cuales se han aislado los esteroides alcaloidales

<i>Solanum</i>	Glicósido Aislado	PF (°C)	Sapogenina Aislada	PF (°C)	Rf *	Rendimiento (mg /Kg)
<i>atropurpureum</i>	Solasonina	296-98	Solasodina	196-98	0.3	180
<i>sycophanta</i>	Solasonina	302	Solasodina	200-2	0.3	250
<i>macranthum</i>	Solasonina	300	Solasodina	200	0.3	150
<i>psychotrioides</i>	Solasonina	300-303	Solasodina	201-203	0.72	143

FIGURA 2
Espectro infrarrojo de la solasodina

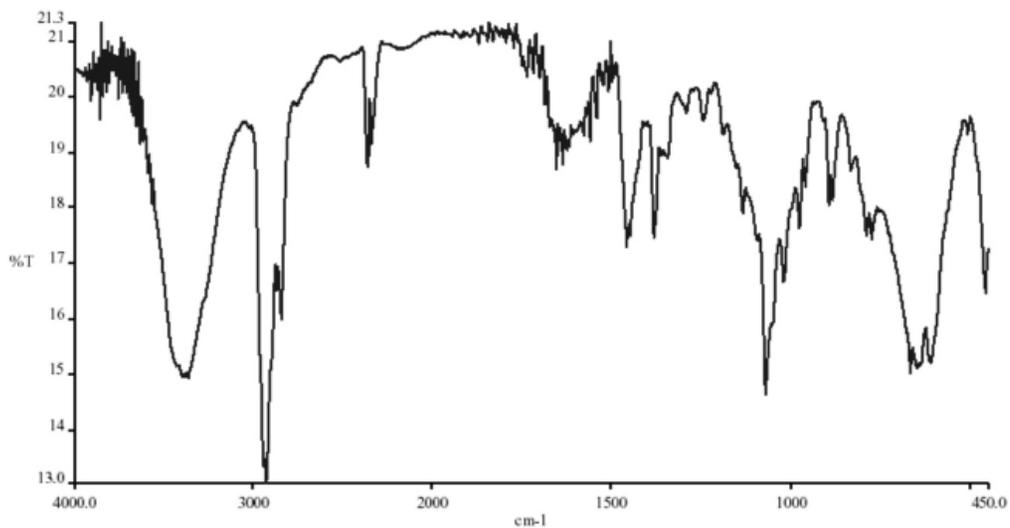


FIGURA 3
RMN 1H de la solasodina obtenida

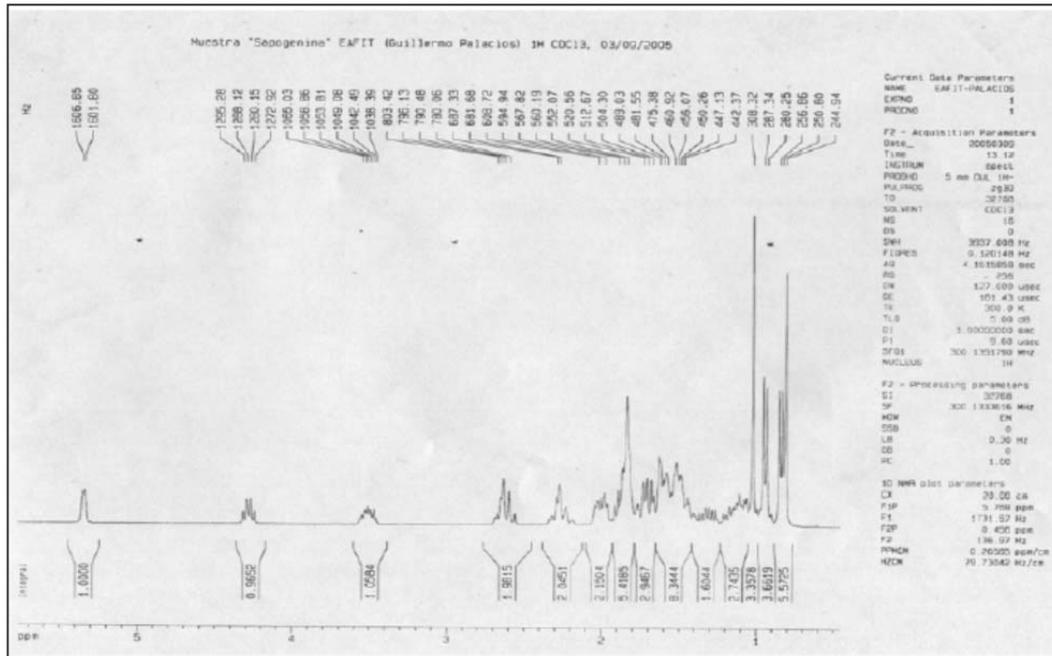
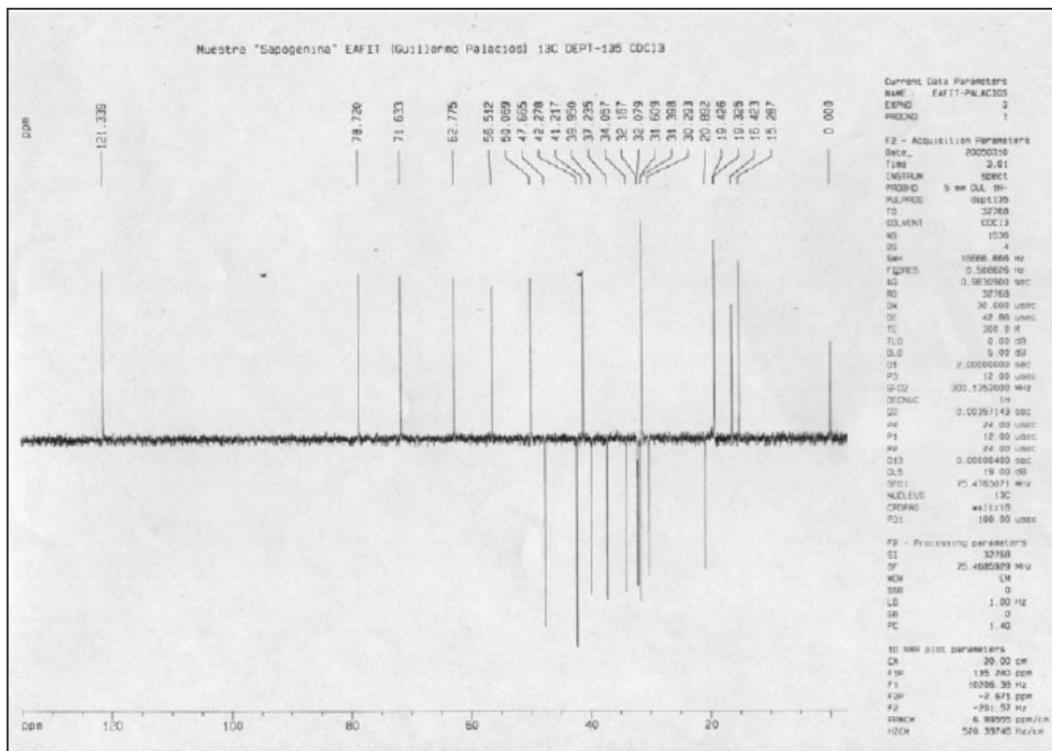


FIGURA 4
RMN 13C de la Solasodina obtenida



PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA APLICACIÓN DE SIMULADORES DE PROCESO EN LAS ASIGNATURAS DE INGENIERÍA DE PROCESOS

Marcela Posada M.
mposada3@eafit.edu.co

Natalia Zapata Z.
nzapataz@eafit.edu.co

RESUMEN

Dentro del marco contextual de este proyecto, se pretende la elaboración de una propuesta metodológica para el uso de simuladores de proceso en varias asignaturas del currículo de Ingeniería de Procesos. Este proyecto, suministrará una ayuda a estudiantes y docentes para que estas herramientas computacionales sean exploradas desde los primeros cursos, siguiendo una gradualidad de los conocimientos y capacidades de aprendizaje del estudiante para abordar diferentes problemas, de modo que en los últimos semestres académicos se logre la integración de los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera y se desarrollen las habilidades y competencias de la síntesis y la evaluación de los procesos tal como son entendidos en el modelo de Bloom.

PALABRAS CLAVE

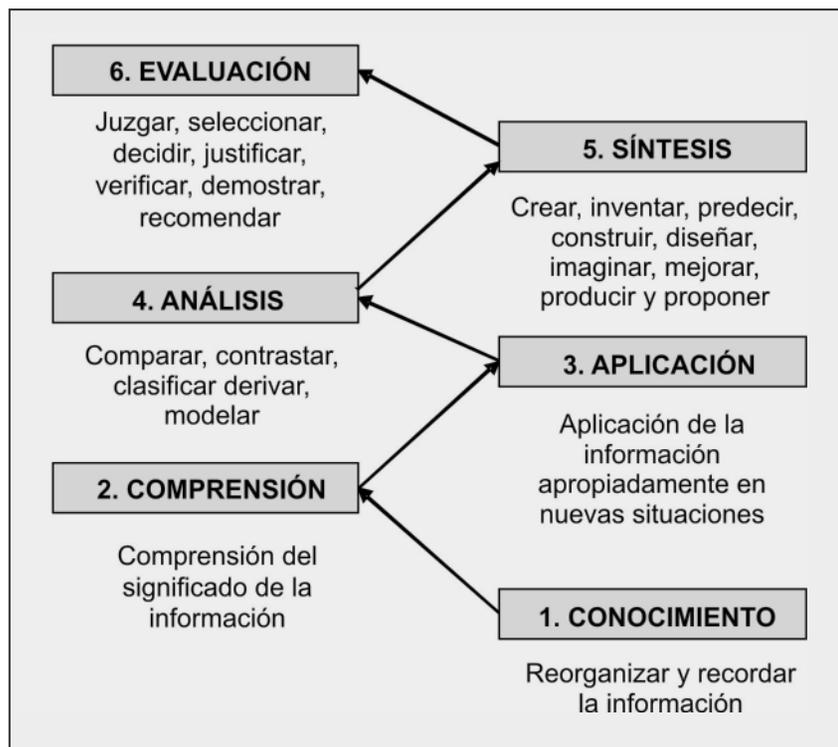
Simulación, ASPEN PLUS®, ingeniería de procesos, aprendizaje, currículo.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos más importantes del currículo de Ingeniería de Procesos es la formación de profesionales, que basados en la integración de sus conocimientos, sean capaces de abordar el diseño y la optimización de procesos, y adopten además, una posición crítica y de evaluación de aquellos ya diseñados. Para el logro de éste objetivo, es necesario procurar que los estudiantes alcancen los seis niveles cognitivos planteados en la Taxonomía de Bloom para los objetivos educacionales, como se muestra en la Figura 1.

Las habilidades cognitivas de los dos últimos niveles de la Taxonomía de Bloom son la evaluación (Nivel 6) y la síntesis (Nivel 5). Estos últimos niveles, son los más importantes para que el profesional tenga un desempeño efectivo en el trabajo profesional y en consecuencia, son los que representan un mayor desafío en la formación del ingeniero. No menos importantes que estos, se encuentran los niveles previos a los niveles 5 y 6, los cuales son en orden descendente el Análisis (Nivel 4), la Aplicación (Nivel 3), la Comprensión (Nivel 2) y el Conocimiento (Nivel 1). Estos, soportan y proporcionan la base para alcanzar los dos últimos niveles.

FIGURA 1
Taxonomía de Bloom de los objetivos educativos. (Bloom, 1956). (*)



ANTECEDENTES

El bajo desarrollo que se presenta en Colombia en el área de ingeniería e investigación es un síntoma de diferentes causas, una de ellas son las metodologías pedagógicas poco adecuadas del sistema educativo que no soportan el desarrollo de habilidades y competencias que los profesionales de hoy en día requieren, como lo son la síntesis y la evaluación y que aplicadas al diseño impulsan la creación de ideas y procesos innovadores capaces de competir en el mercado internacional, que proporcionen empleo y que fortalezcan el crecimiento y formación de las empresas colombianas.

Para contribuir a la mejora del proceso educativo, es necesario comenzar por proporcionar a los estudiantes las herramientas necesarias para su adecuada formación, y más importante aún, que esto se realice desde el comienzo de sus estudios de modo que en los últimos años del proceso educativo se desarrollen las habilidades cognitivas de la evaluación y la síntesis. En esto último, radica la

importancia de esta propuesta, pues varios autores (como Seider et al.) han reconocido que el uso de las herramientas computacionales (tales como simuladores de proceso) en el proceso formativo, favorece el logro de este objetivo.

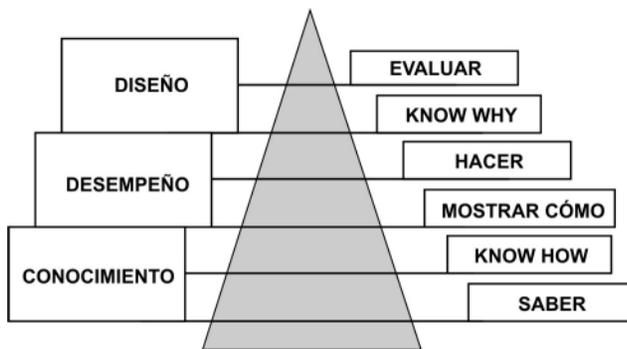
El objetivo de este proyecto es entonces proponer una alternativa metodológica que ayude a desarrollar en los ingenieros de procesos competencias en el manejo de herramientas computacionales, aprovechando al máximo las licencias educativas de softwares de simulación, a través de su uso práctico dentro del currículo de Ingeniería de Procesos.

PROPUESTA METODOLÓGICA

Se pretende entregar una guía que ayude a estudiantes a través de su formación de pregrado a integrar los conocimientos adquiridos en cada una de las asignaturas y que a la vez contribuya a subsanar el problema de la formación de los ingenieros del cual se habló anteriormente.

Como dice el autor de la referencia ⁽²⁾, el ingeniero que Colombia necesita debe romper con el círculo vicioso del subdesarrollo y la dependencia tecnológica a otros países, esto se logra solamente con la producción de conocimiento propio, generando tecnología y soluciones a nuestros problemas. Esta generación de conocimiento se da en el momento en que seamos capaces de relacionar los conocimientos de diferentes áreas y descubrir el “porqué” (Know Why), como podemos ver en la pirámide de conocimiento tecnológico de Miller (Figura 2). Es a partir de allí donde se ve la importancia del diseño, pues este exige un conocimiento a fondo de los procesos que se manejan.

FIGURA 2
Pirámide de Miller. (ii)



Los educadores deben entonces, proveer un moderno currículo orientado al diseño de procesos que responda a las necesidades de este milenio. Luego, según Seider et al (Referencia i), se ha identificado que para formar diseñadores de procesos efectivos en la industria, se requiere que el currículo de ingeniería química e ingeniería de procesos contenga los siguientes componentes:

- Una estructura basada en los conceptos fundamentales e integrados con el uso de simuladores de proceso
- Un balance entre heurística y aproximaciones algorítmicas
- La integración entre el diseño y el control de procesos

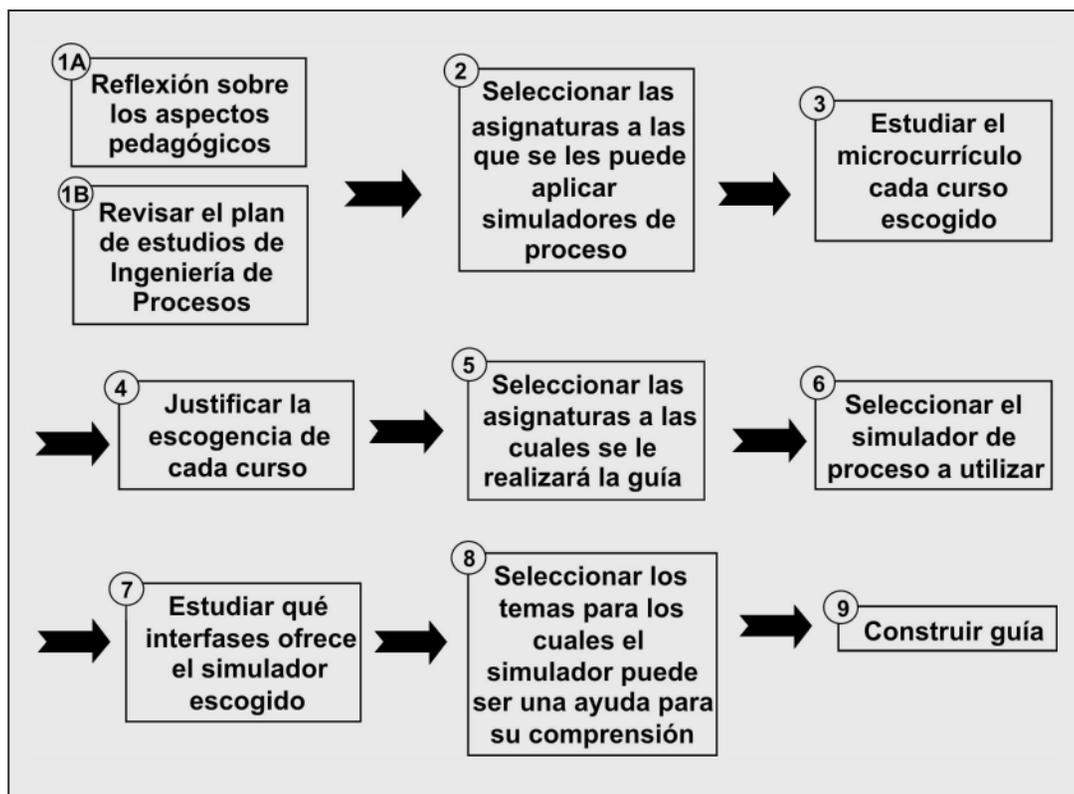
METODOLOGÍA

A continuación se explica la metodología adoptada para la realización del proyecto:

En un comienzo, se realiza una reflexión sobre los aspectos pedagógicos a tener en cuenta en la elaboración de la guía para los estudiantes a la vez que se examina el plan de estudios de Ingeniería de Procesos vigente a la fecha para el cual se selecciona, teniendo en cuenta una gradualidad en los conocimientos, aquellos cursos que por su contenido, es factible aplicar simuladores de proceso como herramienta de aprendizaje. Para cada caso, se realiza un estudio del microcurrículo o contenido del curso y se procede a justificar su escogencia.

Habiendo realizado el anterior análisis se procede a realizar una segunda selección de las asignaturas a las cuales se le construirá la guía. A continuación a través de un análisis comparativo con los simuladores comerciales que la universidad EAFIT tiene a la disposición de los estudiantes, se selecciona ASPEN PLUS® por su versatilidad, transparencia en los cálculos, y principalmente, porque a diferencia de otros simuladores posee la interfase Property Analysis como herramienta adicional a la simulación de procesos con la cual se analizan gráficamente las propiedades termodinámicas y de transporte, se generan diagramas binarios y se tabulan resultados, tareas muy útiles para introducir el uso de simuladores dentro de los primeros cursos del plan de estudios de Ingeniería de Procesos. Todas estas características hacen de este software una herramienta muy apropiada para la implementación de este proyecto. Luego de la selección, se estudia en detalle qué interfases ofrece Aspen Plus y qué propiedades o sistemas específicos, que se desarrollan en las asignaturas seleccionadas, son posibles trabajar. Finalmente después de definir claramente los temas, se procede a construir la guía para la comprensión de conceptos utilizando Aspen Plus.

FIGURA 3
Diagrama esquemático de la metodología



APLICACIÓN

A continuación se muestra una aplicación de esta propuesta metodológica para la asignatura FÍSICOQUÍMICA con lo cual se pretende exponer cómo puede el uso de un simulador de procesos, contribuir a los objetivos propuestos en el proceso educativo. Esta asignatura en particular representa una oportunidad excepcional para la comprensión de los conceptos asociados a las operaciones unitarias y demás asignaturas relacionadas con los procesos químicos y de diseño.

La guía de aplicaciones de conceptos fisicoquímicos en Aspen Plus pretende que el estudiante logre los siguientes objetivos generales:

- Introducir al estudiante al ambiente de simulación mediante el análisis de propiedades fisicoquímicas que ofrece Aspen Plus.

- Apoyar la comprensión de algunos conceptos adquiridos en la asignatura Fisicoquímica por medio del simulador de proceso.
- Utilizar la base de datos de propiedades termodinámicas que tiene disponible ASPEN PLUS® como una aplicación diferente de la simulación de procesos.

Para cumplir con la aplicación propuesta se encuentra que Aspen Plus ofrece dentro de su modo de *Properties Analysis* la posibilidad de construir diferentes diagramas de propiedades fisicoquímicas que se ven dentro de la asignatura, permitiendo comparar propiedades entre diferentes compuestos y analizar el comportamiento de éstas y del sistema cuando se varía la presión y temperatura.

Este modo ofrece entonces la posibilidad de realizar análisis para:

- Sistema de un componente: donde se exploran las propiedades de presión de vapor, potencial químico y energía libre de Gibbs, entalpía de vaporización y tensión superficial.
- Sistemas de dos componentes: donde se exploran mezclas con comportamiento ideal y no ideal.

A continuación se explica en detalle cómo está compuesta la guía de aplicación:

SISTEMA DE UN COMPONENTE

Para todas las propiedades descritas anteriormente se realiza una explicación de cada una de ellas, dando algunos ejemplos de cómo éstas se pueden asociar a la naturaleza. En conjunto con el tratamiento teórico, se plantean preguntas de análisis y se explica paso a paso cómo encontrar en Aspen Plus la solución a estas preguntas. Al final de la sección, se proponen ejercicios.

Por ejemplo, se desea que el estudiante esté en la capacidad de responder con la ayuda del simulador preguntas tales como:

Presión de vapor

- De una serie de compuestos dados, ¿Cuál es el punto de ebullición normal para cada componente? y ¿A condiciones normales, en qué estado se encuentran los componentes?
- ¿Cuál de los componentes graficados es más volátil?

- Si se aumenta la presión total del sistema, ¿Qué sucede con la presión de vapor?

Energía libre de Gibbs:

- Ubicar en la gráfica de energía libre de Gibbs vs. Temperatura el punto donde las fases líquido y gas se encuentran en equilibrio.
- ¿Cuál fase es estable por encima y por debajo de la temperatura de ebullición?
- Si se disminuye la presión, ¿Qué sucede con el volumen en cada fase? y ¿Qué sucede con la temperatura del punto de intersección?

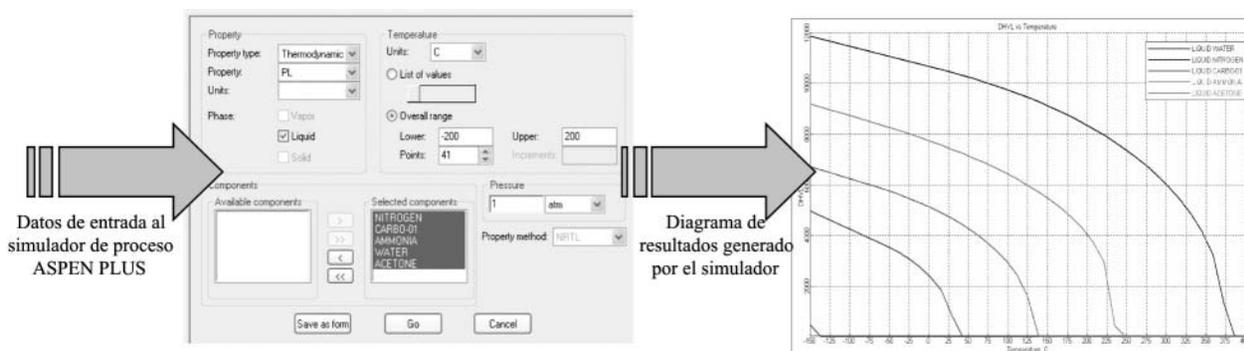
Entalpía de vaporización (ΔH_{vap})

- De una serie de compuestos dados, ¿Cuál es el que mayor calor necesita para pasar a la fase vapor?
- ¿Por qué se utiliza el agua saturada como un fluido de calentamiento?
- De la gráfica que ASPEN genera, identificar puntos relevantes, como la temperatura crítica.

Tensión superficial

- En el rango de Temperatura de 0 a 200°C. ¿Cómo explica el valor de la tensión superficial del nitrógeno (N_2)?
- ¿Qué sucede con la tensión superficial en el punto crítico?

FIGURA 4
Diagrama generado por ASPEN PLUS®, ΔH_{vap} vs. T



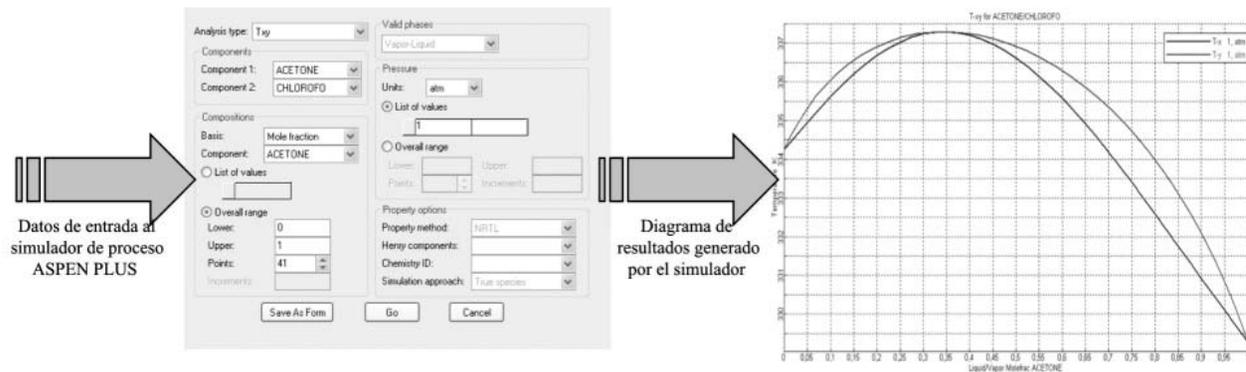
SISTEMA DE DOS COMPONENTES

Esta sección comienza explicando cómo determinar los grados de libertad, tema que es necesario entender para que el estudiante una vez se enfrente a la simulación, comprenda cuáles son los grados de libertad que el simulador requiere para llevar a cabo los cálculos. Se explica a continuación cómo leer los diagramas de T-x y P-x y se le indica al estudiante cómo realizar los diagramas en la interfase Property Analysis de Aspen Plus. De igual forma, como se hizo con el Sistema de un componente, se plantean preguntas de análisis en conjunto con la explicación teórica seguido del procedimiento en Aspen Plus para darle respuesta a las preguntas. Finalmente, se proponen ejercicios de diferentes sistemas para que el estudiante practique lo aprendido. Para sistemas binarios

se propone que el estudiante enfrente los siguientes tipos de preguntas:

- El comportamiento de mezclas azeotrópicas y el desplazamiento de su azeótropo con la variación de la presión.
- Analizar y extraer información de un diagrama P-x.
- Analizar la utilidad de los diagramas binarios para la separación de mezclas (introducción a conceptos básicos de destilación).
- Cómo se pueden aprovechar las mezclas azeotrópicas según sean de punto de ebullición máximo o mínimo.

FIGURA 5
Diagrama generado por ASPEN PLUS®. Diagrama binario T-x



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se estudió mediante la revisión de los microcurrículos de las asignaturas de Ingeniería de Procesos, en cuáles cursos es posible aplicar los simuladores de proceso para apoyar la comprensión de los conceptos estudiados en clase y se escogieron las asignaturas para realizar las guías. Con este estudio se evidenció la versatilidad que ofrecen los simuladores de proceso y su función integradora entre los conceptos vistos en diferentes cursos.
2. Tras la construcción de las guías se concluye que:

La comprensión de los conceptos fundamentales de las asignaturas Físicoquímica y Termodinámica, se logra gracias a las ventajas que presenta el uso de los simuladores, tales como:

- Poder establecer comparaciones de las propiedades termodinámicas entre varios compuestos mediante la utilización de curvas de comportamiento.

- La posibilidad de contextualizar las propiedades de puntos relevantes (Temp. crítica, Temp. ebullición, etc.), trabajar amplios rangos de temperatura y realizar diferentes corridas de un sistema a varias presiones para estudiar su comportamiento.
 - El estudiante puede estudiar cómo es el comportamiento de algunas propiedades termodinámicas a condiciones de trabajo diferentes a las estándar encontradas en la literatura, tales como las condiciones del sitio.
3. A través de un estudio de las aplicaciones que ofrece Aspen Plus, se encuentra que la interfase Property Analysis brinda una opción adicional a la simulación de procesos a través de una amplia base de datos termodinámicos que permite la construcción de gráficos de propiedades termodinámicas y de transporte vs. Temperatura y la construcción de sistemas binarios (equilibrio de fases).
 4. Finalmente, se logró desarrollar dos guías que ayudan a la comprensión de algunos conceptos estudiados en las asignaturas de Físicoquímica y de Termodinámica, mediante la solución de preguntas de análisis en el simulador de procesos Aspen Plus; esto en conjunto con una breve explicación teórica y un procedimiento detallado de los pasos a seguir en el simulador para resolver el problema en cuestión.

Adicional al estudio de los objetivos de este proyecto y a partir de la experiencia en su desarrollo, se recomienda y concluye:

5. El simulador de procesos puede ser utilizado como una herramienta que acompañe al estudiante durante su proceso de aprendizaje de las ciencias básicas de ingeniería, ayudándolo a obtener una mayor comprensión de los conceptos vistos en clase; lo cual aplicado en forma gradual a los conocimientos del estudiante, contribuirá al desarrollo de una posición crítica y de evaluación en cursos más avanzados.
4. Para los autores de este proyecto, la realización de la guía representa un reto y un aporte muy

importante en su desarrollo profesional, por tomar el “rol de profesores”, pudiendo así profundizar en los temas no sólo de simulación, sino también en las asignaturas físicoquímica y termodinámica, y en temas pedagógicos.

6. En la posición como estudiantes de Ingeniería de Procesos, se considera que el uso de simuladores de procesos dentro de varias asignaturas de la carrera, no solo desarrolla habilidades computacionales útiles en el desempeño como profesionales, sino que proporciona además una gran ayuda para comprender mejor los temas estudiados, para analizar los problemas desde diferentes ángulos, para proponer nuevas soluciones y con todo ello, generar conocimiento. Los simuladores integran las asignaturas fundamentales de la ingeniería, permitiendo diseñar y optimizar procesos complejos, lo cual posibilita formar ingenieros competitivos y sobresalientes, si se ha estado en contacto con la simulación de procesos desde cursos inferiores.
7. Se recomienda tomar como ejemplo la propuesta planteada para que se diseñen otras guías aplicadas a otras materias del currículo de ingeniería de procesos: Termodinámica II, Balances de Materia y Energía, Mecánica de Fluidos, Transferencia de Calor, Transferencia de Masa y Manejo de Sólidos.
8. Se recomienda inculcar en los estudiantes el hábito de realizar sus propios programas de simulación, en lenguajes de programación como Matlab y Excel, para así ir creando conocimiento y para que una vez se enfrenten a simuladores comerciales, comprendan qué sucede tras cada iteración.

REFERENCIAS

- 1 D.R. Lewin, W.D. Seider, J.D. Seader. 2002. Integrated process design instruction. Computers and Chemical Engineering 26. p.p. 295-306.
- 2 Escobar, Jaime Alberto. 2005. Modelo sistémico para la formación de un ingeniero clase mundial en Colombia.

**METODOLOGÍA
PARA LA
FABRICACIÓN DE
LAS PIEZAS BUJE
PARA QUINTA
RUEDA HOLLAND
REF GAFF # 11727
Y SOPORTE DE
TRANSMISIÓN D/
BRIGADIER (COL)
REF GAFF # 18125
POR FABRICACIÓN
NACIONAL**

Pablo Andrés Rico Palacios
pricopal@eafit.edu.co

Ricardo Esteban Mesías Álvarez
mesiasa@eafit.edu.co

RESUMEN

En el campo de los repuestos para automotores de carga, la mayoría de las piezas de soportería y de la suspensión de los vehículos son importadas de los mercados Norteamericanos y Mexicanos; lo que obliga al sector distribuidor de repuestos a almacenar grandes cantidades de estas piezas aumentando el costo de los repuestos y por ende el mantenimiento de los automotores. Se cuenta con otra dificultad adicional y es la generada por la ausencia de algún repuesto, produciendo largos tiempos de espera para hacer efectiva una reposición.

La anterior deficiencia, representa una oportunidad para el sector manufacturero del país, en la fabricación nacional de algunas de estas piezas importadas, por lo que en este artículo se aplicó de manera detallada una metodología de sustitución de importaciones, que permite determinar la factibilidad técnica y económica de fabricar nacionalmente dos productos de la línea de soportería en poliuretano para vehículos de carga que tradicionalmente son importados, contribuyendo de una manera dinámica con el desarrollo tecnológico y económico del sector automotriz, partiendo de la creación de infraestructura y conocimiento para que empresas colombianas que quieran innovar dentro de su cadena productiva, puedan generar nuevas alternativas de producción a partir de sustitución de importaciones.

PALABRAS CLAVES

Factibilidad técnica, factibilidad económica, piezas de soportería, proceso de jerarquía analítica, tiempo de reposición.

INTRODUCCIÓN

El parque automotor de vehículos de carga en Colombia, el cual es alrededor de 162.000 vehículos (Gallego,2005,p.3), representa un importante eslabón en la cadena productiva de bienes y servicios del país, éstos automotores sufren un deterioro permanente y acelerado, siendo necesarios programas de mantenimiento especiales para mantener este importante renglón de la economía activo y así poder contar con un servicio ágil y oportuno.

Mediante estudios se ha podido determinar el grupo de piezas que se deterioran con mayor facilidad, siendo algunas de ellas, la soportería del automotor y la suspensión en general, obligando a efectuar programas de mantenimiento a los automotores de carga que van desde el correctivo, el más utilizado, hasta el predictivo.

Las piezas para soportería constan en su mayoría de un armazón metálico (herraje) y una matriz que recubre en gran proporción el herraje, la cual esta fabricada de elastómeros (hule, caucho, poliuretano elastómero) que le brindan a la pieza resistencia y amortiguación para fijar o soportar componentes del automotor; dichas piezas van ubicadas en diferentes partes del vehículo como el motor, el chasis, la suspensión delantera, la suspensión trasera, la cabina y el remolque. La mayoría de estas piezas son importadas, lo que obliga a las empresas encargadas de suministrar estos productos a almacenar grandes cantidades de estas, aumentando el costo de mantenimiento y a generar largos tiempos de espera para hacer efectiva una reposición o adquisición de repuestos en el momento que se presente un agotado de estos. Si tomamos como referente los modelos, las características de diseño y las condiciones de uso apropiadas por las grandes compañías productoras de vehículos de carga como Chevrolet, Kenworth, Mercedes Benz, Dodge, Chrysler, Fiat, etc. que asumen como campo de uso carreteras planas y en optimo estado, se evidencia un deterioro acelerado de estos vehículos en carreteras

que no reúnen las condiciones adecuadas de transito como los son las carreteras colombianas, obligando al cambio prematuro de algunos componentes de la soportería y suspensión para garantizar el optimo funcionamiento de los automotores.

Todo esto representa una oportunidad para el sector productivo nacional dedicado a la generación de bienes de capital; cabe anotar, que para dar un oportuno soporte técnico, es necesario desarrollar tanto infraestructura como conocimiento para producir la materia prima, importada casi en su totalidad. Adicional a esto, se debe desarrollar métodos de fabricación para la producción de dichas piezas con una alta calidad y precios competitivos.

En función a esta necesidad y a la gran cantidad de usos del poliuretano en la fabricación de diferentes piezas como lo es la soportería para vehículos de carga, y evidenciando una oportunidad de mercado nacional con volumen de producción importante, se plantea como alternativa la implementación de un sistema productivo que satisfaga el parque automotor de transporte pesado con piezas de soportería; Por lo que en el presente trabajo se llevará a cabo una prueba piloto con dos piezas (ver Figura 1.) para determinar la factibilidad técnica y económica de la fabricación nacional de estas piezas, las cuales hacen parte de una línea de soportería que tiene como punto de referencia las piezas fabricadas por la empresa GAFF INTERNATIONAL S.A., empresa mexicana dedicada a la producción de piezas en poliuretano para transporte pesado. Dichas piezas son altamente reconocidas en el país debido a su larga trayectoria en el mercado y a su alta calidad, condición suficiente para tomarla como modelo comparativo.

El proceso se inicia con la fabricación de prototipos de estas piezas nacionalmente para ser comparadas con las piezas fabricadas por GAFF y determinar la factibilidad tanto técnica como económica de esta sustitución.

FIGURA 1
Piezas seleccionadas

CÓDIGO GAFF	NOMBRE DE LA PIEZA	FIGURA TRIDIMENSIONAL DE LA PIEZA
11727	BUJE PARA QUINTA RUEDA HOLLAND	
18125	SOPORTE DE TRANSMISIÓN D/BRIGADIER (COL)	

1. METODOLOGÍA

En la metodología interactúan conceptos básicos de ingeniería de diseño, ingeniería de materiales, ingeniería de producción, ingeniería mecánica, así como la evaluación de costos y presupuestos.

Para iniciar un proceso de sustitución de importaciones se parte de la necesidad de suplir una demanda nacional, por medio de la fabricación nacional de productos que se estén importando; para esto se deben ejecutar de manera sistemática una serie de etapas (ver Figura 2.) con el fin de llevar a feliz termino un proceso de sustitución.

Selección d- pieza

Se determinó el inicio de la evaluación técnica y económica para la fabricación nacional de las piezas Bujes para quinta rueda Holland REF GAFF #11727 y Soporte de transmisión d/brigadier (col) REF GAFF #18125.

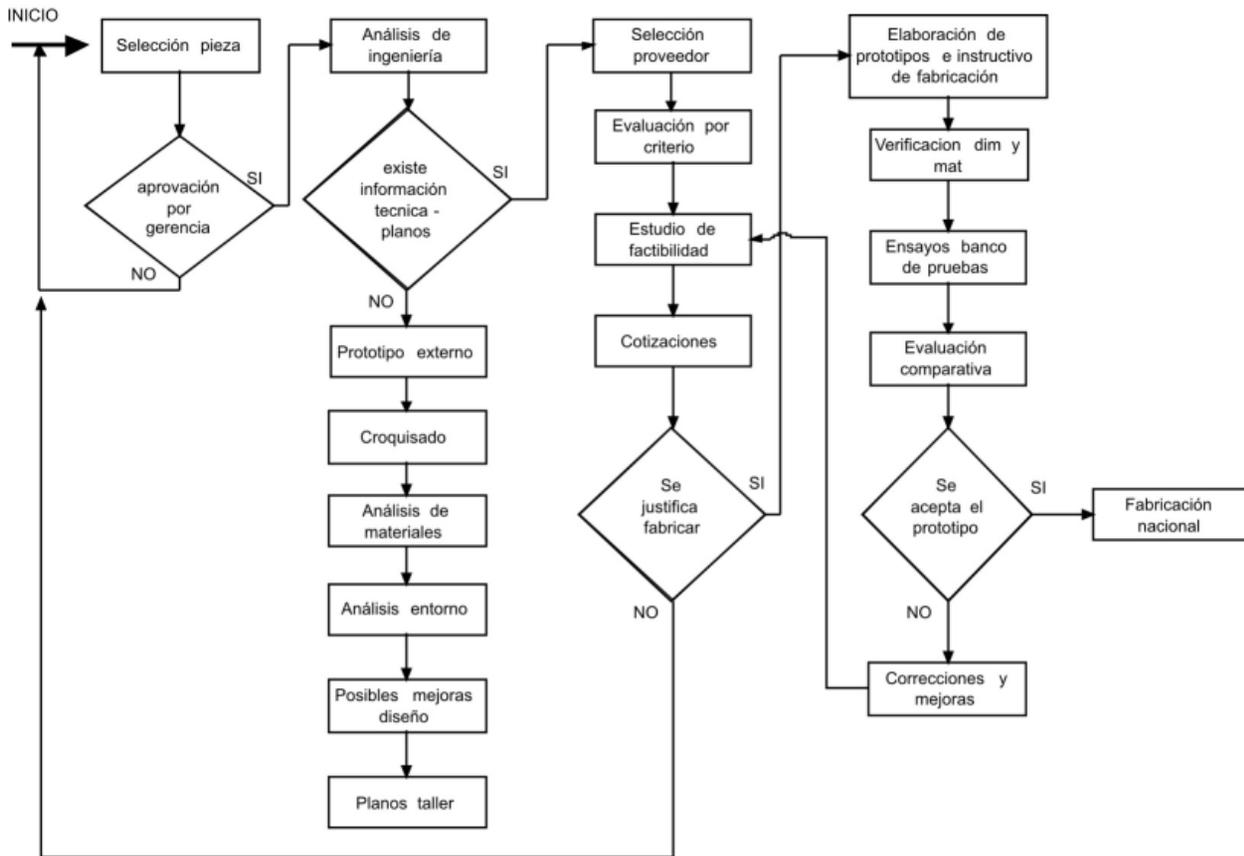
Diseño y análisis de ingeniería de las piezas

El producto que se desea sustituir debe mantener las especificaciones que da el mercado y el repuesto importado; por lo que se necesitó adquirir prototipos externos de las piezas importadas con el fin de obtener la información técnica (materiales, planos de taller, tolerancias y tratamientos térmicos) necesaria para la fabricación de estas. Para lograr esto se procedió a realizar los análisis de entorno, análisis de materiales y la elaboración de planos de taller.

Selección de proveedores de materia prima y algunas piezas

Para la fabricación de las piezas es necesario adquirir materia prima y componentes acordes con el proceso de manufactura, por lo que se inició una búsqueda y selección de proveedores nacionales e internacionales

FIGURA 2
Diagrama de flujo sustitución de importaciones



que estuvieran en capacidad de suministrarlos. Dicha evaluación se realizó por medio del proceso de Jerarquía Analítica¹, en el cual se analizaron cinco propuestas de cinco diferentes proveedores; a los cuales se les evaluó Precio, calidad, entrega y servicio; El proceso de evaluación dio como resultado que sólo 2 de las propuestas cumplieron con los requerimientos necesarios de material químico y metalmecánico siendo los proveedores (A) y (D) los escogidos.

Estudio de factibilidad económica

Se analizó la factibilidad económica de la fabricación de las piezas buje para quinta rueda Holland y soporte de

¹ Método para la toma de decisiones en el cual se combinan diversos factores cualitativos valorados por una escala o sistema de ponderación

transmisión d/brigadier (col). Este estudio incluye los siguientes costos: Infraestructura y tecnología necesaria para la fabricación nacional de los producto, costos directos (mano de obra y material), costos indirectos de fabricación, costo de caracterización de materiales y costos asociados a la elaboración de prototipos y ensayos.

Elaboración de prototipos

Se fabricaron por triplicado dos prototipos para cada una de las dos piezas seleccionadas en el proceso de sustitución, en el caso del soporte para quinta rueda Holland se fabricaron los prototipos A y B y para el soporte de transmisión d/brigadier se fabricaron los prototipos C y D. Sus especificaciones se presentan a continuación:

TABLA 1
Prototipos buje para quinta rueda Holland y soporte de transmisión d/brigadier (col)

Pieza	Prototipo	Materiales	Proceso de curado	Dureza (Shore A)
Buje para quinta rueda Holland	A	Poliuretano elastómero	Curado en caliente	78
Buje para quinta rueda Holland	B	Poliuretano elastómero	Curado en frío	90
Soporte de transmisión d/brigadier (col)	C	AISI SAE 1020 Poliuretano elastómero	Curado en caliente	78
Soporte de transmisión d/brigadier (col)	D	AISI SAE 1020 Poliuretano elastómero	Curado en frío	90

Comparación del desempeño de los prototipos respecto a las piezas importadas

Los prototipos y las piezas importadas se sometieron a diferentes fuerzas que fueron simuladas en el laboratorio a partir de diferentes montajes con el fin de recrear el comportamiento de estas en su entorno y verificar los desempeños de los prototipos fabricados contra las piezas importadas.

Para el buje quinta rueda Holland se realizaron las pruebas de dureza y de compresión.

Para el soporte de transmisión d/brigadier se realizaron las pruebas de dureza y de flexión.

Dichas pruebas se realizaron para estudiar el comportamiento de las piezas frente a los esfuerzos característicos a los cuales están sometidos dentro su entorno. Adicional a estas pruebas, se realizó un ataque químico al poliuretano constitutivo de la matriz elastómera de las piezas importadas como a los prototipos nacionales, obteniéndose como resultado la misma resistencia a los diferentes solventes que se utilizaron.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Factibilidad económica

Para determinar la factibilidad económica, se encontraron los costos de fabricación de las piezas mostrados en la Tabla 2.

TABLA 2
Comparativo precios piezas importadas frente a nacionales

Pieza	Costo Fabricacion Pieza Nacional	Costo Pieza Importada Legal	Diferencia Porcentual en Costos de las Piezas Fabricadas Nacionalmente Frente a las Importadas
Buje para Quinta Rueda Holland	\$18.519 + IVA	\$52.000 + IVA	64,38 %
Soporte para la Transmisión D/Brigadier (col)	\$63.153 + IVA	\$76.600 + IVA	17.55 %

A partir de estos resultados y disponiendo de infraestructura, tecnología e insumos necesarios para la fabricación de las piezas en Colombia, se determina como afirmativa la factibilidad económica de la producción nacional de estos productos.

2.2 Factibilidad técnica para el buje quinta rueda Holland

Los datos obtenidos de desempeño de los prototipos A y B y del buje para quinta rueda Holland importado se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3
Comparativo desempeño bujes para quinta rueda Holland importados y prototipos

ITEM	Buje quinta rueda importado	Prototipo A	Prototipo B
Dureza (Shore A)	80.6	78.23	90.56
Fuerza de Compresión (kilo newton)	106	106	103.2
Presión (Mega pascales)	33.8441	33.8441	32.9501
Deformación en eje X (mm)	15.5	16.66	17

De la Tabla 3, se concluye que el desempeño mecánico del prototipo A es análogo a las características del buje importado, por tal motivo el prototipo A es aceptado técnicamente para la sustitución y el prototipo B es rechazado debido a que sus datos de desempeño difieren del producto importado.

1.1 Factibilidad técnica para el soporte de transmisión d/brigadier (col)

Los datos obtenidos de desempeño de los prototipos C y D y del soporte de transmisión d/brigadier (col) importado se presentan en la Tabla 4.

TABLA 4
Comparativo desempeño soportes de transmisión importados y prototipos

ITEM	Soporte de transmisión importado	Prototipo C	Prototipo D
Dureza (Shore A)	82.8	78.23	90.56
Fuerza de Flexión (kilo newton)	6.15	1.95	3.40
Deformación en eje X (mm)	33.1	22.6	7.33

De la Tabla 4, se concluye que el desempeño mecánico de ambos prototipos difiere notablemente del soporte importado; por tal motivo no se selecciona ninguno de estos para efectuar la sustitución ya que técnicamente no son factibles.

CONCLUSIONES

Se desarrolló sistemáticamente una metodología que permitió analizar la factibilidad económica y técnica de fabricar las piezas buje para quinta rueda Holland y soporte de transmisión d/brigadier.

Las piezas buje para quinta rueda Holland y soporte de transmisión d/brigadier de ser fabricadas representan una oportunidad económica.

La fabricación nacional de las piezas soporte de transmisión d/brigadier (col) y buje para quinta rueda Holland es factible económicamente, caso contrario al análisis técnico donde solo el prototipo A del buje para quinta rueda Holland es técnicamente viable.

Los prototipos B, C y D, no cumplen con los requerimientos técnicos para la sustitución de las piezas importadas.

Se sugiere continuar con el proceso de validación de prototipos para la pieza soporte de transmisión d/brigadier (col) con el fin de cumplir con los requerimientos técnicos de la pieza y realizar la sustitución.

Queda de manifiesto la ausencia de reportes de ingeniería en las piezas importadas, lo que obliga a nuestras empresas a realizar los análisis de ingeniería pertinentes, así como evaluaciones técnicas y económicas incrementando el costo en la formalización de la producción nacional de estas.

BIBLIOGRAFÍA

Arango Toro, Julio Cesar. Eguis Lopez, Jaime Andres. Kulvietis Suárez Razid. Metodología Para la Sustitución de Importación de Repuestos por Fabricación Nacional. Medellín, 2004. 104 p. : II . Tesis. Departamento de Ingeniería de Producción. Universidad EAFIT.

Enciclopedia del plástico: Poliuretano. Primera Edición. México: Instituto mexicano del plástico industrial,1996. 24p.

Gallego Henao, Andrés Uriel.(2005). Mintransporte propone importar 3 mil tractomulas usadas. Casa de Nariño, Presidencia de la Republica. <http://www.presidencia.gov.co/sne/2005/mayo/24/08242005.htm>. Consulta: 20 de septiembre de 2005

Harrington, James H. Mejoramiento de los Procesos de la Empresa. Primera Edición. Santa fe de Bogota: McGraw-Hill Hispanoamericana,1993. 309 p.

Horngren, Charles. Foster, Goerge. Datar, Srikan T. Contabilidad de costos, Un enfoque gerencial. Octava edición. Prentice Hall, 1996. p.10-12.

L.G. Wade, JR. Química Orgánica. Segunda Edición. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1993.p. 479-526, apéndice 2A. 1312 p. Serie de Compendios Schaum.

Mesías Álvarez, Ricardo Esteban. Rico Palacios, Pablo Andrés. Metodología Para la Fabricación Nacional de las Piezas, Buje Para Quinta rueda Holland REF GAFF # 11727 y Soporte de Transmisión D/Brigadier (col) REF GAFF # 18125. Medellín, 2006. 193 p. : II . Tesis. Departamento de Ingeniería de Procesos. Universidad EAFIT.

Turton, Richard; Bailie, Richard C; Whiting, Wallace B; Shaeiwitz, Joseph A. Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes:Essential Flow Diagrams for Undertanding Processes. Segunda Edicion. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2003.p.6-9. 987p. + CD ROM. Prentice Hall Series in The Physical and Chemical Engineering Sciences.

DISEÑO DE UN MÉTODO PARA LA PREVULCANIZACIÓN DE LÁTEX NATURAL

Mauricio De Greiff Palácio

mdegreiff@epm.net.co

Paola Villadiego Reyes

pvilladi@eafit.edu.co

Luís Alejandro Betancur González

lbetanc5@eafit.edu.co

RESUMEN

El diseño de un método de prevulcanización de látex natural (NR), implica la evaluación de temperaturas y tiempos óptimos en el proceso con el fin de obtener una materia prima con las mejores propiedades para la elaboración de una amplia gama de productos finales (guantes industriales, quirúrgicos y línea hogar; recubrimiento de tapetes o telas, globos, preservativos, neumáticos de bicicletas de competencia, hilos de caucho, espuma de látex y bandas elásticas). En estos, los indicadores más representativos de calidad son la resistencia a la tensión, la elongación y la resistencia al desgarre. Las condiciones óptimas de proceso obtenidas fueron dadas en el rango de temperaturas de 50 a 80°C y de 30 a 200 minutos de prevulcanización, no sólo por presentar los mejores valores en términos generales para las pruebas mencionadas, sino por la facilidad que implica para equipos en cuanto a mantenimiento y eficiencias. Una de las ventajas a nivel industrial de esta investigación se orienta hacia el aumento en la productividad derivada de menores tiempos en los ciclos de secado.

PALABRAS CLAVES

Látex natural, Prevulcanización, Vulcanización.

ABSTRACT

The design of a method for prevulcanization of natural latex (NR), involves the assessment of optimal temperatures and times of process in order to obtain a raw material with the best properties for the making of a wide range of final products (gloves –industrial, surgical, home care- carpet or textile covering, balloons, prophylactics, tyres for competition bikes, latex threads, latex foam, elastic bands). Among those articles the most important quality standards are stated by the tests of tensile strength, elongation percentage and break resistance. The optimal conditions were given at ranges from 50 to 80°C and from 30 to 200 minutes of prevulcanization, not only because they showed the best values in terms of the tests mentioned above, but for simplicity of equipment handling and efficiencies. One of the most remarkable advantages on the industrial level for this investigation is attained to the increase on productivity that comes from shorter times on the drying cycles.

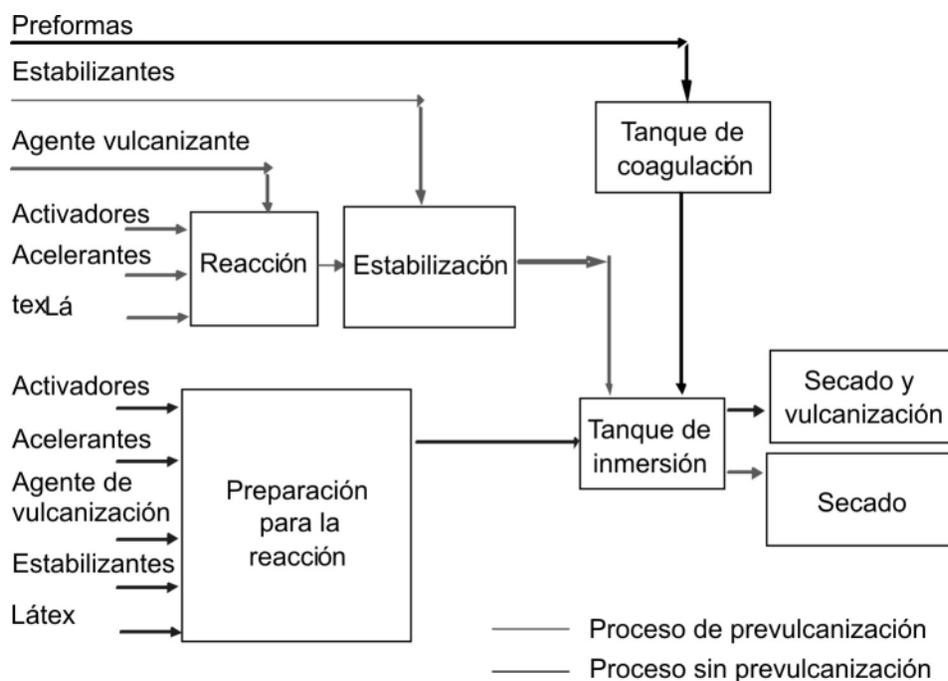
INTRODUCCIÓN

En la industria de transformación del látex, existe el reto de obtener los artículos de caucho con menores tiempos de proceso. Para ello se debe intervenir en la formulación, la temperatura y el tiempo de la vulcanización, lo cual es el objeto de estudio a investigar.

En la Figura 1 se ilustran ambos procesos, tanto el tradicional, como el realizado con látex prevulcanizado, para fabricar artículos por inmersión, o "dipping".

Mediante el uso de la prevulcanización del látex, se pretende que el secado tome menos tiempo, aumentando así la productividad en la planta.

FIGURA 1
Diagrama de Bloques para el proceso de fabricación de artículos a base de látex natural



DISEÑO DEL MÉTODO

Además de los tres componentes básicos en el sistema de vulcanización: agente de vulcanización, acelerante y activador; suelen utilizarse en una formulación de látex otros componentes para establecer un medio adecuado para la estabilidad y homogeneidad de la reacción. Estos son: un agente tensoactivo, generalmente el oleato de potasio que mantiene emulsionados los componentes solubles e insolubles; un álcali, el hidróxido de potasio, que aumenta el pH (lo que contribuye a la estabilización) y neutraliza los ácidos grasos que puedan haberse formado por la degradación de las proteínas presentes en el látex (ya que es el extracto de un árbol), también contribuye a mantener ionizados los jabones que puedan incorporarse, evitando que se formen sales de zinc, que pueden ejercer un efecto desestabilizador. (Royo, 1986). Finalmente y no menos importante se agrega un antioxidante, para evitar el ataque del oxígeno atmosférico sobre el artículo final (o sobre la mezcla de látex en proceso) causando oxidación.

Para establecer un sistema de prevulcanización de látex natural es esencial tener en cuenta:

Temperatura

Se debe disponer de un dispositivo adecuado para suministrar calentamiento a la masa de látex de una manera estable. De igual forma se debe contar con un dispositivo que permita enfriar en el menor tiempo posible para detener la reacción de formación de enlaces de azufre (Sasidharan, 2004).

Agitación

El sistema debe contener una mezcla homogenizada mediante un agitador de ancla a una velocidad no mayor de 250 rpm para evitar que el esfuerzo de corte maltrate las partículas de caucho. (Mausser, 1987).

Reactor

La reacción de prevulcanización debe ser llevada a cabo en un recipiente cerrado para evitar que el amoníaco presente y el agua se evaporen durante el proceso (Varkey, 1996), lo que conllevaría a un espesamiento insatisfactorio de la mezcla y una subsecuente coagulación precoz.

Formulación

El orden en que se suministran los componentes del sistema de vulcanización debe ser estricto, ya que algunos deben entrar con prioridad antes que otros como es el caso del KOH, que suministra estabilidad mecánica ante la coagulación (Royo 1986). Además los componentes del sistema de vulcanización deben estar debidamente dispersos en una fase acuosa cuando éstos son sólidos (como es el caso del azufre, el óxido de zinc y el acelerante) o bien deben ser adicionados en solución ya que sólo de esta forma se asegura una mezcla homogénea en el látex.

Tiempo de reacción

El azufre incorporado a la mezcla debe suministrarse una vez se haya alcanzado la temperatura de prevulcanización, ya que de ser realizado previamente se estaría comenzando la reacción mucho antes de comenzar el conteo del tiempo estipulado para el proceso (De Greiff, 2005).

Maduración

El látex una vez preparado y prevulcanizado debe ser puesto en reposo en un lugar fresco y seco, al amparo de la luz solar, porque debe dejarse “madurar” entre 24 y 48 horas previo a la adición de un antioxidante y un estabilizante de viscosidad. Maduración se define como el cambio en las propiedades coloidales que la mezcla del látex presenta durante el almacenamiento.

PRUEBAS PARA REALIZAR LA PREVULCANIZACIÓN

Número de Cloroformo

Es una evaluación cualitativa de la prevulcanización del látex. Hace referencia a la forma en que se disgrega el látex una vez ha entrado en contacto con cloroformo.

Para la realización de la prueba se toman iguales volúmenes de látex y cloroformo y se mezclan hasta la coagulación total del látex. De acuerdo con el tipo de coagulación se compara con las fotografías registradas por Mausser, 1987. Se asigna un número de acuerdo con la fotografía de mayor similitud. Siendo para 1) Estado no vulcanizado; 2) Poco vulcanizado; 3) Moderadamente vulcanizado; 4) Completamente vulcanizado.

Hinchamiento en Tolueno

Es una prueba que mide la capacidad del caucho, de absorber un solvente, en este caso, el tolueno. A medida que el caucho se encuentra más vulcanizado, le será más difícil absorber el solvente (Sasidharan, 2005).

$$\text{Índice de hinchamiento} = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$$

W_1 : Peso de la película de caucho seco antes de entrar en contacto con el tolueno.

W_2 : Peso de la película de caucho seco 48 horas después de estar inmersa en tolueno.

>15 Caucho no vulcanizado.

(7-15] Caucho poco vulcanizado.

(5-7] Caucho moderadamente vulcanizado.

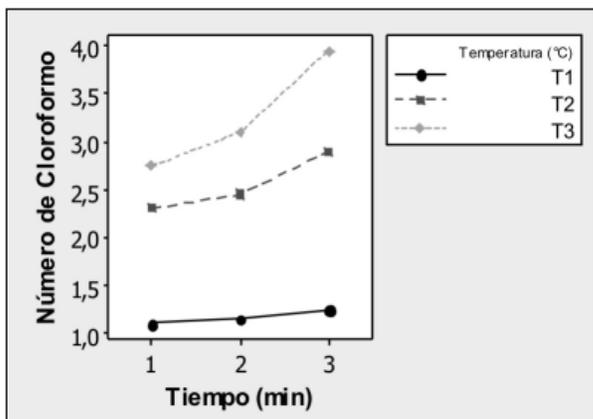
<5 Caucho completamente vulcanizado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar la temperatura ideal y el tiempo de prevulcanización, se toman tres temperaturas T1, T2 y T3 dentro del rango de 50 a 80°C. Para los tiempos se toman t1, t2 y t3 en el rango de 30 a 200 minutos. Se diseñan nueve experimentos con las combinaciones de estas características. Al existir una réplica, se tienen 18 experimentos en total, a los cuales se suman dos que corresponden a la Mezcla Base y su réplica. Esta Mezcla Base se realiza sin prevulcanización, y con la formulación empleada por la empresa Proantéx S.A., en la que se fabrican guantes industriales. Con respecto a ella se comparan el Número de Cloroformo, el hinchamiento en tolueno, la resistencia a la tensión, al desgarre y el porcentaje de elongación.

La Figura 2 muestra una tendencia uniforme para las tres temperaturas a medida que se varía el tiempo, aunque a T1 es muy poca la influencia de estas variables. Se observa una diferencia apreciable en el aumento del Número de Cloroformo para T2 y T3, con respecto a T1.

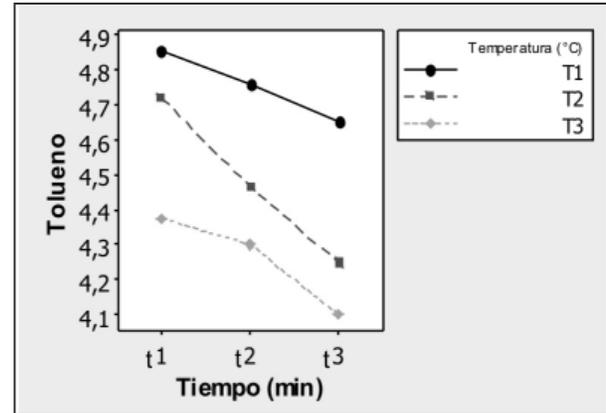
FIGURA 2
Número de Cloroformo



La tendencia de los datos según la Figura 3, muestra que existe un patrón de aumento a medida que se va incrementando la temperatura. El punto que presenta mejor vulcanización es T3xt3, aunque este tiene viscosidades muy altas, se puede descartar y tomar el de T3xt2. Para T2xt3 de igual forma se presenta resultados óptimos

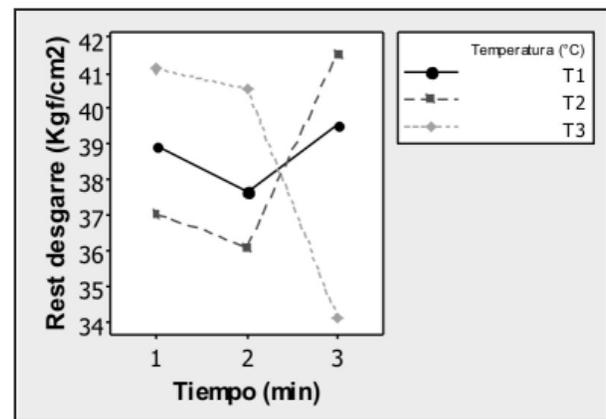
parecidos a T3xt2, sin embargo se descarta para escoger entre los dos el de menor tiempo de proceso.

FIGURA 3
Hinchamiento en Tolueno



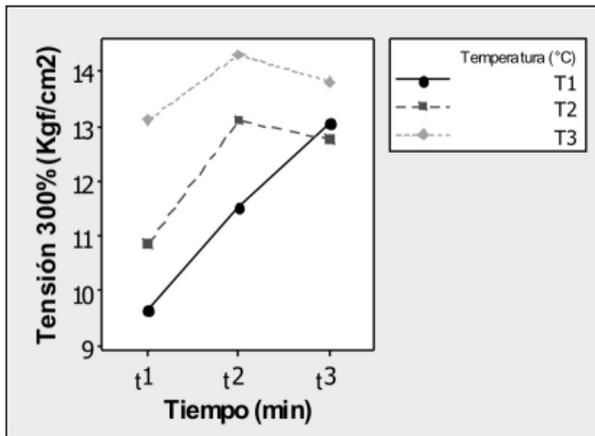
El módulo de tensión aumenta con la cantidad de entrecruzamientos y luego cuando llega a un máximo disminuye. La Figura 4 presenta que el módulo de tensión aumenta a medida que aumenta el tiempo y temperatura hasta t2, aunque para las temperaturas de T2 y T3 disminuye a partir de este valor, pero muy poco.

FIGURA 4
Resistencia a la Tensión (módulo al 300%)



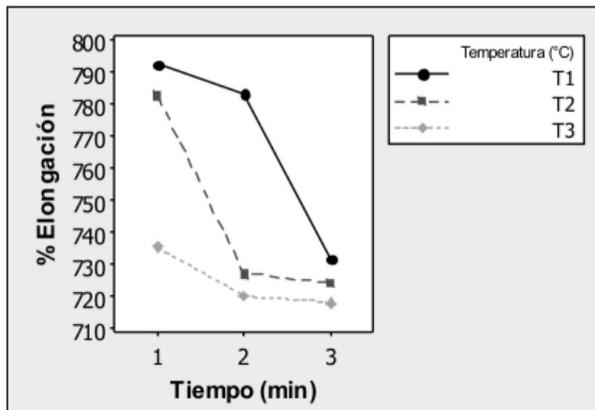
El porcentaje de Elongación disminuye a medida que aumenta la densidad de reticulación, la Figura 5 muestra que todos los datos presentan una tendencia similar. Los puntos para T3xt2 presentan un valor muy parecido a los de T3xt3. Se toma este primero como el óptimo ya que presenta un menor tiempo de proceso.

FIGURA 5
Porcentaje de Elongación máximo



La Figura 6 presenta una tendencia parecida desde t1 hasta t2 siendo esto coherente con la teoría, que a medida que aumentan los enlaces sulfídicos, la resistencia al desgarre disminuye.

FIGURA 6
Resistencia al Desgarre



Al realizar un análisis integral de las variables de respuesta, se tiene que en general, a una mayor temperatura, y un mayor tiempo de prevulcanización, se esperan mejores propiedades del producto final. De acuerdo con esto, los experimentos realizados a T3 serían los óptimos tomando el de t2 como el mejor. Para T3 existe una tendencia a la disminución para la resistencia al desgarre. Esto se debe a que a esta temperatura ya existe degradación de los enlaces sulfídicos.

Como un complemento al diseño experimental, se realiza un secado a 30 minutos y a 15 minutos, a manera de experimentación exploratoria. Para cada una de las probetas de prevulcanización, se analiza qué posibles ventajas se obtienen con respecto a la Mezcla Base secada en 60 minutos que es nuestro patrón estándar o proceso actual que se busca mejorar (Ver Tabla 1).

Los valores obtenidos en la comparación muestran que la Mezcla Base puede incluso ser mejorada por cualquiera de los experimentos con látex prevulcanizado. Esto se debe a que realizar la vulcanización en el látex aún fluido puede favorecer una mejor difusión de los reactivos de vulcanización en comparación con la que se hace en la película depositada ya en la preforma del artículo final, que vulcaniza en el horno de secado (Tangboriboonrat y Lerthittrakul, 2002).

Con base en el modelo óptimo para el Diseño Experimental, de T3xt2, se realiza un análisis del secado a 15 minutos para las probetas de T3.

TABLA 1
Secado a 30 y 15 minutos

A 30 minutos				
Ensay	Tolue	Tens. 300% [Kg/cm2]	Elong [%]	Desg [Kg/cm2]
T1xt1	4,24	11,98	714,6	35,28
T1xt2	3,91	15,38	642	35,98
T1xt3	3,87	16,29	609,3	38,74
T2xt1	3,94	15,62	673,3	39,3
T2xt2	3,84	18,27	615,3	36,94
T2xt3	3,79	15,87	646	38,3
T3xt1	3,85	15,12	641	37,71
T3xt2	3,81	16,31	604,7	43,77
T3xt3	3,74	18,79	631,7	44,82
MB60	4,86	10,43	792,3	45,36
A 15 minutos				
T3xt1	3,98	9,68	761,3	37,25
T3xt2	3,95	12,36	754	46,63
T3xt3	3,78	15,11	624	37,57

CONCLUSIONES

Se obtuvo látex natural prevulcanizado con un Número de Cloroformo adecuado entre 3 y 4, e hinchamiento en Tolueno con valores menores que 5.

Se evaluaron mezclas para la producción de guantes industriales con látex prevulcanizado buscando que cumplieren con los requerimientos para los ensayos mecánicos. Los valores normativos se lograron y se superaron.

Los parámetros más favorables para realizar la prevulcanización del látex natural, en cuanto a temperatura y tiempo son los rangos de 50 a 80 °C y 30 a 200 minutos de reacción.

A menores tiempos o temperaturas la reacción no es satisfactoria. A mayores valores del rango establecido, existen pérdidas de material por la formación de aglomeraciones de sólidos que deben desecharse, o por inestabilidad del producto en el tiempo.

El punto óptimo se obtiene a T3xt2.

Para un secado a tiempos menores en horno, demuestran que se pueden obtener mejores valores en las propiedades del producto final para todos los prevulcanizados. El tiempo evaluado para dichas pruebas fue de la mitad del tiempo de secado tradicional. Se confirma además que inclusive a una cuarta parte del tiempo tradicional, prevalece el proceso realizado a T3xt2, como óptimo, y con mejores prestaciones.

Tomando un secado de 15 minutos para el ensayo óptimo de T3xt2, se obtienen mejoras en las propiedades del vulcanizado que pueden ser cuantificadas como se muestra en la Tabla 2:

TABLA 2
Porcentaje de mejora a 15 minutos de secado

Propiedad	No prevulc.	Prevulc.	% de mejora
Tens. [Kgf/cm ²] (módulo al 300%)	10,43	12,36	18,5
R. al desgarre [Kgf/cm ²]	45,36	46,63	3,46
Tolueno	4,86	3,95	23,03

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D624-00 . Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers.

BRYDSON, Jhon Andrew (1988). *Rubbery Materials and their Compounds*. Primera Edición. Elsevier Applied Science. London. P. 70-98.

CLARAMMA N. M & MATHEW N. M (1997). Effect of Temperature on Sulfur Pre vulcanization of Natural Rubber Latex. En: *Journal of Applied Polymer Science*. 65: 1913-1920.

DE GREIFF, Mauricio (2005). *Asesoría técnica en caucho y látex*.

EUROPEAN TYRE SCHOOL (1999). *Teaching Modules. Module 4. Material properties and structure for tyres*. [artículo de Internet] http://www.tut.fi/units/ms/muo/tyreschool/moduulit/moduuli_4/index.html [Consulta: 17 de octubre de 2005].

HOFMANN, Werner (1980). *Rubber Technology Handbook*. Hanser Publisher. New York. P. (16-18)

ISO 34 Rubber, Vulcanized - Determination of Tear Strength (Trouser, Angle, and Crescent Tear Pieces)

ISO 37 (2005). *Rubber Vulcanized or Thermoplastic-- Determination of Tensile Stress - Strain Properties*.

ISO 1421 (1998). *Rubber- or Plastics-Coated Fabrics -- Determination of tensile Strength and Elongation at Break*.

MAUSSER, Robert F. et al. (1987). *The Vanderbilt Latex Handbook*. Tercera Edición. R.T. Vanderbilt Company, Inc.

MORTON, Mauricie (1987). *Rubber Technology*. Tercera Edición. Van Nostrand Reinhold. New York. P. (179-208)

ROYO, Joaquín (1986). *Manual de Tecnología del Caucho*. Segunda Edición. Consorcio Nacional de industriales del caucho.

SASIDHARAN (2004). Effect of the Vulcanization Time and Storage on the Stability and Physical Properties of Sulfur-Prevulcanized Natural Rubber Latex En: Journal of Applied Polymer Science. Vol 97, p.1804-1811.

SASIDHARAN K.K (2005). Room Temperature Pre vulcanization of Natural Rubber Latex Using Xanthate. En: Journal of Applied Polymer Science. Vol 94, p. 1164-1174.

TARGBORIBOONRAT, Pramaum. (2002) Morphology of Natural Rubber Latex Particles Pre vulcanised by Sulphur and Peroxide Systems. Colloid Polymer Sci. Vol. 280, p. 1097-1103.

VARKEY Jyothi y otros (1996). Effect of Pre vulcanization on the Rheological Behavior of Natural Rubber/Styrene Butadiene Rubber Latex Blends. En: Journal of Applied Polymer Science. Vol 62, p. 2169-2180.

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA PRODUCCIÓN DE UN ABONO RETENEDOR DE AGUA Y NUTRIENTES

Alejandro Rozo Villegas
arozovil@eafit.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se realizó el estudio de prefactibilidad de la producción de un abono retenedor de agua y nutrientes, producto desarrollado por el autor en el 2005, encontrándose atractivo y viable.

Para llevar a cabo el estudio de prefactibilidad, se efectuó una exploración preliminar del sector y del mercado, asimismo, se identificaron algunos de los requerimientos técnicos y de ingeniería que requiere la producción del abono e igualmente, se llevó a cabo un sondeo administrativo y legal del proyecto y un análisis económico y financiero.

PALABRAS CLAVES

Abono retenedor de agua y nutrientes, Estudio de prefactibilidad, exploración del mercado, requerimientos técnicos, sondeo administrativo, análisis financiero.

ABSTRACT

In this work was carried out the study of prefeasibility of the production of a fertilizer retainer of water and nutritious, product developed by the author in 2005, being attractive and viable.

To carry out the prefeasibility study, a preliminary exploration of the sector and the market was developed, also, some of the technical requirements and of engineering that requires the production of the fertilizer were identified and equally, it was carried out an administrative and legal poll of the project and an economic and financial analysis.

KEY WORDS

Fertilizer retainer of water and nutritious, prefeasibility Study, exploration of the market, technical requirements, administrative poll, financial *analysis*.

INTRODUCCIÓN

En el 2005 desarrollamos el producto teniendo en cuenta 3 clases de polímeros entre ellos los poliacrilamidas. La formulación incluye una combinación de sal de nitrógeno - fósforo – potasio, y otros elementos importantes para la planta.

Se desarrollo el abono retenedor de agua y nutrientes realizando ciertas formulaciones y variando los porcentajes en peso, estas fueron aplicadas en la tierra a nivel de las raíces en distintas materas con plantas para interiores, obtenido un resultado exitoso en la disminución del consumo hídrico.

Este nuevo producto se realizó debido a que en los últimos años la gente no ha tomado la suficiente conciencia sobre el valor de los recursos naturales, muchas personas no pueden o no tienen tiempo para el cuidado de sus plantas en sus casas o fincas, por lo tanto se detecto la necesidad de ofrecer una solución al tiempo invertido en el cuidado de sus plantas.

Por otro lado, los viveros de la ciudad de Medellín y aquellos ubicados en zonas más cálidas de Antioquia, tienen la necesidad de regar sus plantas todos los días del año y hasta dos y tres veces en época de verano, lo cual afecta los costos fijos debido al alto consumo de agua.

Por todo lo anterior, se visualizó la necesidad de este producto.

1. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

El abono retenedor de agua y nutrientes que será ofertado es un compuesto de macro elementos, minerales y micro - cápsulas, que mezclado con la tierra o sustrato, mejoran las propiedades de los suelos de fertilidad baja, e incrementan la capacidad del suelo de retener agua, reduciendo de forma importante los gastos de mantenimiento y conservación, y aumentan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este consiste en gránulos diminutos, de forma irregular, pH 7 +- 0.5, densidad 0.7 – 1.0 gr/c.c, capacidad de absorbancia (gr./gr.) 250 – 400 (agua des-ionizada). Porcentaje soluble:

Menor del 5%, y otros gránulos que proporcionan los nutrientes 10-30-10 (NPK) o 15-15-15 (NPK).

1.1 Ventajas del producto

- Reduce el consumo de agua.
- Limita la utilización de recursos escasos (Agua, Abonos, etc.)
- Mejora la aireación. Y por lo tanto la actividad microbiana.
- Activa la germinación, la extensión de las raíces y la producción de biomasa, estimulando el crecimiento de las plantas.
- Ayuda a restaurar los suelos de baja fertilidad.

1.2 Forma de actuación del producto

El agua de lluvia o riego, así como los nutrientes, son absorbidos y almacenados por las micro - cápsulas del producto estableciendo una gran reserva de agua y nutrientes para la planta. Cuando la planta requiere de agua y nutrientes, la absorbe sin dificultad de las reservas almacenadas en las micro – cápsulas, y cuando llueva o se riegue, las cápsulas volverán a almacenar al agua y los nutrientes evitando la pérdida de estos por evaporación y/o filtración. De esta manera se permite el buen desarrollo y nutrición equilibrada de las plantas.

2. EXPLORACIÓN DEL SECTOR Y DEL MERCADO

2.1 Exploración del sector

La exploración del sector permitió descubrir que en Colombia, en los últimos años, el desarrollo de nuevos productos, y el nacimiento de nuevas empresas a nivel nacional fue notable, (Informe Coyuntura Económica Regional Departamento de Antioquia), Lo que hace evidente el desarrollo de nuevos empresarios y emprendedores.

Asimismo, la exploración del sector permitió detectar que el departamento de Antioquia, se ha caracterizado por su desarrollo tecnológico y la generación de nuevas

empresas, en el 2003 y 2004, ocupó el segundo lugar en la industria manufacturera, y en el tercer trimestre del 2005, el ánimo del comercio mostró una variación con tendencias positivas, (Encuesta de opinión comercial FENALCO), Lo que impulsó el deseo de realizar el estudio de prefactibilidad de este nuevo proyecto.

Del mismo modo, en la exploración del sector se encontró que en Medellín, en el 2005, el comercio mostró tendencias positivas y superiores a septiembre de 2004, el 70% de los minoristas estuvieron firmes ante el buen desempeño de la actividad comercial y solo el 6.3% de ellos, expresaron una opinión desfavorable sobre el clima de los negocios, (Informe de notas económicas de la región noroccidente, Banco de la Republica), estos empresarios, para el 2006, mantienen sus expectativas altas frente a la actividad económica de su empresa y su desempeño en los mercados. Lo que reafirmó el hecho de pensar en llevar a cabo la producción del abono, puesto que se visualizó un ambiente favorable para el proyecto.

2.2 Exploración del mercado

Según la exploración del mercado, el consumidor del producto deberá estar constituido por aquellas personas que tienen como afición el cuidado de sus plantas y aquellas que no pueden ó no tienen tiempo para su cuidado, el producto deberá estar dirigido a clientes que tienen el gusto por comprar productos verdes, ecológicos y que protejan el medio ambiente.

La exploración del mercado también definió que el objetivo serán los viveros, existen 98 viveros registrados en Cámara de Comercio de Medellín, de los cuales el 18.37% del total de estos negocios están la zona de El Poblado, estos negocios serán los “canales de distribución”, negocios relacionados con las plantas y el cultivo. La exploración también reveló que en esta zona se concentra gran parte de la población con tendencia por los productos ecológicos, con finca, y que tienen afición por las plantas y jardines.

Para el cálculo de la producción del abono retenedor de agua y nutrientes, nos basamos en la regresión lineal, utilizando las ventas, suministradas por el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, de algunas empresas productoras

de abonos. Lo anterior permitió proyectar una demanda de 64.707 Kg. para el primer año, equivalente a 43.138 unidades anuales para el primer año en presentaciones de 0.5 Kg. y 1 Kg. repartidos en las dos líneas de producción (15-15-15) y (10-30-10) NPK. La exploración del mercado, permitió identificar que el precio de venta debe estar entre \$5.000 y \$10.000 pesos.

Los resultados de la exploración plantearon el número de unidades anuales a fabricar, estimar ingresos por ventas, Este objetivo de mercado planteado, generó la necesidad de elaborar un diagrama de bloques del proceso de producción para visualizar el proceso desde que entran las materias primas hasta obtener el producto e identificar los requerimientos necesarios para lograr producir las unidades que requiere el mercado

3. IDENTIFICACIÓN DE ALGUNOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y DE INGENIERÍA

Según la identificación de algunos requerimientos técnicos y de ingeniería, se observó que es necesaria una superficie de 200 metros cuadrados, espacio que se considera suficiente para ubicar 6 mezcladores de sólidos MARCA DEPER, el área elegida representa un espacio libre y de movilidad para los operarios, almacenaje de materia prima y producto terminado.

Debido a que el mercado objetivo se encuentra en la zona de El Poblado, y de acuerdo a una selección de manera cualitativa y cuantitativa y tomando en cuenta los factores más importantes, se determinó que la mejor localización para la producción es el barrio Belén.

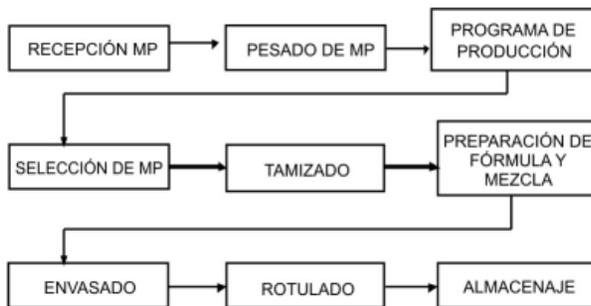
3.1 Diagrama de bloques y descripción de proceso productivo

1. *Recepción de Materias primas:* Se reciben por parte del proveedor o del almacén 2 toneladas de acondicionador NPK, 1 Tonelada de diferentes polímeros y 1 tonelada de material portador.
2. *Pesado en básculas:* Se utilizan las básculas para verificar el peso de las materias primas y posteriormente formular el abono según el programa de producción.

3. *Programa de Producción:* Son las unidades a producir según las necesidades de los clientes basadas en la exploración del mercado.
4. *Tamizado:* Algunos proveedores entregan la materia prima con tamaños de grano fuera de lo normal, el tamiz artesanal garantiza la separación de estos sólidos.
5. *Formulación:* Aquí se mezclan las diferentes materias primas por medio de los mezcladores mecánicos marca DEPER, obteniendo el abono retenedor de agua y nutrientes.
6. El producto se envasa, se etiqueta, y posteriormente, se almacena.

El hecho de haber visualizado el proceso de producción nos lleva a pensar en las personas y cargos necesarios para poner en marcha, mantener y controlar el proyecto.

FIGURA 1
Diagrama de bloques del proceso productivo



4. SONDEO ADMINISTRATIVO Y LEGAL DEL PROYECTO

4.1 Descripción de los cargos necesarios para el proyecto

Ingeniero de Procesos: Para los procesos de producción se requiere de un ingeniero de procesos que responda eficiente y eficazmente a los requerimientos de producción del producto. Debe ser una persona responsable, honesta y activa. Las funciones que estarán a cargo del ingeniero serán las siguientes:

- Planear y programar la producción.
- Compras de materias primas.
- Costos de producción.
- Manejo de Inventarios.
- Manejo del personal de planta.

Administradora: Para este cargo, se requiere de una persona con experiencia como administrador de empresas o una carrera afin. Debe ser una persona responsable, honesta, activa, eficiente y eficaz. Las funciones administrativas que estarán a cargo del administrador serán las siguientes:

- Planeación.
- Dirección.
- Coordinación.
- Control.

Auxiliar Contable: Para este cargo, se pretende contratar los servicios de un contador independiente puesto que el proyecto no justifica vincular un contador de tiempo completo. Las funciones principales que estarán a cargo del Contador serán las siguientes:

- Llevar la contabilidad.
- Preparar los estados financieros.
- Presentar informes constantemente al administrador y gerente del proyecto.

Operarios: Para comenzar el proyecto se requieren cuatro operarios como mano de obra directa.

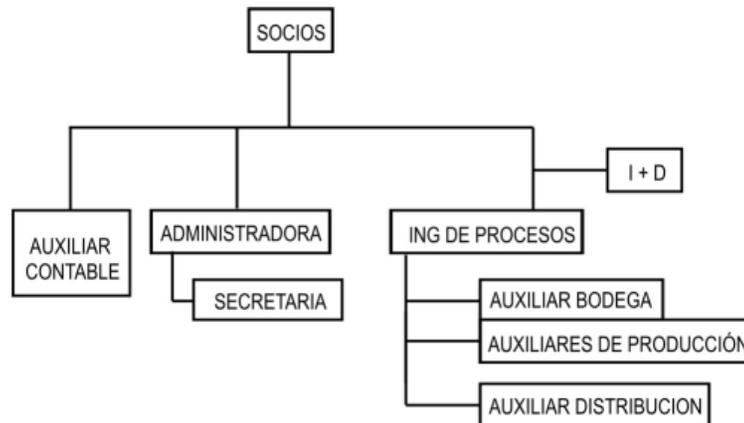
Los operarios que intervienen directamente en producción tendrán que ser mayores de edad y con un nivel de educación, mínimo básica secundaria, y tendrán que ser físicamente fuertes para poder manipular o cargar las materias primas o los mezcladores.

Uno de los empleados tendrá funciones de mensajería y la entrega del producto terminado a los clientes. Por lo tanto, este empleado tendrá que ser mayor de edad, bachiller y deberá contar con licencia de conducción.

Todos los operarios que trabajen en la empresa deberán ser personas responsables, respetuosas, honestas y activas, para garantizar un buen clima laboral.

Al identificar los cargos y las personas necesarias que requiere el proyecto para su funcionamiento, se dio paso a diseñar un organigrama el cual permitió visualizar la estructuración administrativa del proyecto.

FIGURA 2
Organigrama



Como se logró visualizar el proceso de producción y la estructura administrativa del proyecto, el paso siguiente consistió en definir la constitución legal del proyecto y se observó algunas normatividades importantes que rodearían al proyecto.

4.2 La empresa Unipersonal

Se determinó que para el proyecto lo mejor es definirla como Empresa Unipersonal, debido a la necesidad de reducir la participación patrimonial a un solo socio. Esta es una alternativa puesto que permite adelantar la ejecución de proyectos específicos sin comprometer la totalidad del patrimonio, con la ventaja para los alrededores de poder diferenciar claramente que bienes conforman la prenda general. (Rozo Villegas Catalina, 1999)

La constitución de la Empresa Unipersonal se efectuara por escrito, con estricto cumplimiento de las reglas del Art. 72 de la ley 222 de 1995, en el cual se reglamenta que en ese documento debe figurar el nombre, documento de identidad, domicilio y dirección del empresario, la denominación o razón social de la empresa seguida de la expresión Empresa Unipersonal o la sigla E.U., El domicilio de la empresa, lugar establecido por el empresario donde se desarrollan las actividades principales de la empresa

y se diferencia totalmente del domicilio de las personas naturales, el termino de duración si este no fuera identificado, enunciación clara y completa de las actividades principales, monto del capital haciendo una descripción de los bienes aportados con estimación de su valor, el número de cuotas de igual valor nominal en que se dividirá el capital de la empresa, la forma de administración y de identificación extensiva y las facultades de los administradores. (Rozo Villegas Catalina, 1999).

4.3 Algunas normatividades importantes que rodean al proyecto

La normatividad más importante que rodea al proyecto es la resolución n° 1023 (28 de abril de 1997) Para obtener el registro como distribuidor, comercializador o expendedor, el interesado deberá presentar solicitud escrita ante la oficina del ICA más cercana, aportando la siguiente información y documentación:

- Formulario ICA debidamente diligenciado.
- Informe técnico de la visita practicada por funcionarios del ICA o por personas naturales o jurídicas oficiales o particulares, debidamente autorizadas o acreditadas por el ICA.

- Certificado de constitución y gerencia expedido por la Cámara de Comercio sobre existencia y representación legal de la sociedad, si se trata de persona jurídica, o certificado de la matrícula mercantil si es persona natural, expedido con fecha no mayor a 90 días desde la fecha de presentación de la solicitud ante el ICA.
- Recibo oficial de pago expedido por el ICA de acuerdo con la tarifa establecida.

Por otro lado, debido a que en la formulación se emplean polímeros, la EPA ha establecido que un nivel de 0.10% en peso es el límite permitido del monómero libre presente en un compuesto.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

Los estudios anteriores permitieron llegar a uno de los aspectos vitales de este proyecto, realizar los flujos de

efectivo con el fin de conocer la cantidad de efectivo que requiere el proyecto para operar en un tiempo determinado y detectar por medio de herramientas financieras la viabilidad del proyecto. En la figura 3, se resumen los resultados de los costos de la producción del abono retenedor de agua y nutrientes para el primer año de producción. En ella se observa que los costos totales son menores que los ingresos totales por ventas.

5.1 Flujos de caja del proyecto e indicadores de factibilidad

El análisis financiero determinó que la rentabilidad del proyecto es buena puesto que la tasa que hace equivalente los ingresos con los egresos del proyecto en el tiempo son del 59% E.M superior a la suma del costo ponderado de los recursos ajenos y de los recursos propios o tasa de descuento.

FIGURA 3
Resumen de los costos

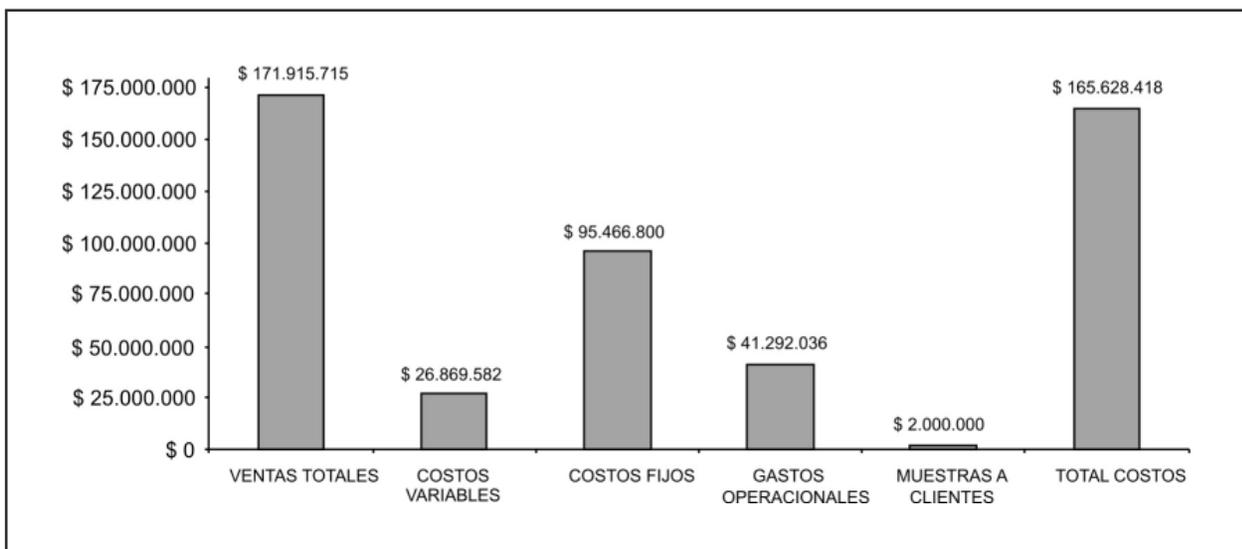
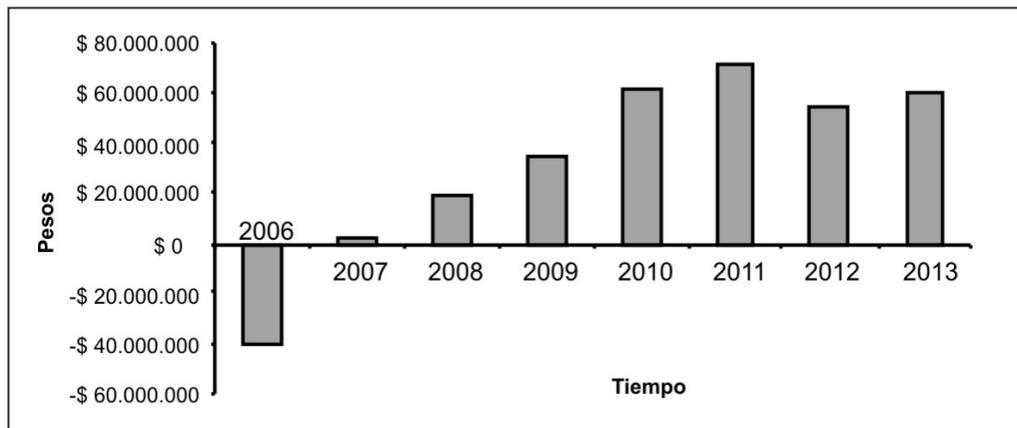


FIGURA 4
Diagrama de flujo del proyecto



VPN: 149.659.842 TIR: 4% Efectivo Mensual. 59% Efectivo Anual.

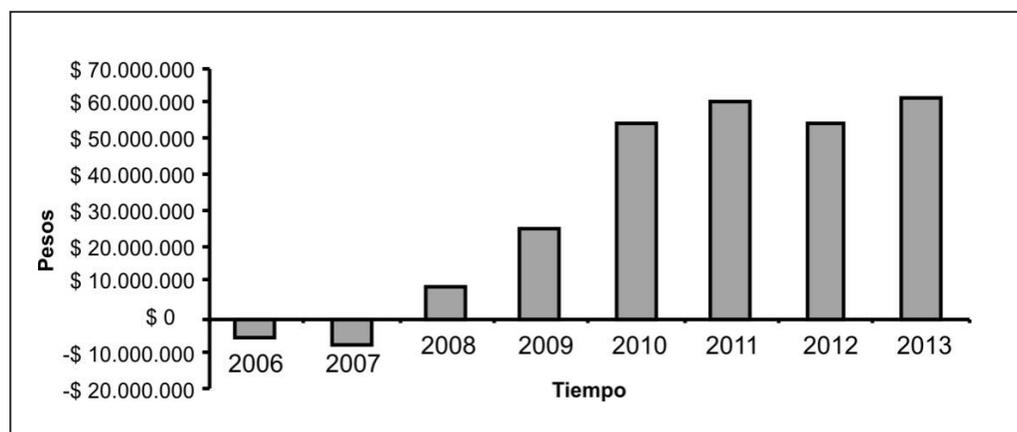
Debido a que el valor presente neto (VPN) del proyecto es positivo, los ingresos del proyecto son mayores que los egresos, por lo tanto, el proyecto genera ganancia.

5.2 Flujo de caja del inversionista e indicadores de factibilidad

Debido a que el valor presente neto (VPN) del proyecto es positivo, los ingresos del proyecto son mayores que los egresos, por lo tanto, el proyecto genera ganancia.

La diferencia entre el flujo de efectivo entre el proyecto y el inversionista se encuentra en que este ultimo incluye un préstamo con una entidad bancaria. En este estudio se considero un préstamo de \$35.000.000 a cuatro años con un interés del 1.7% efectivo mensual.

FIGURA 5
Diagrama de flujo de caja del inversionista



VPN: 124.975.899 TIR: 5 % Efectivo Mensual 77 % Efectivo Anual.

El análisis financiero determinó que la tasa interna de retorno (TIR) para el flujo de caja del inversionista es del 77% E.A superior a la tasa de descuento, y el valor presente neto es positivo, lo cual indica al igual que en el análisis del flujo de caja del proyecto, que existe viabilidad en el negocio planteado.

Tanto desde el punto de vista del proyecto o del inversionista, el proyecto es viable, siendo el proyecto más rentable que el inversionista por ser el VPN (Valor Presente Neto) del proyecto mayor.

5.3 Análisis de sensibilidad y de riesgo

Adicionalmente se realizó un análisis de sensibilidad y de riesgo para el proyecto. El primer análisis está relacionado con variaciones en los precios de venta, y se encontró que estos se pueden disminuir en un 5%. El segundo análisis está relacionado con las variaciones en los costos de la materia prima, y se encontró que los proveedores pueden aumentar sus costos hasta en un 50% sin que el proyecto pase a ser no viable

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento al asesor del proyecto de grado, Jhon Miguel Diez B, al profesor José Alfredo Vásquez, por sus oportunas asesorías y a la Universidad EAFIT en especial al departamento de Ingeniería de Procesos por su apoyo para el desarrollo de este estudio.

CONCLUSIONES

El desarrollo de este nuevo producto radica en la importancia para las plantas de tener reservas de agua y nutrientes, y en disminuir el riego o consumo hídrico.

Según la exploración realizada del sector agropecuario, la producción de un abono retenedor de agua y nutrientes tendría un entorno positivo, puesto que este sector se comporta estable y dinámico en los últimos años. La exploración sectorial reveló que hasta ahora, la mayoría de los comerciantes del sector al cual pertenece el presente estudio reconocen un buen desempeño de la actividad

comercial, por lo tanto, la producción de un abono retenedor de agua y nutrientes ingresaría al comercio probablemente con oportunidades en su crecimiento y desarrollo.

La exploración realizada del mercado para un abono retenedor de agua y nutrientes, reveló que este nuevo producto puede suplir las necesidades de los administradores de los viveros de la zona de El Poblado en cuanto a disminuir el consumo hídrico en sus negocios, sin embargo, El mercado de este producto no solo se encuentra en los viveros, la exploración realizada nos lleva a pensar que este nuevo producto tiene un gran potencial con otros negocios, este puede utilizarse en canchas de fútbol, de golf, en cultivos de flores y cítricos, sin embargo, esto requiere de una infraestructura con una capacidad de producción mayor.

Al identificar algunos de los requerimientos técnicos y de ingeniería para la producción de un abono retenedor de agua y nutrientes concluimos que no se requiere de tecnología avanzada y costosa para inicialmente implementar y poner en marcha el proyecto; de igual manera observamos que la producción requiere de un proceso sencillo de elaboración, el producto no es peligroso para el trabajador, es fácil de manipular y de mezclar, pero por su capacidad higroscópica debe estar en bodegas libres de humedad.

El sondeo legal que se realizó para el proyecto nos planteó que la producción de un abono retenedor de agua y nutrientes no exige un control riguroso por parte de las autoridades ambientales, puesto que en la formulación no se emplean materiales altamente tóxicos o bioquímicos, sin embargo, los operarios deben contar con los implementos necesarios de seguridad personal, como tapabocas y guantes, por otro lado, debido a que en el proyecto, no existen transformaciones químicas de las materias primas, y los proveedores de estas cuentan con todos los registros y certificados en orden, no es necesario que el proyecto tenga que realizar estos procesos de certificación, pero sí debe tener en cuenta toda la documentación exigida por el ICA. El sondeo administrativo, nos indicó que no se requiere una estructura organizacional compleja para producir y abastecer los viveros y algunos almacenes de cadena.

En cuanto al análisis económico, concluimos que Los costos de producción arrojados por el estudio técnico, son menores a los ingresos por ventas, y en cuanto al análisis financiero, encontramos que el VPN (valor presente neto) del proyecto es positivo tanto para el flujo de caja del proyecto como del inversionista, y la tasa interna de retorno mayor que la tasa de descuento exigida por el inversionista, lo que nos lleva a concluir que la producción de un abono retenedor de agua y nutrientes es atractivo y viable, y da continuidad para realizar un estudio de factibilidad el cual es un proceso más profundo y riguroso.

El análisis de sensibilidad y de riesgo utilizado, nos plantea la necesidad de implementar un estudio más riguroso del mercado con el fin de ajustar con precisión los costos de operación.

BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA EN LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

ARBOLEDA V., Germán. Proyectos, Formulación, Evaluación y Control. AC Editores, Cali. Colombia. 1998 ISBN 9589648509

MIRANDA M., Juan José. Gestión de Proyectos., Editora Guadalupe Ltda., Bogota. Colombia. 1997 ISBN 958-96227-0-4

Organización de las naciones unidas para el desarrollo industrial. Manual para la preparación de estudios de viabilidad industrial. Nueva Cork: ONUDI. 1978.

Bibliografía citada en este artículo

Rozo V., Catalina., La responsabilidad y el patrimonio de las Empresa Unipersonales. Trabajo de grado, Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de derecho y ciencias políticas. Medellín 1999.

Ayudas externas

Banco de la republica de Colombia:

Informe Coyuntura Económica Regional Departamento de Antioquia e Informe de notas económicas de la región noroccidente

Encuesta de opinión comercial FENALCO

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA PRODUCTORA DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS DE PINO PÁTULA

Juanita Mejía J.
jmejiaj2@eafit.edu.co

Juliana Rendón C.
jrendon3@eafit.edu.co

RESUMEN

La gasificación de residuos de madera, es utilizada con el fin de producir gas energético, sin embargo, a partir de este proceso se obtiene también un sólido carbonoso el cual al ser activado con vapor de agua se transforma en carbón activado, material utilizado para la adsorción de líquidos y de gases en procesos químicos, alimenticios, de purificación, entre otros. En este artículo, se presenta el estudio de mercado y de factibilidad técnica y financiera para la creación de una empresa productora de carbón activado a partir de gasificación de residuos de pino pátula, como una propuesta para dar solución al problema de disposición de estos residuos en diferentes aserraderos del oriente antioqueño. En el estudio de mercado, se determinó la oferta y demanda, tanto del carbón activado como del gas producido y de la materia prima; en el estudio técnico, se realizó el diseño de la planta y del proceso, además de los balances de masa y energía de la gasificación, teniendo en cuenta que esta es la etapa primordial del proceso; a partir del estudio del mercado, se determinó que la planta se ubicará en el oriente antioqueño y tendrá una capacidad instalada de 125 Toneladas anuales de carbón activado, producidas a partir de la transformación de 625 toneladas de residuos, y produciendo, también, 1.737 toneladas de gas de síntesis, aprovechado dentro del proceso como combustible para la producción del vapor de agua. En el estudio financiero se concluyó la viabilidad financiera del proyecto al evaluar el valor presente neto y la tasa interna de retorno tanto para el proyecto puro como para el proyecto teniendo en cuenta la comercialización de certificados ambientales.

PALABRAS CLAVES

Carbón Activado, Certificados Ambientales, Residuos de Pino Pátula, Gasificación, Gas de Síntesis, Estudio de Factibilidad.

INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas ambientales que enfrenta la humanidad en la actualidad, es la recolección, reciclaje y disposición final de los residuos, cualquiera que sea su origen. Los residuos madereros, son residuos que por su volumen, tamaño y disposición final, están generando problemas en las zonas donde se encuentra la industria maderera.

Con esta investigación se pretende contribuir a resolver este problema, además de darle un valor agregado al residuo y satisfacer la demanda de carbón activado en Colombia, producto que tiene innumerables aplicaciones a nivel industrial y que actualmente es importado en su mayoría. (Alrededor del 90%) [1].

Por otra parte, se pretende darle un aprovechamiento al gas que se genera en el proceso de gasificación de los residuos madereros dentro del mismo proceso, disminuyendo los requerimientos energéticos de los equipos y reduciendo las emisiones de CO₂ a la atmósfera, alternativa para incursionar en la venta de certificados ambientales a países industrializados.

Los residuos de pino Pátula conservan la mayoría de las propiedades químicas de la madera, por lo tanto son aptos para producir carbón activado [2]. El proceso se hace por medio de una transformación termoquímica en un reactor de lecho fluidizado, donde el principal objetivo es la obtención de cenizas, con características similares a las del carbón activado y evaluando la posibilidad de aprovechar los gases que se generan dentro del proceso.

1. ESTUDIO DE MERCADO

El proceso de producción de carbón activado a partir de residuos de pino pátula, parte principalmente de los residuos y produce carbón activado, gas energético y certificados ambientales, mediante la implementación de mecanismos de producción más limpia.

RESIDUOS DE PINO PÁTULA

En Maderas La Finca, aserrío en donde fabrican tablillas de pino Pátula para construcción, generan residuos en el proceso de producción que van desde los orillos o bordes que se le quitan al tronco cuando llega al aserrío, hasta la viruta y el aserrín que son generados en las etapas de corte y pulido. Esto, sin contar con tablillas, que no cumplen con algunas de las especificaciones de calidad y deben ser rechazadas.

TABLA 1
Países importadores de carbón activado

Países Importadores	Cantidad Importada en 2003 (Ton)	Valor Unitario (U\$/Und)
Estimación Mundial	469.212	1.269
Japón	81.611	973
Estados Unidos	56.867	1.175
Alemania	27.900	1.531
Corea del Sur	31.047	1.178
Bélgica	28.840	1.202
Italia	28.367	1.148
Francia	22.071	1.348
Canadá	4.824	5.550
Reino Unido	18.420	1.356
Países Bajos	16.926	1.444

Fuente: Desarrollo de Nuevos Productos a Base de Desechos de Coco: Carbón Activado Como Purificador de Agua. Inteligencia Competitiva –DCE- Ministerio de economía. San Salvador. Mayo 2005.

Sólo el 35% de la madera rolliza que entra al proceso, es trasformada en tablilla de calidad para ser comercializada. El 65% restante son residuos, de los cuales el 60% son orillos y retales, el 25% tablillas que no cumplen con las especificaciones y 15% restante aserrín y viruta¹.

1 Información suministrada por medio de visitas al aserrío Maderas La Finca

Estos residuos son vendidos para ser utilizados en fabricación de cajas para verduras, como leña en establos, y algunos para la fabricación de carbón activado en Sulfoquímica, sin embargo, el margen que se obtiene por estas ventas es muy bajo.

En el aserrío Maderas La Finca, semanalmente se procesa un promedio de 30,53 toneladas de madera, de las cuales se generan 19,84 toneladas de residuos madereros.

CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado es un material amorfo de origen biológico, con estructura porosa y área superficial interna bien desarrollada, que tiene gran capacidad de adsorber sustancias líquidas o gaseosas. Se produce a partir de madera, carbón, cáscaras y semillas de frutos, residuos de petróleo, entre otros, mediante un proceso conocido como activación. El carbón activado puede ser utilizado en diversas aplicaciones tales como purificación de gases, remoción de sustancias orgánicas y solventes de aguas, recuperación de oro en la industria minera, etc. [2]

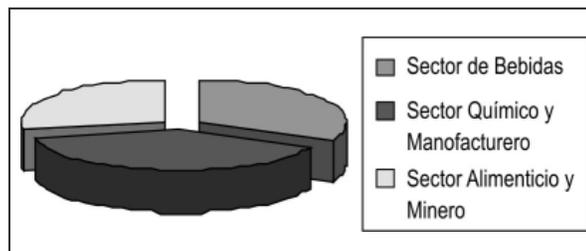
A nivel mundial, se pronostica que la demanda mundial de carbón activado aumentara un 5.3 %, según un informe titulado world activated carbon (carbón activado mundial) publicado por el grupo Freedonia, una empresa de consultoría ubicada en Cleveland, Ohio; siendo los principales productores de carbón activado en el mundo Estados Unidos y China, seguidos de Malasia, Indonesia, Filipinas entre otros. Los países de América Latina como Colombia, Chile y México importan más del 50% del Carbón activado requerido por sus industrias.

MERCADO

El mercado al cual se dirige el carbón activado, esta compuesto por empresas del sector alimenticio, algunas empresas del sector químico, textil, curtimbres, y en general todas aquellas empresas que realicen un tratamiento a sus aguas, antes o después del proceso.

En Colombia existe gran cantidad de empresas que se encuentran dentro de estos cuatro sectores industriales.

GRÁFICA 1
Distribución de los sectores industriales de interés para el proyecto



Fuente: Colombia, Resumen de las Variables Principales de la Industria, Según Grupos Industriales. DANE. Total nacional 2003.

Las industrias que aparecen en la grafica, abarcan la mayor cantidad de consumidores potenciales del producto. Se podría decir que el mercado de este producto se dirige a una gran parte del sector industrial del país.

Estimación de la demanda

De acuerdo con un estudio realizado, a través de consultas directas con empresas de los diferentes sectores mencionados², se estima una demanda de carbón activado de 2500 Toneladas anuales.

GAS ENERGÉTICO

El gas energético, producto del proceso de transformación termoquímica de los residuos de madera, está compuesto en un 40% aproximadamente de gases combustibles (monóxido de carbono, hidrógeno y algo de metano), y un 60% restante no combustible, consiste principalmente en nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua. [3]

Este tiene un mercado potencial bastante grande, pues el uso de energías renovables cada vez toma más fuerza, debido a las pocas reservas de petróleo que se tienen en el mundo, estimadas para cubrir una demanda de combustibles sólo hasta los próximos 60 años, teniendo en cuenta que el 80% de la demanda total, proviene de fuentes no renovables [11].

² Empresas consultadas: Agua La Parcela, Agua Brisa, Agua Manantial, Sofasa, EPM, Abocol, Colclinker, Cervunioion, Sotinsa.

CERTIFICADOS AMBIENTALES

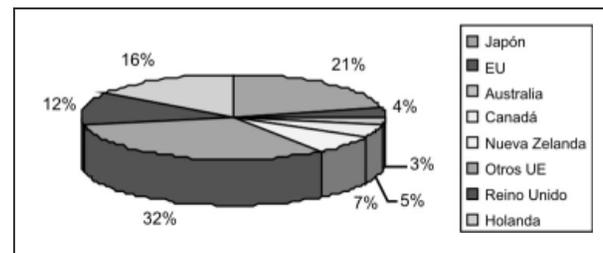
El Protocolo de Kyoto, aprobado en diciembre de 1997, establece para los países industrializados, metas específicas de reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) hacia el período 2008-2012. Los países en desarrollo no tienen compromisos específicos de reducción de emisiones.

Para ayudar a cumplir las metas de reducción de emisiones de los países desarrollados y promover el desarrollo sostenible en los países en desarrollo, el Protocolo estableció el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). A través de este instrumento, un país desarrollado que sea parte del Protocolo y tenga compromisos cuantificados de reducción de emisiones, tiene la posibilidad de invertir en un proyecto que se implemente en un país en desarrollo y utilizar las reducciones o capturas de emisiones de gases de efecto invernadero de dicho proyecto para cumplir con sus compromisos de reducción. Este mecanismo de "compensación" de emisiones se podría convertir en una fuente de inversión extranjera y de divisas de gran potencial para países como Colombia. Los países desarrollados podrán invertir en proyectos de reducción o captura de emisiones en sectores como energía, industria, transporte, agricultura y bosques. [12]

El proceso de transformación térmica de residuos madereros, por medio de una gasificación se considera un mecanismo de producción limpia, teniendo en cuenta que tanto las cenizas como el gas obtenido son productos a los que se les da un aprovechamiento, además, mediante el proceso de gasificación, se disminuye la emisión de CO₂. De esta forma se pueden implementar los mecanismos de compensación con países desarrollados.

De acuerdo con lo pactado en el protocolo de Kyoto, los países industrializados comprometidos, son los más interesados en la compra de estos certificados, pues incentivan la reducción de emisiones por parte de otros países, que tengan reducciones cuantificadas, a través de los mecanismos de compensación.

GRÁFICA 2
Compradores de certificados ambientales



Fuente: DOPAZO, Eduardo. Negocio de Financiación del Carbono del Banco Mundial. Madrid, Junio 2006.

En línea: <http://www.icex.es/protocolokioto/Seminario2206>

En Colombia el portafolio de proyectos del MDL cuenta con 31 proyectos, catorce de los cuales pertenecen al sector forestal.[12]

Teniendo en cuenta el potencial que ofrece el MDL para países en desarrollo, el Ministerio ha desarrollado una serie de actividades tendientes a fomentar la implementación de la Convención de Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto, dentro de las que se encuentran el Estudio de Estrategia para la implementación del MDL en Colombia, el desarrollo de un portafolio de proyectos forestales de captura de CO₂, y numerosas actividades de divulgación y capacitación.

2. LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO DE LA PLANTA

Con el fin de reducir los costos de transporte de la materia prima, que tienen gran incidencia en el costo final de los residuos, la planta productora de carbón activado se ubicará en el oriente antioqueño, exactamente en el kilómetro 3,4 de la carretera que comunica el aeropuerto con el hipódromo de Los Comuneros, debido a que lo más importante es estar cerca de la fuente de materia prima, por tratarse de un mercado disperso.

El tamaño de la planta se determina teniendo en cuenta la disposición de la materia prima y la demanda de carbón activado, con el fin de abarcar el 5% de la demanda del producto, la planta contará con una capacidad instalada de 12,5 toneladas mensuales de carbón activado para las

cuales se requiere transformar 62,5 toneladas de residuos de pino pátula.

3. DISEÑO DEL PROCESO

Materias Primas

Sólido carbonoso: En la producción de carbón activado se puede utilizar carbón natural, diferentes tipos de maderas, entre otros productos naturales o artificiales; sólo se requiere que el producto a utilizar tenga un alto contenido de carbono.

Partiendo de los diferentes precursores que existen para la producción de carbón activado, los residuos madereros siguen el alcance que se pretende dar al proyecto, que es el aprovechamiento de un residuo agroindustrial que se generan en una región cercana al municipio de Medellín.

Entre los diferentes residuos madereros encontrados, el pino pátula es el precursor de un carbón activado con mejores propiedades. [2]

Agente activante: Para la activación física se pueden utilizar varios agentes activantes, como el aire, el CO₂ y el vapor de agua.

A partir de un estudio realizado en la Universidad de Buenos Aires, donde se utilizaron residuos de carbón para la obtención de carbón activado empleando distintos agentes activantes [5], se concluyó que el vapor de agua es el agente activante que muestra mejores resultados, pues los carbones producidos a partir de este compuesto presentan mayor área superficial. Sin embargo, el CO₂ es también utilizado con alto rendimiento; lo que diferencia principalmente el uso de uno u otro compuesto es el tamaño del poro que se desea obtener. Con el CO₂ sólo es posible obtener carbón activado con micro poros (diámetro menor a 2nm); mientras que con el vapor de agua se puede obtener carbones con micro y mesoporos (diámetro entre 2 – 50 nm).

Ésto se explica por la naturaleza molecular de los compuestos, debido a que la molécula de agua es más

pequeña que la de CO₂, por lo tanto la difusión a micro poros, se logra más rápido. [4].

El aire es el compuesto menos recomendado para la activación, pues el rendimiento y el área superficial obtenida son mucho menor a lo que se obtiene con los otros dos compuestos [5].

Etapas del proceso

Adecuación de la materia prima: La etapa de adecuación de la materia prima consta de tres procesos: secado, trituración y clasificación, en donde se obtiene el material en condiciones y tamaño requeridas para el proceso.

Transformación de la materia prima

El proceso de transformación de la materia prima se realiza en un sola etapa, mediante la conversión termoquímica de la misma en el equipo gasificador. Aquí, se lleva a cabo la volatilización de la materia orgánica y el desarrollo de porosidad de la materia prima.

En el gasificador, los residuos madereros se alimentan de forma continua por la parte inferior a través de una rosca sin fin, en la cual, su velocidad de giro es controlada por medio de un variador de frecuencia (VFD: *variator frequency driver*). Con base a esta velocidad, es conocida la descarga másica de la materia prima. El material particulado obtenido y el gas energético producido, salen por la parte superior del gasificador, donde un ciclón separa las partículas sólidas de la corriente gaseosa. Finalmente, un recipiente sellado herméticamente colecta el carbón producido.

Gasificación: La gasificación es el proceso de transformación termoquímica, en el cual se convierte un combustible sólido en un combustible gaseoso mediante la oxidación parcial a temperaturas comprendidas entre 700 y 850°C.

En este proceso, bajo las condiciones adecuadas de operación (para el caso de la gasificación en lecho fluidizado: descargas másica de aire, materia prima y agente activante), la materia prima sufre una reorganización de

los átomos de carbono, dando como resultado un residuo sólido carbonoso y un gas energético.

Por otra parte, el gas energético es utilizado generalmente en cámaras de combustión para la obtención de calor (útil en diversas aplicaciones industriales), para la producción de vapor (para el caso, puede ser utilizado dentro del proceso como agente activante), y/o para la obtención de energía mecánica y/o eléctrica.

Activación del sólido carbonoso: Mediante la adición de un gas activante (generalmente vapor de agua o dióxido de carbono) al proceso de transformación termoquímico de la materia prima, y bajo las condiciones adecuadas de operación, se obtiene una matriz carbonosa cristalina con buenas características de área superficial y porosidad.

Aprovechamiento del gas energético: Una vez se separa el gas del sólido carbonoso, este se utiliza como combustible en una caldera para la producción de vapor de agua. Este vapor es alimentado al gasificador como agente activante según la cantidad requerida por el proceso.

Preparación y empaque del producto terminado: Las cenizas que se extraen del gasificador son clasificadas para determinar su granulometría y una muestra de cada lote es sometido a unas pruebas de laboratorio, como índice de yodo y densidad, para determinar sus propiedades específicas.

Una vez separado el carbón según su granulometría, este es empacado en bolsas de polipropileno de acuerdo a la cantidad solicitada por el cliente.

Proceso de gasificación

Balance de masa y energía: El balance de masa y energía para el sistema de gasificación, se realiza con base en la información encontrada en la literatura y a partir de análisis realizados a los residuos madereros y el gas combustible.

TABLA 2

Análisis elemental y propiedades físicas y químicas de la biomasa (residuos de pino pátula)

Parámetro	Valor
Análisis Elemental ⁽¹⁾	
Carbono (%)	48,7
Hidrógeno (%)	6,35
Oxígeno (%)	44,15
Nitrógeno (%)	0,25
Azufre (%)	0,05
Poder Calorífico ⁽¹⁾ (MJ/kg)	18,93

(1) Base seca.

Fuente: Laboratorio de Carbones. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Análisis elemental y de poder calorífico. Medellín: Grupo de Investigaciones Ambientales. Universidad Pontificia Bolivariana, 2005.

TABLA 3

Composición estimada y compuestos energéticos del gas producto

Gas Combustible	Composición Base Molar (%)
CO	12,0
CH ₄	4,0
H ₂	3,0

Fuente: SANCHEZ G, Caio. Gasificação de biomasa. Brazil: UNICAMP. Faculdade de Engenharia Mecânica. Departamento de Engenharia Térmica e de Fluidos, 1997.

Balance de masa: el balance de masa se realiza teniendo en cuenta el sistema de gasificación por ser donde se da la transformación de la materia prima:

$$\text{Biomasa} + \text{Agente activante} = \text{cenizas} + \text{gas de síntesis}$$

Una vez realizado el balance de masa, se conocen las cantidades de productos obtenidos a partir de la materia prima, como se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4
Flujos máxicos calculados para
la capacidad de la planta

Flujo	Símbolo	Valor (kg/h)
Residuos de pino en base húmeda	$\dot{m}_{biomas(b.h)}$	326
Aire en base húmeda	$\dot{m}_{aire(b.h)}$	708,43
Cenizas	$\dot{m}_{cenizas}$	64,53
Gas energético	\dot{m}_{gas}	914.11

Balance de energía: el balance de energía para el sistema de gasificación es:

$$E_{biomasa} + E_{aire} + E_{pérdidas} + E_{gas}$$

Donde:

$E_{biomasa}$: Energía correspondiente a la biomasa.

E_{aire} : Energía debida al aire de fluidización.

$E_{pérdidas}$: Energía correspondiente a las pérdidas de calor.

E_{gas} : Energía del gas producto de la gasificación.

Una vez se realiza este balance, se obtiene:

TABLA 5
Flujos energéticos del sistema de gasificación

Flujo Energético	Valor (kW)	Porcentaje (%)	
$E_{biomasa}$	160,53	100,00	
E_{aire}	0	0,00	
E_{gas}	$E_{química}$	62,25	38,78
	$E_{sensible}$	22,99	14,32
	E_{total}	85,24	53,10
$E_{pérdidas}$	$E_{residuos}$	60,42	37,64
	E_{pared}	14,87	9,26
	E_{total}	75,29	46,90

Teniendo en cuenta que el gas obtenido en el proceso de gasificación es utilizado como combustible de la caldera para la producción de vapor de agua, a partir del flujo obtenido del gas energético se puede producir, 814.666 kg/hora de vapor de agua.

A partir de los balances de materia y energía se pueden definir algunas variables del proceso.

Variables del proceso

Velocidad mínima de fluidización: Es la velocidad del fluido, a partir de la cual, las partículas se separan unas de otras y son mantenidas individualmente en suspensión [14].

$$V_2 = 0,8m/s$$

Factor de aire: El factor de aire define la proporción de biomasa quemada (combustión completa), con la relación a la cantidad gasificada (oxidación parcial y/o reducción) [3]

$$F.A = 0,3622$$

Temperatura: la temperatura en la zona de reacción, esta condicionada principalmente por la composición elemental de la biomasa a gasificar y los productos que se deseen obtener. Para un proceso de gasificación, esta debe estar entre 750° a 800°C aproximadamente.

Tiempo de residencia: Determina el grado de conversión de la biomasa, para que se de una buena conversión, éste debe ser mayor al tiempo que tarda el sistema en alcanzar la temperatura de reacción y estabilizarse.

Flujo de agente activante: El flujo de agente activante, determina el grado de activación de las cenizas obtenidas en el proceso de gasificación, dependiendo del tiempo que se encuentre en contacto con el sólido, además, el tipo de agente que se use también va a determinar el área superficial del carbón obtenido.

$$\frac{\text{Agente - Activante}}{\text{Biomasa}} = 0,24$$

Aprovechamiento del gas energético en la caldera

Como se menciona anteriormente, el gas energético producto de la gasificación puede emplearse como combustible en una caldera para la generación de vapor, al aprovechar este gas como sustituto de un combustible fósil, diesel para este caso (combustible de la caldera), se esta dejando de emitir una cantidad de CO₂ a la atmósfera. Para saber cuanto dinero puede generarse al reducir estas emisiones, se determina la cantidad de diesel que seria necesaria para producir la misma cantidad de energía que produce la biomasa y así tomando los factores de la Tabla 6, se pueden cuantificar los ingresos por disminución de emisiones de CO₂.

La energía del gas equivale a 5'381.424. KW/año. Asumiendo que el combustible que se sustituye en el proceso de generación de vapor es Diesel, se determina la cantidad de este combustible necesaria para producir esta energía, de acuerdo con los valores de la Tabla 6 (11,89 kWh/kg).

$$\text{Cantidad - Diesel} = 453 \frac{\text{Ton - Diesel}}{\text{año}}$$

Cuando se hace combustión, 1 tonelada de Diesel emite 3,15 toneladas de CO₂, por lo tanto para la cantidad de diesel sustituido en el proceso, se calculan las emisiones de CO₂/ año.

$$\text{Emisiones CO}_2 = 1427 \frac{\text{TonCO}_2}{\text{año}}$$

Teniendo en cuenta que la tonelada de CO₂ que se deje de emitir, tiene un valor de 8 euros en el mercado internacional [15] y haciendo la conversión a pesos Colombianos, se obtiene el valor de los ingresos que pueden generarse al reducir estas emisiones.

$$\text{Ingresos} = \$34'246.800 / \text{año}$$

Pruebas experimentales

Materiales: Para la realización de los ensayos experimentales se utilizaron residuos de pino pátula generados en el aserrío Maderas La Finca. Se utilizó aserrín,

con el fin de reducir las etapas de preparación, y por mayor facilidad, ya que este tipo de residuo maderable cuenta con tamaño de partícula aproximado al necesario en el proceso experimental, que es de 1 a 2 mm.

La única diferencia entre las pruebas experimentales y el proceso planteado es la utilización de CO₂ como agente activante, debido a que no se disponía de una caldera para producir vapor de agua en el lugar donde se encuentra el gasificador (PREMAC, empresa dedicada a la fabricación de hornos industriales).

Equipos y Metodología: La metodología seguida y los equipos utilizados en los ensayos experimentales, esta muy relacionada con las etapas explicadas en el diseño del proceso.

Para la adecuación de la materia prima se utilizaron algunos equipos y herramientas de los laboratorios de la universidad EAFIT, mientras que la etapa de transformación y activación de los residuos de pino pátula se llevo a cabo en el gasificador de lecho fluidizado en PREMAC.

TABLA 6.
Factores de emisión para combustibles

Combustible	MJ/kg	kWh / kgComb	Ton CO ₂ / Ton Comb	Densidad (kg/m ³)
Carbón	28,10	7,81	2,30	
Metano	50,60	14,06	2,78	0,667*
Diesel	42,80	11,89	3,15	829,00
Biogás				1,23

Fuente: cadavid, carlos. centro nacional de producción más limpia. 2006.

Clasificación

Para la clasificación del aserrín, se utilizó una zaranda con malla de aluminio con perforaciones de 2 mm., y marco de madera reforzado con lámina de hierro galvanizado, con el fin de eliminar el material con tamaño de partícula superior.

Tamaño de partícula: El tamaño de partícula seleccionado para la realización de las pruebas experimentales es de 1 a 2 mm, definido de acuerdo con lo recomendado por diferentes autores como García-García [4] y Simón M [5], para la gasificación de residuos de pino, en un reactor de lecho fluidizado y un reactor de lecho fijo, respectivamente. Además

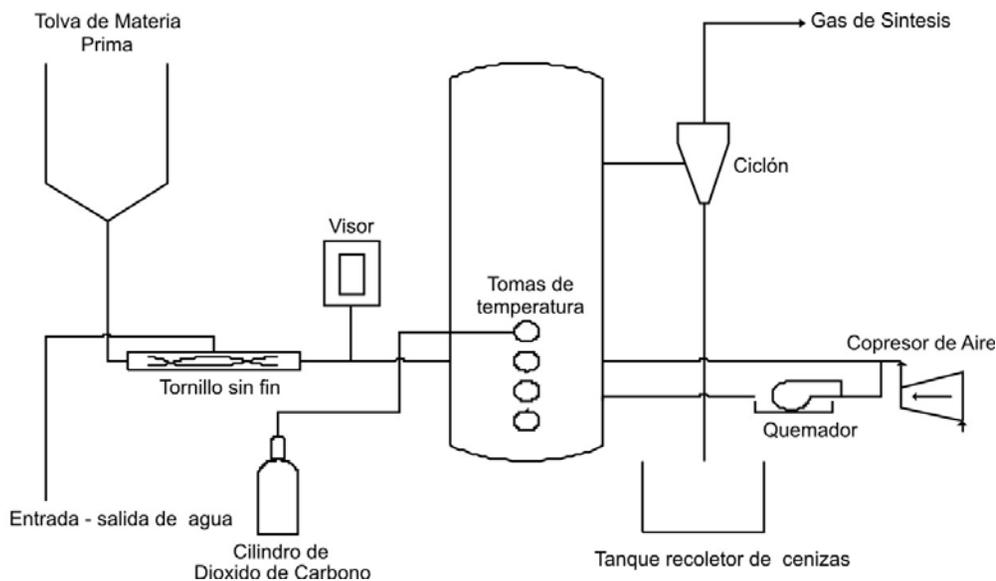
teniendo en cuenta los requerimientos para la alimentación al equipo, este es un tamaño que se ajusta a las necesidades y que no va a tener problemas para que se dé una correcta fluidización.

Transformación de la materia prima: El equipo a utilizar en la realización de los ensayos experimentales,

se encuentra en la empresa PREMAC S.A., dedicada a la producción de hornos industriales, ubicada en el municipio de Sabaneta Antioquia. Este equipo a escala piloto, fue desarrollado por el Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA) de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), consiste en un gasificador con cámara de reacción en lecho fluidizado para operación en régimen burbujeante y atmosférico, que utiliza aire como agente reactivo a fin de producir gas combustible de bajo poder calorífico a partir de residuos de Pino Pátula.

En la Figura 1, se muestra el diagrama del equipo utilizado en la transformación de la materia prima.

FIGURA 1
Esquema de gasificador utilizado para las pruebas experimentales

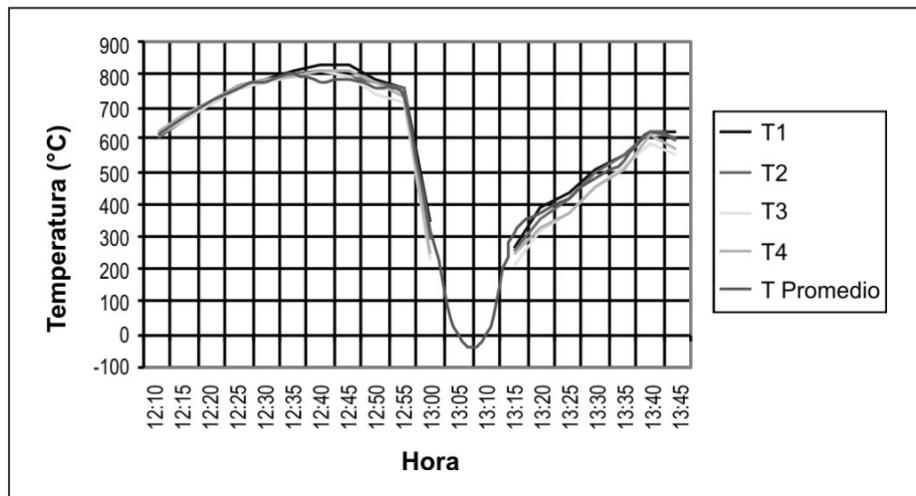


RESULTADOS

Para los análisis experimentales no se realizó un secado previo de la materia prima. El contenido de humedad de esta fue de 80% base seca.

Una vez alcanzada la temperatura teórica de ignición de la materia prima (estimada en 450 °C para biomasa seca), se alimentó residuos de pino Pátula al sistema gasificador a condiciones de combustión, con el fin de aumentar la temperatura de la cámara de reacción al valor estimado donde ocurre la transformación (800 °C aproximadamente). No obstante, fue evidenciado un descenso de la temperatura de reacción, debido al contenido de humedad presente en el residuo, que desfavoreció la reacción de combustión. El perfil de temperaturas del reactor, se muestra en la Figura 2.

FIGURA 2
Perfil de temperatura de los ensayos experimentales



De acuerdo a lo anterior y a datos encontrados en la revisión bibliográfica, se determinó que la humedad apropiada de la biomasa para su conversión termoquímica y producción del carbón activado, debe ser como máximo del 30%.

La gasificación de materiales biomásicos puede entenderse como un todo exotérmico; sin embargo, bajo las condiciones de humedad anteriormente mencionadas (80% base seca), el proceso sería endotérmico; es decir necesitaría calor adicional para llevarse a cabo.

No obstante, es importante mencionar que un alto contenido de agua en la materia prima, favorecería la producción de metano e hidrógeno, con lo que se alcanzaría un mayor poder calorífico en el gas producido. Con base a lo anterior, se plantea la necesidad de iniciar investigaciones en relación al contenido óptimo de humedad de la materia prima, de tal modo que se alcance un equilibrio térmico en las reacciones de gasificación involucradas en el proceso y un alto contenido energético en el gas producido.

Finalmente, en las pruebas experimentales no se obtuvo carbón activado, debido a los problemas mencionados anteriormente.

4. ANALISIS FINANCIERO

Este estudio se realiza con un horizonte de tiempo de 5 años, y con una inflación esperada para este mismo periodo de tiempo de 5.5% según un informe realizado por El Banco de la Republica.

Para realizar el análisis financiero se tuvo en cuenta:

- Inversiones fijas = \$134.680.000, estas incluyen los equipos (\$100.780.000), los muebles, herramientas y accesorios (\$5.600.000) y las adecuaciones físicas (\$28.300.000).
- Capital de trabajo = \$ 94.621.529, cantidad requerida para operar la planta los primeros tres meses.
- Mano de obra directa e indirecta, entre las cuales esta, un administrador, un ingeniero, dos secretarias, tres operarios y dos vigilantes. El costo anual de la mano de obra es de \$ 109.956.114.
- Materiales directos e indirectos = \$ 233.550.000

A partir de estos costos y con la suposición de que todo lo que se produce se vende, estableciendo un precio de venta de \$3.500 Kg. de carbón activado y un aumento en

las ventas de 1% anual, se obtiene una rentabilidad del negocio del 41%, rentabilidad atractiva, teniendo en cuenta que en este momento inversiones como el CDT tienen una rentabilidad aproximada del 12%.

Incluyendo la venta de certificados ambientales al proyecto, la rentabilidad del mismo aumenta en 9 puntos, quedando con una rentabilidad muy cercana al 50%, pues con la venta de estos certificados se aumentan los ingresos.

CONCLUSIONES

La creación de una empresa productora de carbón activado a partir de residuos de pino pátula, es factible de acuerdo con los resultados obtenidos en cuanto al estudio de mercado, el estudio técnico y la evaluación financiera.

Se puede afirmar, después de realizar el diseño del proceso y los balances de materia y energía, que el proceso de producción de carbón activado a partir de residuos de pino pátula es técnicamente factible, debido a que tanto la composición de la materia prima como las condiciones de operación, permiten que se den las reacciones y condiciones de atmósfera en defecto de oxígeno y temperatura para que ocurra la gasificación.

El proceso de gasificación, que hasta ahora ha sido pensado principalmente para la producción de gas energético, se convierte en un proceso en el cual además del gas, se puede obtener un sólido con alto valor agregado, como en este caso, el carbón activado.

Un factor adicional, constituye el aprovechamiento del vapor generado en la caldera para la etapa de secado de la materia a gasificar; pues como se comprobó a partir de los ensayos experimentales, la humedad juega un papel importante en la eficiencia del proceso; un alto contenido de humedad (mayor al 30%), limita el proceso evitando que se alcancen las condiciones para que se de la gasificación.

Aunque a partir de los estudios experimentales no se obtuvo carbón activado por los problemas de humedad mencionados, el proceso de fabricación de carbón activado, tal y como se presenta en este proyecto, es un proceso sencillo, donde la transformación completa de la materia

prima ocurre en una sola etapa, además, no se requiere de la implementación de alta tecnología.

Producir carbón activado por medio de un proceso que disminuye las emisiones de gases efecto invernadero como el CO₂, fuera de traer un beneficio ambiental, trae un beneficio económico, al adquirir certificados ambientales, los cuales pueden ser vendidos a países que excedan la cuota de emisión de estos gases, cuota establecida durante el protocolo de Kyoto.

Desde el punto de vista financiero, tanto el proyecto puro como el proyecto con venta de CER's, resulta factible, debido a que el valor del proyecto a los cinco años, traído al presente es superior a cero y además la rentabilidad del proyecto es muy superior a la rentabilidad que se puede tener en otro tipo de inversión ($TIR_{\text{puro}} = 41\% - TIR_{\text{CER's}} = 49\%$). Esto ratifica que al implementar mecanismos de desarrollo limpio en este tipo de proyectos, se puede obtener una mayor rentabilidad, haciendo el proyecto más atractivo para el inversionista.

Bajo un desarrollo apropiado, este proyecto podría hacer parte de una agrupación industrial concebida como iniciativa ZERI.

REFERENCIAS

BAQUERO FRANCO, J. MORENO SANCHEZ, J. La Biomasa Como Fuente de Energía Renovable. Revista Energía. En línea: <http://www.energuia.com>. (Agosto 2006). 165-171 p. [11].

CADAVID, Carlos. Memorias: Curso de Valorización de Residuos Sólidos. 2004. [1]

CADAVID, Carlos. Director de Proyectos, Centro nacional de Producción Mas Limpia. Consulta Directa: Certificados ambientales. 2006. [14]

CORREA, M & Navarrete, A. Preparación y Características de un Carbón Activado a partir de Madera de Olivo. Revista de la facultad de farmacia. Universidad de Granada. Tomo xxix (1): 43-50. [6]

DEPARTAMENTO Administrativo Nacional de Estadística (DANE). En línea: <http://www.dane.com.co>. Colombia [Junio 2006]. [10]

DOPAZO, Eduardo. Negocio de Financiación del Carbono del banco Mundial. Madrid, Junio 2006. en línea: www.icex.es/protocolokyoto/seminario2206. (Agosto 2006) [13]

ESPECIFICACIONES generales del carbón activado en polvo. Sulfoquímica. En línea: <http://www.sulfoquimica.com.co>. [7]

GARCÍA-GARCÍA, A. et al. Unconverted Chars Obtained During Biomass Gasification on a pilot-scale Gasifier as a Source of Activated Carbon Production. *Bioresource Technology*, v 88. 2003. p. 27-32. [4]

HERRERA BUILES, Jhon F. El Carbón Activado como un Producto Secundario del Bosque. Medellín, 2004, 93 p. Trabajo de tesis (Maestría en Bosques y Conservación Ambiental), Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias agropecuarias. [2]

MARTÍNEZ ANGEL, Juan Daniel. Evaluación del Rendimiento Operacional de un Gasificador para Cascarilla

de Arroz en un Reactor de Lecho Fluidizado a Escala Piloto. Medellín, 2005, 194 p. Trabajo de grado (Ingeniería Mecánica), Universidad Pontificia Bolivariana. [3]

PALACIO, Luis Eduardo. Caracterización De Propiedades Fluidodinámicas De Lechos Fluidizados en Frío Con Mezclas De Carbón – Biomosas Usadas en Procesos de Co – Gasificación. Medellín, 2005, 175 p. Trabajo de grado. (Ingeniería Mecánica). Universidad Pontificia Bolivariana. [14]

PLAN de trabajo para proyectos forestales de mitigación del cambio climático. Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá D.C, Octubre 2002, 12 p. En línea: <http://www.minambiente.gov.co>. (Julio 2206). [12]

SIMÓN, M. et al. Utilización De Residuos De Carbón De Leña Para La Obtención De Carbones Activados De Alta Capacidad Adsorbtiva Empleando Distintos Agentes Activantes. Programa de Investigación y Desarrollo de Fuentes Alternativas de Materias Primas y Energía (PINMATE), Departamento de Industrias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Argentina. [5]

DISEÑO DE UNA CREMA FACIAL HIDRATANTE, CICATRIZANTE Y DESMANCHADORA A BASE DE PRODUCTOS NATURALES

Laura Acosta Duque
lacostad@eafit.edu.co

Eliana Jaramillo Osorio
ejarami2@eafit.edu.co

RESUMEN

La producción de la Crema Hidratante, Cicatrizante y Desmanchadora se inició con la selección de las materias primas, con el objetivo de encontrar una emulsión estable que permitiera la adición de los principios activos naturales. Posteriormente, se efectuó un análisis preliminar del mercado para determinar las propiedades físicas principales del producto.

A partir de esta información se planteó la formulación base para realizar el diseño de experimentos, obteniendo como resultado de éste la mejor combinación de extractos para la crema de belleza, y poder así realizar todo el proceso de control de calidad mediante análisis organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos, para garantizar que el producto cumpliera con los requerimientos básicos de una crema cosmética.

Finalmente, se midió la aceptación del producto por medio de encuestas para evaluar las características y efectividad del mismo, y se realizó un estudio de factibilidad económica que mostró que el producto es competitivo, lo que facilita su introducción en el mercado como una alternativa innovadora en el campo de los cosméticos.

PALABRAS CLAVES

Desarrollo, Cosméticos, Cicatrizante, Desmanchadora, Hidratante, Extractos Naturales.

ABSTRACT

The production of a Healing, Bleaching and Hydrating cream, started with the selection of raw materials in order to find an emulsion that allowed the addition of natural active ingredients. Subsequently, it was made a preliminary market analysis to determine the principal physical properties of the product.

Using this information a preliminary formulation was made to develop a design of experiments to obtain the best combination of natural extracts for the beauty cream. After this, a quality control process was made through organoleptic, physicochemical and microbiologic analysis, to guarantee that the product was in compliance with the basic requirements of a cosmetic cream.

Finally, the acceptance of the product was measured through surveys, to evaluate its effectiveness and principal characteristics, an after a feasibility study it was possible to conclude that the product is competitive, which facilitates its introduction to the market like an innovate alternative in the cosmetics field.

KEY WORDS

Development, Cosmetic, Healing, Bleaching, Hydrating, Natural Extracts.

INTRODUCCIÓN

El mercado de los cosméticos ofrece en la actualidad una amplia gama de productos, la mayoría de ellos enfocados a solucionar o mejorar problemas de cicatrización, aclaración de manchas y humectación. Estos se ofrecen de manera aislada, lo que obliga a los clientes a adquirir gran cantidad de productos cosméticos, haciendo, además, que su rutina de belleza sea más extensa. Desafortunadamente, hace apenas muy poco, se ha empezado a crear conciencia de esto en las empresas productoras y a realizar integraciones de principios activos con el fin de obtener productos multifuncionales. Además, recientemente, el interés de los consumidores se ha centrado en las propiedades médicas de las preparaciones con extractos de plantas, debido a que las consideran más naturales y menos tóxicas.

Por las razones anteriores, el presente artículo sintetiza el desarrollo de una crema facial hidratante, cicatrizante y desmanchadora con base en productos naturales que permite reducir el tiempo de la rutina de belleza y ser competitiva en el mercado.

Para el cumplimiento de este propósito, se partió de una investigación previa de la elaboración de cremas de belleza, al igual que de los insumos requeridos para el proceso, con la finalidad de llevar a cabo diferentes ensayos que permitieran seleccionar una formulación adecuada y otorgar al producto las características deseadas. Este diseño a escala de laboratorio, pretende ser la base para una posterior etapa, que permita producir una crema hidratante, cicatrizante y desmanchadora a nivel industrial, como una alternativa de negocio que favorezca el crecimiento

de la economía colombiana y el aprovechamiento de la diversidad biológica del país.

1. ANTECEDENTES

El interés de la industria por desarrollar productos naturales ha impulsado la formulación de diferentes cosméticos y productos de belleza a partir de extractos de origen natural. Estos productos, aparte de cumplir con las mismas funciones de los tradicionales, reducen el efecto nocivo del uso de químicos en la piel y previenen las irritaciones de estos componentes al ser aplicados en pieles sensibles.

Prueba de esto son los nuevos desarrollos que han incursionado en esta industria, como cremas para la piel con extractos de caléndula y camomila, especiales para después de cirugías estéticas (Mausner, 1999); formulaciones herbales de aplicación terapéutica y cosmética para tratamientos de los desórdenes generales de la piel (Diwan et al, 2001) y protectores solares con filtros de fuentes naturales como el achiote (Unger y Mc Creery, 1998), entre otros. Además, la promoción de diferentes grupos de investigación, como el de la Universidad EAFIT, que ha impulsado la realización de desarrollos en la integración de todos los residuos de la naranja para la extracción de aceites esenciales para la industria cosmética y alimenticia; la extracción de colorantes naturales a partir del achiote, el aguacate y el plátano; la elaboración de labiales con los colorantes anteriores y la obtención de un bronceador anticelulítico, de una crema cicatrizante, bloqueadores solares y repelentes para zancudos con extractos naturales, entre otros.

2. SELECCIÓN DE VARIABLES

Para la formulación de la crema, se tuvo en cuenta la composición de la fórmula general de las cremas de belleza (Tabla 1) con componentes que formen una emulsión estable para poder adicionarle los principios activos naturales. La selección de estos últimos es un aspecto fundamental en el desarrollo de productos.

TABLA 1
Fórmula General de una Crema de Belleza

Componentes	Cantidad (%)
Grasas	20
Emulsificante	5
Factor de consistencia	4-7
Hidratante	5
Conservante	0,1-1
Perfume	0-0,2
Agua	csp100

Luego de una amplia revisión bibliográfica, se seleccionó el extracto hidroglicólico de Perejil como agente desmanchador, el extracto oleoso de Caléndula como agente cicatrizante y el extracto acuoso de Aloe Vera como agente hidratante, cicatrizante y desmanchador. Estos, además de cumplir con las propiedades necesarias para la crema, son de fácil adquisición en la región, sus costos son relativamente bajos comparados con las otras opciones y sus beneficios han sido comprobados desde tiempos muy remotos, pero nunca se han integrado sus principios activos en un solo producto.

2.1 Extractos Naturales

2.1.1 Extracto de Perejil

Contiene propiedades útiles para el equilibrio mineral y vitamínico del cuerpo, ya que es muy rico en vitaminas A y C, así como en hierro, calcio y manganeso. En cosmetología, se utiliza a menudo para tonificar la epidermis y para aclarar y blanquear las manchas de la piel de cualquier tipo. (Clarins, 2006). Se han desarrollado composiciones para pieles con daños severos (Mohammadi y Vargas, 2003) y otros cosméticos (Takekoshi et al, 2002) que lo contienen.

2.1.2 Extracto de Caléndula

En la composición de este extracto se destacan los pigmentos flavónicos, carotenos, alcoholes triterpénicos y aceites esenciales. (Pronalen, 1995). Muestra, además, un

amplio espectro de acciones farmacológicas, entre las que sobresalen: antibacteriana, antiinflamatoria y cicatrizante, de ahí la gran importancia que tiene en la cosmetología moderna. (Lastra y Piquet, 1999)

2.1.3 Extracto de Aloe Vera

El Aloe Vera penetra en las tres capas de la piel y expulsa las bacterias y los depósitos de grasa que tapan los poros. Al mismo tiempo, la acción de los nutrientes naturales, los minerales, las vitaminas, los aminoácidos y las enzimas, estimulan la reproducción de nuevas células. También es un importante regenerador celular, cicatrizante, tonificador y de alta penetración en la piel. Cuando se usa con regularidad, evita las arrugas prematuras y retarda las propias de la edad, reduce la medida de los poros abiertos y se puede usar bajo el maquillaje. (Aloe Trade, 2004).

3. ENSAYOS PRELIMINARES

Para comenzar a desarrollar la formulación de la crema se realizaron dos ensayos preliminares que consistieron en fabricar una loción y una crema, con el fin de evaluar por medio de un sondeo, cualidades como consistencia, olor, presentación, tiempo de tratamiento, entre otros.

Luego de un estudio de aceptación, se encontró que la elegida por los consumidores es la crema y se definieron variables como el tiempo de tratamiento (6 semanas) y la esencia (frutal).

4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

En el diseño de experimentos se evaluó primordialmente la acción de dos de los componentes activos: el Extracto de Perejil como agente desmanchador y el Extracto de Aloe Vera como agente hidratante y cicatrizante, para encontrar la concentración óptima de los mismos, mediante un diseño factorial de tres niveles cuya variable de respuesta es el porcentaje de reducción de la cicatriz o mancha a tratar. Los demás componentes de la crema permanecieron constantes.

Los factores del diseño de experimentos y los correspondientes niveles en los que se evaluaron cada una de ellos se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2
Variabes del Diseño de Experimentos

Variable	Niveles (%P/P)		
Extracto de Aloe	0	10	20
Extracto de Perejil	0	10	20

Con base en estos niveles, se desarrolló un diseño de experimentos de tipo factorial 3^2 (2 Factores evaluados en 3 niveles cada uno). Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 3 y 4. Se empleó el software Minitab, para realizar el análisis de los mismos.

TABLA 3
Resultados Obtenidos en las personas con Cicatriz

Perejil				
A	%	0	10	20
l	0	15	17.17	3.2
o	10	100	100	100
e	20	75	89	72.5

Tabla 4
Resultados Obtenidos en las personas con Manchas

Perejil				
A	%	0	10	20
l	0	1.83	34.9	39.05
o	10	11.25	50.99	22.5
e	20	3.13	11.81	30.25

La Figura 1 muestra claramente que el porcentaje de aloe utilizado en la formulación es el factor más incidente. Paralelamente, la Figura 2 indica que el porcentaje de aloe y de perejil tienen un efecto similar en la reducción de la mancha o cicatriz, además, muestra que se obtuvieron los mayores beneficios con la formulación que contiene el 10% de cada uno de los extractos.

La Figura 3 muestra el impacto que tiene el cambio de la configuración del aloe sobre el perejil. En ésta, el porcentaje de reducción de la mancha o cicatriz es mayor cuando se emplea una crema con 10% de aloe y 10% de perejil, por lo que se concluye que esta es la formulación en la que se obtienen los mayores beneficios.

FIGURA 1
Diagrama de Pareto

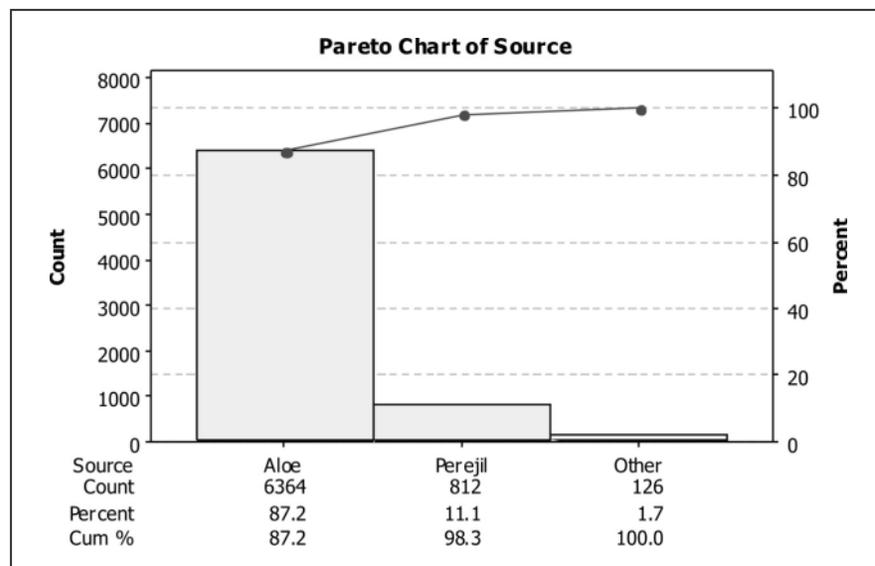


FIGURA 2
Gráfica de efectos principales

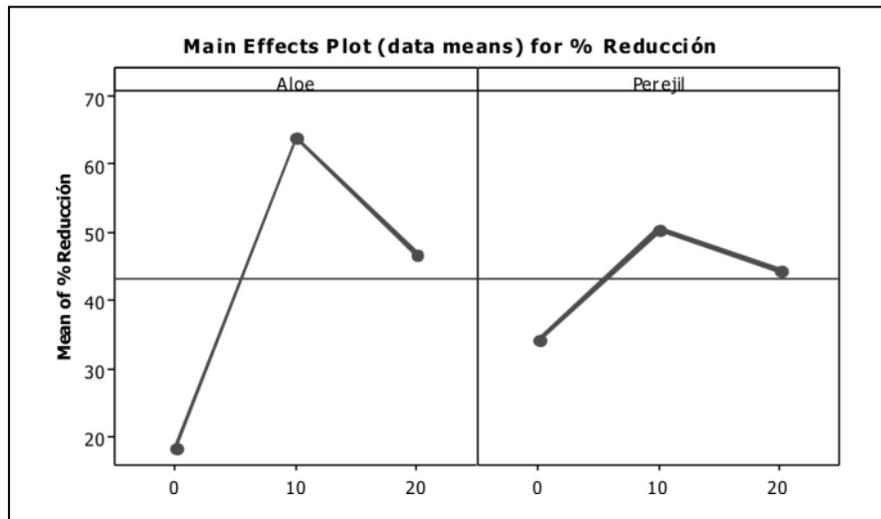
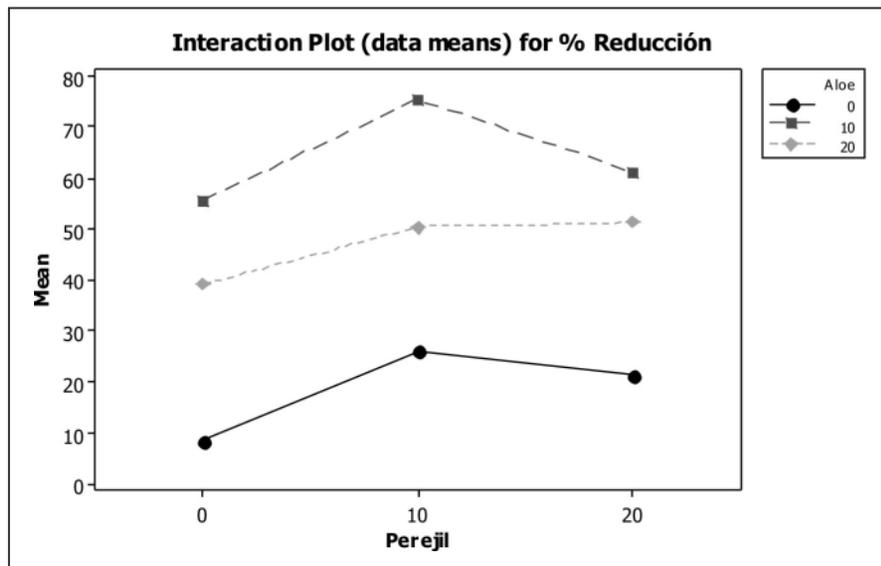


FIGURA 3
Gráfica de interacción



5. FORMULACIÓN FINAL DEL PRODUCTO

Una vez realizado el diseño de experimentos, se obtuvo la formulación final (Ver Tabla 5).

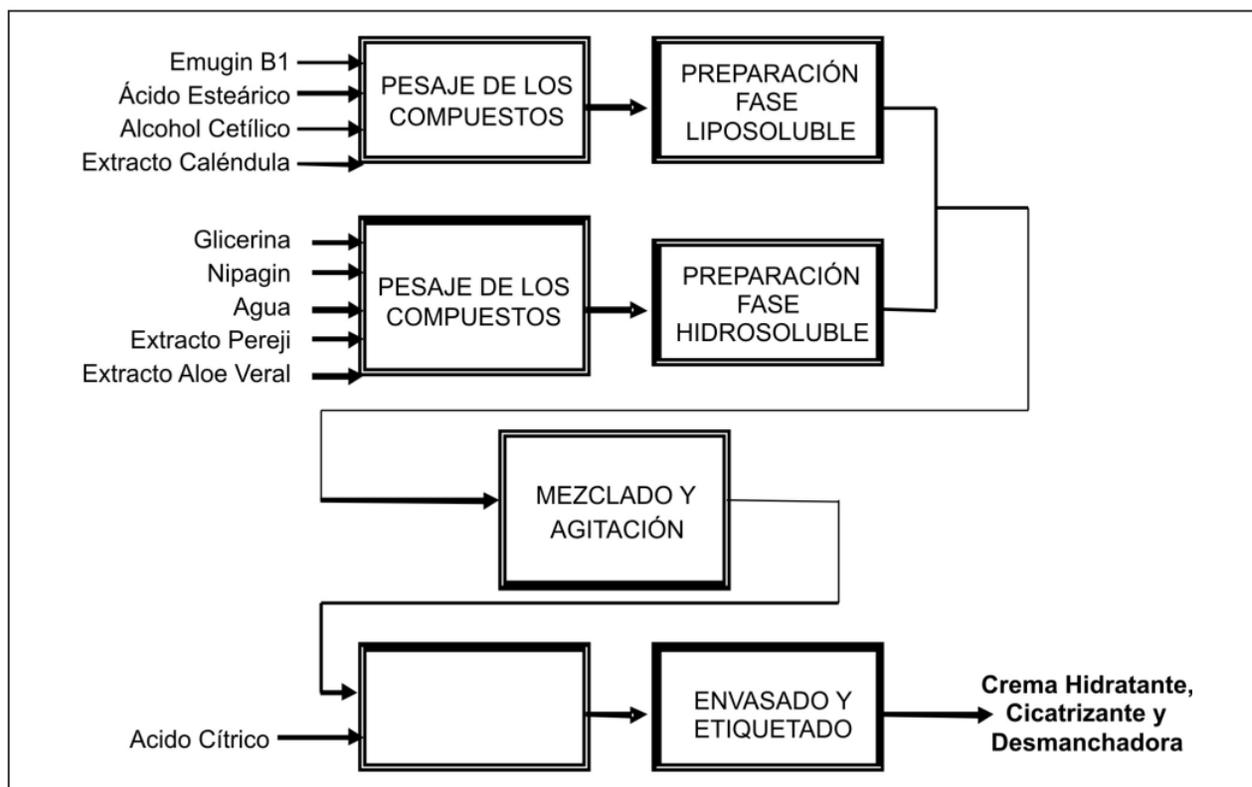
TABLA 5
Formulación Final

Componente	Cantidad Aproximada (%)
Emulgin B1	0,5-2,0
Acido Esteárico	2,0-5,0
Alcohol Cetílico	2,0-5,0
Extracto de Caléndula	0,0-20
Glicerina	2,0-5,0
Metilparabeno Sódico	0,1-1,0
Extracto de perejil	10
Extracto de Aloe Vera	10
Agua	csp100

6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La descripción del proceso para la producción de la crema hidratante, cicatrizante y desmanchadora se ilustra en la Figura 4.

FIGURA 4
Diagrama de Bloques del Proceso



2. EVALUACIÓN DEL PRODUCTO

La evaluación del producto consistió en una serie de análisis de laboratorio y de estudios de mercado con el fin de garantizar tanto la calidad del producto como la aceptación del mismo en el mercado.

CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad del producto incluye pruebas fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas. Los resultados se resumen en la tabla 6.

TABLA 6
Control de Calidad

Propiedad Organolépticas	Valor	Método/Valores Óptimos
Aspecto	Emulsión Viscosa	Visual
Olor	Agradable, Frutal	Olfato
Color	Beige Claro	Visual
Textura	Suave, sin grumos	Aplicada en la piel
Físicas		
Densidad Relativa	1,18	Picnómetro / > 1
Ph	5,24	pHmetro / Entre 5 y 6
Viscosidad	3.327 cP a 25°C	viscosímetro (60rpm, aguja 5)/ Entre 3.300 cP y 3.400 cP
MICROBIOLÓGICAS		
Mesoaerobios facultativos viables	<200 ufc/g	Siembra vertida en placa
Mohos y levaduras	<50 ufc/g	Siembra vertida en placa
Microorganismos patógenos Ausencia		Siembra vertida en placa

Como se puede observar, la crema cicatrizante, desmanchadora e hidratante de la cual es objeto esta investigación, cumplió satisfactoriamente los controles de calidad.

Además, se realizó una prueba de estabilidad para garantizar que el producto no perdiera sus propiedades con el tiempo. En esta prueba, tres muestras de la formulación final se sometieron a una temperatura de 40°C por tres meses. (Hernández, 2006). Durante este periodo, se realizaron controles de pH, pérdida de peso, olor, color y textura. El producto no presentó separación de fases en ninguno de los controles realizados, ni cambios

en las propiedades mencionadas, cumpliendo así con los estándares de calidad establecidos.

ACEPTACIÓN

El producto final se entregó a 20 personas con problemas en la piel para que lo usaran por un período de 6 semanas con el fin de comprobar la eficacia de la formulación final y la aceptación del mismo. Al finalizar este período, se les realizó una encuesta, en la cual el 100% de los encuestados estuvieron satisfechos con los resultados obtenidos, además, las propiedades físicas como el olor,

color, consistencia, absorción y sensación que la crema deja en la piel, fueron evaluadas con porcentajes superiores al 95%, lo que comprueba la aceptación del producto.

Por otra parte, el nivel de efectividad de la crema cumplió con las expectativas de los clientes, pues la humectación fue evaluada con una calificación del 94%, la cicatrización con el 86% y la aclaración de manchas con el 81%, comprobando así que se trata de un producto que integra de la mejor manera los principios activos de extractos naturales para lograr las propiedades deseadas.

8. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Para el estudio de Factibilidad del producto se tuvieron en cuenta varios factores:

- Inversiones iniciales por \$47'100.000
- Costo de venta es el 25% de las ventas anuales
- Precio de venta: \$22.000
- Ventas mensuales promedio por 1.120 unidades en el primer año, con el 40% de incremento anual.

Luego de realizar la evaluación del proyecto a 5 años, se obtuvo como resultado un Valor Presente Neto de \$ 88.043.597 y una TIR de 71.08%.

CONCLUSIONES

Los extractos de Perejil, Caléndula y Aloe Vera, se seleccionaron para la elaboración de la crema, porque además de cumplir con las propiedades necesarias, son de fácil adquisición en nuestra región y sus costos son bajos.

De acuerdo con el resultado del diseño de experimentos, se concluye que la formulación que presenta un mejor porcentaje de reducción, tanto de las manchas como de las cicatrices, es la que contiene el 10% de cada uno de los extractos. El diseño también indicó que el extracto de aloe es el que tiene mayor influencia en las propiedades de la crema.

El control de calidad realizado al producto, que comprende el análisis microbiológico, fisicoquímico y organoléptico, garantiza que éste se encuentra dentro de los intervalos adecuados, lo que asegura que no presenta efectos nocivos para la piel.

La encuesta de evaluación del producto permite concluir que la crema desarrollada tiene una excelente aceptabilidad por parte de los consumidores potenciales.

El análisis de costos y de estimación de precio del producto permite concluir que la crema es un producto competitivo en el mercado, porque no solo integra diferentes propiedades atractivas para el cuidado de la piel, sino que además se encuentra dentro del rango de precios de la competencia.

Según los resultados del análisis financiero del proyecto, es posible concluir que la producción de la crema es factible desde el punto de vista económico, debido a que arrojó un Valor Presente Neto de \$ 88.043.597 y una TIR de 71.08%, cifras muy significativas que aseguran la viabilidad del proyecto.

El proceso a escala de laboratorio para la producción de la crema Hidratante, Cicatrizante y Desmanchadora permite concluir que es posible desarrollar un fácil escalamiento a nivel industrial, debido a que dicho proceso es sencillo, las materias primas son de fácil consecución, no requiere alta tecnología y exige poca mano de obra.

La integración de propiedades cicatrizantes, desmanchadoras y humectantes en un solo producto, con base en principios activos naturales, convierten al producto en una crema innovadora en el mercado, creando una diferenciación importante respecto a la competencia y abriendo la posibilidad de crear empresa y aportar en el desarrollo socioeconómico del país.

BIBLIOGRAFÍA

- ALOE TRADE. 2004. El Aloe y la Industria Cosmética. (Documento electrónico). Argentina. (Citada: 8 Jul. 2006)
<http://www.aloetrade.com.ar/mercados/cosmetica.php>
- CLARINS. 2006. El herbario: Perejil. (Documento electrónico) París. (Citada: 21 Feb. 2003).
<http://es.clarins.com/main.cfm?PlanteID=272&lettre=P#>
- DIWAN, Prakash Vaman Rao et al. 2001. Herbal formulation useful as a therapeutic and cosmetic applications for the treatment of general skin disorders. Estados Unidos, Marzo 13 de 2001. Patente Número: 6200570.
- HERNÁNDEZ PIEDRAHITA, Fabián. 2006. Cosméticos. En: CURSO ELABORACIÓN DE COSMÉTICOS CON BASE EN PRODUCTOS NATURALES (2006, Medellín) Memorias Curso Elaboración de Cosméticos con base en Productos Naturales. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- LASTRA VALDEZ, Humberto y PIQUET GARCÍA, Rosario. 1999. Calendula Officinalis. En: Revista Cubana de Farmacia. Vol 33, no.3 (Septiembre, 1999). P.188-194. ISSN 00347515.
- MAUSNER, J. Skin Cream Composition. 1999. Estados Unidos, Julio 13 de 1999. Patente Número: 5922331.
- MOHAMMADI, Fatemeh y VARGAS, Anthony. 2003. Cosmetic composition for stressed skin under extreme conditions. Estados Unidos, Noviembre 18 de 2003. Patente Número: 6649178.
- PRONALEN. 1995. EXTRACTOS VEGETALES DE GRAN PUREZA Y RIQUEZA. Fichas Técnicas (Documento en CD proporcionado por la empresa). España.
- TAKEKOSHI, Yoichiro. TAKAHASHI, Tomoya y OONUMA, Toshio. 2002. Cosmetics. Estados Unidos, Diciembre 24 de 2002. Patente Número: 6497889.
- UNGER, Evan C y Mc CREERY, Thomas P. 1998. Sunscreen agents from natural sources. Estados Unidos, Octubre 20 de 1998. Patente Número: 5824312.

ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO FUNCIONAL A PARTIR DE *Ganoderma lucidum*

Jennifer Puerta

jpuertam@eaft.edu.co

Paula Zapata

pzapatac@eafit.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la influencia de la presencia o ausencia de luz blanca en el cultivo sumergido de *Ganoderma lucidum* en un biorreactor de 2 L, empleando como criterio de evaluación la producción de polisacáridos y de biomasa; obteniéndose en el día 8 una concentración de exopolisacáridos de 3.88 g/l, 5.87 g/l de polisacáridos totales y 13.65 g/l de biomasa, al trabajar bajo condiciones de ausencia de luz y 3.21, 4.92, 10.76 g/l respectivamente al hacerlo en presencia de luz.

También se llevó a cabo la formulación de un producto funcional, elaborado con *G. lucidum* y gelatina proteica, que es un alimento tradicional en la cultura colombiana, elaborado a partir de pierna de res.

PALABRAS CLAVES

Ganoderma lucidum, gelatina proteica, producto funcional, biomasa, exopolisacáridos.

ABSTRACT

Polysaccharides and biomass production from *Ganoderma lucidum*, were evaluated in dark and light conditions in submerged culture using a 2 L bioreactor. At the eight day of fermentation, productions of mycelia, exopolysaccharides and total polysaccharides were 13.65 g/l, 3.88 g/l and 5.87 g/l respectively in dark; and 3.21, 4.92, 10.76 g/l in light. Composition of a functional food was defined, using *G. lucidum* and proteic gelatine which is a traditional food of Colombian culture prepared with cattle leg.

KEY WORDS

Ganoderma lucidum, proteic gelatin, functional food, biomass exopolysaccharides.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años, el bioprocésamiento de productos naturales para la producción de compuestos bioactivos valiosos a partir de plantas o de hongos ha recibido mucha atención alrededor del mundo. Los principales problemas para el desarrollo de cultivos a gran escala de estos microorganismos son principalmente su baja productividad, su inestabilidad celular y la dificultad para su escalado (Tang y Zhong, 2002). El *Ganoderma lucidum* es un hongo basidiomiceto perteneciente a la familia de los poliporos. Crece en montañas pobladas de árboles, bañados de mucha humedad y recibiendo poca luz. Este cuerpo fructífero es llamado Reishi en Japón y lingzhi en China (Yang y Kuo, 2000). En investigaciones recientes se han reportado sus constituyentes antialérgicos, acción estimulante del sistema inmunológico, utilidad para el tratamiento de infecciones de HIV, acción antiherpética, antitumoral y cardiovascular, protección del hígado, efectos en el sistema nervioso y disminución en los niveles de azúcar en la sangre (Jong y Birmingham, 1992). Sus principales metabolitos son Exopolisacáridos (EPS), Intrapolisacáridos (IPS) y ácidos Ganodéricos (GA) (Yang y Kuo, 2000).

2. MÉTODOS

2.1 Activación de la Cepa

La cepa se obtuvo del laboratorio de biotecnología de la Universidad EAFIT. Se inoculó un vial en una caja de Petri con Agar Papa Dextrosa, con el fin de activar la cepa, incubándola por 8 días a 30°C en la Incubadora digital WTC Binder. Posteriormente, se almacenó a 4°C para luego replicarla y así obtener las cepas de trabajo.

2.2 Preparación del preinóculo

La preparación del preinóculo se llevó a cabo en erlenmeyers de 250 ml con 50 ml de medio (glucosa 35 g/l, peptona 5 g/l, extracto de levadura 5 g/l, KH_2PO_4 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g/l, Vitamina B_1 0.05 g/l) a pH inicial de 5.5, los cuales se esterilizaron en el autoclave horizontal

EASTERN modelo EA-620T, a 120°C por 15 minutos y se inocularon con discos de 5mm aproximadamente de *G. lucidum* provenientes de la cepa de trabajo. Los frascos fueron llevados a un Agitador orbital New Brunswick Scientific C1 Classic Series, a 100 rpm y 30 °C por cinco días.

2.3 Fermentación

Se realizaron dos fermentaciones por duplicado, una de ellas en presencia de luz blanca y la otra en ausencia de luz.

Se prepararon dos litros de medio de cultivo (glucosa 60 g/l, peptona 5 g/l, extracto de levadura 5 g/l, KH_2PO_4 1 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g/l, Vitamina B_1 0.05 g/l), los cuales fueron esterilizados a 120°C por 15 min. e inoculados con el preinóculo ya descrito anteriormente.

Las fermentaciones se llevaron a cabo en el bio-reactor BIOENGINEERING CH 8636 durante 8 días.

2.3.1 Condiciones del cultivo

Los procesos de biotransformación se realizaron a una temperatura de 30°C, una velocidad de agitación de 100 rpm empleando un agitador tipo Rushton, un pH de 6 y una aireación de 1.5 vvm. La densidad del inóculo empleada para el proceso fue de 2 g/l de peso húmedo, obtenida por centrifugación a 4500 rpm por 20 min. en la centrífuga refrigerada tubular Universal 32R, luego de lo cual se descartó el sobrenadante para proceder a pesar la biomasa en una balanza analítica Sartorius BS301S, hasta alcanzar el peso requerido. Este procedimiento se llevó a cabo en la cámara de flujo laminar Flow 100V.

2.3.2 Toma de muestras

Las muestras se tomaron cada 24 horas por duplicado, tomando la primera inmediatamente después de la inoculación (momento cero); antes de tomar la muestra se realizó una purga al sistema. Posteriormente, fueron analizadas de acuerdo a los métodos correspondientes.

2.4 Métodos analíticos

2.4.1 Medición de biomasa

Se tomaron 10 ml de la muestra, luego se filtró al vacío con papel filtro Schleicher & Schuell Microscience # 595 y usando la bomba de vacío BÜCHI. La biomasa húmeda se secó a 55°C por 24 horas en la Estufa Heraeus Instrument, para después pesarla y determinar el peso en base seca de la misma.

2.4.2 Determinación de Exopolisacáridos (EPS)

El filtrado obtenido en el paso anterior se usó para la determinación y cuantificación de EPS con el método de fenol-ácido sulfúrico (Dubois et al, 1956).

2.4.3 Determinación de polisacáridos totales

Para determinar los polisacáridos totales se tomó una muestra el día 8 de cada fermentación, y se realizó un rompimiento celular con el sonicador digital BRANSON, a una amplitud del 60% por 2 min. Luego se filtró la muestra con un papel filtro Schleicher & Schuell Microscience # 595 y el filtrado fue analizado con el método de Dubois.

2.4.4 Determinación del contenido de proteína de la gelatina enriquecida

La muestra para éste ensayo, fue preparada diluyendo 10 g. de la gelatina enriquecida en 1 litro de agua, dicha solución

fue filtrada con papel Schleicher & Schuell Microscience # 595 y al filtrado resultante se le analizó el contenido de proteína, por medio del método de Biuret (Switzer y Garrity, 1999).

2.5 Definición de la composición del producto

2.5.1 Determinación del tipo de edulcorante

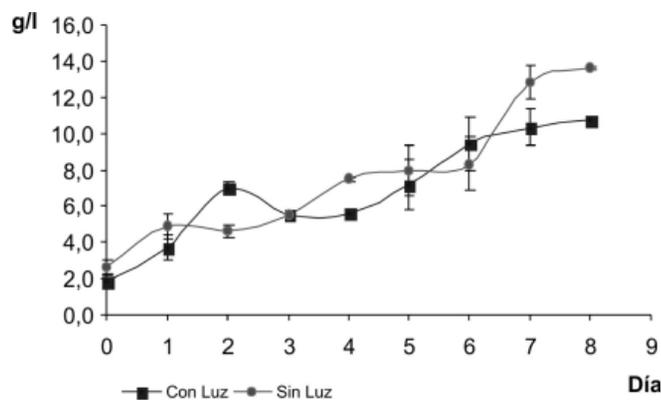
Se evaluaron tres edulcorantes: Aspartame, estevia y panela. Después de la elaboración del producto se escogió la mejor alternativa, con base en los resultados de las pruebas organolépticas realizadas al producto. Estas pruebas consistieron en tomar a 30 personas de tres rangos diferentes de edades para que probaran los tres productos, y le dieran una calificación numérica de 1 a 10 al sabor y la textura.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cinética de crecimiento

A continuación se muestra cinética de crecimiento obtenida para el *G. lucidum* a las dos condiciones lumínicas evaluadas.

GRÁFICO 1
Concentración de biomasa vs tiempo



La producción de biomasa al final de la biotransformación (día 8), fue de 13,65 g/l en ausencia de luz y 10,76 g/l en presencia de luz. Como puede verse, la producción de biomasa, se favorece al trabajar en condiciones de ausencia de luz.

En una investigación realizada por Fang y Zhong (2002), se obtuvieron concentraciones máximas de 17.3 g/l a pH 6.5, y 15.5 g/l a pH 5.5 de biomasa en el día 8, estos valores son similares a resultados del presente estudio en el cual el pH fue de 6, por lo que se puede inferir que los valores de concentración de biomasa obtenidos están dentro de los rangos reportados en la literatura para el *Ganoderma lucidum*.

3.2 Producción de EPS

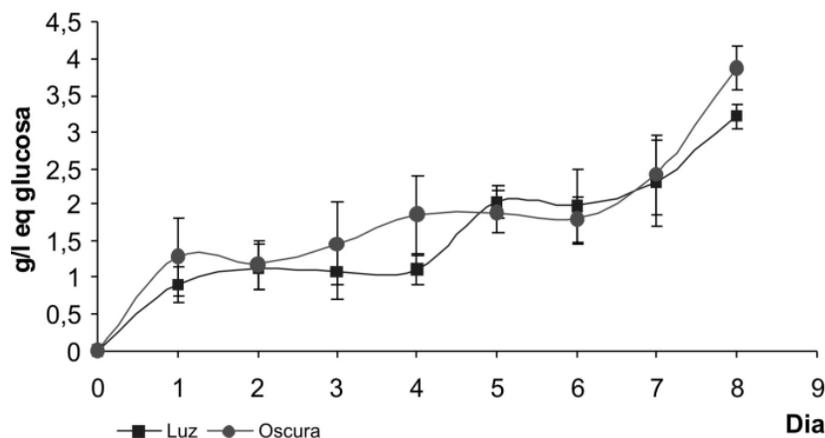
En la siguiente gráfica se muestra la producción de exopolisacáridos del *G. lucidum* a diferentes condiciones de luz.

La concentración máxima de polisacáridos obtenidos en este caso para el día 8, fue de: 3.88 g/l en ausencia de luz y 3.21 g/l en presencia de luz. Con base en estos resultados se puede afirmar que la producción de exopolisacáridos no es afectada significativamente por las condiciones lumínicas, manejadas en este estudio.

Fang y Zhong (2002), al trabajar en frascos agitados a las mismas condiciones de medio de cultivo manejadas en este estudio, encontraron que la máxima concentración de EPS alcanzada en el día 8 fue de 1.08 g/l.

Los resultados para la concentración de polisacáridos, obtenidos en el presente estudio, son mayores a los reportados por Fang y Zhong, lo cual sugiere que las condiciones empleadas para el cultivo del *G. lucidum* son apropiadas y estimulan la producción de exopolisacáridos.

GRÁFICO 2
Producción de EPS vs. tiempo

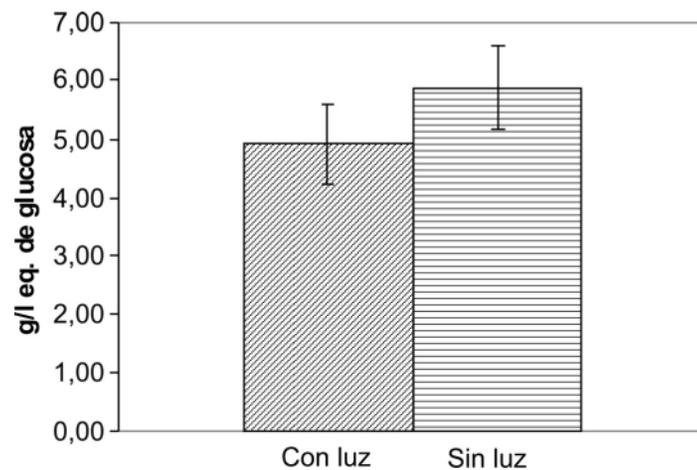


3.3 Polisacáridos totales

A continuación se muestra la gráfica con los resultados obtenidos en la determinación de polisacáridos totales, empleando el método de Dubois.

Tal como se esperaba, la concentración de polisacáridos totales es mayor que la de EPS y la gráfica indica que en ausencia de luz hay mayor producción de polisacáridos totales.

GRÁFICO 3
Polisacáridos totales (día 8)



3.4 Contenido de proteína en la gelatina enriquecida

Al aplicar el método de Biuret, para el análisis de una muestra de gelatina enriquecida, se obtuvo que por cada 10 g. de gelatina enriquecida, se tiene aproximadamente 2 g. de proteínas, por lo tanto, el producto contiene alrededor de 20% de proteínas. Al comparar este porcentaje con el de otros alimentos reconocidos por su alto valor proteico, como por ejemplo el huevo, el cual contiene un 12,1% de proteínas (Latham, 2002), se puede ver que la gelatina enriquecida puede ser empleada como un importante complemento en la dieta diaria.

3.5 Formulación de la gelatina enriquecida

El contenido de *G. lucidum* en el producto, fue determinado a partir de una revisión bibliográfica dónde se encontró que

una píldora de 75 mg, usada para el cuidado general de la salud, debe contener aproximadamente el 11.25% de polisacáridos (Meschino, 1998), lo que corresponde a una dosis de 8.44 mg de polisacáridos por cada píldora.

La concentración máxima de polisacáridos obtenida en este proyecto fue de aproximadamente 6 g/l, por lo tanto para que el producto cumpla con el contenido recomendado de polisacáridos, se requiere adicionar 1.4 ml del producto final de fermentación por cada gelatina de 12 gr.

Para determinar la cantidad y el tipo de edulcorante se realizaron varios ensayos preliminares, donde se concluyó que la panela es indispensable para lograr la consistencia adecuada en el producto, por lo tanto, es necesario conservar al menos un 75% de la panela que generalmente se usa para la preparación de la gelatina tradicional. A continuación se muestran las formulaciones realizadas variando el tipo de edulcorante:

TABLA 1
Formulaciones realizadas variando el tipo de edulcorante

Ingrediente	Formulación 1 (% Peso)	Formulación 2 (% Peso)	Formulación 3 (% Peso)
Colágeno	29.75	29.75	29.89
Estevia	7.36	-	-
Aspartame	-	7.36	-
Panela	44.15	44.15	58.97
<i>G. lucidum</i>	18.75	18.75	11.15
Canela	0.011	0.011	0.012

Al realizar un análisis organoléptico se obtuvieron las siguientes calificaciones:

TABLA 2
Análisis organoléptico para cada una de las formulaciones

CATEGORÍA	Formulación 1		Formulación 2		Formulación 3	
	Sabor	Textura	Sabor	Textura	Sabor	Textura
Personas 6-15 años	7,2	6,5	8,8	9,2	5,9	5,5
Personas 16-30 años	7,2	7,5	8,6	8,1	7,1	5,6
Personas > de 31 años	6,6	7,2	9,1	9,2	6,2	6
TOTAL	7	7,067	8,833	8,833	6,4	5,7

De acuerdo con la tabla anterior, al emplear como edulcorante estevia, se obtienen las mejores características organolépticas en el producto, por lo tanto esta fue la formulación escogida.

CONCLUSIONES

Al realizar este estudio se pudo concluir que la presencia o ausencia de luz blanca afecta la producción de biomasa del *G. lucidum*, siendo esta última mayor cuando se realiza el cultivo sumergido bajo condiciones de ausencia de luz blanca.

La producción de EPS y polisacáridos totales del *G. lucidum*, no varía significativamente al realizar el cultivo sumergido en ausencia o presencia de luz blanca.

La gelatina enriquecida desarrollada tiene un alto contenido proteico: 20% y un contenido de polisacáridos de 0,07%

(8,4 mg/12 g. de gelatina.), el cual es comparable con el de otros productos elaborados con *G. lucidum* ofrecidos en el mercado para el cuidado de la salud.

El empleo de la estevia como edulcorante ayuda a bajar el nivel de calorías en la gelatina enriquecida, lo cual hace que ésta se diferencie de la gelatina tradicional y sea más llamativa para el consumidor.

El *G. lucidum* puede ser empleado como aditivo en la elaboración de productos funcionales, lo cual lo hace muy atractivo para la industria alimentaria colombiana.

REFERENCIAS

- DUBOIS M, GILLES K.A., HAMILTON J. K. (1956). "Colorimetric Method for determination of sugars and related substances". En: Division of Biochemistry, University of Minnesota. pp. 350-356.
- FANG Q., ZHONG J (2002). "Effect of initial pH on production of ganoderic acid and polysaccharide by submerged fermentation of *Ganoderma lucidum*". En: Process Biochemistry, Vol. 37, Febrero 2002. pp. 769-774.
- JONG S.C, BIRMINGHAM J.M, (1992). "Medicinal benefits of the mushroom *Ganoderma*". En: Mycology and Botany Department American Type Culture Collection Rockville, Maryland., Vol. 37 pp.101-134.
- LATHAM, M (2002). Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Disponible en: www.fao.org/docrep/006/W00735/w0073s00.htm. Consulta: 7 de octubre 2006.
- MESCHINO, J. (1998). Reishi Mushroom Extract: An Important Supplement For Immune Support And Other Health Conditions. RenaiSanté Institute of Integrative Medicine.
- SWITZER, R., GARRITY, L., (1999). Experimental Biochemistry. Tercera edición. Estados Unidos: W.H. Freeman and company. pp 93.
- TANG Y.J, ZHONG J.J, (2002). "Fed-Batch fermentation of *G. lucidum* for hyperproduction of polysaccharide and ganoderic acid". En: Enzyme and Microbial Technology Vol. 31. pp 20-28.
- YANG, F. C., KE, Y. F., KUO, S., (2000). "Effect of fatty acids on the mycelial growth And polysaccharide formation by *Ganoderma lucidum* in shake flask cultures". Enzyme and Microbial technology. Vol. 27. pp 295-301.

AISLAMIENTO Y PURIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS DEGRADADORES DE CIANURO

Catalina Giraldo Estrada

cgiraldo@eafit.edu.co

Tatiana Coley Benjumea

tcoleybe@eafit.edu.co

Diana Paulina Zapata Zuluaga

zapataz@eafit.edu.co

RESUMEN

Se lograron aislar 6 especies diferentes, las cuales se adaptaron a una concentración máxima de cianuro de 150 mg/L y se realizó un ensayo preliminar para seleccionar aquellas con mayores velocidades de degradación; éstas fueron B, H, A y G, identificadas como *Pichia ohmeri*, *Exophiala spp*, *Candida spp*, *Staphilococcus spp*, respectivamente. Los microorganismos con menores velocidades de degradación fueron C y F, identificados como *Pseudomonas spp* y *Rodhotorula mucilaginosa* respectivamente, después de haberse hecho las diferentes pruebas bioquímicas. Los microorganismos con mayores velocidades de degradación fueron *Pichia ohmeri*, *Exophiala spp*, con valores de 2.3166 mg/Lh y 2.3109 mg/Lh respectivamente y los de menores velocidades de degradación fueron *Candida spp* y *Staphilococcus spp* con valores de 1.9747 mg CN/Lh y 1.7664 mg CN/Lh respectivamente.

PALABRAS CLAVE

Cianuro, Degradación, Microorganismos, Velocidad

ABSTRACT

It was possible to isolate 6 different species (A, B, C, F, G and H), which were adapted to a maximum concentration of cyanide of 150 mg/L and it was carried out a preliminary assay to select the microorganisms with higher degradation velocity, which were B, H, A and G, identified as *Pichia ohmeri*, *Exophiala spp*, *Candida spp*, *Staphilococcus spp*, respectively. The microorganisms with lower cyanide degradation velocity were C and F, identified as *Pseudomonas spp* and *Rodhotorula mucilaginosa*, after the different biochemical tests were done. The microorganisms with higher degradation velocity were *Pichia ohmeri* and *Exophiala spp*, with values of 2.3166 mg/Lh and 2.3109 mg/Lh, and the microorganisms with lower degradation velocity were *Candida spp*, *Staphilococcus spp*.

KEY WORDS

Cyanide, Degrading, Microorganisms, Velocity

1. INTRODUCCIÓN

El cianuro es un compuesto altamente tóxico para los organismos vivos, porque inactiva el sistema de respiración (Porter *et al.*, 1983 ; Chena and Liu, 1999; Yanase *et al.*, 2000). Industrias como las de extracción de metales, gasificación del carbón, producción de fibras sintéticas, producen altas concentraciones de cianuro (Ingvorsen *et al.*, 1991). Como consecuencia, los efluentes industriales deben reducir el cianuro a bajos niveles, generalmente entre 4 y 40 μM antes de ser descargados (Wild, 1987).

Las aguas residuales que contienen cianuro, son tratadas por métodos de oxidación química tales como : cloración alcalina, ozonización, oxidación húmeda con aire (Palmer *et al.*, 1988; Watanabe *et al.*, 1998). Sin embargo, estos métodos son costosos y los reactivos empleados son peligrosos (cloro e hipoclorito de sodio) (Watanabe *et al.*, 1998). Además, estas técnicas en muchos casos no pueden degradar completamente los complejos de cianuro (Figueira *et al.*, 1996). Otra alternativa para la degradación del cianuro, es el tratamiento biológico de efluentes industriales que usualmente depende de la actividad oxidativa de los microorganismos. Sin embargo, los efluentes industriales contienen inhibidores que pueden disminuir la degradación. (Pereira *et al.*, 1996).

También existen algunos sistemas biológicos que tienen mecanismos para la desintoxicación y se han descrito varios sistemas para la conversión del cianuro en productos menos tóxicos. Por ejemplo: sistemas de lodos activados y filtros.

Esta investigación contribuye con la formación de un banco de cepas de microorganismos degradadores de cianuro en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad EAFIT.

2. METODOLOGÍA

2.1 Microorganismo

Se trabajó con el efluente de una empresa de recubrimientos metálicos ubicada en el Valle de Aburrá, de donde se aislaron los microorganismos degradadores de cianuro.

2.2 Medio de cultivo

Para el cultivo en medio líquido, se utilizó una solución buffer carbonato que mantuvo el pH en un valor de 9.8 ± 0.2 , (Sorokin *et al.*, 2001). El medio se enriqueció con 1g/L de glucosa como fuente de carbono, 2g/L de Extracto de Malta, 1mg/L de CN como fuente de carbono y nitrógeno; Se esterilizó por filtración. Para el cultivo en medio sólido se utilizó Agar Extracto de Malta para los hongos y Agar Nutritivo para las bacterias, suplementado con diferentes concentraciones de cianuro

2.3 Estrategia experimental para el aislamiento, adaptación y purificación

Se realizó por presión de selección, aumentando la concentración de cianuro cada 48 horas, por duplicado, hasta encontrar la máxima concentración a la cual los microorganismos se pudieron adaptar. Después de tener cada microorganismo aislado totalmente y adaptado a la concentración máxima de cianuro, se sembró cada uno en medio de cultivo líquido, para garantizar la adaptación en este medio y así poder realizar las cinéticas de crecimiento.

2.4 Selección de los microorganismos con mayor potencial de degradación de cianuro

Se hizo un cultivo en medio líquido con cada uno de los microorganismos adaptados, durante 120 horas, escogiendo aquellos que presentaron mayor velocidad de degradación del contaminante

2.5 Cinéticas de crecimiento y degradación de cianuro de los microorganismos seleccionados

La velocidad de agitación fue de 200rpm, a una temperatura de 30°C, se hicieron por triplicado durante cinco días, tomando muestra cada 12 horas. Esto se realizó con base en un diseño de experimentos unifactorial para cada microorganismo, donde el factor era el tiempo, con 10 niveles y la variable respuesta la concentración de

cianuro. Además, para la variable respuesta velocidad de degradación de cianuro se hizo otro análisis estadístico donde el factor bajo estudio era el tipo de microorganismo con 4 niveles. A estos resultados se les realizó un análisis de varianza, con un nivel de confianza del 95%, en el software Statgraphics y, adicionalmente, los resultados de crecimiento celular se ajustaron a una linealización y se tuvo en cuenta un control negativo (sin células),

2.6 Medición de la biomasa

Se realizó por densidad óptica, leyendo la absorbancia a una longitud de onda de 540nm (Camargo y Ossa, 2005). Para relacionar este resultado con la concentración de cianuro por peso seco, se hizo una curva de calibración.

2.7 Medición del consumo de glucosa

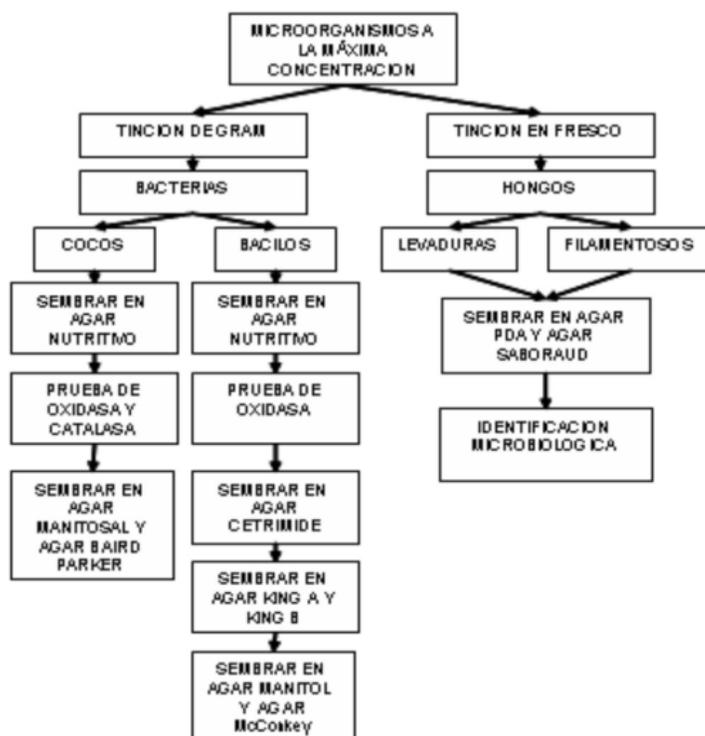
Se realizó por el método de DNS, (Miller, 1959).

2.8 Medición del cianuro

Se empleó un electrodo ión selectivo tipo 06-37, marca Monokrystal. Para la determinación de la curva de calibración se realizaron varias soluciones estándar de cianuro de potasio de concentraciones 10^{-2} a 10^{-6} M.

2.9 Identificación y caracterización de los microorganismos que crecieron a la máxima concentración de cianuro

FIGURA 1
Procedimiento para la identificación y la caracterización de los microorganismos



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración máxima a la cual los microorganismos crecieron fue de 150mg/L, se lograron aislar 8 microorganismos de 15 iniciales, con los cuales se empezó a una concentración de 1mg/L. Además de esto, solo 6 eran diferentes entre si, los cuales se nombraron: A, B, C, F, G y H. Al aumentar la concentración de cianuro en el medio de cultivo sólido a 200mg/L, el crecimiento fue muy lento, razón por la cual se decidió trabajar a una concentración aproximadamente de 150mg/L, en las suspensiones celulares. Se realizó un ensayo preliminar de selección de los microorganismos que crecieron a la máxima

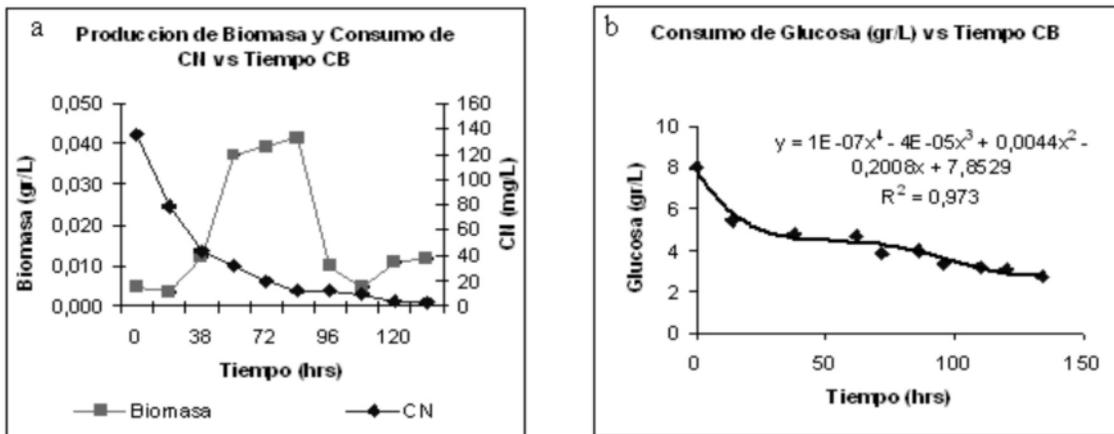
concentración de cianuro, con el fin de determinar aquellos que presentaron una mayor velocidad de degradación y con estos últimos proceder a realizar sus respectivas cinéticas de degradación de cianuro y producción de biomasa. Este se realizó durante cinco días, tomando muestras cada 24 horas.

TABLA 1
Velocidades de degradación

Microorganismo	Velocidad de Degradación (mV/h)
Pichia ohmeri (B)	0.8628
Exophiala spp (H)	0.765
Candida spp (A)	0.7768
Staphilococcus spp (G)	0.8162
Rhodotorula mucilaginosa. (F)	0.6666
Pseudomonas spp (C)	0.5696

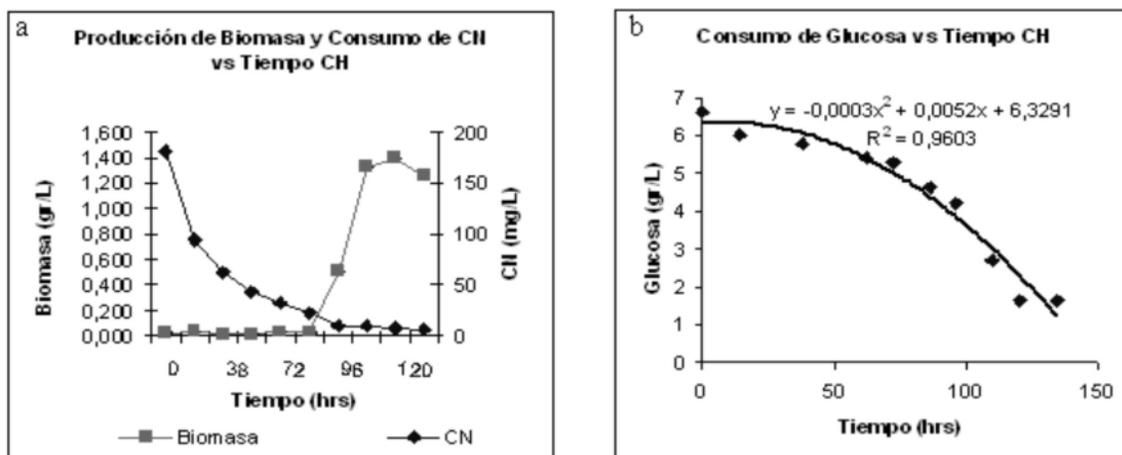
De acuerdo a las velocidades de degradación (Ver Tabla 1), fueron seleccionados los microorganismos A, B, G y H para realizar las respectivas cinéticas de crecimiento celular y degradación de cianuro. De acuerdo a las cinéticas de crecimiento celular y degradación de cianuro de los microorganismos seleccionados en la fermentación del microorganismo B, se observa que la fase exponencial del crecimiento comienza a las 14 horas y va hasta las 62 horas, y el aumento en la concentración de biomasa se da cuando la concentración de cianuro ha disminuido a 78 (mg/L), esto indica que el microorganismo consumió el carbono presente en el cianuro, pero además también utilizó el carbono presente en la glucosa como fuente de energía, pues se ve una alta disminución en la concentración de azúcares reductores en aquellos puntos donde se presenta la fase exponencial del crecimiento, aunque para el resto de puntos también se observa la disminución en la concentración de glucosa, dicha disminución no es muy significativa (Ver Figura 2).

FIGURA 2
Producción de biomasa y consumo de cianuro y glucosa



Al realizar la gráfica de crecimiento de biomasa vs. Tiempo, se observó que el microorganismo H inició su crecimiento a las 86 horas, cuando la concentración de cianuro había disminuido a 22 (mg/L), esto indica que aunque fue capaz de degradar el cianuro, el carbono presente en este no lo utilizó para su crecimiento sino para el mantenimiento celular. En el consumo de Glucosa vs. Tiempo, se observó que una disminución significativa en la concentración de azúcares reductores inició a las 62 horas y continuó hasta que se finalizó la cinética de crecimiento, lo que indica que utilizó para su crecimiento como fuente de carbono, la glucosa (Ver Figura 3).

FIGURA 3
Producción de biomasa y consumo de cianuro y glucosa



Al igual que para el microorganismo H, los microorganismos A y G, también iniciaron la fase exponencial en el punto en el cual la concentración de cianuro había disminuido considerablemente, para el microorganismo A la concentración del cianuro fue de 47 mg/L (Ver Figura 4) y para el microorganismo G de 28 mg/L (Ver figura 5). La concentración de glucosa disminuyó durante todo el tiempo que transcurrió la cinética, de esto se puede decir que dichos microorganismos no utilizaron el carbono presente en el cianuro para su crecimiento, pero si para mantenerse vivos antes de entrar en fase exponencial y utilizaron la glucosa como fuente de carbono para poder iniciar el crecimiento. De tal manera, se puede decir que durante esta cinética hubo dos sustratos: la glucosa y el cianuro. En el caso del cianuro, este es un sustrato inhibitor del crecimiento, lo que significa que el microorganismo necesita una fuente adicional de energía para poder iniciar la fase exponencial y contrarrestar el efecto de dicho compuesto.

FIGURA 4
Producción de biomasa y consumo de cianuro y glucosa

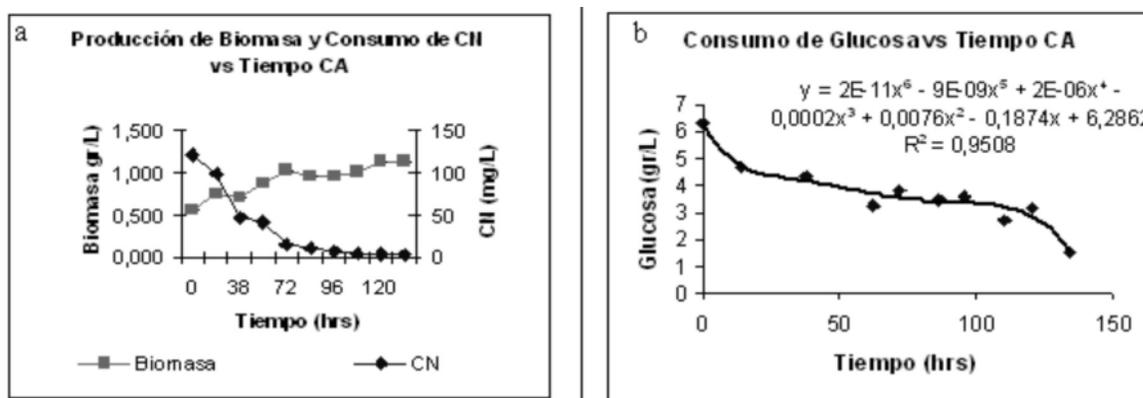
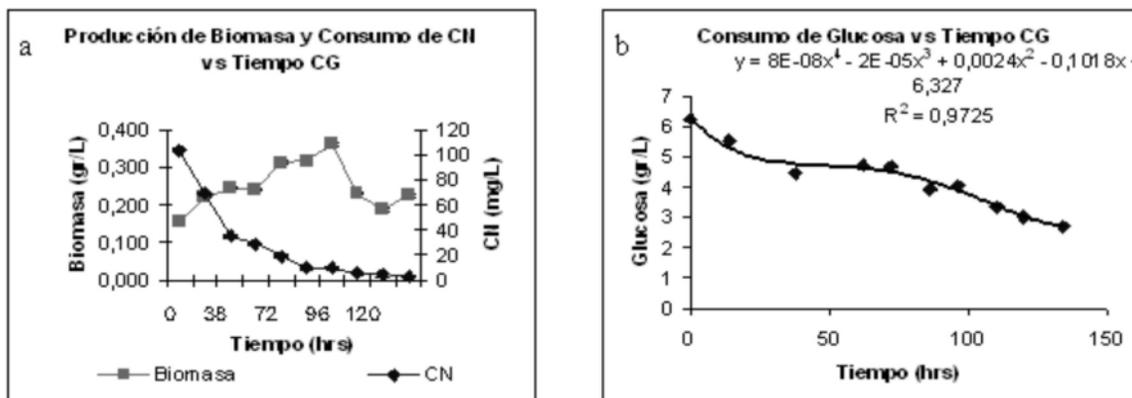


FIGURA 5
Producción de biomasa y consumo de cianuro y glucosa



El microorganismo que logró la velocidad máxima de crecimiento fue el H, aunque este al inicio de la cinética creció lentamente debido a la presencia del cianuro en el medio, después de que ya se había consumido, este inició la fase exponencial y creció con mayor rapidez (Ver Tabla 2)

TABLA 2
Parámetros cinéticos para cada microorganismo

Microorganismo	Velocidad Máxima de Crecimiento: $\mu_{\text{máx}}$ (1/h)
B	0.0488
H	0.1594
A	0.0105
G	0.0119

Los microorganismos bajo estudio degradaron un alto porcentaje de cianuro, alrededor del 97% (Ver Tabla 3), teniendo en cuenta que aproximadamente un 5 % fue volatilizado, aunque este aspecto es importante, porque lo que se buscaba con este trabajo era encontrar microorganismos capaces de degradar altas concentraciones de cianuro, también es muy importante

analizar cada velocidad de degradación del contaminante, la cual se calculó graficando las concentraciones de cianuro en el tiempo. Para esto, se tomaron aquellos datos en los cuales se observó inicialmente una mayor pendiente, hasta el punto en el cual no había un cambio significativo. De dichos datos se dedujo que los microorganismos con mayores velocidades de degradación fueron el B y el H, para los cuales se obtuvieron valores de 2.3166 mg CN/Lh y 2.3109 mg CN/Lh, respectivamente. Para A fue de 1.9747 mg CN/Lh y para G de 1.7664 mg CN/Lh. Aunque A y G degradaron un alto porcentaje de cianuro (97.13 % y 97.42% respectivamente), las velocidades de degradación fueron mucho menores comparadas con las de B y H, sin importar que todos alcanzaron porcentajes de degradación similares, en el tiempo total del cultivo. A pesar de que la cantidad de cianuro degradada es un factor importante a la hora de escoger los microorganismos, hay que tener en cuenta que, a mayor velocidad de degradación, menor es el tiempo que se toma el microorganismo para consumir o degradar el cianuro, y para efectos de costos este si es un factor altamente relevante, pues es claro que estos dos microorganismos degradan la mayor cantidad en un tiempo más corto que los otros.

TABLA 3
Porcentajes de reducción de cianuro

Microorganismo	Porcentaje de reducción
B	97.62%
H	96.74%
A	97.13%
G	97.42%

Si se comparan los valores de velocidad de degradación y porcentaje de remoción de cianuro con los valores reportados en la literatura (Camargo y Ossa, 2005), se puede observar que el porcentaje de remoción reportado en la literatura para *Pseudomonas fluorescens* (96.126%) es similar a los resultados obtenidos para los cuatro microorganismos que fueron alrededor del 97%. Pero las velocidades de degradación de cada uno de los microorganismos B, H, A y G fueron mayores (2.3166 mg CN/Lh, 2.3109 mg CN/Lh, 1.9747 mg CN/Lh y 1.7664 mg CN/Lh, respectivamente) comparadas con la de esta especie (0.1626 mg/Lh); teniendo en cuenta que las cinéticas de este estudio se iniciaron a una concentración de cianuro mayor y la concentración inicial reportada por Camargo y Ossa (2005) fue de 15 mg/L.

Por medio de las pruebas bioquímicas se identificaron los microorganismos aislados.

Microorganismo	Pruebas de identificación
<i>Pichia ohmeri</i> (B)	API 20C AUX
<i>Exophiala spp</i> (H)	API 20C AUX
<i>Candida spp</i> (A)	API 20C AUX
<i>Staphilococcus spp</i> (G)	TINCION GRAM (+) AGAR BAIRD PARKER (+) AGAR MANITOL (-)
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i> . (F)	API 20C AUX
<i>Pseudomonas spp</i> (C)	TINCION GRAM (+) AGAR CETRIMIDE (+) AGAR KING A (-) AGAR KING B (-) AGAR McCONKEY (-) AGAR MANITOL (-)

CONCLUSIONES

El método de presión de selección (incrementando gradualmente la concentración de cianuro) fue adecuado para el aislamiento, adaptación y purificación de las especies nativas con alto potencial de degradación del contaminante.

Mantener el pH entre 9.5 y 10 garantiza que la disminución del cianuro en el medio es debido a la degradación de los microorganismos y no a la volatilización de este.

La glucosa que se adicionó al medio de cultivo para realizar las cinéticas correspondientes, sólo actuó como una fuente de energía extra y no como el sustrato limitante del crecimiento.

El cianuro es un sustrato inhibitor de crecimiento, especialmente para los microorganismos B y H (*Pichia ohmeri*, *Exophiala spp*) respectivamente.

El incremento en la concentración de biomasa de los microorganismos degradadores de cianuro no fue significativo, debido a la alta concentración de cianuro con las que fueron evaluadas las cinéticas de crecimiento celular y a que el consumo de glucosa fue bajo.

Los microorganismos aislados, purificados, seleccionados e identificados como *Pichia ohmeri*, *Exophiala spp*, *Candida spp*, *Staphilococcus spp*, son una buena alternativa para la biodegradación de aguas residuales contaminadas con cianuro.

El porcentaje de degradación de cianuro fue alto, pero muy similar en los diferentes microorganismos; por tal motivo, puede decirse que éste es independiente de la velocidad de degradación y no es un criterio suficiente para seleccionar los microorganismos. Por el contrario, la velocidad de degradación sí fue un buen parámetro para estimar el potencial de remoción del cianuro de los microorganismos.

La velocidad de degradación depende tanto del tipo de microorganismo, como de la concentración inicial de cianuro en el medio. A mayor concentración de cianuro, mayor es el tiempo de degradación y por ende la velocidad es menor.

BIBLIOGRAFÍA

- Camargo P. y Ossa C. 2005. Tratamiento de Aguas Contaminadas con cianuro. Trabajo de Grado. Universidad EAFIT. Medellín.
- Figueira et al., 1996. Referenciado por: Kao C.M., Liu J.K., Lou H.R., Lin C.S., Chen S.C. 2003. Biotransformation of cyanide to methane and ammonia by *Klebsiella oxytoca*. *Chemosphere*. 50: 1055-1061.
- Ingvorsen et al., 1991. Referenciado por : Pereira P. T., Arrabaqa J. D., Amaral-Collaço M. T. 1996. Isolation, Selection and Characterization of a Cyanide-Degrading Fungus from an Industrial Effluent. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 45-52.
- Miller GL. 1959. Use of dinitrosalicilic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.* 31: 426-430.
- Palmer et al., 1988; Watanabe et al., 1998. Referenciado por: Kao C.M., Liu J.K., Lou H.R., Lin C.S., Chen S.C. 2003. Biotransformation of cyanide to methane and ammonia by *Klebsiella oxytoca*. *Chemosphere*. 50: 1055-1061.
- Pereira P. T., Arrabaqa J. D., Amaral-Collaço M. T. 1996. Isolation, Selection and Characterization of a Cyanide-Degrading Fungus from an Industrial Effluent. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 45-52.
- Porter et al., 1983; Chena and Liu, 1999; Yanase et al., 2000. Referenciado por: Kao C.M., Liu J.K., Lou H.R., Lin C.S., Chen S.C. 2003. Biotransformation of cyanide to methane and ammonia by *Klebsiella oxytoca*. *Chemosphere*. 50: 1055-1061.
- Sorokin Dimitry Y., Tourova Tatyana P, Lysenko Anatoly M., Kuenen J. Gijis. 2001. Microbial Thiocyanate Utilization under Highly Alkaline Conditions. *Applied and Environmental microbiology*. 67 (2): 528–538
- Watanabe et al., 1998. Referenciado por: Kao C.M., Liu J.K., Lou H.R., Lin C.S., Chen S.C. 2003. Biotransformation of cyanide to methane and ammonia by *Klebsiella oxytoca*. *Chemosphere*. 50: 1055-1061.
- Wild, 1987. Referenciado por: Pereira P. T., Arrabaqa J. D., Amaral-Collaço M. T. 1996. Isolation, Selection and Characterization of a Cyanide-Degrading. Fungus from an Industrial Effluent. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 45-52.

EVALUACIÓN DE ADITIVOS PARA LA FABRICACIÓN DE PASTILLAS CERÁMICAS

Maria Fernanda Mora Usma

mmorausm@eafit.edu.co

Hernando Duque Chica

hduquech@eafit.edu.co

RESUMEN

Las empresas manufactureras del sector eléctrico buscan cada día alternativas para mejorar la tecnología en protección de circuitos eléctricos. Una de estas alternativas es el desarrollo de productos como los varistores. La consolidación de dichos varistores exige la investigación de una pastilla o estructura cerámica obtenida por medio de diferentes procesos y aditivos que sea capaz de ofrecer resistencia eléctrica absorbiendo las energías transitorias causadas por sobretensiones.

Esta investigación consistió en la elaboración de pastillas de Óxido de Zinc para varistores evaluando diferentes tipos de aditivos aglutinantes y al mismo tiempo se determinaron las condiciones óptimas del proceso referentes a la cantidad de aditivo empleado y la presión en la compactación de las pastillas cerámicas.

Para efectos de la investigación, los experimentos se realizaron en dos etapas; en la primera se realizaron ensayos exploratorios que permitieron definir las condiciones de molienda. En la segunda etapa, se evaluaron mediante un diseño de experimentos multinivel factorial, tres factores: Tipo de aditivo, porcentaje de aditivo y presión de compactación, cada uno de los cuales se evaluó en tres niveles: Polietilenglicol (PEG), Hidroxipropilmetilcelulosa y Resina ligante estireno acrílica para tipo de aditivo; 1, 2 y 3 por ciento para porcentaje de aditivo y 300, 350 y 400 Megapascal para presión de compactación.

Las tres variables respuesta que se evaluaron de las respectivas combinaciones de factores y niveles fueron: densidad aparente de la pastilla en crudo, densidad aparente de la pastilla después de quema y absorción de la pastilla. Estas variables respuesta permiten establecer cuales combinaciones de factores producen las pastillas más compactas y menos absorbentes (porosas).

Los mejores resultados que se obtuvieron mediante el diseño de experimentos y su posterior análisis estadístico para la densidad aparente en crudo fueron con el aditivo PEG, a un porcentaje de 3 y una presión de 300 Mpa, dando como resultado una buena densidad en crudo entre 2.94 y 3.02 gr/cm³. Para la densidad aparente después de quema el mejor resultado se obtuvo con la combinación Resina, 1% de Resina y presión de 400 Mpa y para la absorción la mejor combinación fue la misma.

PALABRAS CLAVES

Pastillas cerámicas, varistores, aglutinantes, densidad aparente, absorción, compactación, porosidad.

ABSTRACT

The manufacturers companies of the electric sector look every day for alternatives to improve the technology in protection of electric circuits. One of these alternatives, is the development of products like the varistors. The consolidation of this varistors demands the investigation of a piece or ceramic structure obtained by means of different processes and additives that is able to offer electric resistance by absorbing the transitory energy caused by surges.

This investigation consisted in the elaboration of pills of Oxide of Zinc for varistores evaluating different types of binders, additives, and at the same time the better conditions were determined for the relating process to the quantity of used additive and the pressure in the compacting process of the ceramic pills.

The research consisted in two stages; in the first stage, the exploratory tests were done allowing to characterize the conditions of the milling to define the suitable zinc oxide grain size. At the second stage of experiments, three factors were evaluated by a multilevel factorial experiment design: type of additive binder, percentage of additive and compacting pressure, each of them was evaluated with three different levels: Polietilenglycol (PEG), Hidroxipropylmethylcelulose and an acrylic estiren resin, per additive type; 1, 2 and 3 % per additive percentage and 300, 350 and 400 MPas for the compacting pressure.

The three answer variables that were evaluated for the factor and level combinations were: the green apparent density of the ceramic piece, the apparent density of the ceramic piece before of the sinterizing process and the absorption of the pieces. These answer variables allowed to establish which factors combinations produce more compact pieces and less porous.

The best outcomes obtained by the experiment design and it's later statistic analysis for the green apparent density of the ceramic piece were with the PEG additive, a percentage of 3 and a pressure of 300 Mpa, obtaining a piece of green density between 2.94 and 3.02 gr/cm³. For the apparent density before sinterizing the best outcome was obtained with resin, 1% of resin and a pressure of 400 Mpa and for the answer variable absorption the outcome was the same.

The project also describes on detail the method for the manufacturing of the oxide zinc ceramic pieces from the milling stage until the sinterization of the pieces, including the equipments in laboratory scale, conditions and materials. This is complemented through flow diagrams, which allows to understand better the process development.

KEY WORDS

ceramic pieces, varistors, binders, apparent density, absorption, compaction, porosity.

1. INTRODUCCIÓN

Los varistores son en su gran mayoría cerámicos avanzados con aplicación en el sector eléctrico y electrónico por su excelente capacidad para proteger equipos y diferentes elementos de las sobretensiones. El buen nivel de protección es explicado debido a su alta propiedad no ohmica, la cual es alcanzada durante la sinterización donde se forman los granos de tamaño y hábito adecuados.

Los varistores cerámicos más ampliamente utilizados son los varistores de oxido de Zinc mezclados con otros óxidos en mínimas proporciones.

En la fabricación de varistores cerámicos basados en óxidos de zinc, la necesidad de un empaquetamiento homogéneo y consistente se resuelve básicamente mediante las técnicas de molienda, uso de aditivos, prensado y posterior sinterización.

La preparación de la materia prima antes de iniciar el proceso de conformación de las pastillas es exigente, pues

el tamaño de grano del mismo, debe ser mínimamente micrométrico con el fin de aumentar la probabilidad de obtener pastillas cerámicas con baja porosidad, es decir alta densidad. Para obtener el polvo cerámico con las características deseadas de tamaño de grano, se inicia la primera etapa del proceso de manufactura de las pastillas: La Molienda, que es la etapa en la cual las materias primas granulares son llevadas a un tamaño de grano específico, por medio de molinos. Luego de tener el polvo en su tamaño adecuado se continúa con la adición de aditivos para el conformado con el fin de mejorar la adherencia de las partículas finas del polvo, dar fuerza a la parte verde (la parte verde se refiere a los polvos compactados, formados por cualquier proceso, que todavía no se les ha realizado una operación de densificación) y para mejorar los radios de densificación durante la sinterización.

Posterior a la homogenización del polvo con el aditivo, se realiza el proceso de prensado o compactación utilizado para comprimir las partículas y disminuir los vacíos (huecos) entre ellas, iniciar enlaces interatómicos e incrementar la densidad de la masa, y darle consistencia a los materiales para resistir en crudo y en cocción a los esfuerzos mecánicos, químicos y físicos. [1]

Y por último, la sinterización es la etapa en la cual se consigue que pequeñas partículas de un material se mantengan unidas por difusión en estado sólido a altas temperaturas (1000°C aprox.).

Características de los aditivos

Los aditivos aglutinantes empleados en la fabricación de pastillas cerámicas son de diverso origen. En la naturaleza encontramos la mayoría de ellos, casi todos polímeros derivados de la industria petrolera; pero también los hay de tipo inorgánico aunque en menor proporción.

Hidroxipropilmetilcelulosa

Todas las celulosas proveen adherencia, retención de agua, reología pseudo plástica, suspensión o emulsificación y lubricidad.

Las celulosas contienen grupos hidrofóbicos como el metil, el etil o el hidroxipropil los cuales pueden portarse

como surfactantes, disminuyendo la tensión superficial. En varias de las aplicaciones cerámicas como la extrusión, el secado, el prensado, y los procesos de inyección, la hidroxipropilmetilcelulosa le confieren al material propiedades específicas según sea la aplicación. En la extrusión, estas celulosas se encargan de controlar la viscosidad y aumentar la estabilidad reológica de las mezclas. En operaciones de secado, semisecado y prensado, proveen una óptima lubricación de granos, y mayor uniformidad de empaque, densidades en crudo más predecibles, menor contracción durante la quema, y alta resistencia en crudo.

Polietilenglicol

El Polietilenglicol como ligante orgánico ha sido empleado para mejorar polvos cerámicos durante el proceso de prensado. Algunos estudios realizados demuestran que el PEG logra una buena deformación durante la compactación sin la aplicación de una presión muy alta y además alcanzando una alta densidad relativa. [2]

Otro de los aditivos evaluados en la presente investigación es una resina de tipo acrílica estirenada.

Se pretende entonces con esta investigación evaluar diferentes aditivos en la elaboración de pastillas cerámicas para varistores con base en la densidad aparente y el % de absorción, con las cuales se establecerá el grado de compactación de las pastillas.

2. MÉTODO

El procedimiento general que se empleó para la fabricación de las pastillas cerámicas es el siguiente:

Molienda del óxido de zinc

Con el fin de llevar las partículas de Óxido de zinc a un tamaño de grano adecuado se somete el material a una molienda en húmedo que se realiza en un molino de atrición que cuenta con bolas de Zirconio de diámetro 1.5mm.

El molino de atrición se debe cargar aproximadamente $\frac{3}{4}$ partes con las bolas de Zirconio y una mezcla que debe ser

preparada con anterioridad la cual debe contener agua y Oxido de Zinc.

Previo a la molienda, se caracteriza el Oxido de Zinc con el Área superficial específica de las partículas; la cual permite comprobar si efectivamente la molienda logró la reducción de tamaño de partícula.

	Área superficial específica
Antes de Molienda	5.16 m ² /gr.
Después de Molienda	10.7 m ² /gr

Acondicionamiento de la mezcla oxido de zinc - agua y adición del aglutinante

Durante esta etapa, se adecua la mezcla Oxido de Zinc-Agua para que cumpla con una densidad volumétrica determinada para poder calcular la cantidad de aditivo (aglutinante) a agregar, para esto, se construye un modelo matemático que permite establecer las cantidades (en gramos) a adicionar del aditivo, dependiendo de la cantidad de muestra obtenida del molino y del porcentaje de aditivo aglutinante que vaya a manejarse.

Aditivos aglutinantes empleados

En la investigación se evalúan los tres aglutinantes orgánicos que se describen en el marco teórico del presente proyecto, y se nombran nuevamente a continuación: [3]

- Polietilenglicol 400.
- Hidroxipropilmetilcelulosa.
- Resina ligante estireno acrílica.

Secado

Luego de homogenizar los aditivos en la solución de Oxido de Zinc, esta es llevada a una estufa a una temperatura de 60 grados centígrados, durante 20 horas con el objetivo de retirar el agua presente hasta un punto en el que la humedad sea mínima. La temperatura y el tiempo de secado se establecen según los ensayos preliminares y propiedades de los aditivos, evitando que toda el agua se evapore del cuerpo cerámico y mucho menos el aditivo.

De esta etapa resulta una pasta dura que se debe llevar nuevamente a polvo por medio de maceración y posterior tamizado.

Tamizado

El material que sale del secado ya constituido en su mayoría por óxido de zinc, el aglutinante adicionado y muy poca humedad se lleva a un mortero en el cual se destruyen las aglomeraciones producidas en el secado y es pasado a través de un tamiz.

Prensado

La etapa de prensado como ya se ha explicado tiene como objetivo compactar el oxido de zinc de tal forma que se obtenga la forma geométrica deseada dependiendo de la función a desempeñar, en este caso, la fabricación de varistores. El prensado es realizado en la prensa hidráulica del Laboratorio cerámico de la empresa Sumicol S.A. la cual cuenta con las siguientes especificaciones:

- Marca MANNETI, modelo MISA-UT
- Presiones de operación: 0 – 400 Mpa.
- Principio de funcionamiento: prensado uniaxial.

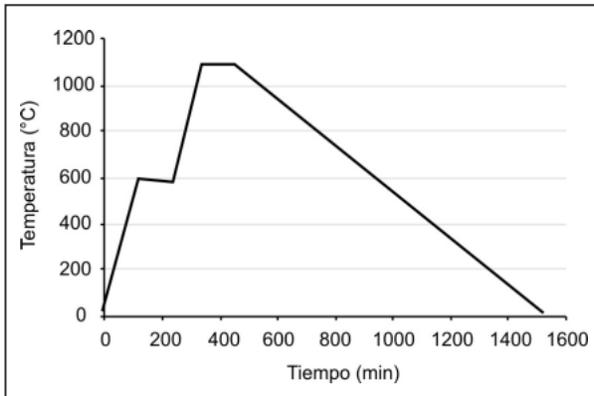
FIGURA 1
Prensa empleada para la conformación de las pastillas



Sinterizado

La curva de sinterización o cocción para las pastillas de Oxido de Zinc como se muestra en la figura es la siguiente: [4], [5]

FIGURA 2
Curva de sinterizado



De 0°C a 600°C incrementándose a razón de 5°C por minuto, y mantener la temperatura de 600°C durante 2 horas.

De 600°C a 1100°C incrementándose a razón de 5°C por minuto, y mantener la temperatura de 1100°C durante 2 horas.

Posterior enfriamiento a razón de 1°C por minuto hasta 35°C.

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Ensayos exploratorios

3.1.2 Determinación de las condiciones de molienda y proceso

Los ensayos de esta etapa se realizan por ensayo y error con el fin de determinar las variables críticas del proceso y las variables a trabajar en el diseño de experimentos.

Las variables estudiadas son tiempo de molienda, temperatura de secado del material molido, humedad del material a prensar y malla para pasar el material.

3.2 Ensayos para definir la mejor relación: tipo de aditivo, % aditivo y presión ejercida (multinivel factorial)

El proceso que se describe a continuación es realizado para cada uno de los ensayos arrojados por un diseño de experimentos Multinivel Factorial diseñado con el software MINITAB, en el cual se tienen como factores: Tipo de aditivo, % de aditivo y presión de prensado, las cuales se varían en tres niveles, de la manera como se muestra en la siguiente tabla:

Factores	Variabes
ADITIVO	Polietilenglicol
	Celulosa
	Resina
% ADITIVO	1%
	2%
	3%
PRESIÓN	300 Mpa
	350 Mpa
	400 Mpa

En el anterior diseño se definieron como variables respuesta la densidad en crudo, la densidad después de quema y la absorción de las pastillas. Las tres variables indican si las pastillas están o no porosas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Definición de condiciones de proceso

4.1.2 Tiempo de molienda

Los ensayos exploratorios permitieron definir el tiempo de molienda. Aquellos ensayos en que la molienda fue de aproximadamente 4.5 horas arrojaba un tamaño de partícula de 10 µm y para que el grado de compactación sea aún mejor en la pastilla es conveniente un tamaño micrométrico menor, por lo cual se aumentó el tiempo de molienda y se encontró que con un tiempo de molienda de 12 horas el tamaño de partícula que se alcanza es de 0.05 µm.

4.1.3 Clasificación del material por tamaño de malla

La selección de una malla en particular se hace básicamente para el manejo del material y por la apariencia lisa que le da a la pastilla cerámica.

Ensayo	No. Malla utilizada	Apariencia superficial de la pastilla
Ensayo A	16	rugosa
Ensayo B	40	medianamente rugosa
Ensayo C	40 y 80	medianamente rugosa (malla 40), lisa (malla 80)
Ensayo D	80	Lisa

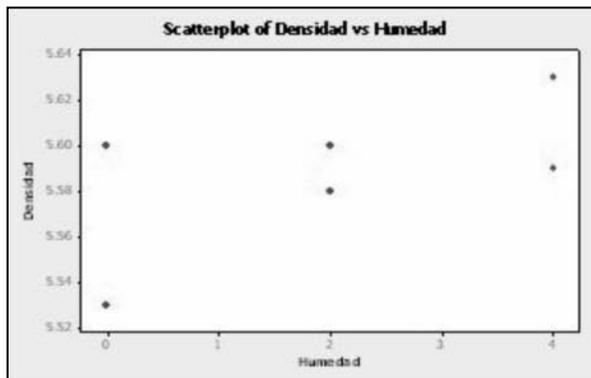
4.1.4 Temperatura de secado

Por otra parte, la temperatura de secado influyó en la humedad del material (mayor humedad a menor temperatura). Sin embargo con ninguna de las temperaturas se alcanzó una humedad mayor a 1%.

4.1.5 Humedad del material a prensar

A pesar de variar la humedad del material para el prensado, las densidades de las pastillas no se desviaron mucho de los valores obtenidos con materiales secos (0% humedad), es decir que la densidad no depende únicamente directamente de este variable. Así lo corrobora la siguiente grafica:

FIGURA 3
Gráfico de correlación de densidad aparente y humedad



Pearson correlation of Humedad and Densidad = 0.608

P-Value = 0.201

Al buscar la correlación entre humedad y densidad, se encontró que es de un valor de 0.608 y valor de P (probabilidad de error) es mayor al 5%, por lo tanto no hay una correlación entre las dos variables.

En definitiva las dos variables humedad y densidad no se relacionan, lo cual quiere decir la densidad no depende de la humedad del material. Por ello en el diseño de experimentos el factor humedad no fue tenido en cuenta.

4.2 Resultados del diseño de experimentos

A continuación se muestran los mejores resultados obtenidos de densidad en crudo y en quema de los 27 ensayos realizados por duplicado:

Pastilla	Peso Rodaja seca (g)	Empuje (g)	Densidad aparente en crudo (g/cm ³)
1	27,35	125,54	2,96
2	26,99	124,01	2,96

Densidad en crudo de las pastillas

Pastilla	Peso Rodaja seca (g)	Empuje (g)	Densidad aparente en crudo (g/cm ³)
1	27,87	70,03	5,41
2	27,62	69,80	5,38

Densidad en quema de las pastillas

De los 27 ensayos realizados por duplicado, de aquellos que se obtuvo un mejor resultado de la variable respuesta Absorción son los que se muestran en la tabla:

Rodaja	Peso Rodaja en quema y seca (g)	Peso Rodaja húmeda (g)	Absorción (%) 1100°C
2-1	27,69	27,72	0,1
2-2	27,86	27,9	0,1
3-1	26,92	26,96	0,1
5-1	27,97	27,99	0,1
5-2	28,09	28,1	0,0

Absorción de las pastillas

De los ensayos del diseño de experimentos multinivel factorial 3³ para la variable respuesta densidad en crudo resultó:

- La densidad en crudo de las pastillas cerámicas es altamente influenciada por el tipo de aditivo que se emplee, teniendo en cuenta que la función de éste es mejorar la adherencia de las partículas del polvo cerámico de las piezas conformadas.
- La mayor densidad en crudo se obtuvo combinando el aditivo Polietilenglicol (PEG) con una presión de 300 Mpa e igualmente las gráficas de interacciones y efectos principales muestra que el buen desempeño del PEG es directamente proporcional al porcentaje que se agregue de éste. Los valores de densidad en crudo obtenidos con la combinación óptima (PEG, 3%, 300Mpa para Tipo de aditivo, porcentaje y presión de compactación respectivamente) fueron 2.94 gr/cm³ y 3.02 gr/cm³.
- La Hidroxipropilmetilcelulosa y la Resina en cualquier combinación con el resto de factores arrojaron los valores mínimos de densidad aparente en crudo. Incluso la resina combinada con el mayor porcentaje de aditivo (3%) y la mayor presión (400Mpa) da un valor de densidad de 2.67 a 2.68 gramos por centímetro cúbico.
- El buen resultado que produce usar Polietilenglicol como aditivo para densificar las pastillas cerámicas en crudo, puede ser debido al hecho que aunque los tres aditivos ensayados son solubles en agua, el Polietilenglicol se

solubiliza con mayor facilidad y por tanto se Homogeniza mejor cuando se mezcla con el Óxido de zinc y el agua y en efecto si el aditivo está mejor distribuido en el polvo cerámico a compactar, la densificación en crudo será mejor.

De los ensayos del diseño de experimentos multinivel factorial 3³ para la variable respuesta densidad después de quema resultó:

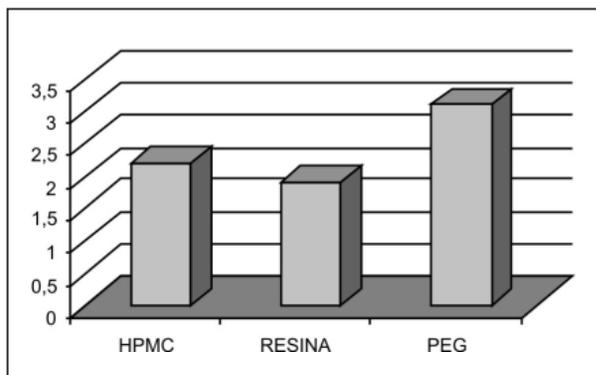
- El factor mas influyente en la obtención del mayor valor de densidad aparente después de quema es el tipo de aditivo, seguido del porcentaje de aditivo y por ultimo la presión.
- La combinación óptima de Tipo de aditivo, % Aditivo y presión para obtener el mayor valor de densidad aparente después de quema fué: Resina, 1% y 400 Mpa respectivamente. Esta combinación es diferente a la combinación óptima para la densidad en crudo.

Con el fin de establecer la razón por la cual el aditivo óptimo para la densificación en crudo es diferente a su equivalente para la densificación después de quema se calculó la pérdida por ignición en cada ensayo.

La pérdida por ignición cuantifica mediante porcentajes la pérdida de peso durante la sinterización de la siguiente manera: $Pérdida\ por\ ignición = ((Peso\ pastilla\ seca - Peso\ pastilla\ húmeda) / Peso\ pastilla\ seca) * 100$, por lo tanto, aquellos ensayos en los cuales la pérdida por ignición es alta, tienen en común un aditivo que combuste fácilmente y deja espacios de aire en la pastilla sinterizada, lo cual se traducen en una disminución de la densidad y en un aumento de la porosidad.

Entonces, teniendo en cuenta que una alta pérdida por ignición genera menores densidades, se puede deducir que el polietilenglicol (PEG) con la mayor pérdida por ignición produce pastillas con las más bajas densidades; por el contrario, con la resina, con la más baja pérdida por ignición se obtiene mayor densificación luego de la quema. Ver figura 4.

FIGURA 4
Gráfico de pérdidas por ignición vs. Tipo de aditivo



CONCLUSIONES

Las principales variables de entrada que deben considerarse en la fabricación de pastillas cerámicas para varistores son:

- Tipo de aditivo aglutinante.
- Porcentaje en peso del aditivo con relación a los sólidos secos del óxido de zinc.
- Presión aplicada durante la conformación o compactación del polvo cerámico.

Debido a que se obtuvieron pastillas cerámicas de alta densidad con absorción cero, puede concluirse que tanto los factores como el diseño de experimentos elegidos fueron adecuados para alcanzar propiedades determinantes en el desempeño final del varistor.

La humedad del material no es una variable determinante para la densificación de las pastillas cerámicas, pero sí es importante para facilitar la fluidez del polvo en la prensa.

Los resultados de la prueba de densidad aparente en crudo no son definitivos para decidir que aditivo, porcentaje de aditivo y presión produce la pastilla cerámica más apropiada para su uso en los varistores.

Dado que el uso de las pastillas para varistores serán utilizadas habiéndose sometido a sinterización, es importante tener en cuenta, que uno de los parámetros que

determinará la alta densidad, es la pérdida por ignición del aditivo.

De los tres aditivos evaluados, la Resina estireno acrílica brinda un poder ligante más efectivo que los demás aditivos orgánicos evaluados, por presentar una pérdida por ignición menor que el resto de aglutinantes.

La investigación permitió identificar una nueva alternativa de aditivo ligante diferente a los comúnmente reportados en la literatura (Glicoles, celulosas y Vinílicos).

La Resina estireno acrílica además de conferir altas densidades a las pastillas de óxido de zinc, se requiere en el menor porcentaje evaluado en la fabricación, lo que representaría menores costos por insumos.

RECOMENDACIONES

Evaluar otros aditivos que puedan cumplir la función de densificar este tipo de materiales cerámicos, con el fin de ampliar la base de datos existente hasta el momento que permita tomar decisiones de los más convenientes desde el punto de vista económico y de acuerdo al tipo de proceso cerámico en el cual se vaya a aplicar y en los costos.

Realizar un escalado del proceso que se planteó en este proyecto para determinar los recursos y viabilidad técnica y económica del proceso.

Estimar los costos de fabricación de pastillas cerámicas en un proceso a escala industrial basándose en los resultados técnicos derivados de la presente investigación.

Se recomienda realizar para posteriores investigaciones análisis termogravimétrico de los aditivos que se pretendan evaluar, con el fin de encontrar magnitudes exactas de las temperaturas de ignición del aditivo y de este modo diseñar curvas individuales en el horno para cada aglutinante.

Realizar pruebas mecánicas y eléctricas que den continuidad a los resultados de densidad aparente y absorción (porosidad) obtenidos en esta investigación con el fin de ratificar el buen desempeño técnico de las pastillas para varistores proporcionado por las condiciones óptimas descritas en este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] NAVARRO J.E. et al. (1987). Características de polvos cerámicos para prensado. EN: Curso de Fabricación de Baldosas cerámicas. Tomo III. Biblioteca Dpto. Técnico Electroporcelana Gamma
- [2] W.J. Walker and J.S. Reed, "Polyethylene Glycol Binders for Advanced Ceramics," *Ceram. Engineer. Science. Process.*; p.p 58-79, 1993. Citado por: SCHULZ B. M.(2004). EN: Effect of natural and synthetic organics on processing of clay-based ceramics. Tesis. (Doctor in ceramic science). New york. Universidad de Alfred.
- [3] Ingeniero Químico Ramiro Restrepo. Ingeniero de Tecnología Ltda. Medellín, Marzo 2 de 2006.
- [4] Ingeniero cerámico David Mesa. Técnico cerámico de la organización corona. Medellín, Marzo 11 , 2006.
- [5] 5 .HUNT M. (1983). The effects of fabrication processes on oxide varistors. Tesis. (Bachelor of science in ceramic engineering. New York. Universidad de Alfred.

DISEÑO DE UN REPELENTE PARA INSECTOS VOLADORES CON BASE EN PRODUCTOS NATURALES

Leticia Paulina Daza M.
ldazamar@eafit.edu.co

Natalia Andrea Florez V.
nflorezv@eafit.edu.co

RESUMEN

De acuerdo con el análisis de la investigación de mercados, se decide elaborar un repelente con base en ingredientes naturales, de excelente calidad, duración y efecto, olor agradable y presentación en "spray".

Para la elaboración del repelente natural se hace una selección de materias primas de acuerdo a un estudio bibliográfico y se evalúan mediante ensayos preliminares para obtener las variables más significativas en la repelencia y los componentes del producto que hacen parte del valor agregado, como el preservativo, fijador, suavizante y aroma, para encontrar la cantidad apropiada de cada uno de ellos y la estabilidad en conjunto del producto.

El tiempo de protección completa del repelente con ingredientes naturales es de aproximadamente 2 horas y el porcentaje de efectividad es de 75 %, de acuerdo a la prueba de durabilidad.

PALABRAS CLAVES

Repelente, aceites esenciales, insectos voladores.

ABSTRACT

According to the marketing research analysis, it is decided to elaborate a repellent with natural ingredients, of excellent quality, duration and lasting effect, pleasant smell and spray format.

For the elaboration of the natural repellent a selection of raw materials is made according to a bibliographical study, and they are evaluated through preliminary try outs to obtain the most significant variables for its repellence and the components of the product that are part of the added value, like the preservative, fixing solution, softener and aroma, in order to find the appropriate amount of each one of them and the stability altogether of the product.

The duration of complete protection of the repellent with natural ingredients is approximately 2 hours and the percentage of effectiveness is 75%, according to the test of durability.

KEY WORDS

Repellent, Essential oils, flying insects

1. INTRODUCCIÓN

Con este proyecto, se desea obtener un repelente a base de extractos naturales, cuyas características y objetivos satisfagan las necesidades del consumidor, que sea viable económicamente, menos tóxico, perdurable, que no cause efectos perjudiciales a la salud de las personas ni al ambiente.

Para el cumplimiento de este propósito, se parte de una evaluación previa de la elaboración de los repelentes, 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 proyecto se realiza teniendo en cuenta otras variables importantes para competir con las marcas existentes en el mercado como el precio, la calidad y la presentación del repelente, además de presentar una gran innovación por ser un producto natural, contribuyendo así al crecimiento de la economía colombiana.

1.1 Repelentes

Al hombre siempre le resultan molestas las picaduras de insectos en general y mosquitos en especial. Durante mucho tiempo no se supo de las enfermedades que se podían transmitir por esta vía, sin embargo el hombre siempre estuvo interesado en liberarse de la acción del mosquito y otros insectos picadores.

Probablemente, lo primero que observa es que en las inmediaciones de algunas plantas había menos insectos y entonces se aplicó sobre la piel jugos de las hojas machacadas de esas plantas o bien los aceites exudados por alguna de ellas, comenzando a utilizar estos recursos vegetales como repelente. (B33, 2006).

Al tomar conocimiento posteriormente de enfermedades graves que eran transmitidas por los mosquitos, como la malaria (o paludismo) por el Anopheles o el Dengue (o fiebre quebrantahuesos) por el Aedes Aegypti, la protección se convirtió en un tema mucho más importante, es aquí donde se ve la necesidad de protegerse contra esta plaga

y surgen repelentes sintéticos y de origen natural. (O'farrill, 2004).

Los repelentes botánicos son sustancias naturales que se extraen de plantas. Las plantas generan sustancias para defenderse de los ataques de los insectos, siendo ésta la razón por la cual los mosquitos no atacan a las plantas sino a los animales de sangre caliente. Estos principios activos generalmente se encuentran en los aceites esenciales de las plantas y pertenecen a la familia de los terpenos. (Carretero, 2001).

2. MATERIALES

- Aceites esenciales: Citronella, Ruda, Manzanilla, Eucalipto, se compraron en El Arriero.
- Las semillas de Neem se recolectaron de árboles ubicados en Tolima.
- Los demás ingredientes y los equipos se obtuvieron de la Universidad EAFIT.

3. MÉTODOS

Los aceites se redestilan para unificar la cantidad porcentual de cada componente, se purifica por destilación a presión reducida de tal forma que el líquido ebulle a una temperatura menor para minimizar el riesgo de degradación de los componentes.

Para el proceso de extracción del Neem, se emplea un proceso de lixiviación, que consiste en agregar en una columna de vidrio de 500 ml, 30 gramos de semilla y 90 mililitros de etanol (al 96%). La semilla se deja inmersa en el solvente por un período de 75 minutos, a temperatura ambiente.

Después de definir las características que el producto debe tener para cumplir las exigencias del consumidor, se empezó por evaluar las materias primas más eficientes y de posible acceso, para obtener un repelente natural efectivo con aroma agradable y fácil manejo.

Con base en los ensayos realizados, se identifican las funciones de los ingredientes para así tener un conocimiento

de éstas en la mezcla y evaluar las limitaciones o mejoras en la formulación.

TABLA 1
Ingredientes y funciones

Ingredientes	Función
Propilenglicol	Vehículo, humectante no grasoso
Extracto de Neem	Interviene en los procesos químicos y fisiológicos de los insectos.
Aceite de Ruda	Repelente
Aceite de Citronella	Repelente
Aceite de Eucalipto	Aroma cítrico
Aceite de Manzanilla	Suavizante, antialérgico
Nonilfenol 10	Surfactante, facilita la dispersión del aceite en el agua.
Agua	Solvente, vehículo.
Metilparabeno Sódico	Preservativo, evita la contaminación del producto con gérmenes y bacterias.
PVP K30	Forma película, previene arrastre por agua, dispersante, y estabilizante de emulsiones.
Dietileftalato	Fijador de fragancias.

3.1 Prueba de Repelencia

Modelo biológico: *ae. Aegypti* Hembras.

Tiempo para la prueba: 6 horas

Variables incontrolables: Temperatura y humedad

- 25 hembras *A. aegypti* se colocan en una caja de acrílico de dimensiones 50*25*30 cm, las cuales se cambian para cada ensayo.
- La persona primero introduce el antebrazo sin repelente en la caja con los Zancudos (la variable control) y después introduce el otro antebrazo con el repelente. Se lava el antebrazo muy bien y sigue así sucesivamente

con las demás formulaciones. El tiempo de duración de cada prueba es de dos minutos y se toman datos de temperatura ambiente y humedad relativa cada 60 segundos.

- Tres personas son las encargadas de realizar los diferentes experimentos.

4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Se elige un diseño factorial, porque en este modelo se miden en cada etapa completa o réplica del experimento, todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores, para así optimizar la respuesta.

De los ensayos preliminares realizados, se llega a la conclusión de utilizar las siguientes variables y sus correspondientes niveles:

TABLA 2

Variables del Diseño. El diseño de cada ensayo se hizo por triplicado dando así 27 ensayos en total

Variables	Niveles
Concentración de Ruda/ Concentración de Citronella (% Peso)	0.5 : 0.5
	0.25 : 0.75
	0.75 : 0.25
Tipo de Personas	P1
	P2
	P3

Variable respuesta:

La repelencia: % de Zancudos que se acercan.

Después de realizar el diseño, se llega a la conclusión que la mejor fórmula independientemente del tipo de piel, fue la combinación de los aceites y con esto se tienen las suficientes bases para escoger la formulación final.

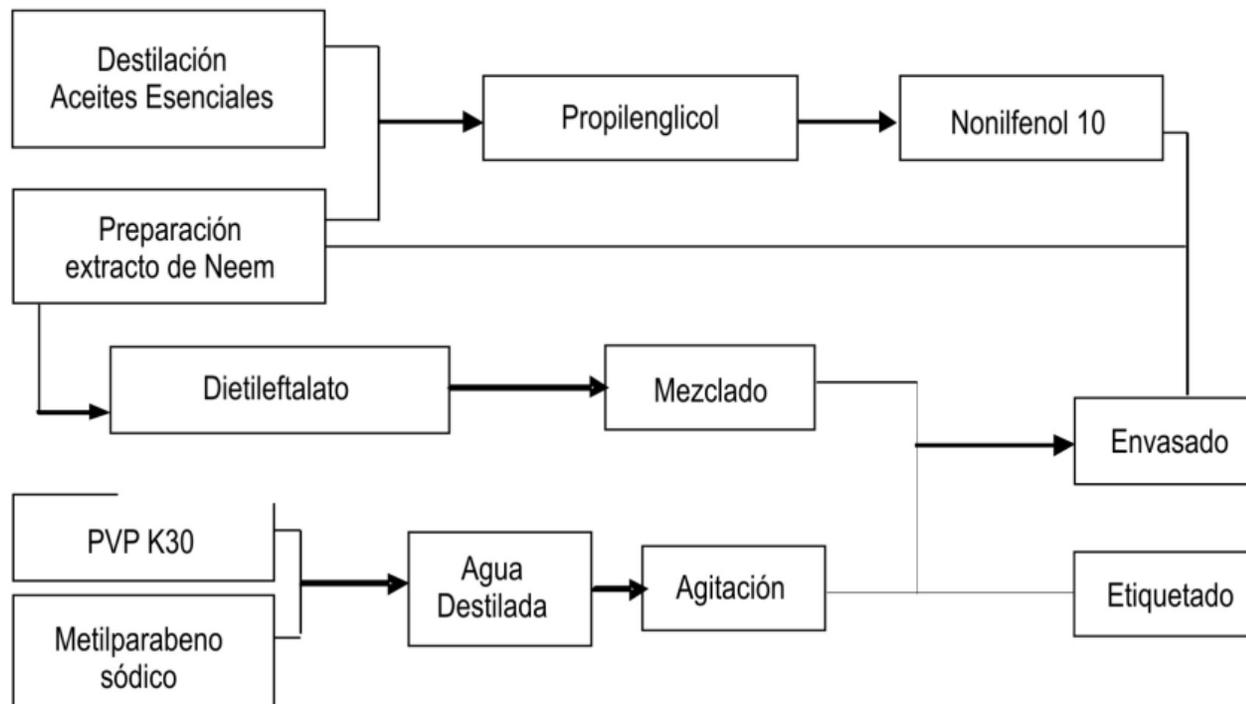
El producto final, es un repelente natural de insectos voladores que no irrita la piel, no tiene aspecto grasoso y tiene un suave aroma. En la tabla 3, se muestra la formulación final del repelente natural obtenido en el

laboratorio de la universidad EAFIT, al cual se le determina su efecto de repelencia y duración.

TABLA 3
Formulación Final del Repelente

Ingredientes	Porcentaje
Propilenglicol	10 - 12
Extracto de Neem	0.5 – 0.7
Aceite de Ruda	5 - 8
Aceite de Citronella	5 - 8
Aceite de Eucalipto	1 - 3
Aceite de Manzanilla	1 - 3
Nonilfenol NP10	5 - 8
Agua	71.8 - 75
Metilparabeno Sódico	0.2 - 0.5
PVP K 30	0.3 - 0.5
Dietileftalato	0.2 - 0.6

5. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO



Paso 1: Se agregan todos los aceites al propilenglicol, y luego el nonilfenol 10 es adicionado a la mezcla; después de mezclados se adiciona el dietileftalato (Fase 1).

Paso 2: Al agua se le adicionan el metilparabeno sódico y el PVP K30.
(Fase 2)

Paso 3: Las dos fases se mezclan.

Se hace un análisis financiero aproximado, del cual se obtiene que el proyecto primeramente es viable (existen las condiciones comerciales, técnicas y de infraestructura para concretar el proyecto) y en segundo lugar es rentable ya que va a generar ganancias, esto se observa claramente puesto que la TIR obtenida fue mayor que la tasa de retorno mínima atractiva (10%) y el VAN es un valor positivo.

6. CONCLUSIONES

Para definir las materias primas del producto se analizan los aspectos de factibilidad en su consecución, los costos de estos insumos, al igual que la calidad de los mismos. Los aceites esenciales son seleccionados de acuerdo a sus propiedades repelentes y se recomienda una combinación de estos para incrementar el efecto de repelencia, además se seleccionan otros ingredientes por su compatibilidad con los aceites y por que poseen propiedades para que el repelente se pueda usar en la piel humana.

De acuerdo con el resultado del diseño de experimentos, se concluye que el factor A (Formulas) y el factor B (Personas) tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la repelencia al nivel α de 10%, es decir, que tanto las fórmulas como las personas influyen en la repelencia. Sin embargo, no influye sobre la repelencia la interacción entre las personas y las fórmulas.

Se observa que cuando las personas utilizan el repelente natural aumenta el nivel de repelencia, es decir el porcentaje

de Zancudos que se acercan a la piel disminuye con el repelente natural; esto se presenta independientemente del tipo de persona. La fórmula A es la que mejor comportamiento tiene en todas las personas.

El tiempo de efectividad del producto se determina por la prueba de durabilidad, logrando mantener después de una sola aplicación sobre la piel un efecto duradero de aproximadamente 2 horas, este periodo se conoce como el Tiempo de Protección Completa (TCP), siendo este más bajo en los repelentes naturales en comparación con los sintéticos.

De acuerdo con la aplicación del producto en los encuestados, se obtienen resultados satisfactorios en cuanto a la reacción en la piel, olor y efecto del repelente natural, lo que demuestra que es un producto efectivo.

7. REFERENCIAS

B33 (2006), REPELENTES DE INSECTOS [Online]. [Citada, Septiembre 14, 2006]. Disponible en internet: http://www.aire.org/farmacia/FarmaciaMil/Repelentes_insectos.pdf#search=%22aceite%20de%20citronela%22

CARLES Miguel; HJORTH-ANDERSEN Tolrá (2006). Catálogo de los Díptera de España, Portugal y Andorra. [Citada, Septiembre 14, 2006]. Disponible en: www.entomologia.net

CARRETERO Maria Emilia. (2001). Terpenos III: Triterpenos y esteroides. Citada, Septiembre 14, 2006]. Disponible en: [http://www.portalfarma.com/pfarma/taxonomia/general/gp000011.nsf/voDocumentos/4DE2A2030B26B6F0C1256A790048D68C/\\$File/240.pdf](http://www.portalfarma.com/pfarma/taxonomia/general/gp000011.nsf/voDocumentos/4DE2A2030B26B6F0C1256A790048D68C/$File/240.pdf)

O'FARRILL, Hipólito. (2004). Las plagas del hogar y el jardín. Ed. Universidad de Puerto Rico. Recinto Universitario de Mayagüez- Departamento de Protección de Cultivos.

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE SECADO POR MICROONDAS

Luisa Fernanda Hoyos Gaviria
lhoyosga@eafit.edu.co

Natalia Restrepo Vélez
nrestre@eafit.edu.co

RESUMEN

La aplicación de la energía electromagnética en los materiales como parte de procesos químicos, ha sido estudiada desde hace varios años. En este trabajo de investigación se estudia la utilización de la porción del espectro electromagnético correspondiente a las microondas como fuente de poder, especialmente destinada a la deshidratación de frutas, en particular para moras.

Se estudiaron seis alternativas de proceso para la implementación de esta tecnología y se encontró que la mejor manera para deshidratar este tipo de productos es mediante el uso de una tecnología combinada de secado por atomización/microondas, utilizando como fuentes generadoras de radiación dos magnetrones de 4kW cada uno. Se presenta entonces el diseño conceptual a escala piloto para este sistema, en el cual se disminuye la humedad final del producto desde un 10% hasta un 5% base seca.

PALABRAS CLAVES

Secado, microondas, moras, tecnología combinada, atomización, diseño conceptual, magnetron, frutas.

ABSTRACT

The application of the electromagnetic energy in materials as a topic of chemical processes has been studied for several years. In this research, the use of the portion of the electromagnetic spectrum corresponding to the microwaves as power supply, specially destined to the dehydration of fruits, particularly blueberries, is studied.

There were studied six alternatives of process for the implementation of this technology, and the best option to dehydrate this type of products is using a drying technology combination by Spray Dryer/ Microwaves, using as power supply of two radiation magnetrons of 4kW each one. The conceptual design is shown on pilot scale for this system, in which the final humidity of the product is diminished from a 10% to a 5%.

KEY WORDS

Drying, microwaves, Blueberries, Combined technology, Atomization, Conceptual design, Magnetron, Fruits.

INTRODUCCIÓN

La industria alimenticia moderna fija estrictas condiciones para cada uno de los procesos desarrollados hoy en día. Continuamente se realizan investigaciones sobre la importancia en el ahorro desde el punto de vista de consumo energético, las cuales ocasionan cambios fundamentales en los procesos tradicionales.

El secado es uno de los procesos más demandantes de energía (junto con la destilación). Muchos estudios se han enfocado en el mejoramiento del secado convectivo combinándolo con otros procesos, o reemplazándolo totalmente por otro método. Uno de ellos tiene que ver con el aprovechamiento de la energía de las microondas, mostrándose como una técnica muy atractiva y eficiente para disminuir el contenido de humedad de diversos productos.

En la actualidad, el secado por microondas tiene una gran diversidad de aplicaciones en el mundo. En Colombia las aplicaciones industriales se limitan a la industria textil y aún no se han logrado desarrollos significativos con esta tecnología a nivel industrial.

Ésta es una tecnología muy atractiva para el país, particularmente en industrias de elevada capacidad productiva en procesos con altos porcentajes de disminución en la humedad de sus productos, debido a que en el secado, la duración del mismo está limitado por la rata de evaporación en la superficie del material, en consecuencia a su calor específico, conductividad térmica, densidad y viscosidad; requiriendo más tiempo en el procesamiento de los productos y por ende incrementando sus costos de producción.

El secado por microondas es un tipo de sistema más compacto y requiere menor espacio para la instalación del equipo comparado con los sistemas tradicionales. Desde el

punto de vista de consumo de energía, los requerimientos se hacen más controlables debido a que sólo es necesario encender o apagar la fuente emisora de la radiación evitando desperdicios innecesarios en calentamiento o enfriamiento del sistema. Además, ésta es una tecnología selectiva y la energía empleada se destina sólo a la evaporación del agua sin afectar el resto del material.

Este proyecto ha sido pensado para incorporar la producción de ésta tecnología en el país y proyectarla hacia otros campos de la industria diferentes a los que actualmente se trabajan, ya que los secadores por microondas que se importan en el país y se destinan sólo hacia el campo textil.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el fin de establecer los parámetros y variables más importantes en la operación de deshidratación, se realizaron algunos ensayos en los Laboratorios de Ingeniería de Procesos de la Universidad EAFIT en un horno microondas convencional SAMSUNG modelo G1340, de 2450 MHz, 950 Watts (potencia del magnetrón), diez diferentes niveles de potencia donde se irradiaron las muestras de mora. Una balanza electrónica marca OHAUS, modelo Adventure, con capacidad para 510g y una tolerancia de $\pm 0.01g$ para determinar el porcentaje de humedad alcanzado por el producto de la siguiente forma:

$$\%H = 0.928 - \left(\frac{W_i - W_f}{W_i} \right) * 100$$

Donde,

H = Humedad del producto

W_i = Peso inicial de la muestra

W_f = Peso de la muestra después de someterse a la radiación

Se realizó un diseño de experimentos en el software MINITAB®, Se utilizó un modelo Factorial 2^K con un punto central, un nivel de confianza del 95%, una réplica y un total de 34 ensayos. En la tabla 1 se muestran las variables y factores propuestos en este análisis:

TABLA 1
Factores evaluados en el primer diseño de experimentos

VARIABLE	FACTORES
Potencia (%)	10 - 100
Tiempo de secado (min)	3 - 5
Tamaño de partícula	Entera - trozos
Peso de material (g)	100 - 200

Las muestras fueron puestas en la cavidad del horno microondas y fueron irradiadas usando la potencia estimada para cada ensayo, hasta que se hubo completado el tiempo estipulado para determinar finalmente el porcentaje de humedad alcanzado.

Se obtiene que la variable más influyente en el proceso es el nivel de potencia, sin embargo, se establece que la forma de las muestras, mora entera y en trozos, no favorecen el proceso de deshidratación por microondas, dado que la calidad de las mismas se ve afectada debido a la no homogeneidad en cuanto a las propiedades químicas como grado de madurez y físicas como el tamaño. Con este resultado se realizaron otros experimentos con moras en forma líquida, líquida sin semillas y mora en polvo presecada por atomización, buscando la homogeneidad de la muestra y con ello mejorar los niveles de calidad del secado. Los resultados evidencian mejor calidad de secado en cuanto a sus propiedades organolépticas y una tasa de evaporación significativamente mayor comparada con el secado mediante el método convencional de bandejas, lo cual hace muy atractiva la técnica de deshidratación mediante microondas.

Estos ensayos dan pie a las bases necesarias para plantear las alternativas de diseño del sistema de secado por microondas.

2. DISEÑO CONCEPTUAL

Alternativas de diseño

Con el fin de obtener un diseño óptimo para la deshidratación mediante microondas tanto desde el punto de vista económico como de factibilidad de proceso, se estudian diferentes alternativas que van desde la combinación de tecnologías hasta la utilización netamente de microondas mediante varios generadores de señal. Se plantean entonces diferentes opciones con el diseño de una cavidad de secado cerrada y al vacío con solo una fuente generadora de microondas, otra con varios generadores en un sistema continuo mediante una banda transportadora, una tercera opción donde la fuente se convierte en dos placas metálicas, o llamados también electrodos en un sistema cerrado y al vacío, los cuales producen un diferencial de potencial que generan un campo electromagnético diseccionado, donde el producto puesto en el medio de ellas es deshidratado por la excitación de las moléculas de agua. En una cuarta opción se plantea algo similar al anterior pero siendo un sistema abierto con una banda transportadora que se convierte en un proceso continuo; y finalmente se plantea la opción de diseñar haciendo uso de técnicas combinadas, donde el producto es pre-secado en un sistema de secado por atomización hasta cierto porcentaje de humedad y luego post-secado en una cavidad que aprovecha la caída libre del producto en polvo, y es irradiada por generadores de microondas obteniendo el nivel de deshidratación deseado en el producto.

Selección de la mejor alternativa

Se plantea llevar a cabo la selección de la mejor alternativa mediante el análisis de diferentes criterios como posible degradación del producto, capacidad de proceso (continuo

o discontinuo) y disponibilidad en el mercado de equipos involucrados en el sistema, entre otros criterios no menos importantes. Estos criterios conllevan a la selección de la tecnología combinada mediante pre-secado por atomización y post-secado por microondas debido a que requiere menor tiempo de procesamiento y su característica de operación continua facilita el tratamiento de mayor cantidad de producto al no haber tiempos muertos de carga y descarga de material en la cavidad. Además, el producto final presenta características mucho más homogéneas tanto en tamaño como en geometría, adicionalmente, el material en forma de polvo, al salir de una torre de atomización, tiene una temperatura aproximada entre 40 – 50 °C, lo que facilita la remoción de humedad al someterse luego a la radiación por microondas. Además, el producto sale del ciclón a una tasa relativamente constante, lo que es muy conveniente para la distribución del material en la cavidad de secado por microondas; y por último, se reitera que la humedad a remover en este sistema es la más difícil y costosa, por lo que emplear una tecnología selectiva como las microondas eleva la eficiencia global del proceso.

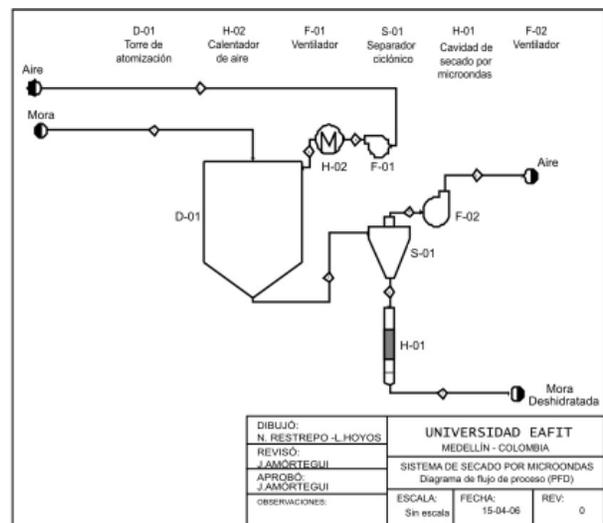
Descripción del proceso

Al proceso ingresan 60.81 kg/h de pulpa de mora al 16% en concentración de sólidos y a una temperatura de 20°C, la cual es atomizada mediante un disco giratorio a una torre D-01, donde la nube de gotas formada entra en contacto directo y por aproximadamente 30 segundos con una corriente de aire caliente a 220°C; en consecuencia, se presenta una rápida evaporación para producir un producto semi-seco en forma de polvo.

Al salir de la torre la pulpa de mora ha disminuido su porcentaje de humedad desde un 92.8% hasta un 10%, y pasa en forma de polvo a un separador ciclónico (S-01) donde la corriente de aire se separa del producto semi-seco.

La mora pasa entonces a la cavidad de secado por microondas (H-01), donde el producto cae por gravedad y pasa por la zona de radiación generada por 2 magnetrones de 4kW de potencia cada uno a una velocidad promedio de 0.935m/s. Al salir de esta cavidad, la mora tiene finalmente un 5% de humedad y pasa a ser empacada.

FIGURA 1
Diagrama de Flujo de Proceso (PFD)
para el sistema de secado por microondas
combinado con aire caliente



Algoritmo de diseño

El algoritmo empleado para el diseño de esta cavidad está basado en la adaptación de las reglas de heurística aplicadas al diseño de recipientes según Turton, 2003 y a los parámetros de electromagnetismo dados por Kraus *et al.*, 2000; Collin, 1985 y Moreno, 2006.

Algunas de las consideraciones de diseño que se tienen en cuenta para el dimensionamiento de este equipo son los siguientes:

- El producto proveniente del ciclón cae por gravedad, por lo tanto se ha sugerido que la posición de la cavidad sea en forma vertical.

- La longitud de la cavidad debe ser mayor o igual que la semi-longitud de onda y múltiplo de ella. (Singh *et al.*, 1993)
- La cavidad debe tener una geometría cuadrada para evitar la interferencia destructiva de las ondas.
- Se recomienda que la zona de radiación tenga un recubrimiento en Peltre para favorecer la reflexión de las microondas y aprovechar eficientemente su energía emitida.
- Fuera de la zona de radiación se debe tener un material que absorba las microondas titanato y ferrita. (Kraus *et al.*, 2000) cuya longitud debe ser proporcional al ángulo máximo de radiación para evitar el escape de fugas al ambiente.
- El ángulo máximo de radiación está dado según el patrón de emisión de la fuente (Collin, 1985)
- La potencia de la fuente está dada por la capacidad de evaporación necesaria para disminuir el porcentaje de humedad hasta el valor deseado en el tiempo requerido.
- Se debe utilizar una cantidad de fuentes par (2, 4, 6, etc.) y ubicarse de forma alterna, es decir, una a cada lado de la cavidad; para así generar una zona de radiación uniforme similar a un paralelogramo.
- El factor de seguridad (FS) para la zona de absorción de las microondas debe ser el 10% de la longitud de dicha región. (Kraus *et al.*, 2000)

3. RESULTADOS

En la Figura 2 se muestra un esquema del sistema diseñado y la tabla 2 muestra los resultados obtenidos en cuanto a dimensionamiento.

FIGURA 2
Cavidad de secado mediante microondas

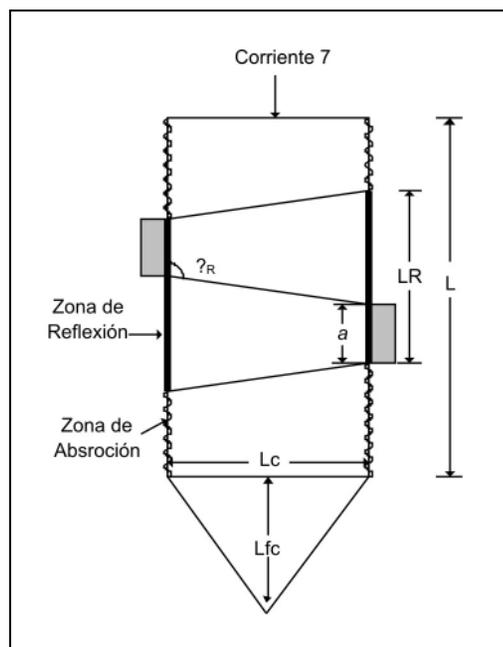


TABLA 2
Dimensionamiento del equipo

Característica	Valor
Longitud de onda	0.122 m
Tiempo de radiación	1.25 s
Longitud de la cavidad	0.122 m
Longitud requerida de radiación	1.16 m
Ángulo de radiación	137.82 °
Longitud de la zona de radiación	1.265 m
Factor de seguridad	0.1265 m
Longitud de absorción	1.16 m
Longitud total de la cavidad	2.5 m
Velocidad de caída	0.935 m/s
Número de fuentes	2
Potencia de radiación	8 kW

4.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS

• Cavidad de secado

La cavidad de secado es un equipo que no se encuentra disponible en el mercado para ser seleccionada, debido a que requiere de especificaciones únicas para este diseño, y como consecuencia debe ser construida según los parámetros establecidos

El acero inoxidable es el material que presenta mejores condiciones para la manipulación de alimentos, en este caso frutas. (ULRICH, 1984).

El material de la cavidad es quizás el parámetro más importante en su selección, ya que la reflexión de la energía por las paredes es una particularidad muy significativa en las cavidades resonantes. La interacción de la onda electromagnética con la superficie metálica incrementa el flujo de corrientes y, por lo tanto, la disipación de potencia, la cual se manifiesta en forma de pérdidas conductivas.

• Material absorbente de microondas

Como se especificó anteriormente, el material absorbente de microondas debe ser un medio de titanato de ferrita. Este se encuentra disponible para diferentes frecuencias de trabajo, por ende debe seleccionarse según este parámetro.

De acuerdo con el material de construcción de la cavidad (Acero Inoxidable 304), la aplicación de este material absorbente de Titanato de Ferrita debe ser compatible con la superficie metálica por lo tanto se selecciona la referencia ECCOSORB SF de la empresa Emerson & Cuming ya que es la más adecuada para ésta aplicación.

• Magnetrones

Según lo establecido en el diseño, el sistema requiere dos magnetrones de 4kW de potencia, cuya referencia es NL10250-3A fabricado por Richardson Electronics.

• Detector de fugas

Este dispositivo de seguridad es uno de los accesorios de mayor importancia en el sistema diseñado, ya que es el que indica que la operación se lleva a cabo de una forma segura. Se sugiere que el detector de fugas tipo MW1AK, de la empresa UEI sea el que se instale en el sistema de secado por microondas. (Ver ANEXO 3)

• Sensores de temperatura

Es importante controlar la temperatura del medio cuando en el proceso involucra productos alimenticios, sin embargo, el material de estos accesorios podría interferir con la radiación y ocasionar posibles chispeos en el interior de la cavidad.

El mercado ofrece sensores de temperatura de fibra óptica, que no interfieren con las microondas y hace posible la medición de variables sin afectar las condiciones de seguridad. Se selecciona entonces los sensores de temperatura EFS 8217, de la empresa EFS.

4. CONCLUSIONES

- La alternativa de secado combinado mediante aire caliente y microondas es la más atractiva debido a la posibilidad de disminución de los tiempos de proceso, aumentar la eficiencia energética y producir una buena calidad de producto, hechos críticos en cualquier sistema que involucre la manipulación en secado de alimentos.
- Para el control y buen funcionamiento del sistema, debe adecuarse un dispositivo para el control de posibles fugas de microondas para la seguridad de la operación. También es importante el control de la temperatura del producto mediante la potencia de los magnetrones para asegurar que no existirá la degradación térmica de la fruta.
- La evaluación económica presenta resultados muy atractivos para la implementación de este sistema de secado en la etapa final de un proceso convencional por atomización. Con una inversión inicial de \$1000000

ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO CON BASE EN COLORANTES NATURALES PARA TEÑIR EL CABELLO

Maria Elena Arroyave Alzate

marroya2@eafit.edu.co

Paula Andrea Gómez Díaz

pgomezdi@eafit.edu.co

RESUMEN

Para la elaboración de un producto para teñir el cabello basado en colorantes naturales, se hace una selección de colorantes extraídos de la diversidad Colombiana, adicionalmente se realiza un análisis de disponibilidad de los mismos para la viabilidad del proyecto.

Posteriormente se efectúa un diseño experimental para determinar el pH en el que cada colorante revela su color más intensamente, en ensayos que se realizan en telas como algodón, multifibra y lana, que poseen estructuras similares a las del cabello y es el punto de partida para elegir el pH, así como para descartar los colorantes que no tiñen intensamente las telas. Luego de hacer la elección de los colorantes, se efectúan coloraciones en el cabello para determinar cuales actúan mejor, de aquí se eligen 3 colorantes finales: Cúrcuma, Achiote y Carmín los cuales hacen parte del valor agregado del producto junto con el preservante, fijador y humectante, espesante y aroma. Cada uno se evalúa mediante ensayos experimentales, para encontrar la cantidad apropiada y la estabilidad en conjunto del producto, lográndose así definir los parámetros del proceso.

Con el fin de evaluar las características del producto y su efectividad se hace uso de una encuesta dirigida a un grupo objetivo, teniendo en cuenta aspectos como: color, aroma, forma de aplicación, brillo, opinión general, entre otros; es decir, todos aquellos tópicos que dan una idea general de la aceptación del producto.

PALABRAS CLAVE

Colorantes naturales, teñido de fibras, teñido del cabello, Achiote, Cúrcuma, Carmín.

ABSTRACT

The elaboration of a product to tint the hair, based in a natural coloring selection of extracted colorings of the Colombian diversity, is made; additionally, an analysis of the available colorants is carried out in order to test the viability of the project.

Later on, an experimental design is made to determine the pH in which each coloring shows more intensity in rehearsals that are carried out in cloths like cotton and wool that have similar structures to those of the hair which is the starting point in order to choose the pH as well as to discard the colorings that don't tint the cloths intensely. After making the colorings selection, some proves are done in people's hair to determine which one presents better results; 3 final colorings are chosen: Cúrcuma, Achiote and Vermilion which are the added value of the product together with the preservative, fixer and humectants, thickener and perfume. Each one is evaluated by means of experimental rehearsals, to find the appropriate quantity and the stability with the rest of the product, so that we are able to establish the process parameters.

With the purpose of evaluating the characteristics of the product and their effectiveness, a survey is done to a selected group, keeping in mind parameters such as: color, perfume, how to use, shine and general opinion, and others topics that could give us a general idea of the acceptance of the product.

KEY WORDS

Natural Dyes, textile fibers dyeing, hair dyeing, annatto, curcumin, carmin.

1. INTRODUCCIÓN

En diversas civilizaciones de la antigüedad, teñirse el cabello era un procedimiento usual que se empleaba como signo de distinción tanto en hombres como en mujeres. Con el paso del tiempo, las técnicas y las sustancias para realizar este proceso han evolucionado para mejorar los

resultados y disminuir los riesgos en la salud tales como el desarrollo de tumores cancerígenos.

Además de cambiar el color del cabello y de disminuir el riesgo de causar algún tipo de enfermedad, el producto desarrollado en este trabajo con base en colorantes naturales, tiene ventajas adicionales entre las cuales esta teñir las canas.

En este proyecto, se pretende elaborar un producto para darle color al cabello como una innovación en el campo cosmético, con características naturales, aroma y facilidad de aplicación como punto comparativo con los productos similares del mercado nacional.

Para el cumplimiento de este propósito, se parte de una evaluación previa de los diferentes colorantes naturales para la elaboración del tinte, 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.

La elaboración de este tinte ofrece un amplio espacio de posibilidades en el mercado Colombiano, debido a que se utilizan como materia prima principal colorantes naturales extraídos de la amplia diversidad del país, lo cual genera una ventaja frente a los demás productos existentes en el mercado.

Un producto basado en colorantes naturales, extraído de plantas colombianas, puede servir para sustituir importaciones y a cambio ser ofrecido a los mercados mundiales.

Para la realización de este proyecto se comenzó con las preguntas de la investigación las cuales dan una idea acerca de los objetivos que se pretenden cumplir al final de la investigación, y estas son

1. ¿Qué colorante es más apropiado para la elaboración del tinte para el cabello, de acuerdo a las necesidades del consumidor?
2. ¿Cuáles son las características deseadas para el producto, por los consumidores?

3. ¿Cuáles son las materias primas más apropiadas para la elaboración de un tinte para el cabello con base de un colorante natural que satisfaga los deseos de los consumidores?
4. ¿Cuál es el método más apropiado para el desarrollo del tinte que cumpla los factores de calidad?
5. ¿Cuáles son los equipos y materiales necesarios para el desarrollo del producto a nivel de laboratorio?
6. ¿Cuál será el tiempo de acción del tinte?
7. ¿Cómo será la aceptación del producto?
8. ¿Qué tan factible es económicamente la producción de un tinte para el cabello con base en un colorante natural?

2. METODOLOGIA EMPLEADA EN EL PROYECTO

Para el diseño del producto a partir de los ensayos preliminares, se seleccionan las variables que tienen una mayor influencia sobre las características que se desean para el Tinte, tales como: color, pH, y efecto sobre el cabello.

2.1 Determinación del PH Óptimo para cada Colorante

Para determinar el pH donde cada colorante revela su color con mayor intensidad, se realizan ensayos en telas como algodón, multifibra y lana. Esta última posee estructuras similares a las del cabello y es el punto de partida para elegir el pH así como para descartar los colorantes que no tiñen intensamente la lana.

Estos ensayos se realizan con los siguientes colorantes:

Achiote (*Bixa orellana*) Aguacate (*Persea Americana*)
Azulina (*Strobilantes cusia*) Café (*cofea arabica*) Cochinilla (*Dactilopius coccus*) Cúrcuma (*Curcuma longa*) Índigo (Añil)
Jagua (*Genipa Americana*) Manchara (*Vismia Vandelli*)
Plátano (*Musa paradisiaca*)

Con estos colorantes se realizan procesos de teñido a pH ácido (3.5), neutro (7.5) y básico (9.5). El pH se elige teniendo en cuenta las características del cabello, porque a un pH muy alcalino las células de la cutícula se hinchan, se ablandan y se vuelven ásperas lo cual vuelve el pelo poco manejable, y a un pH muy ácido las células de la cutícula se encogen y endurecen (Eduteka, 2006)

2.1.1 Curva de Teñido

El proceso de teñido se realiza para cada colorante de la siguiente forma. Para realizar la curva de teñido en primer lugar se realiza un proceso de mordentado en frío a la tela con una resina catiónica al 5% de la solución acuosa. Luego, se prepara la solución acuosa en un beaker con el humectante al 5%, este se ubica sobre un agitador magnético con calentamiento al cual se le controla continuamente la temperatura y ésta se lleva a 40° C para adicionar el colorante, luego se ajusta el pH usando carbonato de sodio o ácido cítrico según el caso y además se mantiene homogéneo mediante agitación. Las telas se sumergen en el baño cuando se halla alcanzado la temperatura deseada durante 30 min. agregando sal gradualmente en el proceso.

El lavado de las fibras teñidas se realiza con agua para extraer todo el colorante que se encuentra saturado sobre la tela pero que no ha sido realmente fijado. Este proceso se repite hasta que el agua de lavado no quede coloreada.

Las telas se dejan secar totalmente a temperatura ambiente.

2.2 Ensayo de colorantes en cabello

De acuerdo al pH elegido para cada colorante en la etapa anterior, se lleva a cabo un proceso de aplicación en el cabello en diferentes etapas de decoloración.

2.2.1 Proceso de decoloración

Se llevan a cabo 4 etapas de decoloración en cabello virgen dejando en cada una de ellas 7 mechones para aplicar los colorantes y un mechón como blanco. Este proceso se hace por duplicado, dando un total de 64 mechones decolorados.

Para la decoloración se utiliza polvo decolorante en una relación 1: 2 con agua oxigena Vol. 40

2.2.2 Aplicación de colorantes en mechones decolorados

Para la aplicación, se prepara una solución de agua con colorante al 10 % y 2% de poliquaternium 7, luego se aplica la solución a cada par de mechones y se deja actuar durante 45 min., posteriormente se lavan y secan.

2.3 Ensayos Posteriores

Formulación final: para la elaboración del tinte se utilizan otras materias primas que son complementarias a la formulación y que además le confieren al producto propiedades de viscosidad y preservante que le da estabilidad al producto y mejora sus propiedades organolépticas. Para tal efecto se hace un ensayo partiendo de los colorantes y pH con mejor efecto en la coloración del cabello y se adiciona a cada solución colorante un mismo porcentaje de CMC al 1% y Gydant Plus al 0.2%.

Adicionalmente, se evalúan distintos aromas en la búsqueda de disminuir el fuerte de cada uno de los colorantes. Ensayos del producto: Con el fin de evaluar las características del producto y su efectividad, se hace uso de una encuesta dirigida a un grupo objetivo, teniendo en cuenta puntos como: color, aroma, forma de aplicación, brillo y opinión general, entre otros; es decir todos aquellos tópicos que dan una idea general de la aceptación del producto.

De acuerdo con el ensayo donde se seleccionan los colorantes finales junto con otras materias primas, se obtienen resultados de aplicación óptima en el cabello.

Las formulaciones con colorantes de Cúrcuma, Carmin y Achiote, son las más apropiadas porque se obtiene un producto con mayor fijación de color sin maltratar el cabello y presentan buena estabilidad en comparación con los demás colorantes utilizados.

La formulación final se muestra en la siguiente tabla:

TABLA 1
Formulación final

Componente	Porcentaje (%)
Colorante	10
Polyquaternium 7	2.0
Glydant plus	0.2
CMC	1.0
Fragancia	0.1
Agua desionizada	86.7
Total	100

CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados de la encuesta realizada, se determina que los colores preferidos por los consumidores en tintes para el cabello, van desde la gama de rubios hasta los rojizos, y los índices de desempeño más importantes para el consumidor son: que no maltrate el cabello, duración y facilidad de aplicación; con base en esto se emplean para la formulación final colores rubios (Cúrcuma), naranjas (Achiote), y violeta (Carmin).
- De acuerdo a los resultados de la encuesta, la importancia del cuidado del cabello resulta ser importante por que el 71 % de las personas encuestadas se preocupan por mantener un cabello saludable, lo cual genera ventajas competitivas frente a otros productos como tinturas que poseen amoniaco y maltratan el cabello.
- 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.
- Con base en los resultados se encuentra que los colorantes que mejor se comportan para la elaboración del producto son el Achiote, Cúrcuma y Carmin por que estos presentan un alto poder tintóreo al compararlo con los otros colorantes utilizados.

- Con el fin de obtener una amplia gama de colores, además de los proporcionados por los diferentes extractos, se hizo necesario utilizar ácido cítrico y carbonato de sodio para proporcionar diferentes condiciones de pH y por consiguiente una variación de la tonalidad debido a la naturaleza activa del colorante, ya que el pH interviene en la intensidad del color dentro del proceso de tinción.
- De acuerdo a los ensayos realizados para determinar el tiempo de acción del tinte, deducimos que los colorantes naturales requieren un tiempo de contacto con el cabello aproximadamente de 15 minutos, esto se hace para que el colorante penetre bien en las fibras del cabello y obtener un color homogéneo.
- El proceso a escala de laboratorio para la producción del tinte para el cabello con base en colorantes naturales, 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.
- Según el análisis financiero obtenido, se estima que la elaboración del producto a escala de laboratorio es rentable de acuerdo a las condiciones dadas, puesto que la TIR obtenida fue mayor que la tasa de retorno mínima atractiva (TRMA), lo cual muestra que es un proyecto viable financieramente.

BIBLIOGRAFÍA

CASTILLO C. Andrés (2005), Extracción de dos colorantes de la región pacífica chocoana a partir de la Cúrcuma y la Marilla: Trabajo de grado (Ingeniera Química), Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química.

EduTEKA (2006). [online]. Efecto del pH en la elasticidad del cabello, Colombia [documento WWW] URL <http://www.eduteka.org/pdfdir/ProyectoPHSheet.pdf>

Fecha de consulta: 26/08/06

ESTRADA Juan (1989) Curso de cosméticos Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad de química farmacéutica.

GUERRERO Humberto (1970). Tratado de los cosméticos Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad de química farmacéutica.

LA PRODUCCIÓN DE CARBOXIMETIL- CELULOSA

Oscar Darío Arenas Valencia
oarenasv@eafit.edu.co

Juan Esteban Arroyave Madrid
jarroya1@eafit.edu.co

RESUMEN

El proyecto "Evaluación y mejoramiento del proceso de recuperación de solvente en la producción de carboximetilcelulosa", pretende analizar en la empresa Química AMTEX S.A., el estado actual de la etapa de recuperación de solvente (equipo recuperador CGT) a través de un diseño de experimentos factorial, y de la etapa de purificación de solvente (torre de destilación) desarrollando una simulación en estado estable, y planteando posibles mejoras para el funcionamiento de estos equipos. Este artículo presenta los resultados más importantes de éste proyecto.

PALABRAS CLAVES

Carboximetil celulosa de sodio, Recuperación de solvente Destilación, Simulación Química AMTEX S.A.

ABSTRACT

This project "Evaluation and improvement of the process of solvent recovery in the carboximetilcellulose production", It pretends to analyze in the Quimica AMTEX S.A. company, the current state of the solvent recovery stage (recovery equipment CGT) across a factorial experimental design, and of the stage of solvent purification (Distillation tower) developing a simulation in stable state, and to raise possible improvements for the functioning of these equipments. This article presents the most important results of this project.

KEY WORDS

CMC carboximetilcellulose, Solvent recovery, Distillation, Simulation

INTRODUCCIÓN

Para la consecución de los objetivos del proyecto, se realiza un diseño de experimentos de carácter factorial en el equipo CGT, seleccionando tres variables controlables en el proceso y variando sus respectivos niveles, en un estudio por separado para los productos de alta viscosidad y baja viscosidad. Se toman muestras a la entrada y a la salida del CGT para cada una de las combinaciones del diseño de experimentos, y posteriormente se mide el porcentaje en peso de los alcoholes presentes por medio de la cromatografía de gases, comparándolos con una curva estándar elaborada previamente.

Por otro lado, para el estudio de la torre de destilación, se desarrolla una serie de simulaciones utilizando el software ASPEN Plus, en las cuales, a partir de datos proporcionados por la empresa y mediciones hechas en planta, se evalúa el comportamiento del equipo bajo diferentes parámetros de operación.

Como resultado del proyecto se encuentran los valores óptimos de operación para el equipo CGT, según el análisis del software STATGRAPHICS, para cada tipo de producto, proponiendo así una mejora substancial en la recuperación de alcohol en éste equipo.

En el caso de la simulación de la torre de destilación, se analiza la influencia de una variable paramétrica, como lo es la relación de reflujo, en el funcionamiento y requerimientos energéticos del equipo; encontrando un valor específico que proporcione unas condiciones de operación en las que se obtengan las composiciones deseadas en los productos y que se requiera la mínima carga energética posible.

GENERALIDADES DE LA CMC

La CMC (carboximetilcelulosa de sodio) es un polímero aniónico soluble en agua. Es un éter celulósico que se produce haciendo reaccionar celulosa con hidróxido de sodio para producir el álcali-celulosa, el cual a su vez reacciona con el cloroacetato de sodio bajo estrictas condiciones de proceso. En la reacción se obtienen como subproductos cloruro de sodio y glicolato de sodio.

Debido a sus propiedades es posible utilizarla en un amplio rango de sectores industriales como en la peletización de minerales, industrias farmacéuticas, pasta dental, cosméticos, papel, detergentes, textil, lodos de perforación, pinturas, adhesivos, sector alimenticio, cerámicas, flotación, industria del cuero, etc.

La CMC se puede clasificar según su granulometría y tamaño de partícula en estándar, fina y ultra fina; según su viscosidad en alta, media y baja y según su pureza en grado técnico, refinada y extra refinada. (*Carboximetilcelulosa de sodio (NaCMC) gelycel*)

GENERALIDADES DEL PROCESO PRODUCTIVO

En el proceso de producción de CMC en general, se compone de las siguientes etapas:

Molienda de celulosa: La celulosa entra como materia prima y se tritura según el tipo de CMC que se quiera producir y el tamaño de partícula necesario.

Reacción: Se descarga la celulosa triturada y se adicionan los solventes y demás materias primas tales como: álcali, sales, agentes oxidantes y eterificantes. Internamente, se presenta gran cantidad de reacciones: alcalinización, neutralización, eterificación y otras reacciones paralelas.

Lavado: Este proceso se lleva a cabo con el fin de remover las sales indeseables producidas por las reacciones químicas que ocurrieron en el proceso de reacción.

Destilación: El solvente usado en la etapa de lavado llega a los tanques de almacenamiento con una concentración aproximadamente entre 60 – 70% en Volumen (°GL). El proceso de destilación cuenta con 2 torres de destilación para rectificar dicho solvente, con el fin de retirarle las sales y además de aumentar su concentración entre 90 – 95% en Volumen (°GL), para poder reutilizarla.

Recuperación del solvente (CGT): La CMC luego de salir de la etapa de lavado, contiene entre un 50 – 55% de humedad entre solvente y agua. En éste equipo se busca recuperar el alcohol de lavado a través de la inyección de vapor directo y vacío.

Secado: El proceso de secado se realiza con aire calentado mediante serpentines de vapor, y este pasa a través del producto retirando la humedad residual.

Molienda: Depende del tamaño de partícula al que se pretenda obtener el producto final.

Homogenización y empaque: En esta última etapa del proceso, se debe tener en cuenta la calidad del producto en todos sus parámetros fisicoquímicos, para luego ser mezclado y finalmente descargado y empacado para su distribución. (*Manual del Proceso de Producción.*)

DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA EL RECUPERADOR CGT

Después de realizado un análisis por parte de los ingenieros de la empresa con el fin de encontrar los parámetros de operación más convenientes para el equipo CGT, se plantea un diseño de experimentos, en el cual se eligen tres variables o factores de estudio con sus respectivos niveles según el tipo de producto, las cuales se muestran en las Tablas 1 y 2.

TABLA 1
Factores y niveles escogidos para productos de alta viscosidad

Variable	Unidades	Nivel Inferior	Nivel Superior
Presión de vapor directo	Bar	2	2.5
Flujo de deshidratación	l/min	20	30
Abertura de compuerta	%	50	60

TABLA 2
Factores y niveles escogidos para productos de baja viscosidad

Variable	Unidades	Nivel Inferior	Nivel Superior
Presión de vapor directo	Bar	1	1.5
Flujo de deshidratación	l/min	20	30
Abertura de compuerta	%	50	60

Se desarrolla un diseño factorial completo 2^k (2^3) con una réplica para cada muestra. Por lo tanto, se cuenta con un diseño de 8 combinaciones para cada tipo de producto, tomando una muestra a la entrada y a la salida del CGT para cada combinación, y haciendo una réplica de cada muestra, para un total de 32 muestras para cada tipo de producto. (*MONTGOMERY, 1991*)

Luego de varias discusiones se concluyó que la mejor opción para tener una completa relación de los resultados tanto de entrada como de salida y para los dos productos (alta y baja viscosidad), la mejor variable de respuesta para este diseño sería el porcentaje de vaporización, el cual es calculado de la siguiente manera:

$$\% \text{ Vaporización} = \frac{\% \text{ peso alcoholes/ peso total Entrada} - \% \text{ peso alcoholes/ peso total Salida}}{\% \text{ peso alcoholes/ peso total Entrada}} \cdot 100$$

Para el desarrollo del diseño se debe realizar el respectivo análisis cromatográfico de todas las muestras. Con antelación se obtienen las curvas de calibración necesarias, para así contar con un patrón que indique las composiciones de los alcoholes presentes en las diferentes muestras. Estas curvas de calibración se muestran en las Figuras 1, 2, 3 y 4.

FIGURA 1
Curva estándar
para Etanol según
productos de alta
viscosidad

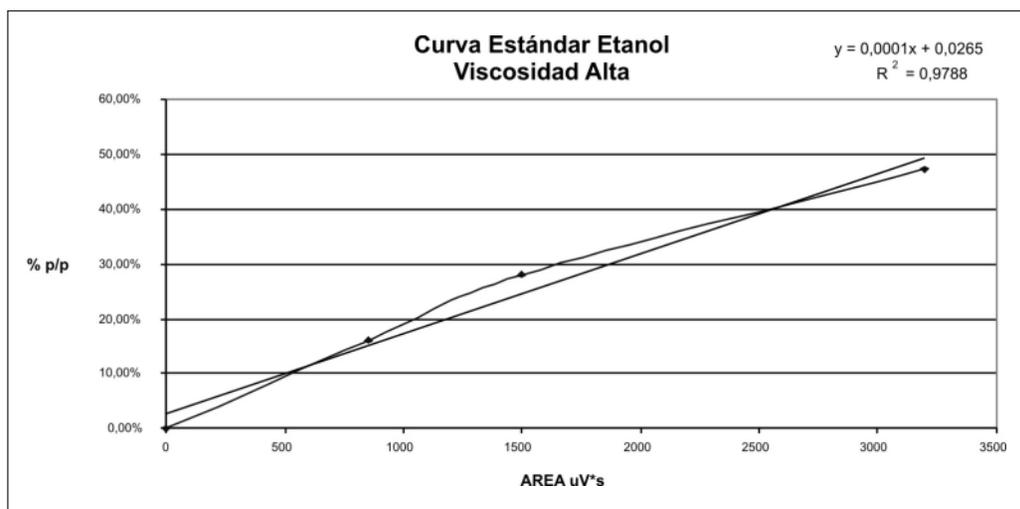


FIGURA 2
Curva estándar
para Metanol según
productos de alta
viscosidad

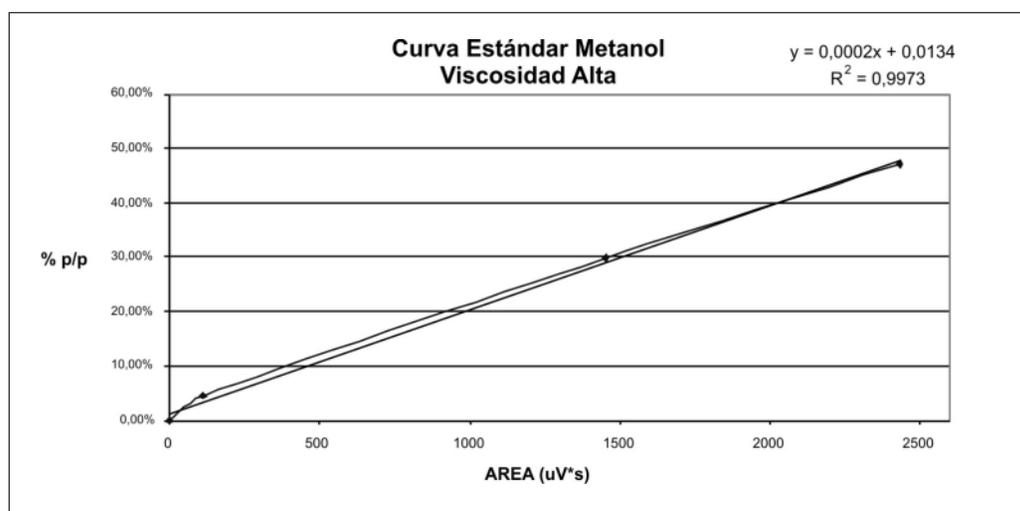


FIGURA 3
Curva estándar
para Etanol según
productos de baja
viscosidad

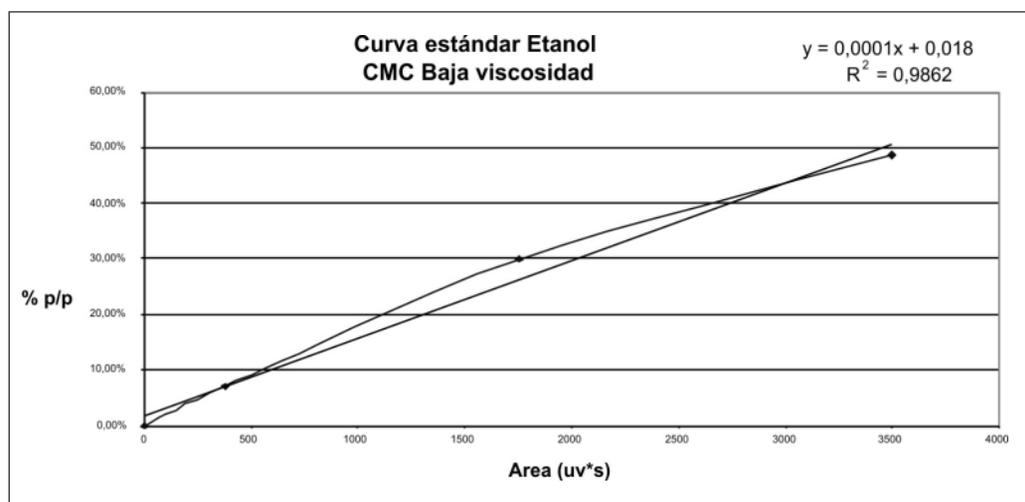
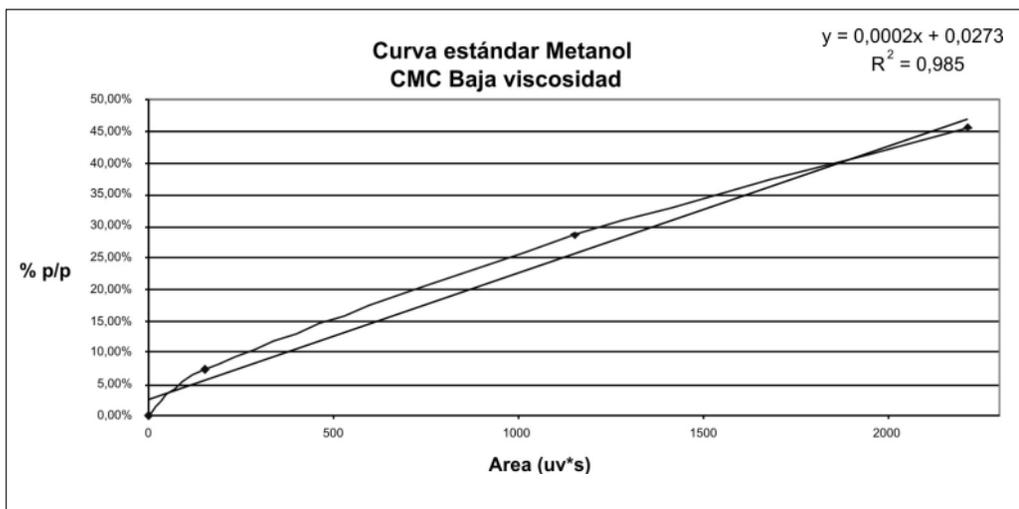


FIGURA 4
Curva estándar
para Metanol según
productos de baja
viscosidad



El análisis para las muestras de CMC húmeda tomadas a la entrada y a la salida del equipo recuperador (CGT), se explica a continuación:

- El mismo día en que se toma las muestras en el CGT se debe hacer la solución e inmediatamente la medición en el cromatógrafo.
- Se pesa la CMC húmeda (0.20 gr. para productos de alta viscosidad y 0.40 gr. para productos de baja viscosidad) realizando una adecuada manipulación para evitar pérdidas de solvente.
- Pesar 100 gr. de agua destilada (desmineralizada).
- Mezclar el agua destilada y la CMC húmeda, y agitar lentamente hasta homogenizar la solución.
- Inyectar la muestra en el cromatógrafo de gases bajo las condiciones de operación determinadas.
- Comparar el dato de área entregado por el cromatógrafo con la curva de calibración correspondiente, para conocer el valor de composición del alcohol presente en la muestra.

Los análisis se llevan a cabo en un Cromatógrafo de Gases marca Perkin Elmer modelo Autosystem XL, en el cual se inyecta 1 microlitro de la muestra en el puerto de inyección.

El puerto de inyección se encuentra a una temperatura de 250°C para que la muestra pase a fase gaseosa. Estos vapores se arrastran por el gas acarreador, en este caso Nitrógeno a una presión de 4 psi, a través de la columna capilar cuyas especificaciones son: columna tipo PE 17 de 30 metros de largo, 0.32 mm ID (diámetro interno) y 0.5 μ m df (tamaño de la fase estacionaria). La columna capilar se encuentra en un compartimiento llamado horno, el cual se encuentra a una temperatura de 50°C, allí los componentes se separan según su adsorción en la fase estacionaria de la columna capilar y esto es leído por el detector. Para este caso, el detector es tipo FID (Detector de Ionización de Llama), el cual trabaja con gases especiales: Hidrógeno y Aire, éste se encuentra a una temperatura de 300°C, allí se quema la muestra generando una ionización de la misma, la cual se mide en potencial de ionización (mv), generándose un cromatógrama donde se relaciona el potencial de ionización (mv) versus el tiempo de retención (min).

RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Después de tomar las muestras y realizar su análisis cromatográfico, se calculan los datos de porcentaje de vaporización que corresponde a la variable respuesta del diseño. Estos resultados se observan en las Tabla 3 y 4.

TABLA 3
Resultados de los ensayos en el equipo CGT para productos de alta viscosidad

Combinación	Abertura compuerta %	Presión vapor directo Bar	Flujo Alcohol deshidratación l/min	Porcentaje Vaporización %
1	50	2	30	89,14%
1	50	2	30	89,09%
2	50	2	20	71,32%
2	50	2	20	71,01%
3	50	2,5	30	89,35%
3	50	2,5	30	89,77%
4	50	2,5	20	89,65%
4	50	2,5	20	89,69%
5	60	2	30	71,50%
5	60	2	30	70,76%
6	60	2	20	67,66%
6	60	2	20	68,13%
7	60	2,5	30	91,69%
7	60	2,5	30	91,99%
8	60	2,5	20	88,09%
8	60	2,5	20	88,07%

TABLA 4
Resultados de los ensayos en el equipo CGT para productos de baja viscosidad

Combinación	Abertura compuerta %	Presión vapor directo Bar	Flujo Alcohol deshidratación l/min	Porcentaje Vaporización %
9	50	1	30	74,65%
9	50	1	30	73,97%
10	50	1	20	64,16%
10	50	1	20	64,60%
11	50	1,5	30	58,47%
11	50	1,5	30	59,71%
12	50	1,5	20	69,88%
12	50	1,5	20	70,82%
13	60	1	30	60,78%
13	60	1	30	57,88%
14	60	1	20	78,08%
14	60	1	20	78,18%
15	60	1,5	30	56,27%
15	60	1,5	30	56,67%
16	60	1,5	20	77,46%
16	60	1,5	20	77,55%

Con el fin de encontrar resultados concretos a los arrojados por el análisis de variables de operación del proceso de recuperación de solvente en el CGT, se desarrolla el análisis del diseño de experimentos por medio del software STATGRAPHICS. Ésta gran herramienta permite detectar diferencias entre el efecto del flujo de alcohol de deshidratación, la presión de vapor directo y la apertura de la compuerta sobre la cantidad de solvente presente en las muestras.

La tabla ANOVA, parte la variabilidad del “Porcentaje de vaporización” en partes separadas para cada uno de los efectos. Ésta evalúa la significancia estadística de cada uno de los efectos comparando la media cuadrada contra

el estimativo del error experimental. Los efectos que tienen *P-values* menores que 0.05, son significativamente menores de cero con un nivel de confianza de 95%.

El estadístico R cuadrado, determina que el modelo explica en un porcentaje la variación del “Porcentaje de vaporización”. El estadístico R cuadrado ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de modelos con diferentes números de variables independientes, indica que tan confiable es el ajuste para el análisis.

Los resultados arrojados por el programa STATGRAPHICS en su tabla ANOVA para el análisis de los productos de alta viscosidad se presentan en la Tabla 5.

TABLA 5
Análisis de varianza o ANOVA para la variable de respuesta “Porcentaje de vaporización” para productos de alta viscosidad

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A: Abertura completa	105,718	1	105,718	10,05	0,0132
B: Presión vapor	895,386	1	895,386	85,10	0,0000
C: Flujo deshidratación	157,991	1	157,991	15,02	0,0047
AB	120,481	1	120,481	11,45	0,0096
AC	30,9981	1	30,9981	2,95	0,1244
BC	74,2427	1	74,2427	7,06	0,0290
Blocks	0,000728365	1	0,000728365	0,00	0,0036
Total error	84,174	1	10,5217		
Total (corr.)	1468,99	8			

R-squared = 94,2699 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 90,4499 percent

Standard Error of Est. = 3,24372

Durbin-Watson statistic = 3,22225 (P=0, 0003)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,674539

Los valores que arroja la optimización hecha por el programa, que indica los parámetros de operación recomendados para el equipo CGT en la producción de alta viscosidad se observan en la Tabla 6.

TABLA 6
Respuesta óptima para los parámetros de operación del CGT para productos de alta viscosidad

Optimize Response

Goal: maximize Porc evaporación

Optimum value = 91,9937

Factor	Low	High	Optimum
Abertura de compuerta	50,0	60,0	50,0
Presión vapor	2,0	2,5	2,5
Flujo de deshidratación	20,0	30,0	30,0

Los resultados arrojados por el programa STATGRAPHICS en su tabla ANOVA para el análisis de los productos de baja viscosidad se presentan en la Tabla 7.

TABLA 7
Análisis de varianza o ANOVA para la variable de respuesta “Porcentaje de vaporización” para productos de alta viscosidad

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A: Abertura completa	2,72872	1	2,72872	10,05	0,6458
B: Presión vapor	40,5997	1	40,5997	85,10	0,1027
C: Flujo deshidratación	423,514	1	423,514	15,02	0,0003
AB	8,32604	1	8,32604	11,45	0,4284
AC	370,908	1	370,908	2,95	0,0005
BC	137,193	1	137,193	7,06	0,0096
Blocks	0,00938773	1	0,00938773	0,00	0,9783
Total error	95,7319	1	11,9665		
Total (corr.)	1079,01	8			

R-squared = 91,1278 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 85,213 percent

Standard Error of Est. = 3,45926

Durbin-Watson statistic = 1,48725 (P=0, 0788)

Lag 1 residual autocorrelation = -0,224009

Los valores que arroja la optimización hecha por el programa, que indica los parámetros de operación recomendados para el equipo CGT en la producción de baja viscosidad se observan en la Tabla 8.

TABLA 8
Respuesta óptima para los parámetros de operación del CGT para productos de alta viscosidad

Optimize Response

Goal: maximize Porc evaporación

Optimum value = 91,9937

Factor	Low	High	Optimum
Abertura de compuerta	50,0	60,0	60,0
Presión vapor	1,0	1,5	1,5
Flujo alcohol deshidratación	20,0	30,0	20,0

SIMULACIÓN DE LA TORRE DE DESTILACIÓN

Para la consecución de esta parte del proyecto, se desarrolla una simulación de la torre de destilación en estado estable utilizando la herramienta ASPEN Plus.

Ésta torre cuenta con una corriente de alimentación con un flujo promedio de 7.500 l/hr, la cual contiene principalmente Etanol, Metanol, Agua, Glicolato de Sodio y Cloruro de Sodio. El objetivo de ésta torre es purificar la corriente de entrada, aumentando la concentración de alcoholes en la corriente de destilado, con el fin de reutilizar estos solventes en el proceso productivo. Por otro lado la corriente de fondos debe contener la mayor parte del agua alimentada, así como casi la totalidad de las sales. La idea del uso del paquete de simulación, es encontrar parámetros de operación para la torre de destilación, que permitan que ésta trabaje según las condiciones planteadas por los proveedores, destilando una corriente de alimentación de 12.000 l/hr. Sin embargo, el objetivo inicial para este proyecto, según lo acordado con la empresa, es destilar por lo menos 10.000 l/hr.

Para este proceso de simulación fue necesario contar con varios datos; algunos suministrados por los ingenieros de

la empresa o los manuales de fabricación de la torre, otros medidos directamente de los equipos o de sus corrientes.

Debido a que no se tienen todos los datos referentes a la torre de destilación, es necesario comenzar la simulación con un algoritmo llamado *DSTWU*, el cual es menos riguroso que el que finalmente se va a utilizar. Además se selecciona el paquete *ELECTNRTL*, para el cálculo de las propiedades termodinámicas de todos los componentes. Este paquete se elige por la presencia de electrolitos e iones como el sodio, el cloro y el glicolato, en las corrientes. (Carlson, 1996. p 35)

El algoritmo *DSTWU*, permite encontrar parámetros aproximados para la relación de reflujo, plato de alimentación, número mínimo de platos, calores en el condensador y reboiler, entre otros; a partir del ingreso de valores reales de la corriente de entrada y de restricciones para el funcionamiento de la torre. En este caso, se ingresan los datos de recuperación encima para el liviano clave (Etanol: 99.99% en peso) y para el pesado clave (Agua: 10% en peso). Los resultados se presentan en el capítulo de análisis y resultados.

Seguidamente, después de la obtención de los parámetros necesarios, se simula de una manera más rigurosa la torre de destilación, utilizando el algoritmo "*Radfrac*", el cual se basa en las ecuaciones de "Edmister". Para este caso también se utiliza el paquete termodinámico *ELECTNRTL*.

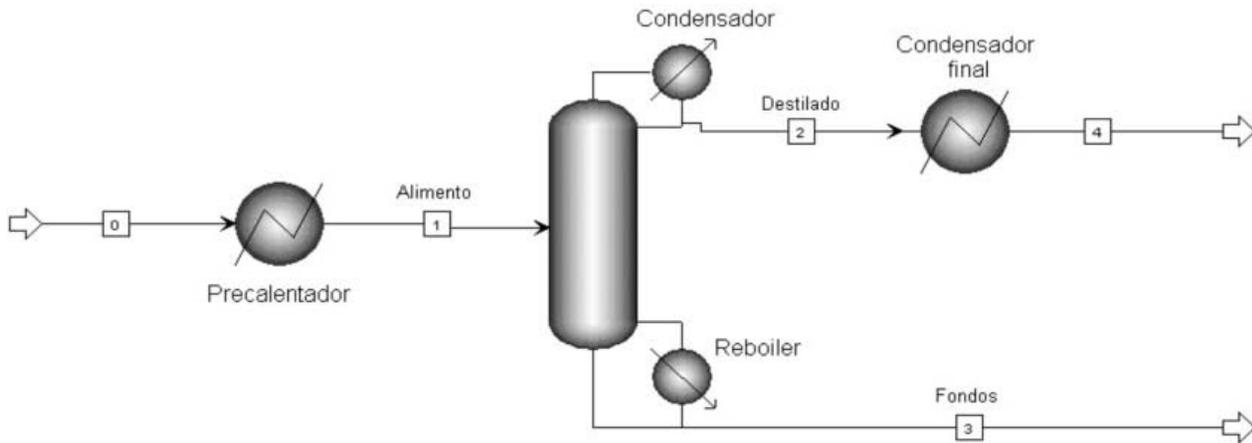
Dentro de ésta simulación se asume una caída de presión de 0.1 psi por plato y de 1.5 psi para los intercambiadores de calor. (Turton, 1999).

En primera instancia, se realiza un caso base, en el cual se encuentran los resultados para la torre trabajando con un flujo de entrada de 7.500 l/hr y el valor de reflujo que entrega la simulación con el algoritmo *DSTWU*.

Posteriormente, se simula la torre con un flujo de entrada de 10.000 l/hr, puesto que es el objetivo de este proyecto. Para realizar el análisis pertinente, se plantean simulaciones a diferentes relaciones de reflujo.

El diagrama general para la simulación se presenta en la Figura 5.

FIGURA 5
Diagrama de la simulación de la torre de destilación en el software *ASPEN Plus*



Todas las simulaciones se realizan con ciertos datos de entrada iguales en todos los casos, que corresponden a datos entregados por los ingenieros de la empresa o datos experimentales, en el caso de las composiciones de entrada que fueron tomadas por cromatografía. Estos datos se presentan en la tabla 9.

TABLA 7
Valores constantes para todas las simulaciones

Composiciones de entrada a la torre (porcentaje en peso)	
Metanol	55.73%
Etanol	7.33%
Agua	31.66%
Na +	1.825%
Cl -	2.242%
Glicolato -	1.213%
Temperaturas	
Corriente 0	30°C
Corriente 1	60°C
Corriente 4	41°C
No. de etapas: 25	

Para el caso base planteado con el algoritmo DSTWU, el valor más importante obtenido es una relación de reflujo para la torre de 0.3037, el cual se utiliza en el estudio con el método riguroso. Además se tiene en cuenta el dato de la relación de Flujo molar destilado / Flujo molar alimento igual a 0.5436, también arrojado por este algoritmo.

Los casos de estudio se realizan con los datos mostrados en la Tabla 9, además se ingresa como valor de flujo de entrada o alimentación 10.000 l/hr. Además se hace un barrido a diferentes relaciones de reflujo para encontrar un reflujo que idealmente cumpla las restricciones dadas por los ingenieros. Los resultados más importantes se muestran en las Tablas 10 y 11.

TABLA 10.2
Comparación de temperaturas y porcentajes en peso en fondos de alcoholes
para todas las simulaciones a diferente relación de reflujo

Relación Reflío	Reflujo l/hr	% Peso Metanol	Fondos Etanol	Temperatura °C Reboiler	Temperatura °C Destilado
0,0001	0,6786	4,89%	8,84%	94,41	66,8
0,15	1041,08	0,130%	7,28%	98,84	66,16
0,3037	2166,14	0,0008%	0,189%	101,36	65,89
0,35	2497,88	0,0100%	0,0209%	101,28	65,74
0,5	3568,62	0,00002%	0,0038%	101,43	65,89
0,75	5352,99	0,000006%	0,0011%	101,43	65,89
0,95	6780,47	0,000003%	0,0006%	101,43	65,89

TABLA 11
Comparación de los Duty (cargas energéticas) para el Reboiler y
el condensador final entre las diferentes relaciones de reflujo

Relación Reflujo	Duty MJ/h Reboiler	Duty Kg.vapor/hr Reboiler	Duty MJ/h Condensador final	Duty Kg.agua/hr Condensador final
0,0001	7017,42	3146,46	491,81	6186,60
0,15	7977,45	3576,91	485,16	6102,95
0,3037	8963,09	4018,85	487,28	6129,62
0,35	9262,92	4153,29	487,33	6130,25
0,5	10235,18	4589,23	487,33	6130,25
0,75	11855,66	5315,82	487,33	6130,25
0,95	13152,05	5897,09	487,33	6130,25

La relación de reflujo no es medida, cuantificada ni controlada en la planta; ni se le ha dado la importancia requerida a su papel final dentro un sistema de destilación.

A través de las simulaciones, se observa que el reflujo afecta el comportamiento de la torre en los siguientes puntos:

- La temperatura del reboiler aumenta proporcionalmente con el reflujo y se estabiliza cuando éste pasa de un valor aproximado a 0.3.
- Las composiciones de las corrientes de salida para los diferentes componentes varían a reflujos menores de

0.3; sin embargo, a relaciones de reflujo mayores, las diferencias son insignificantes.

- El calor requerido en el reboiler aumenta con el incremento de la relación de reflujo.

Según estos comportamientos se puede recomendar, desde el punto de vista técnico y económico, que la torre debe trabajar con una relación de reflujo que permita que se obtengan las composiciones deseadas en las corrientes de salida de la torre, y que a su vez requiera la menor cantidad de energía posible para los intercambios de calor presentes en el sistema de destilación. Aunque una

simulación no representa el comportamiento exacto de una planta, puede dar un punto de partida para mejorar parámetros de operación. En este caso, el estudio muestra que un valor de relación de reflujo aproximado a 0.35 (2497,88 l/h) podría "idealmente" cumplir los requisitos demandados por los ingenieros de la empresa.

CONCLUSIONES

- La empresa Química AMTEX S.A. en la producción de carboximetilcelulosa de sodio (CMC) de baja viscosidad pierde mucho más solvente que en la producción de CMC de alta viscosidad.
- Gracias a la selección de factores para el diseño de experimentos en el equipo de recuperación de solvente CGT, se puede confirmar los indicios que los ingenieros de planta tienen respecto a la variable "flujo de alcohol de deshidratación", ya que estos creen que es muy influyente en la recuperación del solvente, pero no se sabe con exactitud el mejor punto de operación para el proceso, y debido a esta investigación se recomienda que el mejor punto de operación para productos de baja viscosidad es 20 litros por minuto (l/min) y para productos de alta viscosidad 30l/min.
- Dentro del análisis del diseño de experimentos para el CGT, se puede observar que para productos de alta viscosidad, la variable más influyente es la presión de vapor directo, seguida en menor grado del flujo de alcohol de deshidratación y de la apertura de la compuerta; mientras que para productos de baja viscosidad la variable más influyente es el flujo de alcohol de deshidratación y las otras dos restantes variables no tienen una influencia significativa.
- Este proyecto puede plantear una mejora en el proceso con un efecto positivo de por lo menos un aumento en la recuperación de solvente del 5%, equivalentes a un ahorro de 24 millones de pesos mensuales aproximadamente (según cálculos de los ingenieros de la empresa).
- Según el análisis en el software STATGRAPHICS para la recuperación de solvente en el CGT, se obtuvo que para productos de alta viscosidad el mejor punto

de operación es: Apertura de la compuerta 50%, presión de vapor directo 2,5 Bar y flujo de alcohol de deshidratación 30 l/min y para productos de baja viscosidad el mejor punto de operación es: Apertura de la compuerta 60%, presión de vapor directo 1,5 Bar y flujo de alcohol de deshidratación 20 l/min.

- A través del desarrollo de varias simulaciones en estado estable, se modela de manera aproximada el comportamiento de la torre de destilación y se predice su funcionamiento bajo la modificación de la variable relación de reflujo. De ésta manera también se confirman algunos datos suministrados por los ingenieros de la empresa.
- Desde el punto de vista técnico y económico, la torre debe trabajar con una relación de reflujo que permita que se obtengan las composiciones deseadas en las corrientes de salida de la torre, y que a su vez requiera la menor cantidad de energía posible para los intercambios de calor presentes en el sistema de destilación. En este caso, el estudio muestra que un valor de relación de reflujo aproximado a 0.35 (2498 l/h) podría idealmente cumplir los requisitos demandados por los ingenieros de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- CARLSON, E.C. Don't Gamble with physical properties for Simulations. Ch Eng Progress, 1996. p 35-45.
- MONTGOMERY, Douglas. "Diseño y análisis de experimentos". Grupo Editorial Iberoamericana. México. 1991.
- QUÍMICA AMTEX S.A. Carboximetilcelulosa de sodio (NaCMC) gelycel. Accedida el: 9/14/2006. <http://www.plm-alimentario.com/prods/182.htm>
- QUÍMICA AMTEX S.A. Manual del Proceso de Producción. 1994.
- TURTON, Et al. Analysis, synthesis and design of chemical processes. Editorial Prentice Hall, Segunda edición. New Jersey, 1999.

IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL TRASLADO Y LA FUSIÓN DE PROCESOS DE DOS PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE PINTURA EN POLVO

Maria Paula Restrepo Arango

mrestr20@eafit.edu.co

RESUMEN

El traslado y fusión de las plantas de Compañía Pintuco S.A., se enfoca en los aspectos de competitividad, calidad, optimización y mejoramiento continuo de sus procesos. Con el presente proyecto, se busca evaluar para el negocio de Pintura en Polvo de Compañía Pintuco S.A., el impacto real que este cambio en la configuración y distribución de planta tiene sobre sus procesos.

PALABRAS CLAVES

Pintura en polvo

ABSTRACT

The transfer and fusion of the Pintuco Company plants, focus in competitive, quality, optimized and continuous improvement aspects in their processes. The present project searches for the real impact that the change in configuration and distribution of the plant has for the processes in powder coating business.

1. INTRODUCCIÓN

Crear empresas exitosas fortaleciendo el desarrollo de políticas comerciales, económicas, financieras y productivas encerradas en el marco de la competitividad organizacional en el plano mundial y nacional, es el problema que envuelven de manera extensiva los objetivos estratégicos industriales a partir de las diferentes disciplinas que los estructuran. Surge entonces la necesidad de ampliar los conocimientos en nuevas tecnologías de integración de los procesos desde la investigación y el desarrollo, el mercadeo y la relación con los clientes, hasta la logística y la producción del bien o servicio final, con el fin de tener la posibilidad de decidir con mayor información y poder acceder a mecanismos de control eficaces para determinar puntos de mejoramiento y optimización que se vean reflejados en una mayor productividad, calidad y rentabilidad. De acuerdo con la problemática planteada, se propone el presente proyecto como herramienta de evaluación, desde el punto de vista de la Ingeniería de Procesos, de las variables y aspectos involucrados en el proceso de producción de Pintura en Polvo para Compañía Pintuco S.A. Lo anterior, con el fin de recopilar la información necesaria para establecer un sistema de medición y control que permita el análisis global y detallado del comportamiento de la planta en todo momento y, a partir de los datos encontrados, establecer un punto de partida hacia la determinación del cumplimiento o no, del reto empresarial que Compañía Pintuco S.A. se ha planteado al reubicar sus plantas en un mismo sitio y bajo una nueva distribución, direccionando sus esfuerzos bajo el enfoque del mejoramiento continuo de sus procesos y el uso eficiente de los recursos humanos y materiales.

2. LA PINTURA EN POLVO

La pintura en polvo es un recubrimiento termoendurecible o termoplástico de uso industrial, compuesto por una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas en forma sólida (100%), sin solventes; con altos y bajos espesores de aplicación y un porcentaje de utilización del producto de aproximadamente 95-98%. Es intrínsecamente ecológica y se aplica con un equipamiento especial (pistola electrostática para polvo) en la que se mezcla con aire y se carga eléctricamente.
(<http://www.arnum.com>)

2.1 Proceso de producción

El proceso de producción de una pintura en polvo, consiste en una mezcla homogénea de los materiales de su composición como resinas, pigmentos, agentes de curado, rellenos, extenders aditivos. Su procesamiento comienza con la pesada de las materias primas de acuerdo a cantidad especificada en la fórmula. Luego éstas son premezcladas con el fin de tener una distribución de forma homogénea de las partículas. El proceso de dispersión en pintura en polvo se realiza por el método de extrusión donde se fusionan los materiales creando una pasta homogénea. Al salir de este proceso, pasa a una etapa de laminado y enfriamiento de la pasta para proseguir con la molienda y obtener un polvo fino. (Bate, 1990)

3. METODOLOGÍA

El objetivo de este proyecto es evaluar el impacto de la fusión de dos plantas de producción de Pintura en Polvo en un nuevo sitio y con un nuevo layout en cuanto al mejoramiento de los procesos y sus indicadores de gestión, haciendo uso de las herramientas del control estadístico de procesos. Para ello se siguió la metodología que se presenta a continuación:

- **Recolección de la información:** Con el fin de conocer los procesos de producción de pinturas y de hacer una discriminación de las diferentes líneas de productos existentes.
- **Tabulación de la información:** En este sentido se organizará la información recolectada de documentos, tablas, gráficos de control, formatos y planos y se estructurará una base de datos con los aspectos del proceso más relevantes que posteriormente constituirá la matriz patrón del sistema de medición y control a implementar.
- **Etapa de diseño del sistema de medición y control:** De acuerdo con las necesidades de información requeridas para implementar un adecuado sistema de control de procesos para la planta de Pintura en Polvo, se diseñará un sistema macro de medición y control automático.

- **Etapas de pruebas y correcciones para el sistema:** Se realizarán pruebas de verificación constantes del sistema empleando datos históricos y reales, que provean retroalimentación para mejorarlo y optimizarlo
- **Implementación del sistema:** Una vez se pueda constatar la eficacia del sistema se realizará la etapa de implementación en planta.
- **Elaboración de las cartas de control:** Una vez analizado el proceso de manera global y desde el punto de vista de las diferentes instancias relacionadas directamente con éste, se procederá a la realización y manejo de las cartas de control, las cuales darán una visión detallada de las diferentes variables involucradas para cada línea de producto y producción, estableciendo con exactitud la situación actual de la planta.
- **Análisis y comparación de procesos:** La información obtenida a través del sistema de medición y control será evaluada bajo las herramientas de la Ingeniería

de Procesos, partiendo de los índices de gestión establecidos para la planta de tal manera que se tenga la información suficiente para tomar decisiones sobre aquellos aspectos de reingeniería que mejoren y optimicen los procesos de producción en la planta.

4. SISTEMA DE MEDICIÓN Y CONTROL

4.1 Sistema actual

4.1.1 Programación de la producción

La plantilla de programación de producción que se emplea actualmente en la Planta de Pintura en polvo, consiste en una tabla de Excel clasificada en 4 grupos correspondientes a cada línea de producción. Así, para cada línea, se especifica el producto a fabricar (código), la cantidad y la posible fecha de entrega (si a la fecha, un determinado producto ya se ha fabricado, este estado se indica con la letra V).

Ventajas	Desventajas
Posibilidad de tener la programación de cada mes actualizada.	No es posible tabular la información permanentemente, lo que dificulta el acceso a datos históricos.
Calificación de los productos a fabricar por línea de producción.	Para poder operar correctamente, se requiere de personal con alta experiencia en el conocimiento de los procesos y los productos.
Información fácil de visualizar y entener.	Poca flexibilidad como herramienta de ayuda en el proceso de programación
	No es posible aplicar la estadística de control sobre la información registrada.

4.1.2 Tiempos de proceso

La planilla de control que utiliza actualmente la Planta de Pintura en Polvo, está compuesta por 37 ítems que definen la totalidad de las actividades involucradas en el proceso productivo. Así, para cada actividad realizada, el operador de máquina debe registrar el tiempo que ha demorado en realizarla, haciendo énfasis en la especificación de aspectos tales como: equipo, código del producto y código del responsable de dicha actividad.

Ventajas	Desventajas
Posibilidad de registrar cuánto tiempo demora cada actividad del proceso.	No se almacena directamente en ningún medio magnético.
	No arroja información cuando se necesite.
	No hay posibilidad de calcular índices tales como productividad y tiempo/actividad.
	No se pueden generar datos históricos que permitan la aplicación del control estadístico de procesos y el control sobre la forma en que los operadores de máquina ejecutan los procesos.

4.1.3 Inspección y ensayo

El formato de control para el proceso de Inspección y Ensayo, consiste actualmente en una hoja de Excel, encabezada por la información básica del producto a analizar y las condiciones del proceso determinadas previamente por el jefe de producción. Así, durante el desarrollo del proceso, el operador de cada máquina lleva una muestra del producto que se está fabricando al laboratorio, con el fin de controlar sus características principales, de acuerdo con la información proporcionada en la ficha técnica correspondiente al producto. Los resultados de estos controles son registrados en el formato, siguiendo el orden establecido.

4.2 Propuesta del sistema de medición y control

Luego de analizar las limitaciones del sistema de control que opera actualmente en la planta de Pintura en Polvo y partiendo de los requerimientos que el enfoque de mejoramiento de procesos requiere, se desarrolló en calidad de propuesta, un programa de medición y control automatizado, el cual proporcionará la información necesaria para tener un punto de partida hacia el análisis y la comparación de los procesos organizados bajo una nueva distribución de planta. De esta manera, el sistema a implementar consiste de un programa en Excel, a través de macros, donde se aplicarán fórmulas matemáticas y estadísticas, el cual se alimenta de la información de la producción tomada en cada uno de los equipos y consta de tres módulos definidos de la siguiente manera.

4.2.1 Programación de la producción

Este módulo está compuesto por una hoja de cálculo para cada mes del año en donde se recibe el registro hasta de 500 referencias y se tabula la información correspondiente al código del producto a fabricar, la cantidad, las adiciones al programa, la marca y el estado (1 si está en proceso, 2 si está en espera y 3 si está procesado). La información digitada para cada mes automáticamente llenará la planilla de control que funciona como tabla resumen de la información mensual y acumulada, sobre la cual se aplicará la estadística y se calculará el avance mes a mes según su programa de producción. Se cuenta también con una hoja de cálculo que partiendo de la información tabulada en la planilla de control general, determina los índices para cada ítem mes a mes y el acumulado para todo el año. De esta manera, se puede visualizar el grado de participación y avance de la producción sobre el total general en cuanto a la cantidad y las tandas fabricadas por línea de producción y a la cantidad y las tandas clasificadas por marca de producto. Además, toda la información calculada y tabulada en las hojas de control general y de índices generales se grafica automáticamente. De esta manera, se puede tener una visión ágil y global de las tendencias en el comportamiento de aspectos tales como: Productividad por líneas de producción, cantidad fabricada para las diferentes marcas, comparativo del número de tandas contra Kilogramos programados por periodo, avance de la producción día a día.

4.2.2 Tiempos de proceso

Este módulo tiene una capacidad inicial de 500 registros de productos por mes para los 8 equipos de las diferentes

líneas de producción. Consiste en una base de datos principal u hoja de control de tiempos, en la cual se registran para cada equipo y proceso las actividades que involucra y el tiempo que demora realizarlas. Además, para que el control sea completo, es importante tener en cuenta que se debe anotar la fecha y hora de la actividad a la cual se le hace el seguimiento, además del código del operador que inicia el programa. A partir de ahí, solo se deben llenar los espacios de actividad y hora final ya que el resto de la información la trae el sistema, el cual reportará cuánto tiempo duró el proceso. La información registrada en esta planilla, es filtrada y tabulada en forma de índices en la hoja de cálculo siguiente, en la cual se resume y visualiza cuánto tiempo demora cada actividad, cuánto su acumulado en el periodo y qué porcentaje de participación tiene a lo largo de todo el proceso. A su vez, ésta información, es graficada en las planillas correspondientes a los gráficos de control, en las cuales se visualiza permanente como fluctúan las actividades durante el proceso. Además se pueden evaluar cuales de ellas son las más repetitivas y en qué porcentaje participan del proceso total.

4.2.3 Inspección y ensayo

Este módulo está en capacidad de recibir la información y llevar el control de 350 productos por mes, aunque puede ampliarse en caso de incluir nuevas máquinas que requieran control. Para evitar traumas en producción el formato actual no fue modificado, sino que adicionalmente, se diseñó un sistema que actúa directamente recibiendo la información allí registrada. Este programa consiste en una serie de hojas de cálculo en Excel, en el cual se filtra la información que se ha digitado en el formato de Inspección y Ensayo, para cada tipo de producto de manera independiente en cada mes y para la totalidad del año.

5. CONDICIONES ACTUALES DE PROCESO PLANTA PINTURA EN POLVO

Como se mencionó anteriormente, es necesario realizar un análisis detallado de las condiciones y variables que regulan el proceso de fabricación de pintura en polvo bajo el modelo actual, con el fin de tener un punto de comparación con los valores estimados para las condiciones y variables de proceso bajo el modelo que se implementará en la planta futura.

5.1 Configuración de la distribución de planta

La planta de Pintura en Polvo Medellín, funciona con cuatro líneas de producción compuestas por un premezclador, un extruder y un molino, para las etapas de premezcla, extrusión y molienda respectivamente. A través de cada una de las líneas se distribuyen y clasifican los diferentes tipos de productos a fabricar dependiendo de la capacidad del equipo y sus características.

5.2 Aspectos a mejorar en la distribución de planta

Este análisis se realizara desde los puntos de vista del aumento en la productividad y optimización de los procesos, y la salud ocupacional de los trabajadores, de acuerdo con un estudio ergonómico realizado por la

empresa Suratep S.A. Así, en cuanto al mejoramiento y optimización de los procesos para el aumento de la productividad, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Manejo de materias primas: El sitio de descargue y recepción de las materias primas es muy estrecho y el almacenamiento de éstas solo se permite en estantería, pues no hay espacio suficiente para pensar en adecuar silos o tolvas de almacenamiento. Además, el manejo de los materiales a través de la mayor parte del proceso productivo es completamente manual y en pocos casos ayudado por equipos electromecánicos, lo que representa un mayor esfuerzo e ineficiencia al generar tiempos muertos largos durante el proceso.
- Las áreas de pesada y premezcla se encuentran en niveles diferentes y los espacios son muy limitados para pensar en adecuar infraestructura que permita realizar estas etapas en forma semiautomática o automática. Además, existe solo un ascensor que atiende las cuatro líneas de producción para el transporte de materias primas hacia la zona de premezcla, lo que representa, además de tiempos muertos altos, ineficiencia en el transporte de dichos materiales.
- Los sistemas de molienda de las líneas 1 y 2 se encuentran separados de sus respectivos sistemas

de extrusión, lo cual implica un mayor esfuerzo en el transporte de los chips desde la zona de extrusión hacia la zona de molienda.

- Al poseer una sola piscina de agua de refrigeración para todos los equipos, un desequilibrio en las condiciones requeridas de enfriamiento implica el paro de todas las líneas de producción mientras se readecuan las condiciones apropiadas.
- La distribución de los equipos que se posee actualmente no permite una proyección y posterior aumento de la capacidad, debido al espacio limitado.
- En cuanto a los aspectos de salud ocupacional, es importante mencionar que desde el punto de vista ergonómico, los trabajadores se encuentran expuestos a diferentes factores incidentes en su salud, en los cuales la mayoría de los casos se refiere al alto esfuerzo físico que se requiere en las etapas de premezclado y molienda, de la siguiente manera:
- Manipulación de cargas: En las etapas de premezcla y molienda, el peso de los objetos a manipular es variable, desde pocos gramos hasta sacos de 25 y 30 kg.
- Transporte de cargas: Durante la etapa de premezcla, el transporte de ollas que pesan alrededor de 1000 kg se realiza durante aproximadamente un 20% de la jornada laboral.
- Ambiente térmico: El ambiente térmico en la etapa de premezcla influenciado por la cercanía del techo de la bodega y el de la etapa de extrusión por la generación de calor del proceso de producción, afectan el intercambio de temperatura corporal con el medio ambiente,

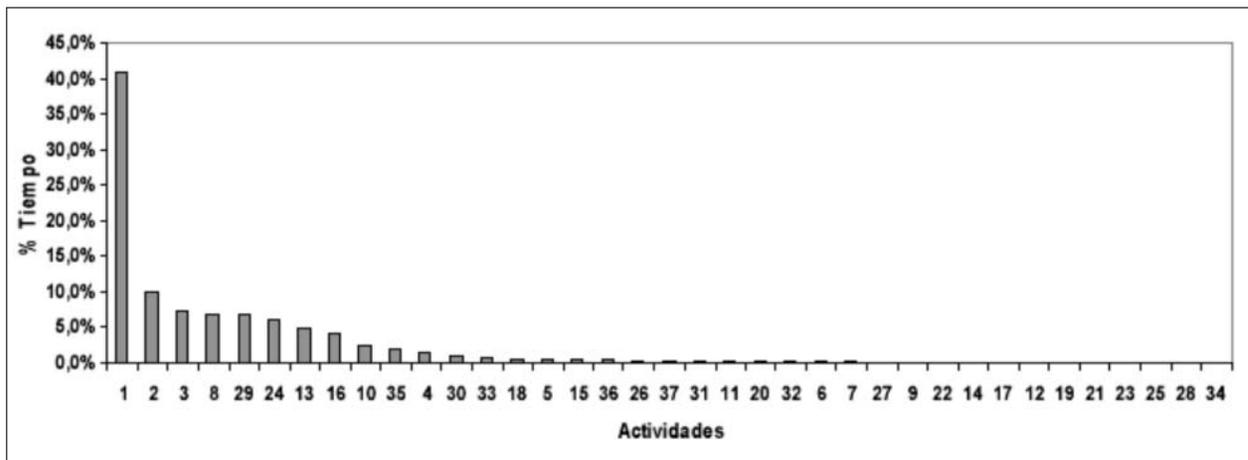
aumentando la sensación de incomfort térmico a lo largo de la jornada laboral.

- Ambiente sonoro: Los niveles de ruido en la planta pueden estar alrededor de los 83 dB, al cual los operadores se encuentran expuestos alrededor del 90% de la jornada laboral.
- Contaminantes químicos: Hay presencia de partículas en suspensión generadas en los mismos procesos de producción y de manejo de materias primas.

5.3 Estudio de tiempos de proceso

Además, haciendo uso del sistema de medición y control propuesto en este proyecto para el estudio de los tiempos de proceso, se pudo acceder a datos históricos que ayudaron a visualizar de manera global el comportamiento del proceso productivo y las actividades más relevantes involucradas en éste, las cuales representan altos porcentajes de tiempo para su ejecución, y que como se mencionó anteriormente, pueden ser controlados o atacados con el fin de disminuirlos y aumentar así el porcentaje de tiempo equivalente a la actividad de proceso real. De acuerdo con el estudio realizado, se puede observar que la actividad de proceso solo corresponde a aproximadamente el 41% del tiempo total de producción de la planta, lo cual es un valor relativamente bajo en términos de productividad. A su vez, las actividades que presentan un mayor porcentaje de tiempo y que pueden constituir metas claves para el mejoramiento y la optimización son las correspondientes a lavado (10%), tinturación (7,4%), falta de premezcla (6,9%) y calentamiento y despegue de equipos (6,9%).

FIGURA 1
Histograma de frecuencias para el estudio de tiempos
de las etapas del proceso global



Estos resultados pueden corroborarse con los resultados arrojados por el análisis de tiempos realizado para cada una de las etapas del proceso, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

TABLA 1
Resultados estudio de tiempos por etapa del proceso

Actividad	Proceso global	Extruders 1 y 2	Molinos 1 y 2	Línea 3	Línea 4
Proceso	41	40	41	42.6	42
Lavado	10	8.6	10.8	12.5	8.8
Tinturación	7.4	10.7	--	7.7	9.3
Falta de premezcla	6.9	7.4	--	12	14.2
Calentamiento y despegue	6.9	11.5	--	10.1	8.5
Ajuste tamaño particular	--	--	14.5	--	--
Falta chips	--	--	12.3	--	--

Ya que las etapas de lavado y tinturación son focos de especial interés para el mejoramiento y optimización del proceso, con miras hacia una mayor eficiencia y productividad en el uso de los recursos y del tiempo; actualmente, en Compañía Pintuco S.A., se vienen adelantando proyectos Seis Sigma con miras hacia la implementación de sistemas de control y buenas prácticas de manufactura basadas en la optimización de estas actividades.

6. ANÁLISIS ESTIMATIVO DE LAS CONDICIONES DE PROCESO PARA LA NUEVA PLANTA DE PINTURA EN POLVO

De acuerdo con las falencias encontradas y las recomendaciones de optimización y mejoramiento realizadas en el desarrollo de este proyecto, se consideraron las

bases para la determinación de las acciones de mejora que constituyeron el diseño del layout que se implementará para la nueva planta de producción en la ciudad de Rionegro. A continuación se da una descripción detallada de estos aspectos de mejora:

TABLA 2
Acciones de mejora para el nuevo lay-out

Aspecto	Accionrs	Beneficios
Materia prima	Implementación de un sistema de transporte neumático	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de esfuerzo físico • Disminución de aire contaminado por material particulado • Disminución de accidentalidad por menor uso de montacarga
Layout	Uso restringido de montacargas	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución peligro de atropellamiento
	Diseño del área de pesada y premezcla en un mismo nivel con amplios espacios y ayudas electromecánicas	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de accidentes por caídas entre niveles • Disminución sobreesfuerzo por halar ollas • Disminución inconfort térmico • Mayor facilidad de manipulación de ollas
Molienda y empaque	Automatización del proceso de empaque y optimización del proceso de molienda	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de aire contaminado por material particulado • Disminución de esfuerzo físico • Disminución de accidentes por caídas entre niveles • Disminución de accidentes por manipulación de cajas • Garantizar un proceso de producción continuo
Salud y Seguridad	Sistema integrado de salud y seguridad en un centro único de atención	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor capacidad de respuesta de la brigada de bomberos • Mayor efectividad y eficiencia en el uso de recursos • Atención oportuna en caso de emergencia • Mayor accesibilidad a los servicios de salud

Se espera que con esta nueva distribución de planta, un operador maneje dos extruders y que el empaque pueda realizarse en forma completamente automática, para que de igual manera, un solo operador maneje dos molinos. Todas las acciones de mejora implementadas en la nueva distribución de planta se enfocan hacia el aumento de la productividad, en el sentido de que se estima producir en dos turnos de trabajo la misma cantidad que se produce hoy en día en tres turnos. Es importante mencionar que todas estas acciones de mejora en conjunto con la implementación del sistema de medición y control propuesto en este proyecto, beneficiarán en gran medida la calidad de los productos y el nivel de servicio al cliente como consecuencia de una mayor eficiencia en el uso de los recursos materiales y humanos, y de la estandarización y control de los procesos y los insumos en todas las etapas, lo que previene la elaboración de reprocesos y la generación de tiempos muertos durante el proceso.

6.1 Cuantificación económica de los beneficios del cambio en el lay-out

En general, el traslado de las plantas de Compañía Pintuco S.A., todas a un mismo sitio, constituirá una estrategia clave en el incremento en la rentabilidad de los diferentes negocios de la compañía, pues al tener unificados los departamentos de compras, mantenimiento, calidad, investigación y desarrollo, entre otros, se reflejará una reducción significativa de los costos de operación, estimada en aproximadamente el 40%. Específicamente, para el negocio de Pintura en Polvo, el nuevo layout permite el incremento en la capacidad de planta, al realizarse en dos turnos de trabajo lo mismo que se realiza actualmente en tres. De esta manera, de acuerdo con los índices de desempeño, si la capacidad actual de la planta de pintura en polvo es de aproximadamente 3000 toneladas/año, se estima que con el nuevo layout, esta capacidad aumente en

principio a 4000 ton/año; sin embargo, la nueva distribución de planta permite duplicar la capacidad anual estimada hasta 8000 ton/año. Como consecuencia de este aumento de capacidad en los turnos de trabajo, se estima también un ahorro en el consumo de energía de aproximadamente el 20%, pues como se describió anteriormente, se va a realizar en dos turnos lo que actualmente se realiza en tres.

CONCLUSIONES

- El impacto del traslado y la fusión de procesos de las plantas de pintura en polvo en un nuevo sitio y bajo un nuevo layout se ve reflejado en aspectos de mejoramiento y optimización de los procesos principalmente en cuanto al manejo de los recursos materiales y humanos, mediante la implementación de un sistema de transporte neumático y de ayudas electromecánicas para el transporte de los materiales a lo largo del proceso; la optimización de los procesos de molienda, la automatización del proceso de empaque y la ampliación de las áreas de la planta para posibilitar proyectos futuros de aumento de capacidad. Lo anterior se verá reflejado en una disminución de costos de operación y por ende en una mayor rentabilidad tanto para la Compañía en general como para el negocio de Pintura en polvo en particular.
- A partir de los resultados obtenidos en el desarrollo del presente proyecto, es posible afirmar que los sistemas de medición y control propuestos constituyen procedimientos simples y eficientes, los cuales permiten la organización de la información que se maneja dentro de las diferentes áreas de la planta y por ende, el acceso a datos históricos que reflejaron el comportamiento de las variables bajo estudio a nivel global y detallado. Además, se sentó un punto de partida hacia el manejo y control eficiente de la información como aspecto de vital importancia para facilitar la toma de decisiones en función de datos reales y actualizados.
- Bajo estos parámetros de selección, se concluye que es posible recomendar la implementación en la planta de pintura en polvo de dichos sistemas de medición y control, y pensar en la posibilidad de hacerlos extensivos a las demás plantas de Compañía Pintuco S.A.
- De acuerdo con el estudio global de tiempos realizado para la planta de pintura en polvo de la ciudad de Medellín, se tiene que la actividad de proceso corresponde al 40,9% del tiempo total de operación real de la planta, lo cual puede comprobarse con valores similares encontrados para el estudio detallado de cada etapa del proceso. De la misma manera se observa que las actividades de lavado, tinturación y calentamiento y despegue de equipos, han presentado un comportamiento significativamente alto y variable en la demanda de tiempo requerido para realizarlas y que por lo tanto, pueden controlarse. A su vez, aparecen otras actividades que implican un alto consumo de tiempo para realizarlas y que afectan negativamente la productividad de la planta, pero que a diferencia de las anteriores, no pueden ser controladas sino atacadas mediante la implementación de buenas prácticas de manufactura tanto técnicas como culturales. Dentro de estas actividades, las más relevantes son: falta de premezcla, falta de chips y ajuste del tamaño de partícula.
- Como se describió anteriormente, las etapas de lavado y tinturación son focos de especial interés para el mejoramiento y optimización del proceso, con miras hacia una mayor eficiencia y productividad en el uso de los recursos y del tiempo. Actualmente, en Compañía Pintuco S.A., se vienen adelantando proyectos Seis Sigma con miras hacia la implementación de sistemas de control y buenas prácticas de manufactura basadas en la optimización de estas actividades.
- De acuerdo con el análisis realizado para la optimización de la actividad de calentamiento y despegue de equipos en cuanto al aprovechamiento de los tiempos perdidos por concepto de su desarrollo, y teniendo en cuenta el porcentaje de participación en la producción de cada una de las líneas, se estima que el aprovechamiento de estos tiempos implica aproximadamente un aumento de capacidad de 3686 gal/hombre para las líneas 1,2 y 4 y de 1861.63 gal/hombre para la línea 3.
- Teniendo en cuenta los aspectos a mejorar encontrados mediante el análisis del layout y de las actividades involucradas en el proceso de fabricación de pintura en

polvo descritos para la planta actual, los cuales se basan en el aumento de la productividad, la optimización de los procesos y la salud ocupacional de los trabajadores, y partiendo del análisis de las características que el nuevo layout implica, enfocadas directamente para atacar estos aspectos, se puede concluir que la nueva distribución de planta ofrece una mayor eficiencia y productividad para el proceso, lo que se verá reflejado en mejoras en la rentabilidad del negocio y en un ambiente de trabajo más amigable.

- Según la evaluación técnica y económica realizada en este proyecto para determinar la influencia que la nueva distribución de planta representa para las variables y condiciones de proceso, y teniendo en cuenta que la nueva distribución de planta ofrece grandes ventajas para la compañía, se puede concluir que el traslado y fusión de procesos de las plantas de fabricación de Pintura en Polvo de la ciudad de Medellín y Valencia, es conveniente no solo para este negocio específicamente sino en general para toda la Compañía. Sin embargo, ya que todos los análisis futuros fueron medidos a través de valores estimados, es importante recomendar para un futuro la medición de estas variables cuando la planta se encuentre funcionando normalmente, con el fin de verificar los resultados encontrados en el desarrollo de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

BATE, David A. The science of Powder Coatings: Chemistry, Formulation and Application. Londres: Editorial SITA Technology Gardiner House Broomhill Road, 1990. 321 p.

BETANCUR, Helda M. Manual de dispersión a alta velocidad. Medellín: Compañía Pintuco S.A., 1995. 38 p.

CANTÚ, Humberto. Desarrollo de una cultura de calidad Editorial: Mc Graw Hill. Segunda edición.

COMPAÑÍA PINTUCO S.A. <http://pintunet/>. (Consulta: Septiembre 2005)

GRAYSTONE, Jon. Best practices in the design, processing and scale-up of pigmented intermediates. Preposición En: Pigmented Intermediates: Processing & Performance. (Paper 10: 2002: Bruselas). Teddington: The Paint Research Association. 2002. 10 p.

DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA OBTENCIÓN DE SAPOGENINAS ESTEROIDALES DEL *Solanum hirtum*

Alejandro Vélez Posada
avelezpo@eafit.edu.co

Mauricio Escobar Vukonic
mescoba3@eafit.edu.co

RESUMEN

Este artículo, presenta la elaboración de un diseño conceptual para la obtención de sapogeninas esteroideas a partir de los frutos de *Solanum hirtum*, mediante el desarrollo de diferentes ensayos a nivel de laboratorio. Se evaluaron las condiciones de la extracción, hasta identificar como factores de mayor importancia la maduración de los frutos y el control de la temperatura en las primeras etapas del proceso. Se logró identificar la sapogenina extraída como diosgenina, gracias a sus propiedades físicas y a los análisis instrumentales (Infrarrojo, H1 RNM y C13 RNM).

PALABRAS CLAVE

Solanum hirtum; sapogenina; diseño conceptual; diosgenina.

ABSTRACT

This article, presents the elaboration of a conceptual design for the extraction of steroidal sapogenins from *Solanum hirtum* fruits, by means of several laboratory trials. The extraction conditions were evaluated, and it was concluded that the most important factors to control during this process were the fruits ripeness and the temperature in the initial process steps. The extracted sapogenina, was identified as diosgenin by means of its physical characteristics and instrumental analysis (Infrared, H1 NMR and C13 NMR).

KEYWORDS

Solanum hirtum; sapogenin; conceptual design; diosgenin.

1. INTRODUCCIÓN

El *Solanum hirtum*, también conocido popularmente como “lulo de perro” o “huevo de gato”, es una planta nativa de Colombia que pertenece al género *Solanum* y a la familia de las solanáceas [1]. Entre otros ejemplares más conocidos de esta vasta familia de plantas se encuentran el tomate, la papa, el pimiento, la patata y el lulo gracias a sus altos valores nutricionales y bajo costo [2].

Esta familia también es reconocida debido a que muchas de sus especies producen compuestos esteroidales. Entre estas sustancias de alto valor agregado se encuentran los witanosteroides, y las sapogeninas esteroidales y alcaloidales especialmente dentro del género *Solanum*. Estas dos últimas sustancias tienen una gran importancia en la industria farmacéutica de la actualidad. Entre sus principales usos se encuentran la producción de hormonas sexuales (anticonceptivos) y corticosteroides para el tratamiento de inflamaciones de la piel y artritis [3]. El arbusto del *Solanum hirtum* tiene una altura promedio de 1.5 m, y una producción continua de frutos durante casi todo el año. Sus bayas son velludas y adquieren un color amarillo al madurar. Crece naturalmente en múltiples departamentos del territorio Colombiano como Antioquia, Caldas, Tolima, Valle del Cauca y la zona pacífica entre los 0 y 700 m. Esta planta ha sido estudiada como posible fuente de sapogeninas al menos en dos ocasiones anteriores. La primera fue en un estudio realizado en Colombia donde no fue posible encontrar sapogeninas alcaloidales en este [4]. La segunda fue en México donde le encontraron flavonoides y sapogeninas en sus frutos, raíces, tallo y hojas, pero no fue posible conseguir más información al respecto [5].

Gracias a sus cualidades quimiotaxonómicas, y a los muchos estudios siendo llevados a cabo en este género, se decide realizar un diseño conceptual a nivel de laboratorio para extraer, purificar e identificar al menos una sapogenina esteroideal a partir de los frutos del *Solanum hirtum*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Material vegetal

La materia prima para la obtención de sapogeninas son los frutos del *Solanum hirtum*. Los frutos utilizados para el

proyecto se recolectaron preferiblemente antes de madurar. Sin embargo, debido a la dificultad de encontrar todo el material necesario en una sola localidad, fue necesario recolectarlo en tres lugares diferentes pero de condiciones similares. Las salidas de campo fueron a Sopetrán y Bolombolo en el departamento de Antioquia y en el corregimiento La Felisa en el departamento de Caldas.

2.2 Extracción y purificación

2.2.1 Sapogeninas Esteroidales

Los ensayos fueron diseñados mediante un proceso iterativo, basándose en la literatura y en los resultados de los ensayos anteriores. En total se realizaron seis ensayos hasta lograr un diseño exitoso con el que se realizó un PFD que se utilizó para la realización de los balances de masa y energía necesarios para el análisis económico del proceso. El primer ensayo se llevó a cabo utilizando el método tradicional sin la etapa de desengrase. La cantidad de contaminantes obtenidos era muy superior a las sapogeninas presentes, tal como lo indicaba la cromatografía de capa fina, por lo que no fue posible aislar sapogeninas esteroidales. En este método tradicional se realizan las siguientes actividades: los frutos frescos se secan durante 12 horas utilizando la estufa de secado, luego son molidos, con el fin de incrementar su área superficial para favorecer las siguientes etapas de extracción [6, 7]. Seguido a esto, se realiza el proceso de extracción sólido-líquido utilizando etanol como solvente. Luego se realiza una extracción líquido-líquido con isobutanol para obtener un extracto butanólico más puro y rico en saponinas. A continuación, por medio de una hidrólisis ácida se busca romper el enlace glicosídico de las saponinas esteroidales para obtener finalmente la aglicona o sapogenina esteroideal. Esto se neutraliza con NaOH y por último se realiza una cromatografía de columna que tiene como objetivo la separación de los múltiples componentes en solución que luego se purifican por cristalización.[8] Para el segundo ensayo se usó la misma metodología pero se usaron dos tiempos diferentes de hidrólisis que finalmente tampoco resultaron ser la respuesta. Por esta razón, para el tercer ensayo se adicionó una etapa de desengrase sólido-líquido con bencina, se utilizó metanol para la extracción de la saponina y se modificó la etapa de

hidrólisis adicionando tolueno. Al no lograr una purificación satisfactoria utilizando los procedimientos anteriores, para el quinto ensayo se aumentó notablemente la cantidad de frutos utilizada, el desengrase se llevó a cabo como una operación líquido-líquido, luego de la extracción de las saponinas con metanol, se adicionó una segunda etapa de desengrase con acetato de etilo y se conservó la hidrólisis con tolueno. De forma paralela, en el cuarto ensayo, se trataron de recuperar saponinas esteroidales del sobrenadante resultante de un ensayo anterior para extraer saponinas alcaloidales. Aún no pudiendo obtener saponinas puras debido al alta cantidad de contaminantes presentes, para el sexto y último ensayo se eliminó la etapa de secado y se realizó la molienda en húmedo, se extrajeron las saponinas sumergiendo el material en metanol a temperatura ambiente durante dos semanas. Después se retiró el metanol tamizando en húmedo, primero con un tamiz malla 30 y luego con uno malla 100 [9]. Después se realizaron dos etapas de desengrase líquido-líquido, llevándolo a un embudo de separación de dos litros y se le adiciona una primera cantidad de bencina, la cual es insoluble en metanol, equivalente a la mitad de su volumen. Se tapona y sacude vigorosamente el recipiente para lograr que ambos solventes entren en contacto y así favorecer la transferencia de masa. Este luego se deja reposar hasta que se separen las dos capas. En la capa de metanol queda la saponina polar y en la capa de bencina permanecen los componentes apolares o de baja polaridad. A continuación se retira la capa de bencina y se repite dos veces más el procedimiento anterior con cantidades de bencina equivalentes a $\frac{1}{4}$ del volumen de metanol. La segunda etapa de desengrase líquido-líquido se realiza con acetato de etilo, siguiendo el procedimiento anterior. Luego se realiza una extracción líquido-líquido con isobutanol. Este solvente de menor polaridad es más afín a las saponinas esteroidales y se utiliza para separarlas de los otros alcoholes y contaminantes de mayor polaridad. A continuación, se realizó un proceso de hidrólisis ácida para romper el enlace glicosídico de las saponinas esteroidales, obteniendo así la aglicona o saponina esteroideal. Primero se concentraron los extractos hasta un tercio de su volumen inicial, recuperando el isobutanol por destilación. Luego fue llevado hasta la concentración de ácido requerida adicionando dos partes de HCl 10N por cada cinco partes de extracto [10]. El proceso de hidrólisis tardó cuatro horas

a 70°C. Una vez terminado el proceso de hidrólisis se realiza una Neutralización y Extracción líquido – líquido a reflujo. Se utilizó NaOH al 50% en agua para llevar el pH de la solución hidrolizada hasta 6, deteniendo la reacción. Las soluciones se agitaron por unos instantes más asegurando la neutralización del ácido, y las saponinas esteroidales se extraen cuatro veces con tolueno. Esta extracción se lleva a cabo durante una hora a reflujo y con agitación, habiendo adicionado una cantidad de tolueno equivalente a la que se tiene de extracto. De aquí fue llevado al proceso de purificación en una columna de cromatografía, utilizando tolueno puro porque proporcionaba una buena separación de los componentes y alúmina como fase estacionaria. Se recogen 20 fracciones de 20mL, agrupando y concentrando las fracciones similares y pasando una segunda vez por la columna a aquellas más contaminadas antes de cristalizarlas. El proceso de cristalización, tiene como finalidad la obtención del producto químico sólido a partir de soluciones de pureza relativamente baja. Las muestras fueron llevadas casi hasta sequedad y disueltas en mínimas cantidades de metanol antes de ser enfriadas a -4°C; dando como resultado cristales en forma de agujas, como es característico de las saponinas esteroidales.

IMAGEN 1

Cristales de ensayo # 6



2.2.2 Saponinas alcaloidales

En el caso de la extracción de saponinas Alcaloidales, se sigue el método ilustrado por [1, 3,5]. Se diseñó un ensayo, que al final, produjo un sólido gris al cual se le realizó la prueba de Dragendorff. No dando positiva, se descartó la

idea de seguir buscando sapogeninas alcaloidales en los frutos de *Solanum hirtum*.

2.3 Determinación de la sapogenina

Se realizaron tres tipos de análisis para la identificación de la sapogenina obtenida: **Propiedades físicas**. Se determinó el punto de fusión del producto cristalizado en un fusiómetro Büchi modelo Tottoli B - 210.

Cromatografías de capa fina (TLC). Se realizaron varias TLC en placas de sílica marca Merk, usando diferentes eluentes como metanol, cloroformo, acetato de etilo, tolueno y algunas mezclas de estos. El Rf obtenido utilizando tolueno como efluente fue de 0,2.

Análisis Espectroscópicos. Se identificó la sapogenina aislada analizando y comparando los espectros infrarrojo, ¹H MNR y ¹³C MNR, obtenidos con aquellos encontrados en la literatura y con los espectros de una muestra estándar que se tiene en el laboratorio de investigación de la Universidad EAFIT.

2.4 Diseño conceptual

Se realizó un diseño conceptual, para determinar si es tanto económica como técnicamente factible extraer sapogeninas esteroidales de los frutos del *Solanum hirtum* en Colombia. El primer paso fue identificar la información relevante disponible mediante una revisión bibliográfica. A continuación, se desarrollaron algunos diseños que fueron ensayados en el laboratorio para recolectar el resto de la información necesaria. Para esto, se utilizó un método iterativo, en el cual la etapa de síntesis, o generación de un nuevo diagrama de flujo, era siempre seguida por una etapa de análisis. Se siguió esta secuencia iterativa de síntesis y evaluación hasta finalmente lograr un diseño satisfactorio que permitiera extraer al menos una sapogenina esteroideal, purificarla e identificarla. Este diseño fue llevado a un PFD con sus respectivas tablas de corrientes, equipos y balances de masa y energía requeridos para el análisis económico del proceso.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con base en los resultados obtenidos de punto de fusión y análisis espectrales, resonancia nuclear magnética de protón y carbono ¹³, la comparación de estos datos con los resultados reportados en la literatura y las investigaciones anteriores del grupo de investigación GIPAB, se concluye que la sapogenina esteroideal aislada en esta investigación es Diosgenina. El rendimiento de la diosgenina, con base en el material seco y molido de los frutos de *Solanum hirtum*, fue de 0.02 %. Durante el proceso se cuenta con una gran cantidad de pérdidas de energía debido principalmente al calor disipado durante los diferentes calentamientos. Esto se debe al bajo aislamiento de los equipos y que las planchas de calentamiento usadas tienen un área mayor al área que entra en contacto con los diferentes recipientes utilizados. Los factores de "caramelización" debida a las altas temperaturas del proceso y la rápida maduración de los frutos una vez cortados del arbusto, son factores muy importantes para controlar durante el proceso de obtención de la sapogenina esteroideal. Esta rápida maduración produce mayor cantidades de azúcares, y al parecer degrada la sustancia de interés, en este caso, diosgenina. La determinación de la sapogenina aislada, en este caso la diosgenina, fue obtenida gracias a los siguientes análisis físicos e instrumentales:

3.1 Análisis físico

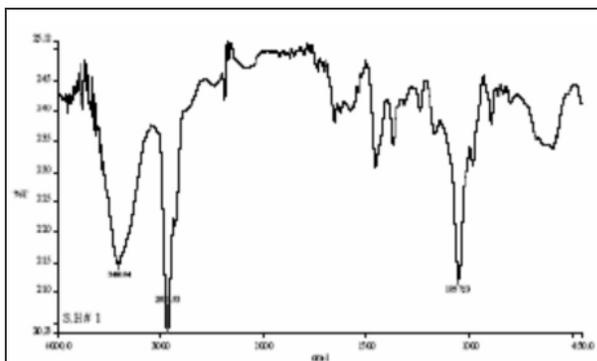
El punto de fusión de la sapogenina aislada del *Solanum hirtum* es de 204 – 206°C. (Acorde con el punto de fusión reportado en la literatura como "Diosgenina", 205,5°C)

3.2 Análisis instrumentales

Se realizaron los espectros de infrarrojo para determinar los principales grupos funcionales. Los espectros de resonancia magnética nuclear de protón y de carbono ¹³ sirvieron para verificar la estructura y fórmula de la molécula. Los espectros IR de la diosgenina aislada, muestran las señales características de una sapogenina iso o D, en la cual la banda a 894 cm es mucho mas grande que la banda a 916 cm, además muestra las señales de tensión –OH (3400 cm) – CH (2928 cm) y C=C (1650 cm); flexion CH (1459 cm) y tension – C-O (1053 cm). Al comparar

los IR del estándar y de la diosgenina aislada, se presenta una gran coincidencia en las bandas mencionadas en el espectro en general.

FIGURA 2
Espectro Infrarrojo



El espectro de ^1H MNR, muestra una serie de señales entre 0.85 cm y 2, características de un producto natural como éste, donde la gran mayoría de protones son $-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}$ y $-\text{CH}$. Esta parte del espectro no da mayor información sobre la posición de estos grupos en la molécula, excepto por los grupos metílicos (C18, C19, C21 Y C27) que aparecen entre 0.85 y 1.2 como singletes. Las señales que sí se pueden diferenciar son los protones de C26, C3, C16 y el vinílico del C6, que son en su orden los que aparecen en el campo bajo, entre 3.5 y 5.5. En esta región, también se encuentra el protón del OH que aparece como un singlete 3.8 aproximadamente. El espectro ^{13}C MNR presenta 30 señales, 3 de las cuales (alrededor de 77ppm) corresponden al solvente usado, Cloroformo Deuterado. Las otras 27 corresponden a los 27 carbonos de la diosgenina. Las señales positivas representan los grupos C y CH_2 , y las negativas, los grupos CH y CH_3 . De modo que sumando las señales positivas, se iguala el número de los grupos correspondientes en la diosgenina y lo mismo sucede sumando las señales negativas. Estas señales, también dependen del ambiente químico donde se encuentra el carbono, y nuevamente coinciden las señales de campo alto, cercanas a 0 ppm y las señales de campo bajo, cercanas a 150ppm, con aquellas esperadas de los carbonos que conforman la diosgenina.

4. CONCLUSIONES

Se demostró que es técnicamente viable extraer sapogeninas esteroidales a partir del *Solanum hirtum* ya que se aisló diosgenina de sus frutos verdes. El rendimiento de la obtención de diosgenina, con base en el material seco y molido de los frutos de *Solanum hirtum* fue de 0,02 %. En ninguno de los ensayos realizados se detectó la presencia de sapogeninas alcaloidales en los frutos verdes del *Solanum hirtum*. Durante el desarrollo de los ensayos llevados a cabo en el laboratorio, se encontró que las variables más revelantes en el proceso de la extracción fueron el manejo de la temperaturas y la maduración de los frutos. Al controlar estas, se controló el proceso de caramelización que dificultó todos los otros ensayos.

De los diferentes solventes utilizados en el proceso de cristalización de la diosgenina: metanol, etanol, acetato de etilo y tolueno, se encontró que el más apropiado para la cristalización de diosgenina es el metanol. De los diferentes eluentes utilizados en el proceso de cromatografía de capa fina y de columna: metanol, etanol, acetato de etilo, cloroformo y tolueno, el que produce una mejor separación de los componentes en solución es el tolueno.

Utilizando tolueno y placas de aluminio recubiertas con sílica gel, el R_f para la diosgenina es de 0,2. Extraer diosgenina de los frutos del *Solanum hirtum* no es económicamente viable debido al bajo precio de la diosgenina en el mercado a comparación de aquellos de otras sapogeninas como la solasodina, junto con el bajo rendimiento del proceso con respecto a los rendimientos obtenidos al extraer diosgenina de las Dioscoreas, de donde se extrae normalmente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a: Dr. Guillermo León Palacio G. Universidad EAFIT, por su gran apoyo durante todo el desarrollo del proyecto.

Todo el Personal de laboratorios de Ingeniería de Procesos. Universidad EAFIT, por la disponibilidad y la ayuda brindada.

REFERENCIAS

1. G MARTÍNEZ, A. (2002). Alcaloides esteroidales de Solanáceas. Monografía. Medellín: Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica.
2. BOTANICAL - ONLINE. (2005). Solanáceas. URL:<http://www.botanicalonline.com/familiasolanaceascastella.htm>. Fecha de consulta: Octubre 5 de 2005.
3. ARROYAVE, C. y RENDÓN, J. (2003). Diseño conceptual de una planta piloto para la obtención de solasodina a partir del *Solanum mammosum*. Proyecto de grado. Medellín: Universidad EAFIT, Departamento de Ingeniería de procesos.
4. PÉREZ-MEDINA, L. (1965). Final Report: Chemical Screening in the family solanaceae for steroidal alkaloid Solasodine. Medellín: Universidad de Antioquia. Departamento de Investigaciones orgánicas.
5. SÁNCHEZ-MEDINA, A. et al. (2001). Evaluation of biological activity of crude extracts from plants used in Yucatecan Traditional Medicine Part I. Antioxidant, antimicrobial and B-glucosidase inhibition activities. EN: Phytomedicine. Vol. 8, No. 2 (Ago. 2001); p. 144–151
6. D'ARCY, W. (2001). SOLANACEAE. EN: W.D. Stevens, et al. (editores). Flora de Nicaragua. Monographs in systematic botany from the Missouri botanical garden. Vol. 85, No. 3. Missouri Botanical Garden Press.
7. FRIEDMAN, M. (2004). Analysis of biologically active compounds in potatoes (*Solanum tuberosum*), tomatoes (*Lycopersicon esculentum*), and jimson weed (*Datura stramonium*) seeds. EN: Journal of Chromatography A. Vol. 1054 (Abr. 2004); p. 143 – 155
8. PERRY, R. H. et al. (1999). Perry's Chemical Engineer's Handbook. USA: Mc Graw Hill, 17a edición.
9. ARTHAN, D. et al. (2001). Antiviral isoflavonoid sulfate and steroidal glycosides from the fruits of *Solanum torvum*. EN: Phytochemistry. Vol. 59 (2002); p. 459–463. 10. WALL, M. E. (1960). Am. Perfumer Aromat. 75(4), 63-73. C.A., 54:12479e. WANYONYI, A. W. et al. (2002). Bioactive steroidal alkaloid glycosides from *Solanum aculeastrum*. EN: Phytochemistry. Vol. 59 (2002); p. 79–84

INMOVILIZACIÓN POR ATRAPAMIENTO DE UN AISLADO NATIVO DE *Pseudomonas spp.* PARA LA BIODEGRADACIÓN DE CIANURO

Catalina Giraldo E.
cgiraldo@eafit.edu.co

Francisco Naranjo V.
fnaranj2@eafit.edu.co

Manuel Santa María L.
msantam4@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se investigó la alternativa biológica de degradar cianuro empleando la técnica de inmovilización celular por atrapamiento, a escala laboratorio, evaluando el comportamiento de la concentración de cianuro presente en solución acuosa, partiendo de una concentración de 15 mg/L, para lo cual se empleó un aislado nativo de *Pseudomonas spp.* proveniente del efluente de una industria de recubrimientos metálicos e identificada por Gil *et al.* (2005), la cual se encuentra en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad EAFIT.

La bacteria se adaptó a 15 mg/L de cianuro y 1.2 g/L de caldo nutritivo a pH 9.6. Durante la biodegradación se cuantificó el porcentaje y velocidad de degradación en dos matrices de inmovilización (agar-agar y alginato de calcio) y a tres diferentes caudales (0.17 mL/s, 0.23 mL/s y 0.29 mL/s). Las mejores condiciones se obtuvieron con la matriz de agar-agar y caudal de 0.17 mL/s, alcanzando una concentración de cianuro inferior a 1 mg/L a las 18 horas, el porcentaje total degradado fue de 99.12% en 48 horas, a una velocidad de degradación de 1.0445 mg/L-h. Estos resultados indican que la inmovilización de *Pseudomonas spp.* por atrapamiento puede ser una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con cianuro.

PALABRAS CLAVE

Inmovilización celular, velocidad de biodegradación, *Pseudomonas spp.*, agar, atrapamiento.

ABSTRACT

The biological alternative to degrade cyanide, at laboratory scale, using the immobilization by entrapment technique was studied in this work by evaluating the behavior of aqueous cyanide solution concentration, starting with a concentration of 15 mg/L, using a native isolate of *Pseudomonas spp.* obtained from a metallic covering industry effluent and identified by Gil *et al.* (2005), which is kept in the EAFIT University Biotechnology Laboratory.

The bacteria was adapted at 15 mg/L of cyanide, 1.2 g/L of nutritive broth and pH 9.6. During the biodegradation, the degradation percentage and velocity was quantified using two immobilization matrixes (agar-agar and calcium alginate) and three flows (0.17 mL/s, 0.23 mL/s and 0.29 mL/s). The best conditions were obtained with agar-agar as immobilization matrix and a flow of 0.17 mL/s, reaching a cyanide concentration, in 18 hours, below 1 mg/L, the final degradation percentage was 99.12% in 48 hours with a degradation velocity of 1.0445 mg/L-h. These results indicate that immobilization by entrapment of *Pseudomonas spp.* can be a useful alternative to treat residual waters contaminated with cyanide.

KEYWORDS

Cell immobilization, biodegradation velocity, *Pseudomonas spp.*, agar.

1. INTRODUCCIÓN

Día a día el hombre se preocupa por mejorar sus condiciones de vida presente y futura. Durante el último siglo, el ser humano ha creado toda una industria a su alrededor la cual contribuye a satisfacer las necesidades que existen en la sociedad, pero no se ha fijado en el daño causado al ecosistema para conseguir lo que quiere.

La contaminación con cianuro es una de las consecuencias que ha traído la industrialización, siendo éste un compuesto altamente tóxico, el cual contiene carbono y nitrógeno unidos por un enlace triple; es capaz de reaccionar fácilmente con metales pesados, inclusive en muy bajas concentraciones y puede absorberse por los tejidos con facilidad. Las aplicaciones industriales en las cuales interviene este compuesto incluyen la galvanoplastia, el procesamiento de metales, la extracción del oro, las aplicaciones fotográficas y la producción de goma sintética (Logsdon *et al.*, 2003).

De estos procesos se generan efluentes con cianuro, los cuales deben ser tratados para minimizar los impactos sobre el ambiente. Durante los últimos 25 años, las investigaciones en purificación de aguas han crecido extensivamente; el riguroso control de contaminantes y la legislación en muchos países han conllevado a una búsqueda intensa por

nuevas tecnologías de tratamiento más eficientes (Parra, 2001). Es por esto que la biotecnología puede convertirse en una de las vías para la solución de estos problemas de contaminación.

Los tratamientos biológicos para degradar cianuro en solución acuosa, pueden convertirse en una técnica económicamente viable, ya que algunos microorganismos pueden metabolizar y como consecuencia, transformar los complejos de cianuro como fuentes de carbono y/o nitrógeno, convirtiéndolos en compuestos menos tóxicos para el ambiente (Suh *et al.*, 1994; Mosher y Figueroa, 1996). Se ha encontrado que las *Pseudomonas spp.* son los microorganismos que presentan una mayor eficiencia en la degradación de compuestos persistentes y tóxicos (Shivaraman *et al.*, 1991; Suh *et al.*, 1994; Chapatawala *et al.*, 1997; Arzu *et al.*, 2000; Arzu *et al.*, 2002; Akcil, 2003; Gutiérrez *et al.*, 2003).

Técnicas como la inmovilización de células, que consiste en unir una molécula o conjunto de moléculas a un soporte insoluble, se pueden utilizar con este propósito, para aumentar la eficiencia del proceso con una disminución de costos. (Dictor *et al.*, 1997; Kowalska *et al.*, 1998). Es por esto que esta investigación busca desarrollar un proceso de inmovilización de células de *Pseudomonas spp.* para la biodegradación de Cianuro en solución acuosa que pueda ser llevado posteriormente a escala piloto y/o industrial.

2. METODOLOGÍA

2.1 Microorganismo

Este trabajo se realiza con la bacteria *Pseudomonas spp.* previamente aislada y caracterizada bioquímicamente por Gil *et al.* (2005), la cual es conservada a 4°C en el laboratorio de Biotecnología de la Universidad EAFIT.

2.2 Medio de cultivo

El medio de cultivo empleado está compuesto de 15 mg/L de cianuro preparados a partir de cianuro de potasio marca Merck, como fuente de carbono y nitrógeno y 1,2 g/L de caldo nutritivo marca Merck, como fuente de nutrientes adicionales, estabilizado con buffer carbonato a un pH de 9,6.

2.3 Medición de cianuro

Se emplea un electrodo ión selectivo tipo 06-37, marca Monokrystal para la determinación de la concentración de cianuro.

2.4 Adaptación del microorganismo en el medio

El microorganismo es inoculado en 100 mL de un medio que contiene 1,2 g/L de caldo nutritivo y 2 mg/L de CN, dejándolo en agitación a 200 rpm durante 24 horas.

Transcurrido el tiempo, se continúa sembrando, repitiendo el procedimiento y aumentando la concentración de cianuro gradualmente hasta llegar a 15 mg/L.

Con base en los mejores resultados obtenidos por Gil *et al* (2005), este procedimiento se repite aumentando gradualmente la concentración de cianuro hasta llegar a 15 mg/L.

2.5 Inmovilización celular por atrapamiento

2.5.1 Matrices de inmovilización

Con base en el tipo de matrices empleadas para la inmovilización celular por atrapamiento reportadas en la literatura, se selecciona agar-agar y alginato de calcio debido a su fácil manipulación y buena disponibilidad en el mercado.

2.5.2 Inóculo

Se toman 100 mL del cultivo y se centrifuga con el fin de concentrar 10 veces esta nueva suspensión (10 mL en total) es adicionada a la solución de agar-agar o alginato, según el caso.

2.5.3 Proceso de preparación de las esferas

2.5.3.1 Esferas de agar-agar

Se prepara una solución de agar-agar marca Merck al 15%, la cual contiene los 10 mL de células en suspensión

que corresponden al inóculo, con una densidad celular de $3,28E6$ UFC/mL.

Esta solución se deja en el baño maría, el cual se encuentra a una temperatura estable de 50°C para evitar la gelificación antes del proceso de formación de las esferas, teniendo en cuenta que la temperatura no debe aumentar pues puede afectar las células.

Se preparan las esferas de diámetro de 3 mm pasando el agar-agar por aceite frío (Ramírez, 2002; Vilain *et al*, 2004).

2.5.3.2 Esferas de alginato de calcio

Se prepara una solución de cloruro de calcio marca Carlo Erba al 20% P/V.

Se prepara la solución de Alginato de sodio grado reactivo marca Sigma al 2% P/V, la cual contiene los 10 mL de células en suspensión que corresponden al inóculo, con una densidad celular de $3,28E6$ UFC/mL.

Se preparan las esferas con un diámetro de 3 mm. Las esferas ya formadas de alginato de calcio que contienen las células atrapadas, deben ser enfriadas a 4°C por 2 horas, para garantizar la formación de esferas completamente insolubles en agua (Akzu *et al*, 1999).

2.5.4 Diseño de experimentos

En esta investigación se realiza un diseño de experimentos factorial, donde se varía el caudal y la matriz de inmovilización utilizada para el atrapamiento de las células, siendo alginato de calcio y agar-agar las matrices y 0.17, 0.23 y 0.29 mL/s los caudales trabajados.

2.5.5 Proceso Biodegradativo

Para el proceso, se preparan 500 mL de un medio de cultivo que contiene 1,2 g/L de caldo nutritivo y 15 mg/L de CN en Buffer carbonato a un pH de 9.6. Se toman muestras de 25 mL cada 12 horas durante 48 horas y se les mide el pH así como la concentración de cianuro por medio del electrodo de ión selectivo.

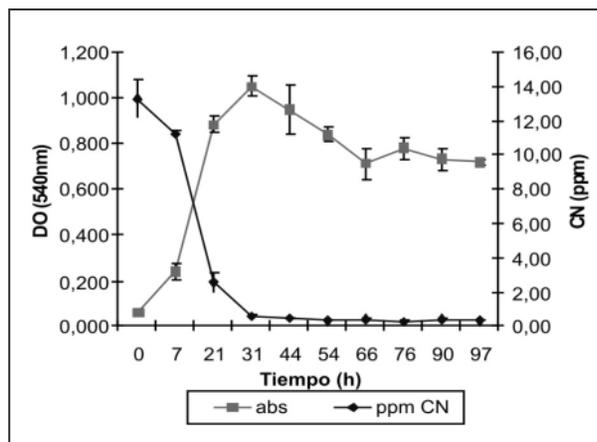
El medio se hace pasar por la columna, la cual contiene las células atrapadas en las esferas, a un caudal constante durante el proceso de acuerdo con los valores establecidos en el diseño de experimentos. Este proceso se realiza por duplicado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cinética de crecimiento celular y degradación de cianuro en cultivo sumergido

En la gráfica 1, se puede observar la cinética de crecimiento celular con la cual se determina el tiempo en que debe realizarse el inóculo, así como el tiempo de duración del proceso biodegradativo con células inmovilizadas.

GRÁFICA 1
Cinética de crecimiento realizada en cultivo sumergido



Con esta cinética de degradación, se determina que el tiempo en que se debe inocular el proceso es de 21 horas, es decir, este es el tiempo de cultivo en el que deben ser inmovilizadas las células, pues como se puede apreciar en la gráfica 1, el microorganismo se encuentra en la fase exponencial, obteniendo una alta concentración celular.

Se determina la duración total del proceso en 48 horas, ya que en este tiempo se ha alcanzado la fase de muerte celular y la concentración de cianuro se acerca al límite

permitido para descarga de aguas establecido por la EPA (ASTDR, 2005).

En la cinética en cultivo sumergido, se alcanza una concentración de cianuro mínima de 0,31 mg/L, un porcentaje de degradación de 97,66% en un tiempo de 97 horas y una velocidad de degradación de 0,6193 mg/L-h. Estos resultados cumplen con la legislación nacional, la cual exige una concentración máxima de 1 mg/L de cianuro en las descargas. Es importante mencionar que esta velocidad de degradación es mayor que la máxima reportada por Gil *et al* (2005), 0,1626 mg/L-h, lo que puede explicarse por el cambio en la composición del medio de cultivo.

3.2 Resultados del proceso biodegradativo

Como se mencionó anteriormente, se utiliza agar-agar y alginato de calcio como matrices de inmovilización, evaluadas bajo tres caudales distintos (0.17, 0.23 y 0.29 mL/s), obteniendo los resultados presentados en las tablas 1 y 2. Se realiza una comparación gráfica de los resultados obtenidos en ambas matrices para cada caudal (gráfica 2), observando que la degradación con agar-agar como matriz es notablemente más efectiva que la realizada con alginato de calcio, además, se observa que en las primeras 24 horas, para agar-agar, se ha alcanzado ya una concentración de cianuro por debajo de 1 mg/L, mientras que en este mismo tiempo, para alginato de calcio, la concentración de cianuro sigue siendo alta. Esto se puede comprobar también mediante las velocidades de degradación calculadas para cada ensayo y presentadas en las tablas 1 y 2.

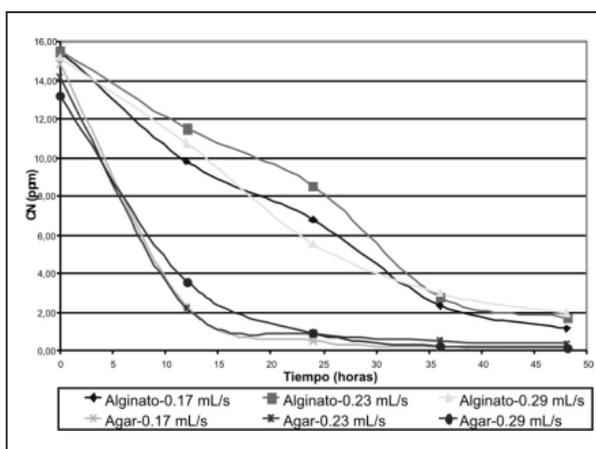
TABLA 1
Resultados obtenidos con Agar-Agar como matriz de inmovilización

Caudal (mL/s)	0,17	0,23	0,29
Concentración inicial de CN (mg/L)	14,84	14,17	13,23
Concentración final de CN (mg/L)	0,13	0,35	0,18
% degradación de CN	99,12	97,53	98,67
Velocidad de Degradación (mg/L-h)	1,04	0,998	0,805

TABLA 2
Resultados obtenidos con Alginato de calcio como matriz de inmovilización

Caudal (mL/s)	0,17	0,23	0,29
Concentración inicial de CN (mg/L)	15,54	15,54	15,19
Concentración final de CN (mg/L)	1,13	1,71	1,96
% degradación de CN	92,72	88,99	87,06
Velocidad de Degradación (mg/L-h)	0,4771	0,3344	0,369

GRÁFICA 2
Comparación de resultados obtenidos en ambas matrices a los diferentes caudales



3.3 Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos, se hace un análisis estadístico empleando el Software SAS, donde se incluye la tabla ANOVA y la prueba para rango múltiple de Duncan.

3.3.1 Análisis de varianza

La tabla ANOVA (tabla 4) permite establecer los factores más significativos del proceso de biodegradación del cianuro. Se establece un intervalo de confianza del 95%, incluyendo como significativos aquellos que tienen un valor P menor de 0.05 y tomando como variable de respuesta el porcentaje de degradación de cianuro.

TABLA 4
Tabla ANOVA

Fuente	Cuadrado de la media	Valor P
Caudal	61.82464	0.0082
Matriz	7782.53503	<0.0001
Tiempo	17607.71335	<0.0001
Caudal*Matriz	45.49474	0.0261
Caudal*Tiempo	32.99583	0.0123
Matriz*Tiempo	1319.00384	<0.0001

Los resultados arrojados por el Software SAS generan un R-cuadrado igual a 99.4903% lo cual indica que el modelo explica en un 99.4903% la variabilidad en el porcentaje de reducción de la concentración de cianuro al cabo de 48 horas y se minimizan las posibles causas de error a un 0.5097% restante.

Según la tabla 4 se observa que tanto los factores caudal, matriz y tiempo como sus interacciones presentan un valor P menor de 0.05, lo que indica que las variables son significativas para el desarrollo de los experimentos. El factor más representativo del proceso es el tiempo con un 83,88% de incidencia sobre el porcentaje de degradación.

3.3.2 Prueba del rango múltiple de Duncan

Se realiza una prueba de medias de Rango Múltiple de Duncan, la cual compara la incidencia de los parámetros en el proceso de degradación, para determinar cuáles de éstos son más relevantes.

Caudal

La comparación de la incidencia de los tres caudales trabajados sobre el proceso biodegradativo arroja los resultados que se encuentran en la tabla 5.

TABLA 5
Prueba de Duncan para el caudal

Agrupamiento Duncan	Media	Caudal
A	64.847	0.17
B	62.272	0.29
B	61.486	0.23

Se sabe que medias con la misma letra no son significativamente diferentes, por lo tanto, de acuerdo a la prueba de Duncan, existe una diferencia significativa en la degradación de cianuro entre el caudal de 0.17 mL/s respecto a los caudales 0.23 mL/s y 0.29 mL/s, pero entre estos últimos no se observan diferencias significativas.

Matriz

La comparación de la incidencia de las dos matrices trabajadas sobre el proceso biodegradativo arroja los resultados que se encuentran en la tabla 6.

TABLA 6
Prueba de Duncan para las matrices

Agrupamiento Duncan	Media	Matriz
A	74.2573	Agar-Agar
B	51.4793	Alginato de calcio

Sabiendo que medias con la misma letra no son significativamente diferentes, se puede observar que las dos matrices tienen diferencias significativas en cuanto a la incidencia de éstas sobre el proceso biodegradativo de cianuro. La matriz de agar-agar obtuvo un mejor resultado comparada con la de alginato, como lo demuestran los resultados experimentales obtenidos.

3.3.3 Condiciones óptimas de operación

En la tabla 8 se muestra las condiciones óptimas de operación con las cuales se obtiene el máximo porcentaje de degradación de cianuro. Estos datos son obtenidos del Software SAS y se observan en las gráficas de los resultados obtenidos.

TABLA 8
Condiciones óptimas de operación

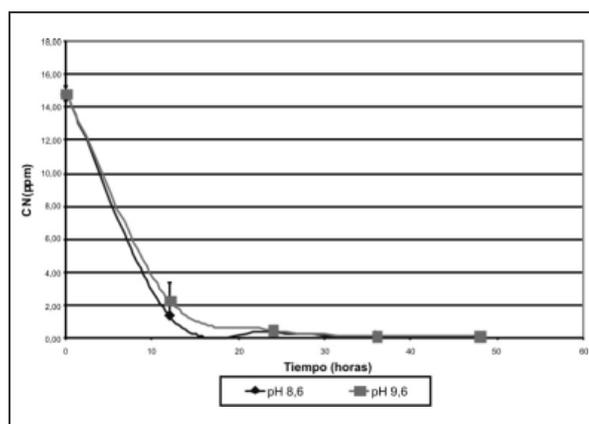
Factor	Óptimo
Matriz	Agar-Agar
Caudal	0.17 mL/s

3.4 Ensayos adicionales

3.4.1 Ensayo con agar-agar a pH 8.6

El alginato de calcio es poco estable en medios alcalinos, observándose una desintegración de las esferas a pH 9.6, por lo cual se decide realizar los ensayos con ésta matriz de inmovilización en un pH inferior al trabajado con agar-agar (8.6). De acuerdo con lo anterior, se repite el ensayo con agar-agar como matriz y caudal 0.17 mL/s, pero esta vez ajustando el pH de la solución a 8.6, para determinar si pueden ser comparables los datos obtenidos en ambas matrices.

GRÁFICA 3
Comparación entre ensayos a pH 8.6 y 9.6 bajo las mismas condiciones de caudal y matriz



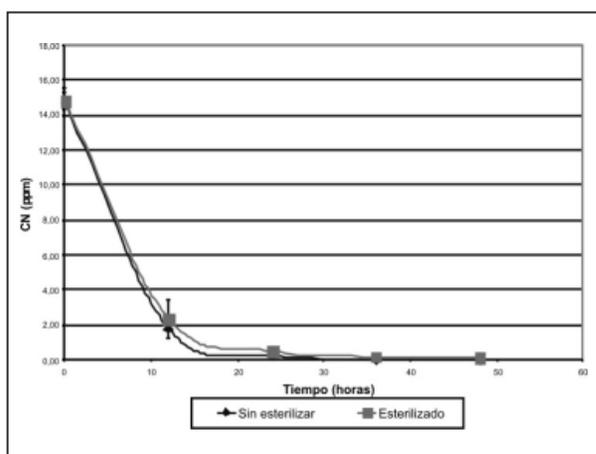
En la gráfica 3, se puede observar que la diferencia en la disminución de cianuro para cada pH trabajado, no es muy significativa, con lo cual se puede decir que los datos obtenidos a pH 9.6 pueden ser comparables con los obtenidos a pH 8.6. El análisis estadístico lo comprueba arrojando un valor P de 0.9249 con un intervalo de confianza del 95%.

3.4.2 Ensayo sin esterilizar

Con el fin de determinar la viabilidad del proceso a escala industrial, donde se puede dificultar el proceso de esterilización, se realiza un ensayo, con las condiciones óptimas de operación, sin esterilizar previamente los materiales a utilizar.

Adicionalmente se realiza una comparación gráfica de los datos obtenidos con un ensayo estéril y otro sin esterilizar, bajo las mismas condiciones de operación (pH 9.6, caudal 0.17 mL/s y agar-agar como matriz de inmovilización). La grafica 4 muestra esta comparación, donde se observa que no hay una diferencia significativa entre el ensayo estéril y el ensayo sin esterilizar.

GRÁFICA 4
Comparación de ensayo estéril y ensayo sin esterilizar bajo las mismas condiciones de operación



4. ESTIMACIÓN ECONÓMICA

Se analizó una posible viabilidad económica del proceso con los datos obtenidos en el laboratorio, los materiales y equipos empleados en el desarrollo del proyecto. Debido a que el proceso de inmovilización para degradación de cianuro montado en el laboratorio no tiene un similar en el mercado, los costos fijos de inversión se basan en los costos de adquisición de materias primas, equipos, mano de obra y servicios consumidos. También es importante aclarar que se tienen datos muy confiables de los equipos y materias primas utilizadas en el proceso, bien sea porque fueron recientemente adquiridos o porque se tienen cotizaciones actualizadas (Turton, 2003).

Los costos que se presentan en la tabla 9 corresponden al montaje con los mejores resultados obtenidos, de acuerdo con el análisis estadístico.

TABLA 9
Costo total del montaje

Descripción	Valor
Costo total equipos	\$19.114.400.00
Costo total reactivos consumidos	\$ 3.069.66
Mano de obra directa	\$ 693.600.00
Costo total consumo energía	\$ 799.80
Costo total	\$19.811.869.00

De acuerdo a la información reportada por Mosher y Figueroa (1996), se puede decir que los costos de reactivos para procesos biológicos como éste, es bajo, ya que los únicos reactivos que se utilizan son los nutrientes necesarios para el mantenimiento del microorganismo.

5. CONCLUSIONES

La diferencia que hay entre la incidencia del caudal más pequeño y los otros dos, se debe al mayor tiempo de residencia que otorga el caudal de 0.17 mL/s, logrando que haya un mayor contacto de la bacteria con el medio, lo cual permite que ésta pueda realizar su proceso metabólico de forma más eficiente.

Mediante el proceso de inmovilización para la degradación de cianuro en solución, con la bacteria *Pseudomonas ssp.* trabajando con la matriz agar y con un caudal de 0.17 mL/s se obtuvo un porcentaje de degradación de 99.12% en 48 horas, con el cual fue posible alcanzar concentraciones de cianuro por debajo de 1 mg/L. Lo cual demuestra que la inmovilización por atrapamiento es un proceso viable para la biodegradación.

Con los experimentos hechos con la matriz de alginato de calcio, no se logró, en las 48 horas de duración del proceso, disminuir la concentración inicial de cianuro a un valor menor de 1 mg/L, con lo cual se demuestra que no es tan buena matriz para este tipo de experimento comparando con los resultados obtenidos con agar.

En el resultado del análisis del diseño de experimentos, se puede evidenciar que el tiempo y el tipo de matriz son las variables más significativas, esto se respalda en los

datos obtenidos en los experimentos, ya que se observa que para la matriz agar-agar en un tiempo aproximado de 15 horas, ya se tenía una concentración de cianuro inferior a 1 mg/L.

Al comparar los resultados obtenidos con las dos matrices de inmovilización, se observó que la matriz agar-agar obtuvo una mayor velocidad de degradación, 1.0445 mg/L-h, comparado con 0.4771 mg/L-h, el más alto observado en la matriz de alginato.

Al observar los resultados de la degradación de cianuro en suspensión hechos por Gil *et al* (2005), se puede determinar que hay concordancia en el resultado final de las dos investigaciones, ya que se logró obtener una concentración final de cianuro inferior a 1 mg/L, apta para ser descargada, ocasionando un efecto muy inferior en el medio ambiente. Pero en la inmovilización se redujo el tiempo de degradación de 72 horas (Gil *et al*, 2005) a 15 horas y se alcanzó una velocidad de degradación 1.0445 mg/L-h frente a 0.1626 mg/L-h obtenida en con las células en suspensión.

Los resultados obtenidos en el experimento de agar-agar con pH 8,6, aunque muestran un grado más bajo de concentración de cianuro, tienen una similitud muy estrecha con los obtenidos a un pH de 9,6, por lo cual se puede concluir que los resultados pueden ser comparables, y que es mucho mayor el efecto de la bacteria sobre la concentración de cianuro que el efecto de volatilización y/o adsorción.

6. REFERENCIAS

- Akcil, A. (2003). Destruction of cyanide in gold mill effluents: biological versus chemical treatments. En: *Biotechnology Advances*, 21: 501-511
- Akzu Z, Egretli G, Kutsal T. (1999). A comparative study for the biosorption characteristics of chromium (VI) on Ca-alginate, agarose and immobilized *C. vulgaris* in a continuous packed bed column. En: *J. Environ. Sci Health*. 34: 295-316
- Arzu, Y. y Zumriye, A. (2000). Biodegradation Kinetics of Ferrous (II) cyanide complex ions by immobilized *Pseudomonas fluorescens* in a packed bed column reactor. En: *Process Biochemistry*. 35: 615- 622
- Arzu, Y. y Zumriye, A. (2002). Effect of internal diffusivity of ferrous (II) cyanide complex ions in Ca-alginate immobilized *Pseudomonas fluorescens* gel beads on the biodegradation rate. En: *Process Biochemistry*. 37: 747-752
- ATSDR. (2005). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Reseña Toxicológica de Cianuro. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública (http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.html)
- Gil E, Camargo P, Ossa C. (2005). Tratamiento de aguas contaminadas con cianuro. Artículo. Universidad EAFIT. Medellín.
- Chapatwala, K., Babu, G., Vijaya, O., Kumar, K. y Wolfram, JH. (1997). Biodegradation of cyanides, cyanates and thiocyanates to ammonia and carbon dioxide by immobilized cells of *Pseudomona putida*. En: *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 20: 28-33.
- Dictor MC, Battaglia-Brunet F, Morin D, Bories A y Clarens M. (1997). Biological treatment of gold ore cyanidation wastewater in fixed bed reactors. En: *Environmental Pollution*. 97 (3): 287-294
- Gutiérrez, F., Mártir, M., Plaza, M. y Garbi, C. (2003). Descontaminación de efluentes Tóxicos por bacterias nativas inmovilizadas: Biofiltración de propacloro. En: *Información Tecnológica*. 14: 29-35
- Jerabkova, H. y Kralova, Y. (1999). Absorción y biodegradación de n-alcanos. En: *Revista de ingeniería Química*. 487-492.
- Kowalska M, Bodzek M y Bohdziewicz J. (1998). Biodegradation of phenols and cyanides using membranes with immobilized microorganisms. En: *Process Biochemistry*. 33(2): 189-197

- Logsdon, M., Hagelstein, K y Mudder, T. (2003). The Management of Cyanide in Gold Extraction. International council on Metals and the environment. <http://www.cyantists.com>.
- Mosher JB y Figueroa L. (1996). Biological oxidation of cyanide: a viable treatment option for the minerals processing industry. En: Minerals Engineering, 9(5):573-581
- Parra, S. (2001). Combinación de procesos fotocatalíticos y biológicos como contribución a la detoxificación del agua. En: Revista VirtualPro. 3: 10.
- Ramírez M. (2002). Biotecnología ambiental. Diplomado en Biotecnología Aplicada. Universidad EAFIT. Medellín. Pp: 33-62
- Shivaraman, N. y Parahad, N. (1991). Biological Treatment of Cyanide Wastewaters. En: National Environmental Engineering Research Institute. 39-45.
- Suh Y, Park J, Yang J. (1994). Biodegradation of cyanide compounds by *Pseudomonas fluorescens* immobilized on zeolite. En: Enzyme and microbial technology. 16 (6): 529-533.
- Turton R, Bailie R, Whiting W, Shaeiwitz J. (2003). Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. Segunda edición. Editorial Prentice Hall. Pp 143-219
- Vilain S, Cosette P, Hubert M, Lange C, Junter G-A, Jouenne T. (2004). Comparative proteomic analysis of planktonic and immobilized *Pseudomonas aeruginosa* cells: a multivariate statistical approach. En: Analytical Biochemistry. 329:120-130

APLICACIÓN DE FIBRAS NATURALES COMO MEDIO FILTRANTE

Diana Carolina Gutiérrez T.
dgutier5@eafit.edu.co

Catalina Orozco S.
corozcos@eafit.edu.co

RESUMEN

En esta investigación, se evaluaron las fibras de bambú como medio filtrante en dos conformaciones, la primera elaborada de los nudos de la planta (lámina), y la segunda de los entrenudos (aglomerado), que para su conformación se utilizó en forma de material compuesto con una matriz de resina impermeable (cristalan 809). Para determinar el tamaño del poro, se realizaron filtraciones con microorganismos o componentes con un diámetro de partícula conocido y con tamaños adecuados para procesos de filtración por membranas. Además, se evaluaron otras características como la resistencia del medio a la filtración, la resistencia del medio a solventes y el número de filtraciones viables, con el fin de determinar las ventajas y desventajas con respecto a filtros comerciales. Las membranas elaboradas a partir del bambú, tuvieron una aplicación en operaciones de filtración con membranas, específicamente el proceso de filtración de finos, con un rango de diámetro de poros comprendido entre 14 y 75 μm .

PALABRAS CLAVES

Bambú, Guadua angustifolia, Filtración por membranas

INTRODUCCIÓN

El transporte de nutrientes en plantas, ocurre a través del tejido vascular que está constituido por el xilema y el floema. En su madurez, algunas células del floema mantienen la integridad de su membrana celular, resultando vasos con una pared celular reforzada, por lo que ocurre el libre movimiento de estructuras tan grandes como orgánulos o patógenos microbianos (León *et al*, 2004). Con el fin de aprovechar este sistema de transporte en la tecnología de filtración con membranas, se ha pensado en una planta como el Bambú, que tiene una característica de distribución uniforme de las fibras para aplicaciones en microfiltración.

Las membranas de MF tienen innumerables usos, como recuperación de biomasa, medición de partículas en agua, clarificación y esterilización de soluciones, entre otros. La caracterización de las membranas se realiza a través del flujo y tamaño del poro, la retención, la permeabilidad, la

resistencia química y a la temperatura, la capacidad de ensuciamiento, fuerzas impulsoras, adsorción, humedad y vida útil. (Perry y Green, 1999). Es por esto que se pretende evaluar la aplicabilidad de fibras naturales de bambú como medio filtrante por medio de parámetros como diámetro de poro, resistencia a la filtración y resistencia a solventes.

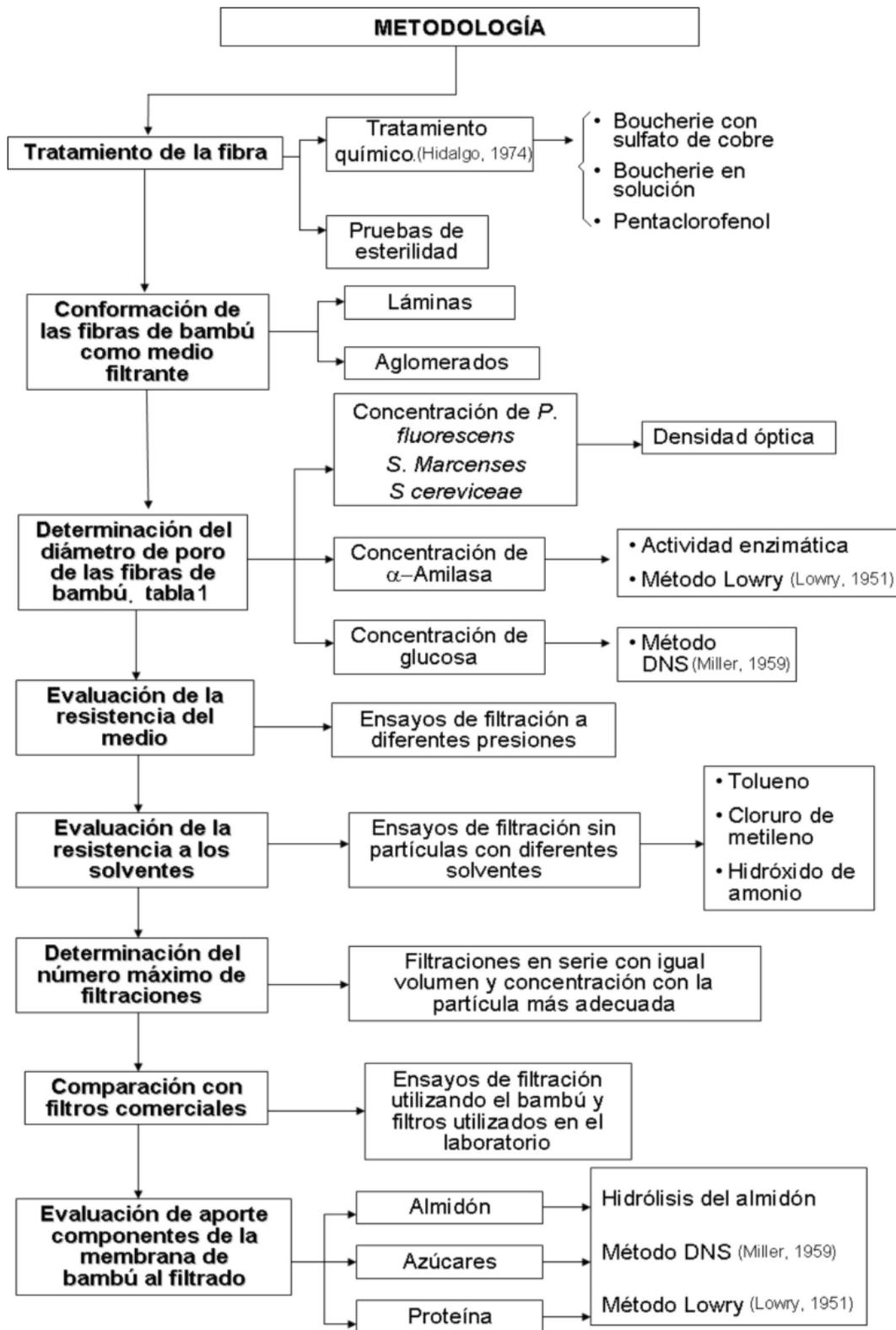
1. METODOLOGÍA

Las láminas de bambú fueron obtenidas mediante el corte transversal de los nudos de la especie *Guadua angustifolia* con un espesor de 2 ± 0.16 mm y con un diámetro de 4.7 ± 0.028 cm y los aglomerados a partir de tablillas de los entrenudos en una matriz impermeable (cristalan 809) con un espesor de 2.63 ± 0.12 mm. y un diámetro de 46.3 ± 0.36 mm. Ambas conformaciones fueron sometidas a lavados con agua destilada para retirarles posibles compuestos solubles. La metodología se presenta en la figura 1.

TABLA 1
Tamaños de partículas y pesos moleculares de las sustancias analizadas para determinar el diámetro de poro

Microorganismo/ Sustancia	Tamaño de partícula/ Peso molecular	Referencia
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0.7-0.8 μ m	(Macfaddin, 1980; Breed, 1997)
<i>Serratia marcescens</i>	0.45 μ m	(Anónimo ¹ , 2005)
<i>Rhodotorula sp.</i>	2.5-6.5 x 6.5-14.0 μ m	(Ellis, 2005
Proteína amilasa	Aprox. 55 kDa	(Sigma, 2004)
Glucosa	180.16 g/mol	(Perry y Green, 1999)

FIGURA 1
Metodología



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Tratamiento de las fibras

Al evaluar los diferentes tratamientos químicos, se encontró que la mayor preservación de la madera con respecto al ataque de microorganismos, fue la solución de pentaclorofenol en petróleo en los tres tiempos de exposición evaluados (1, 3 y 5 horas). Comparando este tratamiento con las maderas sin tratar (control positivo) se encontró que la madera seca es inmune al ataque de hongos, por lo que no se justifica realizar el tratamiento pues va a ser perjudicial para el ambiente y en el proceso de filtración puede presentar arrastre de las sustancias químicas, contaminando la muestra.

Conformación de las fibras de bambú como medio filtrante

Las dos conformaciones obtenidas, fueron láminas del tallo a partir de los nudos y de la sección longitudinal de los entrenudos, descartando las últimas por requerir presiones muy altas de operación. La segunda conformación empleada fue a partir de un material compuesto de una resina poliésterica (Cristalan 809) con tablillas del tallo de bambú. Se descartaron los aglomerados con aserrín por presentar problemas de la solubilidad en el agua y

permeabilidad del aglutinante. De acuerdo al análisis de varianza ANOVA (Tabla 2), las conformaciones de láminas con nudos y aglomerado, no tuvieron una variación muy significativa con respecto al porcentaje de filtración.

TABLA 2
Análisis de varianza ANOVA

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Diámetro	30368.6	5	7673.72	33.91	0.0000
B:Conformación	11.8153	1	11.8153	0.05	0.8212
INTERACTIONS					
AB	1352.72	5	270.543	1.20	0.3409
RESIDUAL	5498.32	24	229.093		
TOTAL (CORRECTED)	46169.4	35			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Determinación del diámetro de poro

Se evaluó el diámetro de poro y se encontró que las fibras del bambú como medio filtrante, muestran una adecuada aplicación para tamaños de partículas superiores a 14 μm e inferiores a 75 μm de acuerdo con lo presentado en la tabla 3

TABLA 3
Porcentaje de clarificación para las diferentes suspensiones

Partícula	Unidades	% filtración láminas	% filtración aglomerados
<i>Serratia marcescens</i>	g/ μl	15.21	21.68
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	g/ μl	0.00	2.51
<i>Saccharomyces cereviceae</i>	g/l	26.30	4.27
-amilasa por medio de proteína total Lowry?	ppm	11.87	44.27
-amilasa por medio de actividad enzimática?	FIP-U/ml	-	-
Glucosa	g/l	0.65	19.20
Aserrín pasante malla 200 (75 μm)	g/l	98.83	99.08

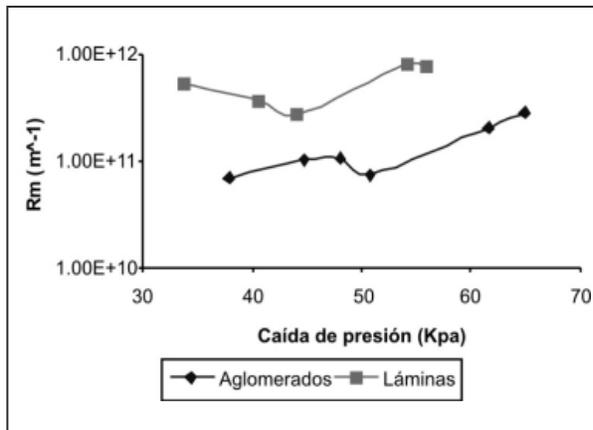
Para caracterizar la membrana con un diámetro de poro, se realizaron filtraciones con aserrín clasificados mediante granulometría, con pasante malla 100 y malla 200, que corresponden a tamaños de partícula entre m e inferiores a 75 μm , respectivamente. En ambos casos hubo una??175 μm – 75 clarificación superior o igual al 98,83%.

Resistencia del medio (Rm)

Según el rango conocido de resistencia a la filtración de medios filtrantes, 1×10^{10} a $1 \times 10^{12} \text{m}^{-1}$ (Tejada *et al*, 1995; García, 1999), y de acuerdo con la figura 2, se puede decir que los resultados obtenidos permanecen aproximadamente constantes para diferentes caídas de presión, y se encuentran dentro de los valores reportados en la literatura, debido a que en los ensayos, la única resistencia involucrada en la filtración era la correspondiente a la aportada por el medio.

Como se observa en la figura 2, hay una mayor resistencia a la filtración de la membrana con conformación en láminas que la de conformación en aglomerado, esto se debe a lo compactas que son las fibras en los nudos del tallo de bambú, mientras que en el aglomerado se presentan unos canales lineales que son ya estructurados para el transporte de fluidos en la planta de bambú. (Hidalgo, 1974; León *et al*, 2004)

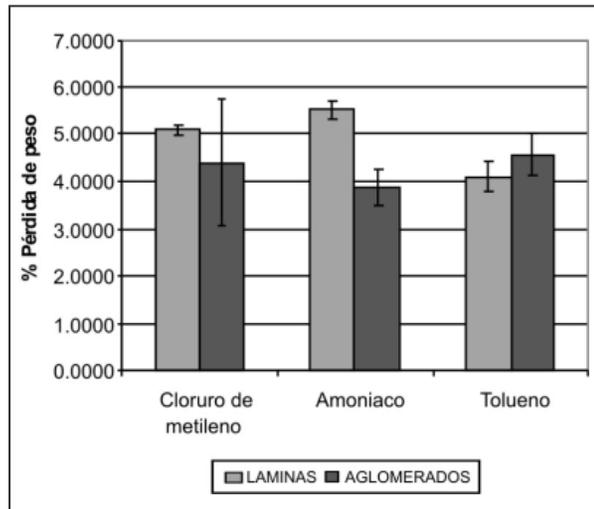
FIGURA 2
Variación de la resistencia del medio con la caída de presión



Una limitante en la producción de los filtros a partir de nudos de bambú es el espesor de las láminas: aunque la resistencia del medio no presentó mayores variaciones con respecto a los reportados por la literatura, las grandes caídas de presión implican un consumo de potencia mayor (García, 1999).

Resistencia a solventes

FIGURA 3
Resultados obtenidos para la resistencia a los solventes

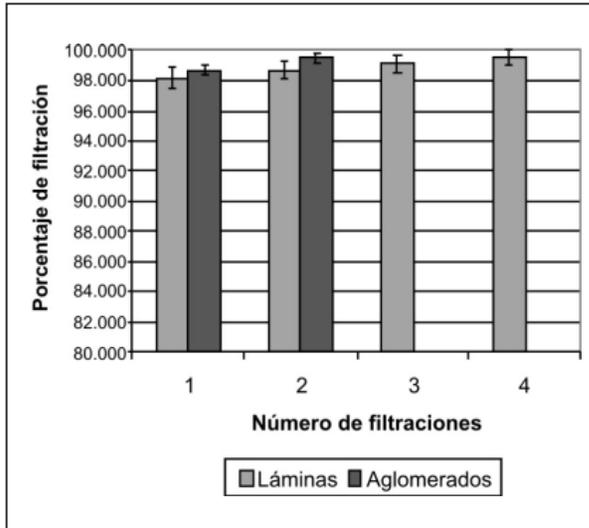


La mayoría de las membranas poliméricas son atacadas por oxidantes; particularmente, estas son susceptibles al cloro mientras que las membranas de celulosa generalmente son menos sensibles (Perry y Green, 1999). A pesar de que esto podría representar una ventaja para los filtros de bambú, al someterlas a solventes como cloruro de metileno, tolueno y amoniaco, se observó una disminución en el peso, y cambió la forma después del secado, lo cual puede ser explicado por la presencia de componentes como la lignina y el almidón (Figura 3). De acuerdo con los resultados obtenidos, se encontró que la pérdida de peso con los tres solventes no fue muy significativa, tal como es el caso del amoniaco con el que se obtuvo una mayor pérdida de peso, que correspondió a un 5.53%.

Evaluación de las filtraciones viables

Al realizar filtraciones consecutivas de una suspensión de aserrín de tamaño de partícula inferior a $75 \mu\text{m}$, con una membrana sin lavarse, se observó un taponamiento de los poros reflejado en un aumento de la resistencia del medio filtrante. Al considerar que el arrastre de almidón influye en un aumento del tamaño del poro, se puede decir que, el efecto del taponamiento es mayor que el de la extracción de componentes de la madera. Ver Figura 4.

FIGURA 4
Número de filtraciones viables en las conformaciones aglomerados y láminas



Aunque el efecto del taponamiento de los poros en las filtraciones consecutivas podría verse como una ventaja en la filtración debido a una mayor retención de partículas, hay una respuesta significativa en la resistencia del medio, lo que implica mayores consumos de la potencia en la bomba de vacío. Para corroborar que el incremento en la resistencia del medio es causado por el taponamiento de los poros y determinar si el filtro puede ser reutilizado, se realizó una filtración con flujo inverso con el fin de limpiar la membrana y evaluar nuevamente la resistencia del medio. Los valores de las resistencias del medio evaluadas en los filtros nuevos, taponados y lavados se presentan en la tabla 4.

TABLA 4
Comparación de las resistencias del medio en los filtros nuevos, taponados y lavados para la conformación de láminas

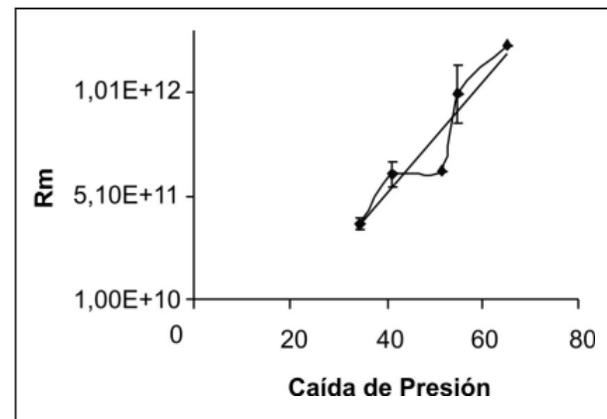
Resistencia del medio nuevo (m^{-1})	Resistencia del medio taponado (m^{-1})	Resistencia del medio lavado (m^{-1})
5,541E+11	8,672E+12	1,301E+12

Aunque los aglomerados presentaron el mismo comportamiento de taponamiento de los poros después de realizar filtraciones consecutivas, para esta conformación, se presentan dos filtraciones viables debido a que hay un deterioro de la unión entre la resina y la madera del bambú al ponerlo en contacto con la humedad, por lo que estos filtros son difícilmente reutilizables.

Comparación con filtros comerciales

Al realizar filtraciones con un filtro comercial de tamaño de poro perteneciente al rango de filtración de las membranas de bambú, se obtuvieron menores porcentajes de filtración (96.5%) y además se observó que la resistencia del mismo medio varía con la presión debido al desgaste (ver Figura 5), y aunque en las láminas y aglomerados se evidenció el mismo efecto, éste fue de menor impacto.

FIGURA 5
Resistencia del medio de los filtros comerciales



Evaluación de aporte de componentes al filtrado

Se determinó el aporte de componentes como almidón, azúcares reductores, proteínas y compuestos coloreados en el filtrado, y se encontraron los siguientes componentes reportados en la Tabla 5.

TABLA 5
Cuantificación de proteína total, azúcares reductores y almidón de la filtración con agua

Componente	Uds	Concentración	
		Filtración láminas	Filtración aglomerados
Proteína Total	ppm	10.733	233320.233
Azúcares reductores	g/l	0.000	0.036
Almidón (azúcar)	g/l	0.081	-

3. CONCLUSIONES

Para el rango de tamaños en el cual se encuentra el diámetro del poro de las láminas y aglomerados de bambú, 14-75 μm , estas se pueden clasificar dentro de la tecnología de membranas como medio filtrante para la filtración de finos, y se descarta su uso en MF, UF y NF.

Cuando mueren las células vegetales y a pesar de que los canales del xilema y el floema se conservan, el tamaño aumenta de tal manera que lo hace inapropiado para aplicaciones en MF, UF y NF, en especial en la sección de los nudos, donde hay ausencia de estos.

La Rm de las fibras de bambú presentó valores comprendidos en el rango de filtros comerciales; sin embargo, las láminas ofrecieron mayores caídas de presión por tener espesores superiores, lo que equivale a un mayor consumo de energía, es decir, mayores costos de operación que pueden no verse compensados con el bajo costo del material natural, por el contrario, los filtros elaborados de un material compuesto que tuvieron valores muy similares o ligeramente inferiores a la de los filtros comerciales. En cuanto a la resistencia a solventes, la pérdida de peso no es significativa y el cambio en la forma se da después del secado, lo que podría permitir su uso en una sola filtración sin reutilizarse.

Unas de las desventajas que muestran los filtros elaborados a partir del bambú, son el aporte de sustancias al filtrado, poca uniformidad de los poros y en el caso del material compuesto la corta vida útil y los daños causados por la temperatura, pero tiene otras ventajas como lo son los costos de elaboración, materias primas, y que pueden reutilizarse.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación en Procesos Ambientales y Biotecnológicos – GIPAB del Departamento de Ingeniería de Procesos y a los Laboratorios de Prototipos I y II, Modelos Materiales y de Biotecnología de la Universidad EAFIT, por facilitar los recursos y prestar las instalaciones para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- ANÓNIMO. 2005. Catálogo de productos Material y Química S.A. <http://maquimsa.com/html/tecnica/filtracion.html> (Consultado: noviembre 13 de 2005)
- BREED R. 1997. *Bergey's manual of determinative bacteriology*. 7th. ed. London: Williams and Wilkins Co. Baltimore.
- Catálogo Sigma. 2004-2005. Biochemicals y Reagents for Life Science Reserch.
- ELLIS, David. 2005. *Mycology on line*. The University of Adelaida. School of Molecular & Biomedical Science. Australia.
- GARCÍA VALDES, Jesús. 1999. La filtracion en la industria farmaceutica. SINTEFARMA Revista electrónica. 5(1). http://www.bvs.sld.cu/revistas/sint/vol5_1_99/sint6199.htm (Consultado: Julio 10 de 2006)

**EVALUACIÓN
PRELIMINAR DE
LA IMPLEMENTACIÓN
DE UNA PLANTA
PILOTO DE
DERIVADOS LÁCTEOS
PARA
LOS PRODUCTORES
LECHEROS DE
LA ZONA NORTE DEL
DEPARTAMENTO
DE ANTIOQUIA –
SAN PEDRO DE
LOS MILAGROS**

Luisa Fernanda Posso M.
lpossome@hotmail.com

Natalia Osorio M.
nosorio1@eafit.edu.co

RESUMEN

En 1999 el Ministerio de Agricultura se definió la resolución 00321, con esta ley la industria le pagaba al productor según la estación del año porque en algunos periodos la producción de leche es poca, y en estos periodos se le garantizaba al productor un buen precio para que no perdieran dinero. A mediados del 2005 se libero esta ley y ahora el precio se fija según la oferta y la demanda. Esto trajo como consecuencia una reducción de precio en el litro de leche y el negocio de la ganadería dejo de ser rentable.

En este trabajo se realizó el desarrollo de una planta procesadora, que busca dar solución a este problema, comenzando por la unión de un grupo significativo de ganaderos productores de leche del municipio de San Pedro de los Milagros, y continuando con la elaboración del diseño conceptual de un sistema semi batch de producción de quesos de pasta hilada, arequipe y queso ricotta a escala piloto.

En Colombia solo el 5 % de las industrias lácteas son competitivas pues tienen tecnología el resto son empresas artesanales con productos de mala calidad los cuales no se pueden exportar.

Analizando la oferta y la demanda del país y del departamento se concluye que el queso es el mejor producto para producir y comercializar.

El diseño realizado se obtuvo para procesar 6.000 lt de leche al día, con un flujo másico de 2000 Kg./lt.

El costo de capital estimado para el diseño fue US\$ 36.572, resultando en un VPN (Valor Presente Neto) positivo y una TIR (Tasa Interna de Rentabilidad) que supera las expectativas de inversión ya que es superior a la TMR (Tasa Mínima de Retorno) esperado.

PALABRAS CLAVES

Leche, queso de pasta hilada, arequipe, queso ricotta, diseño conceptual.

ABSTRACT

In 1999 the Ministry of Agriculture defined the 00321 resolution, with this law the industry paid to the milk producer according to the station of the year; in some periods the volume of milk is not good because the weather, and in these periods a good price was guaranteed to the producer so they did not lose money. In the middle of the 2005 this law was changed for another system and now the price is defined according to the supply and the demand of the region. This brought as consequence a reduction of the price of milk and the cattle business is not profitable in this moment.

In this project, a plant processor to give a solution for this problem was developed. First we needed a group of milk producers in San Pedro de los Milagros to obtain the raw material; and then we made the conceptual design of a semi batch system which produces paste filata cheeses, arequipe and Ricotta cheese on Pilot scale.

In Colombia the 5% of the milky industries are competitive because of the technology they use; the rest of them are rural companies whose products have a low quality and cannot be exported.

This project analyses the supply and demand in Antioquia and Colombia, finding that cheese is the best option for the milk producers to start a new project.

The design was made to process 6,000 lt of milk in one day, and the mass flow was 2000 kg/lt.

The capital cost was US\$ 36,572, The VPN (Present Net Value) is positive and the TIR (Internal Rate of Yield) is grater than the TMR (Rate Minimum of Return).

1. INTRODUCCIÓN

La industria láctea y el eslabón primario de la cadena se enfrentan a dos problemas que están muy relacionados entre sí. El primero, tiene que ver con la formación de políticas de precios de absorción de la leche por parte de las industrias. El segundo, se relaciona con la calidad que llega del líquido a las plantas de procesamiento.

La leche es perecedera en condiciones naturales y prácticamente todos los días se ordeñan las vacas y la mayoría de ganaderos no cuentan con instalaciones apropiadas para la conservación del producto. De esta manera, se tienen que condicionar a los precios que establece la industria.

El Ministerio de Agricultura definió en 1999 una ley que fijaba el precio de la leche que le paga el industrial al productor dependiendo de las épocas del año donde se producía menos leche asegurándole al ganadero rentabilidad en el negocio. A mediados del 2005 esta ley se liberó y ahora el precio se fija según la oferta y la demanda de la región; como consecuencia este bajo considerablemente.

Otro problema tiene que ver con la asimetría en la información que poseen tanto productores como industriales cuando realizan la transacción física de la leche. La industria láctea desconoce la calidad con la que compra la leche, puesto que está puede estar adulterada, y al mismo tiempo, el productor no cuenta con instrumentos alternos que evalúen la calidad de su producto, restringiéndose solo a las pruebas que efectúa las empresas, entonces el ganadero se tiene que acoplar a los pagos que éstas decidan y al criterio de las empresas que definen la calidad.

El precio de la leche es un problema que por ahora tiene una solución lejana. Es por eso que los ganaderos deben tener otra alternativa de negocio comercializando y transformando sus propios insumos para no poner en riesgo sus fincas

Es necesario entonces, que los pequeños productores de leche tengan mayor acceso al conocimiento del cambio tecnológico sobre la productividad y rentabilidad, a la educación y capacitación, para así motivarse a la participación y a la competencia dentro del sector lechero.

Es también primordial que este importante grupo de la cadena láctea encamine sus esfuerzos a la producción de sus propios derivados lácteos como una fuente de ingresos que represente mayor rentabilidad debido a la transformación de la leche cruda a productos con alto valor agregado y que en la región no han sido suficientemente comercializados, buscando desplazar algunos mercados actuales.

2. GENERALIDADES DE LA CADENA

Básicamente el sector lácteo se compone de productores de leche, ganaderos, distribuidores, asociaciones acopiadores, cooperativas, empresas industriales, distribuidores, detallistas y consumidores institucionales y finales.

La industria de lácteos tiene un 5% de empresas competitivas y tecnificadas como Alpina, Nestle y Colanta que tienen un 90% de los activos. El otro 95% son empresas artesanales con pocos activos, tecnologías arcaicas e incapacitadas para exportar.

La industria participa con el 1% en PIB y genera mucho empleo.

3. ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA DEL SECTOR LÁCTEO

La leche en polvo es el producto líder en exportaciones en Colombia pero requiere de plantas con muy grandes capacidades para vender mucho volumen y obtener rentabilidad. El queso es el segundo en importancia pues tiene una tasa de crecimiento muy alto en exportaciones. El queso también tiene el más alto valor de crecimiento en producción y consumo de Antioquia y Colombia.

El TLC favoreció mucho a esta industria pues Estados Unidos no satisface su demanda. Se calcula que cuando

entre en vigencia este tratado se exportaran 4900 toneladas más de queso.

Para quesos hilados la competencia se encuentra más que todo en Bogotá pero en Antioquia hay poca oferta para este tipo de productos pues culturalmente se adiciona más el quesito en la canasta familiar sin embargo es un producto que a la gente le gusta mucho.

TABLA 1
Composición química de la leche

Densidad	1.028 a 1.034 g/cm ³
pH de la leche	6.5 y 6.65.
Acidez de la leche	Acidez de 0.15 a 0.16%.
Viscosidad	Leche entera 1.7 a 2.2 cp. Leche descremada 1.2 cp.
Punto de congelación	El valor promedio es de -0.54°C
Punto de ebullición	La temperatura de ebullición es 100.17°C.
Calor específico	La leche completa: 0.93 - 0.94 cal/g°C

4. LECHE

4.1 Descripción general de los productos a elaborar

4.1.1 Queso de pasta hilada, queso pera

Los quesos son una forma de conservación de los dos componentes insolubles de la leche: la caseína y la materia grasa; se obtienen por la coagulación de la leche seguida por el desuerado, en el curso del cual el lactosuero se separa de la cuajada. [2].

TABLA 2
Propiedades físico químicas de la leche

Tipo de Maduración y Pasta	Humedad Máxima (%)	Consistencia	Materia Grasa en Mat. Seca Mín. (%)	Contenido Graso
Pasta hilada	49	Semiblando	45	Alto

4.1.2 El arequipe

Es conocido como dulce de leche. Es el producto obtenido por evaporación parcial de una mezcla de leche y azúcares a presión atmosférica en un tanque enchaquetado.

4.1.3 El queso Ricotta

Es un queso untable cremoso. Se puede hacer a partir del lactosuero que es subproducto del proceso de quesería, para aprovechar las proteínas y la grasa que sobra de éste.

La coagulación del suero para la elaboración de Ricotta es ácida y se realiza en una tina o tanque con calentamiento. [23]

5. METODOLOGÍA

Después de la recopilación de información bibliográfica y consultas con expertos en el sector lácteo se procede a la elaboración del diseño conceptual de la planta piloto para la elaboración de los productos ya mencionados.

En la elaboración del diseño conceptual se busca especificar las características y los principios físicos y químicos de los procesos. Esto incluye:

- Determinar los procesos batch y continuos.
- BFD, Diagrama de Bloques del Proceso que identifique la estructura de entradas y salidas de este y el balance de masa.
- Análisis comparativo de procesos, de operaciones unitarias y de equipos y selección de las mejores alternativas.
- El Flowsheet, o secuencia de las operaciones (Incluye los lazos básicos de Control).
- Tabla Resumen de los Equipos.
- Descripción del Proceso.
- Hacer el estimado de costos para calcular el VPN. Los costos se desarrollaron de acuerdo con la metodología

de Richard Turton en el libro Analysis, Synthesis and design of Chemical Processes.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Diagrama de bloques del proceso y descripción

Cuando la leche, después del ordeño, se recibe en la planta procesadora, debe ser inspeccionada para determinar su calidad microbiológica y así poder ser aceptada. Luego la leche debe ser filtrada para eliminar elementos extraños que provengan del animal o del ambiente.

Toda la leche obtenida se recoge en un tanque de almacenamiento en el que el producto se mantiene a temperaturas de refrigeración.

Antes de su procesado la leche siempre se somete a unos tratamientos generales. Después del almacenamiento la leche es clarificada por fuerza centrífuga, para eliminar sustancias de menor tamaño como células somáticas, leucocitos y microorganismos.

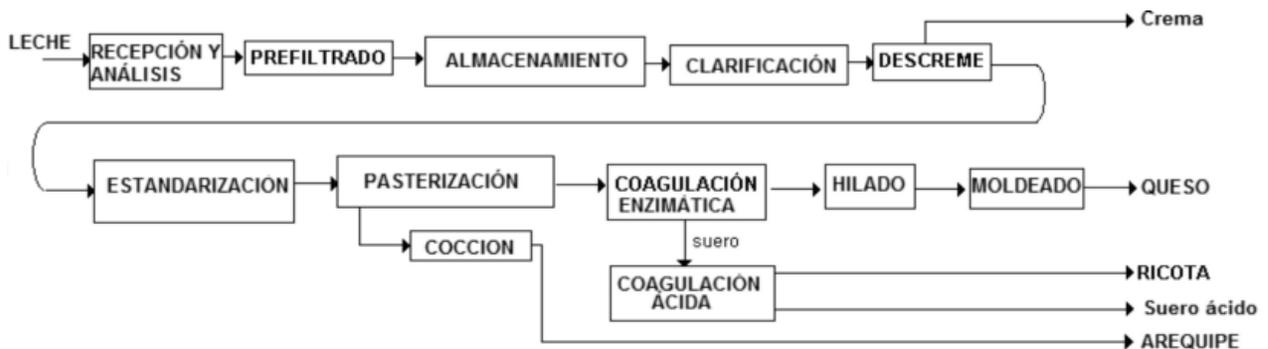
Debido a que la leche tiene unos contenidos de grasa variables, se la somete a una estandarización o normalización. Esta operación permite ajustar su contenido en grasas a unos valores concretos y, con ello, la obtención de leches de consumo y otros derivados lácteos con proporciones muy determinadas de grasa en función.

La leche debe ser posteriormente pasterizada para eliminar microorganismos patógenos que pueden afectar la salud del consumidor final. La leche se somete a un tratamiento térmico durante un tiempo y una temperatura suficientes (72°C por 15 segundos).

En este punto la leche se encuentra lista para ser procesada y elaborar diferentes productos.

El siguiente diagrama de bloques resume los procesos productivos para los productos seleccionados.

DIAGRAMA 1
Diagrama de bloques del proceso en general



6.2 Selección de las alternativas de equipos y procesos adecuados

El diseño realizado se obtuvo para procesar 6.000 lt de leche al día,

Después de realizado los análisis comparativos de los procesos y operaciones adecuados, las opciones seleccionadas fueron las siguientes:

Proceso, Operación o Equipo requerido en la Operación en la Planta	Selección Realizada
PRETRATAMIENTO DE LA LECHE CRUDA	
Proceso general de producción	Semicontinuo
Filtrado	Malla de 0.5 mm. de apertura
Almacenamiento de la leche cruda: proceso	Discontinuo
Almacenamiento de la leche cruda: equipo	Tanque enchaquetado con refrigeración
Impulsión de leche cruda	Bomba centrífuga
Clarificación	Clarificadora
Pre calentamiento para el descremado	la leche proveniente del almacenamiento es calentada en un intercambiador de calor
Separación de la crema: operación unitaria	Descremado centrífugo

Proceso, Operación o Equipo requerido en la Operación en la Planta	Selección Realizada
Separación de la crema: equipo	Descremadora clarificadora semihermética
Normalización de la grasa: proceso	Adición de crema a la leche descremada.
Normalización de la grasa: equipo	Mando mecánico
Pasterización: proceso	Pasterización continua intermedia
Pasterización: equipo	Intercambiador de calor de placas
Optimización de energía	Intercambiador de placas que precalienta la leche que está a 4 °C, proveniente de los tanques de almacenamiento, hasta 12 °C.
Retención de leche pasterizada: equipo	Tanque de retención aislado
PRODUCCIÓN DE QUESO PERA	
Calentamiento de la leche a coagular: equipo	Intercambiador de calor
Tipo de coagulación: proceso	Enzimática
Coagulación: equipo	Tanque aislado cerrado con agitación y liras de corte con desplazamiento mecánico

Proceso, Operación o Equipo requerido en la Operación en la Planta	Selección Realizada
Hilado: proceso	Mecánico
Hilado: equipo	Hiladora
PRODUCCIÓN DE QUESO RICOTTA	
Retención de suero dulce: equipo	Tanque
Impulsión de suero dulce: equipo	Bomba centrífuga
Coagulación: equipo	Tina de coagulación con agitador
PRODUCCIÓN DE AREQUIPE	
Mezcla de leche y aditivos	Marmita enchaquetada a presión atmosférica, con agitador

6.4 Tabla resumen de equipos requeridos

Equipo	Referencia
Tanques de almacenamiento de la leche cruda	TK – 101 y TK - 102
Bomba centrífuga	P – 101 A/B
Intercambiadores de placas	E – 101, E – 102, E – 103 y E – 104
Centrífuga	CF – 101
Tanque de retención de leche pasteurizada	V – 101
Tinas de coagulación	R – 101, R – 102, R – 103, R – 104, R – 105 y R - 106
Hiladora	H – 101
Tanque de retención de suero dulce	TK – 103
Bomba centrífuga	P – 102 A/B
Marmita	M - 101

6.3 Diagrama de flujo

Reconociendo los equipos necesarios y el flujo de producción adecuados se procede a la elaboración del diagrama de flujo. (Ver anexo)

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

- Costos de inversión de capital, FCI
FCI: U\$ 36.572
- Costos de manos de obra, COL
COL = U\$ 3.135
- Costos de servicios, CUT
CUT = U\$ 1.598
- Costo de materia prima
CRM= U\$ 4.092
- Costos de tratamiento de aguas residuales
CWT= U\$ 69.2
- Costos de Manufactura, COM
 $COM = 0.180 * FCI + 2.73 * COL + 1.23 * (CUT + CWT + CRM)$
COM = U\$ 22.215

TIR	45.53%
VNA	286,921,966
VPN	140,263,841.8

Teniendo un Valor Presente Neto (VPN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) mayor que la Tasa Mínima de Rentabilidad (TMR) la cual actualmente se asume del 25%, significa que desde el punto de vista financiero el proyecto es rentable.

8. CONCLUSIONES

- La industria colombiana de lácteos y derivados es un sector bastante competitivo a pesar de las asimetrías.
- La industria láctea tiene un rol destacable en la actividad económica nacional participando dinámicamente dentro de la producción industrial, en la generación de valor agregado, de empleos y en el incremento del número de establecimientos.
- Es necesario que el eslabón primario de la cadena láctea participe activamente en el desarrollo de procesos industriales.

- El análisis de mercado muestra claramente que el queso es uno de los productos más demandado según los datos estadísticos de producción y consumo.
- La oferta de quesos es muy alta en el país, sin embargo para los quesos hilados esta no alcanza a satisfacer toda la demanda en Antioquia.
- De la fabricación del Queso Pera se obtienen subproductos que de igual forma son considerados materia prima para otros sectores como es el caso del suero para elaborar queso ricotta y la nata.
- La elección de elaborar arequipe se debe principalmente a que este derivado, clasificado como dulce de leche, tiene un alto rendimiento (38%).
- Se selecciono tecnología adecuada para la elaboración de procesos eficientes y productos competitivos, evitando la técnica artesanal la cual implica la manipulación manual que genera fuentes de contaminación en los productos.
- De acuerdo al diseño conceptual se encontró un arreglo óptimo de intercambiadores para la pasterización y preparación del descreme.
- En el análisis de alternativas se hicieron selecciones considerando que la planta es piloto y a las condiciones del proceso y capacidad de producción. Teniendo como prioridad una buena selección de tecnología.
- De acuerdo a la información recopilada para el presente estudio, se concluye que el proyecto es económica y financieramente viable pues la Tasa Interna de retorno es del 45.53%, superior a la Tasa Mínima de Rentabilidad (25%).
- El desarrollo de este proyecto es una opción favorable como fuente de ingresos para los ganaderos de la zona norte de Antioquia.
- Se debe tener en cuenta que en este trabajo no se consideraron las pruebas de laboratorio que deben realizar a la leches y a los derivados producidos

pues este servicio lo prestan laboratorios de estudio microbiológico.

9. BIBLIOGRAFÍA

- 1 ACUERDO DE COMPETITIVIDAD DE LA CADENA LACTEA COLOMBIANA. Colección de documentos IICA, serie de competitividad # 12. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Bogotá: 1999
- 2 ALMANZA Fabrizio. Tecnología de leches y derivados. Bogotá: Unisur, 1991. pp 3 – 35.
- 3 AMIOT J. Ciencia y tecnología de la leche. España: Editorial Acribia, 1991.
- 4 BANCO GANDERO. Guía para producir quesos colombianos. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos ICTA, 1994.
- 5 BERRIO Alba Marina y Rodríguez, H. Tecnología de leche y sus derivados. Quindío: Universidad del Quindío, 1990.
- 6 CHENXU Yu y Sunsaram G. a system analysis of pasta filata process during Mozzarella cheese making. Journal of food engineering. Volumen 69, 2005. University of Wisconsin.
- 7 EARLY Ralph. Tecnología de los productos lácteos. España: Editorial Acribia, 2000.
- 8 EL SECTOR DE QUESO EN COLOMBIA. 2004. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España. Bogotá.
- 9 ESPINAL Carlos, Martínez H. y Gonzáles F. La cadena de lácteos en Colombia: una mirada global de su estructura y dinámica 1991 – 2005. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural - Observatorio Agro cadenas, 2005.
- 10 ESPINAL Carlos, Martínez H. y Gonzáles F. La agroindustria de lácteos y derivados en Colombia.

Documento de trabajo número 81. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural - Observatorio Agrocadenas, 2005.

- 11 FORO REGIONAL LÁCTEO. Medellín. 2006.
- 12 LONDOÑO María del Pilar, García A. y Palacio O. Algunas características de las empresas procesadoras de quesos del departamento de Antioquia. Primer encuentro de procesadores de quesos del departamento de Antioquia". Medellín: Consejo Regional Lácteo de Antioquia, 2002.
- 13 MADRID Antonio. Curso de Industrias Lácteas. España: Editorial Mundi Prensa, 1996.
- 14 MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR. Perfil cadena láctea y sus derivados. Bogotá: MINCOMEX, 2002.

ELABORACIÓN DE UN MATERIAL A PARTIR DE UN RESIDUO SÓLIDO NO RECICLABLE DE UNA EMPRESA DE ARTES GRÁFICAS

Natalia Andrea Alzate Peña
nalzatep@eafit.edu.co

Mónica Andrea Borda Tovar
mbordato@eafit.edu.co

RESUMEN

En este proyecto se utiliza el residuo sólido de una empresa de artes gráficas, conocido como "descolille" que consta básicamente de papel autoadhesivo. Este residuo, actualmente se envía al relleno sanitario y no tiene método de reciclaje conocido. Mediante la remoción del adhesivo que el residuo contiene, se desea obtener pulpa de papel, y con ésta, elaborar hojas de papel reciclado por el método artesanal.

Se realizó un diseño de experimentos, en el cual se varió la concentración de aditivo, la relación papel/aditivo, el tiempo de remojo y la agitación. Con las condiciones adecuadas de operación, determinadas por este diseño, se obtuvo la pulpa libre de adhesivo, y con ésta se elaboraron las hojas de papel, que posteriormente se analizaron para determinar sus propiedades y dependiendo de éstas, su posible uso comercial.

ABSTRACT

In this project, the solid waste of a graphic arts company is used, this waste is known as "descolille" and consists basically of self-adhesive paper. Currently, it is sent to the sanitary filler because it has no recycling method yet. By means of removing the adhesive that this residual contains, it is wanted to obtain paper pulp, and with this, elaborate recycled paper sheets.

After preliminary tests, there were done design experiments in which the additive concentration, the paper/additive relation, the time of soaking and the agitation were varied in order to determine the appropriate operation conditions. With these conditions, the pulp, free of adhesive was obtained, and then the paper sheets were elaborated. Later on, those sheets were analyzed to determine its properties and depending on these, their possible commercial use.

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sistemas de reciclado de papel usan agua como medio para transformar el papel recuperado en pulpa, que será transformada nuevamente en papel. Los PSA (adhesivos sensitivos a presión) o autoadhesivos son adhesivos que no se disuelven en agua, sino que se forman en pequeñas partículas, complicando el proceso de repulpeo. Estas partículas, conocidas como “stickies” se deforman bajo presión y temperatura, haciendo que sea difícil sacarlos de la pulpa por medio de tamices o filtros. Estos “stickies” pueden alojarse en los equipos o en el papel, causando serios daños en ambos. (CIWMB, 2005)

Actualmente, las empresas de artes gráficas, en especial las que producen etiquetas autoadhesivas (flexografía), están en una constante lucha con uno de sus desperdicios, “el descolille”, ya que son pocas las posibilidades de minimizarlo y menos las de reciclarlo. Es por esto que el estudio de este residuo se ha hecho muy importante en los últimos años, y hay varias empresas que están realizando investigaciones para encontrar una forma de reciclarlo que les sea útil y/o les represente ingresos. Mientras se encuentra una solución, este residuo se prensa y se lleva al relleno sanitario.

Atendiendo la necesidad de la industria gráfica de utilizar su residuo, y aprovechando la importancia del papel y del papel reciclado, se decidió realizar este proyecto de investigación con el fin de encontrar una manera de remover el adhesivo del papel de modo que pueda usarse la pulpa para elaborar papel reciclado artesanal y/o como materia prima en la industria de papel reciclado.

Composición del “descolille”

El material sobre el que se imprimen las etiquetas está compuesto básicamente por 4 capas, expuestas en su orden:

- Cara de impresión o Face Stock
- Adhesivo
- Silicona
- Papel de respaldo

El “descolille” está compuesto únicamente por las dos capas superiores de la etiqueta: el adhesivo y el “Face Stock”. Las diferentes combinaciones de materiales de ambos componentes dan origen a las diferentes referencias manejadas.

Los tipos de material utilizados son:

Papeles:

- Transferencia Térmica
- Térmico con recubrimiento
- Térmico sin recubrimiento
- Papel Bond
- Esmaltados semibrillantes.

2. METODOLOGÍA

Se realizaron ensayos preliminares con diferentes solventes y medios ácido y básico. Después de encontrar el aditivo que remueve el adhesivo, se realizó un diseño de experimentos inicial utilizando el software MiniTab®, para encontrar las condiciones de operación. Finalmente se fabricaron manualmente las hojas de papel y se analizaron sus propiedades técnicamente.

Los equipos utilizados en la realización de los ensayos preliminares, el diseño de experimentos y la fabricación del papel fueron:

- Agitador mecánico
- Filtros
- Licuadora
- Horno
- Balanza analítica
- Desecador
- Mufla
- Cápsulas de porcelana y aluminio
- Frascos de vidrio
- Recipiente de 30 litros
- Bastidor / Malla

Las materias primas usadas en los ensayos fueron:

- Solventes : tolueno, gasolina, xilol, etanol
- Ácido clorhídrico (HCl)
- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Papel autoadhesivo (Propalcote adhesivo permanente) impreso
- Papel autoadhesivo (Transferencia térmica adhesivo permanente) sin imprimir.
- Aditivo preparado en QUÍMICA AMTEX S.A
- Solventes

DISEÑO 1

Las variables de este diseño fueron:

Concentración: 2.1%, 3.0%, 4.2% (Porcentaje por peso de aditivo en agua)

Tiempo de remojo: 6h, 12h, 24h

Tiempo de licuado/pulpeo: 5min, 10min, 15min.

DISEÑO 2

En este diseño se utilizó papel transferencia térmica con adhesivo permanente, sin impresión.

Las variables de este segundo diseño fueron entonces:

Concentración de 3.0% por 3.5%.

Volumen de aditivo: 250ml, 400ml

Agitación: Si / No

El experimento se realizó agitando por 12 horas y sin agitar por 12 horas, para determinar qué tan significativa era la agitación sobre el remojo.

DISEÑO 3

En este diseño se utilizó papel transferencia térmica con adhesivo permanente, sin impresión.

Las variables de este diseño fueron:

Volumen de aditivo: 300ml, 400ml

Agitación: Si / No

Tiempo de remojo: 6h, 12h

En este tercer diseño, con las mismas variables de entrada, además de medir el %Peso de pulpa, se incluyó otra variable de respuesta. Esta variable es la cantidad de adhesivo que queda en el aditivo.

Para este diseño se tenía fijo:

- Tiempo de licuado: 4 minutos
- Concentración: 4.2 %

Se fabricaron hojas de diferentes calibres con el fin de observar su aspecto y definir su posible uso.

- 50 gr de pulpa en 15 litros de agua: se realizaron 10 hojas.
- 75 gr de pulpa en 15 litros de agua: se realizaron 10 hojas.
- 100 gr de pulpa en 15 litros de agua: se realizaron 10 hojas.
- 150 gr de pulpa en 15 litros de agua: se realizaron 10 hojas.
- 200 gr de pulpa en 15 litros de agua: se realizaron 10 hojas.

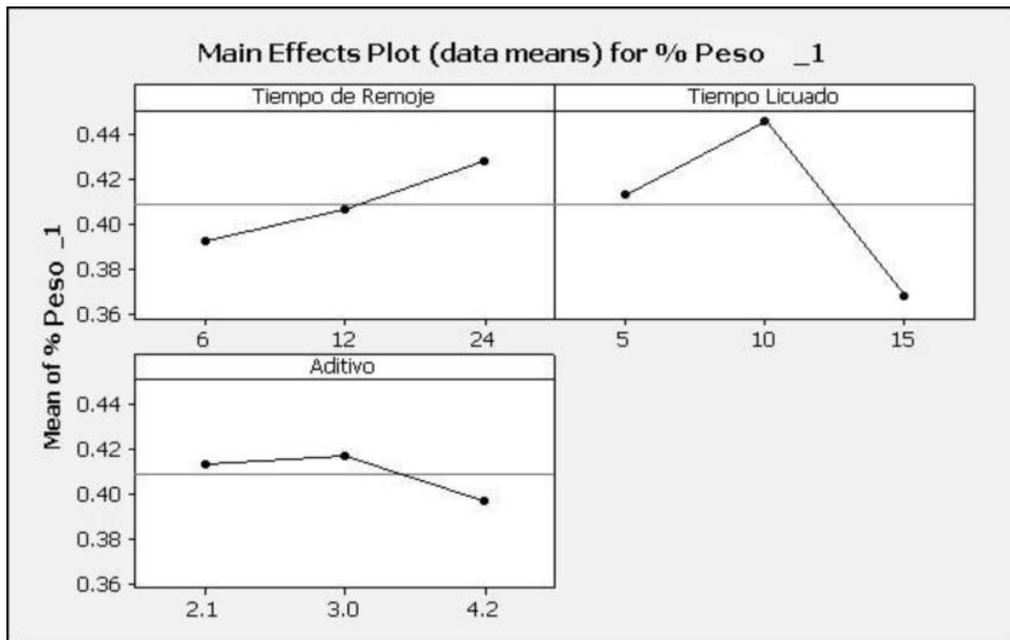
Es importante anotar que cada que se hacía una hoja, la consistencia de la mezcla disminuía, por lo que se enumeraron las hojas para observar las diferencias entre una y otra.

3. RESULTADOS

DISEÑO 1

Según los resultados arrojados por el software MiniTab® el cual permite determinar la influencia de una variable sobre un resultado específico, para el primer diseño, la única variable que afecta notablemente la variable de respuesta es el tiempo de licuado; sin embargo, al realizar estos ensayos, se observó que los tiempos de licuado de 10 y 15 minutos son muy altos para obtener esta pulpa debido a que la licuadora, por tener cuchillas, corta la fibra, lo que disminuye resistencia y otras propiedades a la hoja.

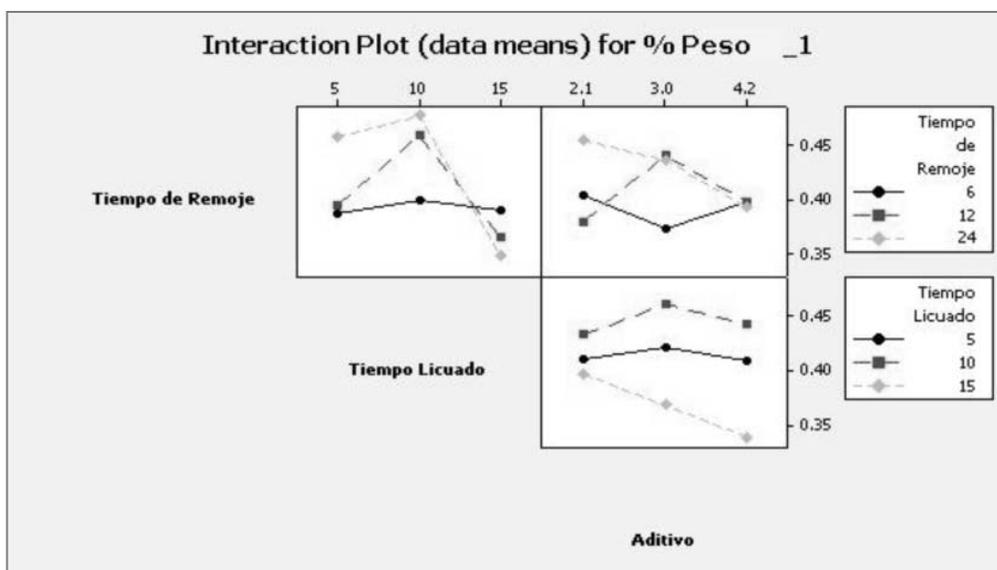
GRÁFICO 1
Efecto de las variables del Diseño 1 sobre el % en peso de pulpa



El gráfico 1 muestra el comportamiento promedio de las variables en la remoción del adhesivo. Basándose en que el menor valor de porcentaje en peso es el que nos indica que se removió una mayor cantidad de adhesivo, las variables mas adecuadas para este diseño son:

- Tiempo de remojo: 6 horas
- Tiempo de licuado: 15 minutos
- Concentración aditivo: 4.2%

GRÁFICO 2
Diagrama de interacción Diseño 1

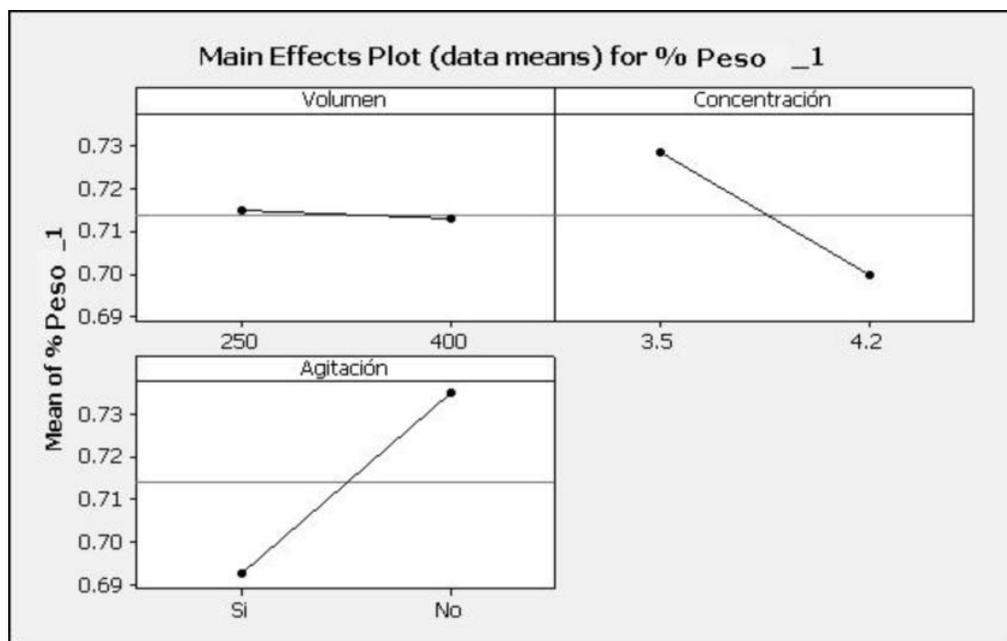


El gráfico 2 muestra detalladamente el comportamiento de cada variable con respecto a las otras y a la variable de respuesta. Aunque en el gráfico 1 se ve que la concentración de 2.1% remueve mejor el adhesivo que la de 3.0%, cuando se realizó la prueba de tactosidad, se observó que ninguna de las dos remueve bien el adhesivo, por lo que se descartaron las dos concentraciones, esto además, lo corrobora el gráfico 2.

DISEÑO 2

En este segundo diseño no se encontraron variables que influyeran directamente sobre la variable de respuesta, sin embargo, los datos recogidos fueron muy útiles para tomar decisiones.

GRÁFICO 3
Efecto de las variables del Diseño 2 sobre el % en peso de pulpa

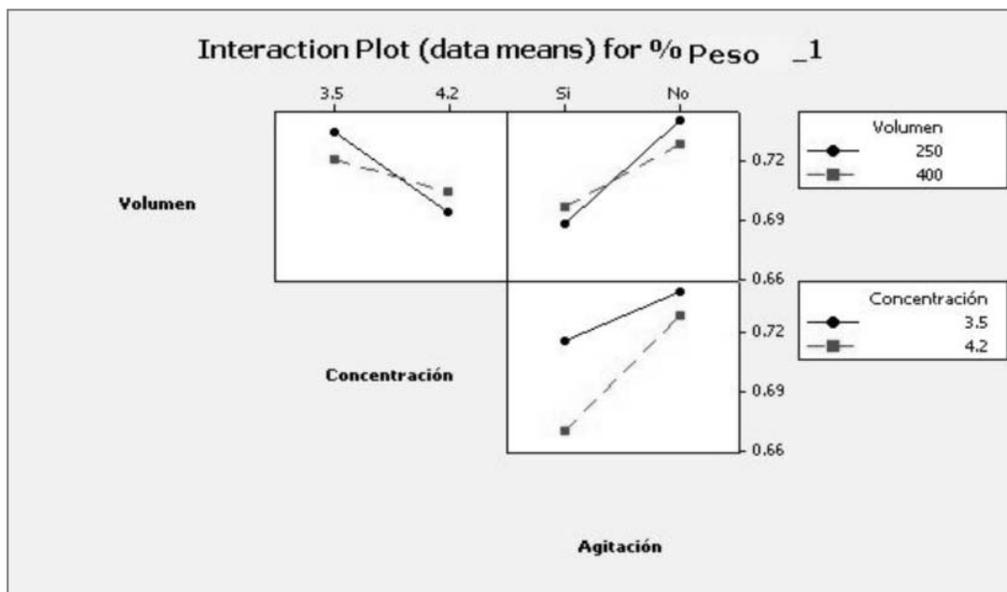


Según el gráfico 3, las condiciones más adecuadas de este ensayo son:

- Volumen de aditivo: 400 ml Agitación: Si • Concentración de aditivo: 4.2%

Con este diseño se definió la concentración de 4.2% como la mejor concentración. En cuanto al volumen de aditivo, se nota en la gráfica que la diferencia entre 400ml y 250ml es insignificativa.

GRÁFICO 4
Diagrama de interacción Diseño 2

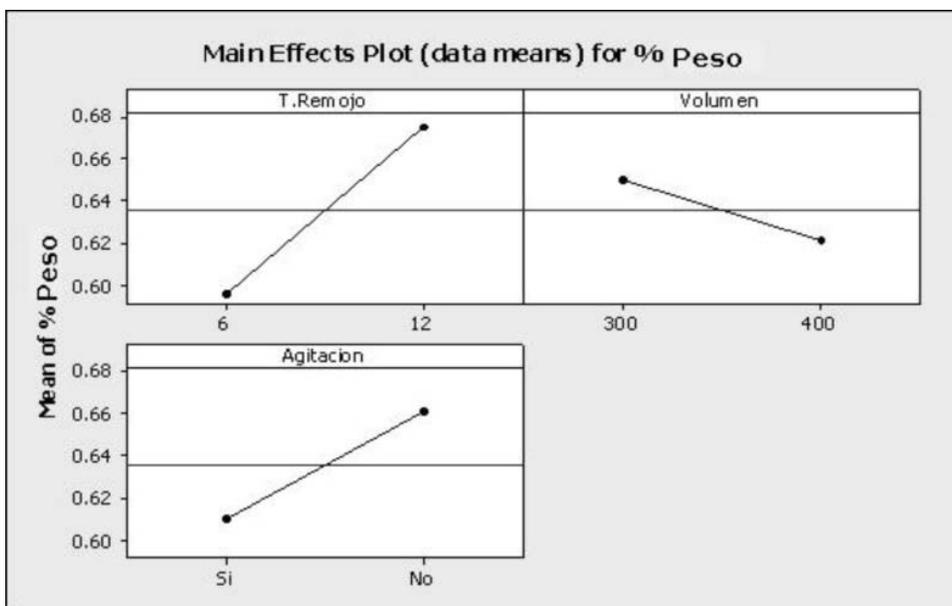


DISEÑO 3

VARIABLE 1: % PESO DE PULPA

En este ensayo se encontraron 2 variables que afectan directamente la variable de respuesta. Estas variables son el tiempo de remojo y la agitación.

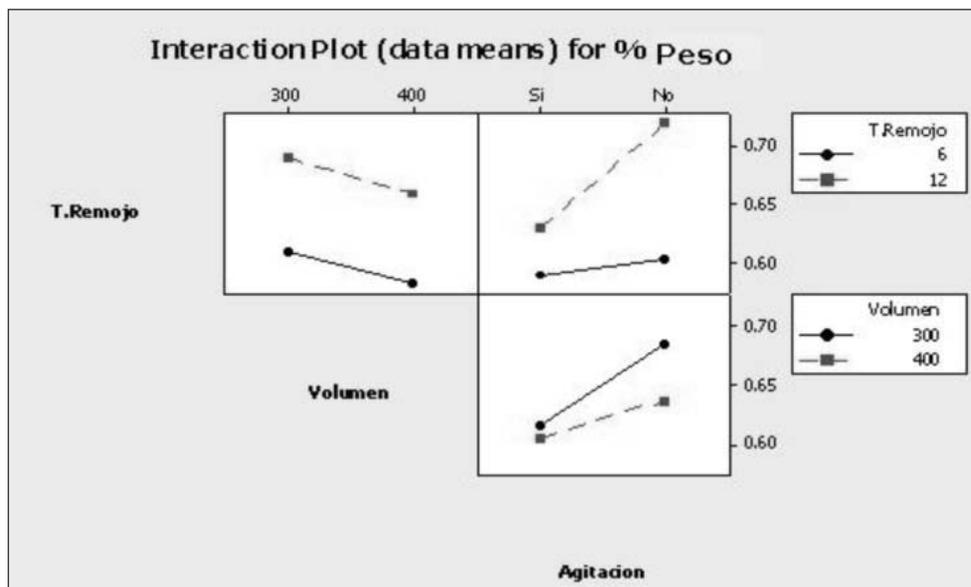
GRÁFICO 5
Efecto de las variables del Diseño 3 sobre el % en peso de pulpa



Según el gráfico 5, las condiciones más adecuadas para este ensayo son:

- Volumen de aditivo: 400 ml
- Agitación: Si
- Tiempo de remojo: 6 horas

GRÁFICO 6
Diagrama de interacción Diseño 3



Aunque el gráfico 6 muestra que lo más adecuado sería agitar, si se analiza este diagrama se puede ver que para un tiempo de remojo de 6 horas, la agitación no es muy significativa, por lo que se descarta la agitación para disminuir costos.

Variable 2: Peso del adhesivo seco

Según la ficha técnica y algunos cálculos realizados, los 50gr del papel autoadhesivo utilizado tienen 12gr de adhesivo. Con estos cálculos y estos resultados podemos sacar un porcentaje de remoción de adhesivo.

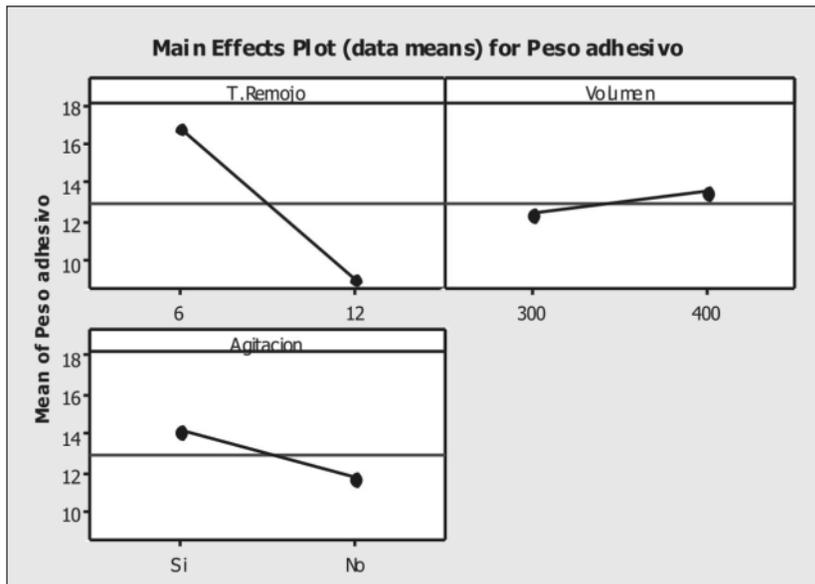
Para esta variable de respuesta, se encontró una variable que influía directamente sobre ella y fue el tiempo de remojo.

Es muy importante recordar que para esta variable, los mayores valores son los que nos indican la mayor remoción de adhesivo. Teniendo esto en cuenta, los resultados más adecuados según el gráfico 7 son:

- Tiempo de remojo: 6 horas
- Agitación: Si
- Volumen: 400 ml

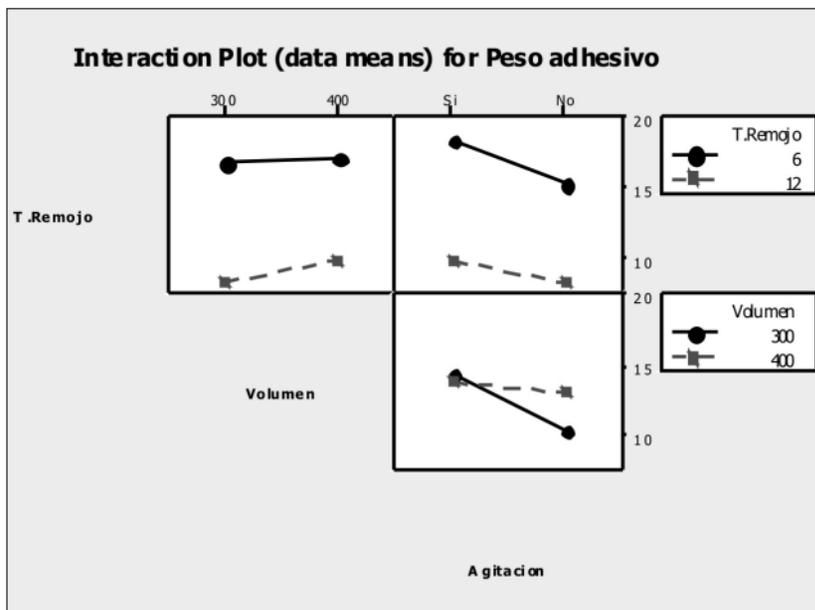
Estos resultados coinciden con los de la variable % Peso de pulpa, por lo que se puede confiar en ambos resultados.

GRÁFICO 7
Efecto de las variables del diseño 3 sobre el peso del adhesivo



En el gráfico 8 se obtiene claridad en cuanto al volumen de aditivo, se observa claramente que tanto el volumen de 300ml como el de 400 ml son eficientes, entonces, para disminuir costos principalmente, se decide como volumen final el de 300 ml.

GRÁFICO 8
Diagrama de interacción para el diseño 3. Peso del adhesivo



4. PRUEBAS

Después de elaborar las hojas se realizaron pruebas físicas y mecánicas para determinar la calidad del papel.

De las hojas fabricadas se utilizaron para las pruebas las siguientes muestras:

- Muestra # 7 de 75gr/15l
- Muestra # 3 de 100gr/15l
- Muestra # 2 de 150 gr/15l

Calibre

Se mide con un micrómetro y es la distancia perpendicular entre dos superficies paralelas, planas y circulares, con diámetro aproximado de 16 mm. Normalmente el calibre medido es mayor que el real.

TABLA 1
Resultados calibre del papel elaborado

Muestra	Calibre (μ)
Muestra # 7 de 75gr/15 l	220
Muestra # 2 de 100gr/15 l	370
Muestra # 3 de 150gr/15 l	410

Porosidad

En la prueba de porosidad el papel obtenido resulto demasiado poroso, es decir, el aire pasaba por el papel en menos de 1 segundo. Este resultado no puede interpretarse como negativo o positivo si no se sabe aún el uso que se le va a dar al papel.

Lisura

En la prueba de lisura, el papel obtenido dió un resultado de 36 segundos, lo que significa que el papel no es liso, ya que como se mencionó antes, un papel liso da un resultado de 1000 segundos. Al igual que en la prueba de porosidad, el resultado no puede interpretarse como negativo o positivo sin conocer el uso que se le va a dar al papel.

Absorción por m²

TABLA 2
Resultados Prueba *Cobb Size*

Muestra	Absorción (gr de agua)
Muestra # 7 de 75gr/15 l	141
Muestra # 2 de 100gr/15 l	442
Muestra # 3 de 150gr/15 l	625

Resistencia tensil

TABLA 3
Resultados Resistencia Tensil

Muestra	Resistencia Tensil (kgf/cm)
Muestra # 7 de 75gr/15 l	0.56
Muestra # 2 de 100gr/15 l	0.7
Muestra # 3 de 150gr/15 l	1.0

Se realizaron las mismas pruebas al papel toalla y los resultados fueron:

TABLA 4
Resultados papel toalla

Prueba	Resultado
Calibre	110 μ
Porosidad	< 1 seg
Lisura	< 20 seg
Absorción por m ²	98 gr de agua
Resistencia Tensil	0.49 kgf/cm

5. CONCLUSIONES

Analizando los dos últimos diseños que se realizaron el papel de transferencia térmica sin impresión, se concluye que el porcentaje promedio de pulpa obtenida fue del 60%, es decir, por cada 50gr de papel, se obtenían 30gr de pulpa seca libre de adhesivo. Considerando que cada 50gr de

este papel autoadhesivo contienen aproximadamente 12 gr. se puede concluir que la remoción de adhesivo fue completa y que el resto de pulpa fueron pérdidas y rellenos que salieron en el residuo.

Igualmente el papel obtenido tiene características similares a los papeles reciclados artesanalmente que se utilizan en decoración, fabricación de tarjetas, etc

Por primera vez se logra remover el adhesivo en el “descolille” de autoadhesivos, por que en trabajos anteriores solo se enfocaron a la remoción de “stickies” que se presentan en mínima proporción.

El papel fabricado en este proyecto tiene las características propias de un papel tipo “tissue”, con base en las pruebas realizadas.

Por el proceso y la materia prima utilizada en este proyecto resulta una pulpa de fibra corta recomendable en la fabricación de papel.

El residuo obtenido contiene principalmente agua, aditivos, tintas, rellenos del papel y el adhesivo suspendido.

Fue posible remover hasta un 95% el adhesivo acrílico presente en el “descolille” de la industria flexográfica.

- De los resultados de las pruebas realizadas al papel, se observa que es un papel con mucha porosidad, poca lisura, poca resistencia tensil y muy absorbente.
- De las pruebas realizadas al papel toalla o “tissue” se observa que las propiedades son muy parecidas al papel elaborado, por lo que no se consideran negativos los resultados del papel elaborado.

6. BIBLIOGRAFÍA

ARÉVALO. R. L. 1998. Longitud promedio de fibra pulpa Kraft Celulosa y Papel de Colombia.

BRITT. 1964 Handbook of pulp and paper technology. Reinold

CÁCERES. R.H. 1977 Pulpas semiquímicas a la soda fría a partir de Sajo. U.I.S.

DURANGO. 1994. Remoción de adhesivo Hot-Melt del proceso de reciclaje de papel. Trabajo de grado Universidad de Antioquia

LIBBY. 1971. Pulp and paper Technology.

ROMA. 1976. Capacidad de Pasta y Papel.

REFERENCIAS DE INTERNET

APUNTES. Elaboración de papel. Sitio en Internet disponible en: <http://apuntes.rincondelvago.com/elaboracion-del-papel.html>. Acceso en Febrero 17/2006

ASPAPEL. Papeles especiales. Sitio en Internet disponible en: <http://www.aspapel.es/>. Acceso en Marzo 27/2006

CESCOSOLUTIONS. Stickies Control. Sitio en Internet disponible en: http://www.cescosolutions.com/customers/pulp_paper/pp_stickies.html. Acceso en Marzo 27/2006

CIWMB. Pressure-Sensitive Adhesives: A Sticky Recycling Problem. Sitio en Internet disponible en: <http://www.ciwmb.ca.gov/BizWaste/OfficePaper/PSAFacts.htm>. Acceso en Marzo 7/2006

ENBUENASMANOS. Reciclado de papel. Sitio en Internet disponible en: <http://www.enbuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=234>. Acceso en Noviembre 11/2006

ÉNFAISIS. Etiquetas autoadhesivas . Sitio en Internet disponible en: http://www.enfasis.com/packaging/seccion_informe.asp?IDEdicion=97&Pagina=3. Acceso en Mayo 14/2006

FINAT. Adhesives. Sitio en Internet disponible en: <http://www.finat.com/sec10.html> Acceso en Marzo 27/2006

FINAT. Recycling compatibility of self-adhesive labels. Sitio en Internet disponible en: <http://www.finat.com/ftm19.html> Acceso en Abril 14/2006

INGEDE. Recyclability of Printed Graphic Products. Sitio en Internet disponible en: <http://www.ingede.de/ingindx/ws-test-methods.html> Acceso en Abril 14/2006

PFFC-ONLINE. Self-Adhesive Label "Waste" Sitio en Internet disponible en: http://pffc-online.com/mag/paper_waste_not/index.htm Acceso en Mayo 22/2006

RAFLATAC. Medio Ambiente, Salud y Seguridad. Sitio en Internet disponible en: <http://www.raflatac.com/europe/spa/products/ApprovalsandStatements/EnvironmentHealthandSafety/> Acceso en Abril 14/2006

RECICLAPAPEL. Nuevos Desarrollos Tecnológicos en el Reciclado de Papel. Sitio en Internet disponible en: http://www.reciclapapel.org/hm/est_tecn/fondo_index.asp. Acceso en Marzo 27/2006

REDCICLA. Papel y cartón. Sitio en Internet disponible en: <http://www.redcicla.com/index.htm>. Acceso en Abril 14/2006)

REVISTA EL PAPEL Sitio en Internet disponible en: <http://www.revistaelpapel.com/> Acceso en Abril 16/2006

TEXTOS CIENTÍFICOS. Fabricación de papel. Sitio en Internet disponible en: <http://www.textoscientificos.com/papel/el-papel> . Acceso en Marzo 27/2006

TEXTOS CIENTÍFICOS. Obtención de pulpa de papel. Sitio en Internet disponible en: <http://www.textoscientificos.com/papel/pulpa/blanqueo>. Acceso Noviembre 11/2005

THEGROSSMANGROUP. Paper is a voracious consumer of natural resources - which makes recycling critical. Sitio en Internet disponible en: <http://www.thegrossmangroup.com/sections/resources/resources.asp> Acceso en Marzo 27/2006

TLMI. Specification for Paper Labels Coated with Environmentally Benign PSA Sitio en Internet disponible en: http://www.tlmi.com/data/b9/specification_for_paper_labels_coated_with_environmentally_benign_psa_page_1.html Acceso en Abril 14/2006

UCM. Salud y seguridad en el trabajo. Sitio en Internet disponible en: http://www.ucm.es/info/seas/estres_lab/enciclo/indice_gral.htm Acceso en Mayo 12/2006

WEBSTORE. Standard Test Methods for Identification of Wire Side of Paper. Sitio en Internet disponible en: <http://webstore.ansi.org/ansidocstore/astm>.

DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE ESTERIFICACIÓN Y DEL PORCENTAJE ANHÍDRIDO MALEICO EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y DE DESEMPEÑO DE UNA RESINA ALQUIDICA PROTOTIPO

Pedro Pablo Arango B.
parangob@eafit.edu.co

Henry David Nieto P.
hnietopa@eafit.edu.co



RESUMEN

En este proyecto presentamos la influencia que tiene la temperatura de esterificación y el porcentaje de anhídrido maléico en el tiempo de secado de una resina alquídica prototipo. Durante la ejecución de este proyecto se realizaron 18 ensayos en el sistema de reacción Batch SRB del laboratorio de diseño de procesos de la universidad EAFIT, y el tiempo de secado fue analizado los laboratorios de la empresa ANDERCOL S.A.

PALABRAS CLAVES

- **Polímero:** los polímeros son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas mas pequeñas llamadas monómeros.
- **Resina Alquídica:** son una familia de poliésteres, obtenidos por reacciones de policondensación entre aceites vegetales, alcoholes y ácidos polibásicos.
- **Poliésteres:** Son polímeros en forma de fibras.
- **Alcoholes:** En química se denomina alcohol a aquellos hidrocarburos saturados, o (alcanos) que contienen un grupo hidroxilo (-OH) en sustitución de un átomo de hidrógeno enlazado de forma covalente.

ABSTRACT

This project presents the influence that the esterification temperature and the percentage of maleic anhydride have on the drying time of a prototype alkyd resin. During this project, 18 runs were made in the Batch Reaction System of the EAFIT University process design laboratory, and the drying time was analyzed in ANDERCOL S.A. laboratories.

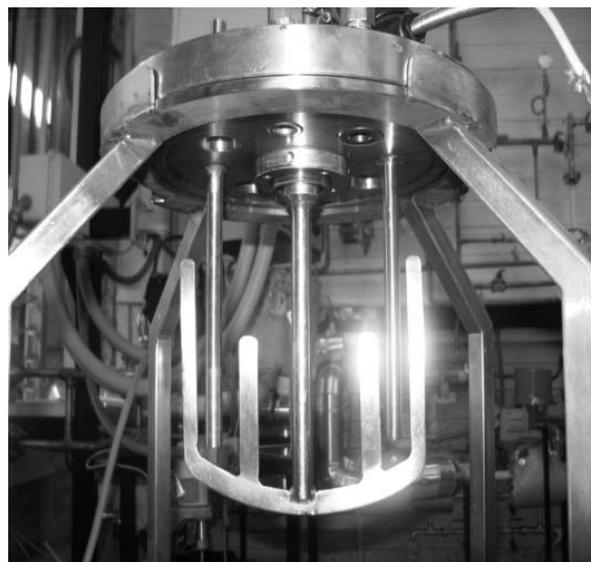
INTRODUCCIÓN

Los materiales poliméricos son la base de numerosas industrias, entre las cuales se destaca la de recubrimientos orgánicos, que comprende la fabricación de pinturas, tintas, lacas, barnices y esmaltes.

Una gran parte de los productos comerciales antes mencionados, contienen como componente esencial las llamadas resinas Alquílicas; se estima que estas resinas solas o modificadas, constituyen alrededor del 50% por peso de todos los materiales poliméricos empleados por la industria de recubrimientos. (Maldonado, 1982).

Desde el punto de vista químico las resinas alquílicas pertenecen a la familia de los polímeros, obtenidos por reacciones de policondensación entre aceites vegetales, alcoholes y ácidos polibásicos. Este tipo de esterificación produce compuestos de la clase de los poliésteres. Sin embargo, la clave que diferencia a las resinas alquílicas de los poliésteres es la presencia de monoácidos (comúnmente ácidos grasos) como la mayor parte de su composición.

Es un hecho, que debido a la amplia gama de composiciones producidas y a la complejidad de la constitución química de las resinas alquílicas, la aplicación de conceptos teóricos a la solución de problemas prácticos surgidos durante su formulación, manejo, procesamiento y aplicación no es una tarea fácil.



2. DESARROLLO DEL TEMA

La reacción completa de la formación de resinas alquílicas se puede dividir en dos etapas: Alcohólisis y Esterificación.

2.1 Alcohólisis

El costo y la disponibilidad dictaminan frecuentemente que sea aceite, en vez del ácido graso libre (derivado del aceite), la materia prima a emplear en la síntesis de resinas alquílicas. Como el aceite, en forma de triglicéridos, es esencialmente inerte y no participa en la reacción de poliesterificación, calentar el aceite con el polialcohol y el ácido polibásico resulta en la formación de policondensados entre el polialcohol y el ácido polibásico, dejando el aceite sin reaccionar. Las dos fases son pues incompatibles. Por ello, los triglicéridos deben reaccionar primero con polialcohol adicional para redistribuir el ácido graso a través de todo el polialcohol, liberando así grupos hidroxilo libres de aceite para una posterior reacción con el ácido polibásico. La reacción es la alcohólisis. (Kirk-Othmer, 1993)

Así, tenemos que la alcohólisis es la reacción de un alcohol con un triglicérido para formar un monoglicérido. Los triglicéridos reaccionan fácilmente con alcoholes en

presencia de catalizadores adecuados (óxidos o hidróxidos de metales), para producir monoglicéridos y diglicéridos que reaccionan libremente con componentes ácidos para formar resinas.

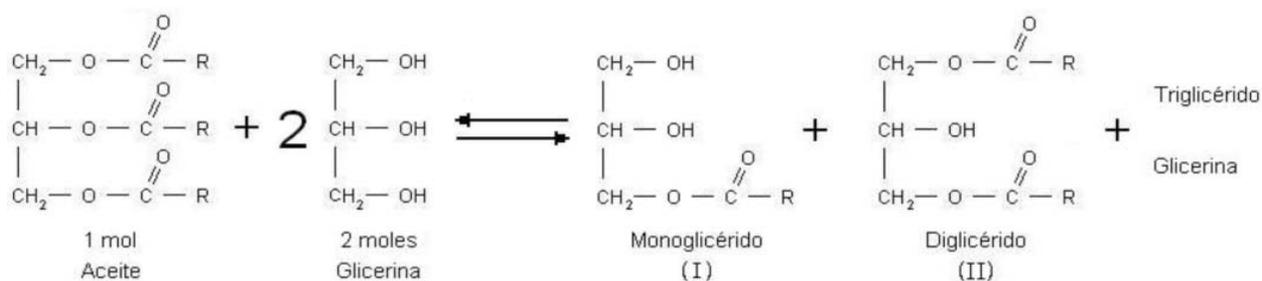
El anhídrido ftálico es insoluble en la mayoría de los aceites secantes o semi-secantes, sin embargo sí lo es en monoglicéridos. Ya que la glicerina reaccionará con aceites para formar monoglicéridos, dos moles de glicerina pueden reaccionar con una mol de aceite de soya para formar suficientes monoglicéridos como para solubilizar por completo el anhídrido ftálico adicionado por la formulación de la resina. (Monsanto company, 1952).

Sin embargo esto es un planteamiento ideal de la reacción. En realidad, la reacción alcanza un equilibrio, en donde ciertas cantidades de di- y tri-ésteres y polialcohol puro,

coexisten en la mezcla de reacción. Como ejemplo, se muestran datos registrados de los productos de una alcoholisis entre aceite de soya y glicerina en una relación molar de 1:2. (Kirk-Othmer, 1993).

Componente	% Mol
Mono-éster	42
Di-éster	21
Tri-éster	3
Glicerina libre	33

Teniendo esto claro, se ilustra que el mecanismo de reacción es como sigue:

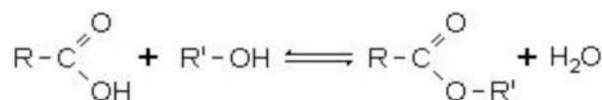


Una vez obtenido el monoglicérido, la adición de anhídrido ftálico es posible. De aquí en adelante sucede la segunda etapa de la reacción.

2.2 Esterificación

La reacción de esterificación, mediante la cual el anhídrido ftálico se une al monoglicérido, es básicamente una reacción de policondensación, en la que se genera agua como resultado del enlace químico de grupos ácidos (anhídrido ftálico) con grupos básicos (monoglicérido hidroxilado). En esta reacción el anhídrido maléico juega un papel fundamental en cuanto al tiempo de terminación de la misma y a las propiedades de la resina alquídica final, pero este tema se tratará más adelante.

La reacción fundamental de esterificación es la siguiente:



La reacción se lleva a cabo de un modo equilibrado y lento, debido a la reversibilidad de la misma. De acuerdo con esto, y desde el punto de vista industrial en donde el rendimiento elevado es un factor predominante, es necesario que dicho rendimiento se alcance en un tiempo económicamente rentable. Para lograr este objetivo, es necesario perturbar el equilibrio

para desplazar la reacción hacia la formación de resina. Esto sugiere tratar la reacción desde dos flancos: físico y cinético.

Desde la perspectiva del manejo físico de la reacción, dos son los factores que permitirán el desplazamiento deseado:

- Adición de un exceso de alcohol.
- Remoción de un producto de reacción. En este caso el agua.

Desde la perspectiva del manejo cinético de la reacción, tenemos igualmente dos factores de mayor relevancia:

- Temperatura de reacción.
- Adición de catalizador.

Estas estrategias pueden, obviamente, ser combinadas para mejorar los resultados. En el caso de esta investigación se emplearán tres herramientas:

- Remoción del agua generada mediante evaporación en mezcla azeotrópica
- Temperatura de esterificación
- Adición de catalizador

Para la realización de esta investigación, se desarrolló en conjunto con Andercol S.A., un plan de trabajo que incluye la variación de la Temperatura de esterificación como variable de proceso, y la variación en el Porcentaje de anhídrido maléico como catalizador, como variable de formulación. Cada una de estas variables tiene tres niveles de trabajo, a saber:

Variable	Nivel	Nivel	Nivel
<i>Temperatura de Esterificación</i>	Baja	Media	Alta
<i>Porcentaje de Anhídrido Maléico</i>	Bajo	Medio	Alto

Esta guía le permitió al equipo de investigación trazar los lineamientos básicos para desarrollar cada experimento, de manera que siempre actuó durante cada ensayo conforme el proyecto lo exigió. El plan de trabajo fue desarrollado con el Software *MiniTab® V14*, obteniendo el siguiente diseño de experimentos, en donde la temperatura y el porcentaje de anhídrido maléico son las condiciones variables:

3. DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y PLAN DE TRABAJO

Ensayo	Tamaño de lote (gr)	Temperatura (°C)	Alcoholisis (gr)	A. Ftálico (gr)	% de A. Maléico	Xilol (gr)	Varsol (gr)
1	3500	Media	886,39	695,09	Alto	68,62	1736,93
2	3500	Alta	886,39	695,09	Bajo	68,62	1736,93
3	3500	Baja	886,39	695,09	Bajo	68,62	1736,93
4	3500	Baja	886,39	695,09	Medio	68,62	1736,93
5	3500	Alta	886,39	695,09	Bajo	68,62	1736,93
6	3500	Baja	886,39	695,09	Alto	68,62	1736,93
7	3500	Baja	886,39	695,09	Bajo	68,62	1736,93
8	3500	Alta	886,39	695,09	Medio	68,62	1736,93
9	3500	Alta	886,39	695,09	Alto	68,62	1736,93
10	3500	Media	886,39	695,09	Bajo	68,62	1736,93
11	3500	Media	886,39	695,09	Alto	68,62	1736,93
12	3500	Baja	886,39	695,09	Medio	68,62	1736,93
13	3500	Alta	886,39	695,09	Alto	68,62	1736,93
14	3500	Baja	886,39	695,09	Alto	68,62	1736,93
15	3500	Alta	886,39	695,09	Medio	68,62	1736,93
16	3500	Media	886,39	695,09	Bajo	68,62	1736,93
17	3500	Media	886,39	695,09	Medio	68,62	1736,93
18	3500	Media	886,39	695,09	Medio	68,62	1736,93

CONCLUSIONES

El xilol es sin dudas el agente que propicia el desplazamiento de la reacción hacia la formación de la resina, permitiendo la evacuación efectiva del agua generada como resultado de la policondensación; por esta razón este debe retornar constantemente a la mezcla reaccionante para garantizar el desarrollo eficiente y continuo de la reacción, y la seguridad de los operadores al evitar el surgimiento de “*flasheos*” violentos dentro del reactor. Sin embargo el flujo de reflujo de xilol al reactor constituye la mayor barrera termodinámica a vencer por el sistema de calentamiento del SRB de la Universidad EAFIT, ya que este retorna al *vessel* a temperatura ambiente, para luego evaporarse, llegar hasta el intercambiador de calor E-01 y condensarse nuevamente para retornar a la reacción.

Los ensayos que mejor influencia demuestran tener sobre la variable de respuesta “tiempo de secado” son los realizados bajo las condiciones de temperatura media y nivel de Porcentaje de anhídrido maléico medio. Adicionalmente, son ensayos que permiten un buen manejo del reactor durante el tiempo de reacción, y tener control sobre las variables de respuesta “Valor ácido” y “Viscosidad”. Es decir, los ensayos bajo los cuales se obtienen los mejores resultados de esta investigación son los realizados con Temperatura media y nivel de Porcentaje de anhídrido maléico medio.

BIBLIOGRAFÍA

KIRK OTHMER (1993). Enciclopedia of Chemical Technology. Vol. 6. 4a Edición. 1993. p.892-941

MALDONADO, Gustavo (1982). Correlación de las Variables Estructurales al Parámetro de Solubilidad en Resinas Alquídicas. Proyecto de grado (Ingeniero químico). Medellín: Universidad de Antioquia. Departamento de Química.

SALMI, Tapio. Kinetics of melt polymerization of maleic and phthalic acids with propylene glycol. En: Chemical Engineering Science. Vol 49. No 24B. 1994. pp 5053-5070

_____ Polyesterification kinetics of complex mixtures in semibatch reactors. En: Chemical Engineering Science. Vol 56. 2001. pp 1293-1298

SZABÓ-RÉTHY, E. Comments on calculation methods of kinetics of polyesterification reactions. En: European Chemical Journal. Vol 7. 1971. pp 1485-1499

T.C. Patton (1962). Alkyd Resin Technology, Formulating Techniques and Allied Calculations. Wiley-Interscience Publishers. New York-London.

NALAMPANG, K. Kinetics of polyesterification: modelling and simulation of unsaturated polyester synthesis involving 2-methyl-1,3-propanediol. En: Polymer. Vol 44. 2003. pp 6103-6109

DISEÑO DE UN PROCESO A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE UN BRONCEADOR EN SPRAY CON PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y ANTI- INFLAMATORIAS, INCORPORANDO EXTRACTOS NATURALES

Marcia Victoria Correa
mcorrea6@eafit.edu.co

Marcela Tamayo
mtamayog@eafit.edu.co

RESUMEN

Para obtener la mejor formulación del producto se realizan diferentes pasos, empezando por una revisión bibliográfica y búsqueda de asesorías que permiten identificar las materias primas adecuadas que respondan a los objetivos planteados; luego se llevan a cabo ensayos en el laboratorio donde se consigue estandarizar el proceso y reconocer la cantidad justa de extracto de caléndula y té verde mediante un diseño de experimentos y posteriores encuestas.

Al conseguir un producto con buenas características en cuanto al bronceado, protección solar, sensación en la piel, olor, etc.; se realizan pruebas que verifican la calidad, tales como: fisicoquímicas, organolépticas, estabilidad, etc., mediante protocolos establecidos.

Finalmente mediante el diseño de experimentos se determina la formulación final y según los resultados de las encuestas de aceptación del producto, realizadas a las personas que hicieron parte de este diseño, se establece que al 100% de los encuestados les gusta el producto y están dispuestos a comprarlo.

PALABRAS CLAVES

Bronceador, piel, antioxidante, antiinflamatorio, extracto natural, formulación, proceso.

ABSTRACT

In order to obtain the best formulation of the product, different steps are made, beginning with a bibliographical review and search of advisings that allow to identify the suitable raw materials that respond to the raised objectives; then tests in the laboratory are carried out in order to standardize the process and to recognize the right amount of extract of calendula and green tea by means of a design of experiments and later surveys.

Once we have a product with good characteristics as far as the bronzed one, solar protection, skin sensation, smell, etc.; tests are made in order to verify the quality, such as: chemical physics, organoleptics, stability, etc, by using established protocols.

Finally by means of the design of experiments the final formulation is determined and according to the results of the acceptance's surveys of the product, applied to the people who were part of this design, settles down that 100% of the people likes the product and are willing to buy it.

KEY WORDS

Suntan oil, skin, antioxidant, anti-inflammatory, natural extract, formulation, process.

INTRODUCCIÓN

La exposición moderada del cuerpo humano al sol produce, psicológica y fisiológicamente, una sensación de salud, de sosiego natural y bienestar general, además de una acción estimulante; esa formidable fuente de energía que es el sol desencadena una serie de procesos biológicos y bioquímicos esenciales para la vida del hombre. Sin embargo la radiación solar tiene efectos adversos tanto a corto como a largo plazo. El efecto a corto plazo por lo que a la piel se refiere es la lesión temporal de la epidermis manifestándose por sí misma en los síntomas conocidos de las quemaduras. Esto puede variar en su gravedad desde un ligero eritema a quemaduras dolorosas y ampollas en los casos más graves.

Es por ello que con esta investigación se busca formular un producto cosmético bronceador que además de aportar un color agradable, proteja la piel de los rayos solares perjudiciales, permita prevenir el envejecimiento prematuro y evitar la formación de eritemas provocados por el sol.

Para lograr una formulación adecuada se estudian las propiedades benéficas de extractos naturales, haciendo uso de la gran biodiversidad del planeta y obteniendo un producto con las características postuladas de bronceado y cuidado de la piel, logrando así disminuir la carga química del producto; favoreciendo la salud y el medio ambiente.

También se realiza un estudio de mercado para determinar la inocuidad y viabilidad del producto, donde se analiza el mercado objetivo, la competencia y el posicionamiento del mismo.

PROCESO DE BRONCEADO

El bronceado es la respuesta de la piel a las radiaciones solares; su capacidad varía de un individuo a otro y desarrolla diferentes fases: una es el bronceado directo e inmediato provocado por el oscurecimiento de los gránulos de melanina existentes en los queratinocitos y desencadenado por los rayos UVA; y el bronceado indirecto y retardado, debido a la elaboración por parte de los melanocitos de un nuevo pigmento de melanina provocado por los rayos UVB. El golpe de sol, es una reacción normal del organismo después de una excesiva exposición al sol. Los vasos sanguíneos se dilatan y producen sensación de calor; la piel enrojece pudiendo llegar a inflamarse y provocar dolor.

También existen efectos invisibles a corto y a largo plazo, con las repetidas y prolongadas exposiciones al sol aparecen serios desarreglos cutáneos y son la causa de numerosas afecciones antiestéticas y de un prematuro envejecimiento cutáneo. En ausencia de protección cosmética, la radiación solar tiene efectos sumamente negativos sobre la piel. (Mundo Belleza.com, 2006).

BRONCEADORES CON SOL

Son productos que bajo la acción de los rayos ultravioleta (UV-A y UV-B) aceleran la pigmentación cutánea o bronceado. Esta actividad se debe a que en su molécula química presentan grupos cromóforos capaces de absorber la radiación ultravioleta y dar lugar a una reacción fototóxica que se manifiesta con hiperpigmentación. (Máximo Solar, 2005).

EXTRACTOS NATURALES

Extracto de Caléndula: La Caléndula se utiliza como un remedio natural para tratar pequeñas dolencias y problemas epidérmicos como las quemaduras de sol, golpes, magulladuras y arañazos, entre otros. Los compuestos activos primarios de la hierba incluyen triterpenos (anti-inflamatorios) y flavonoides (antioxidantes). (Comserpro, 2004). Los extractos de *C. officinalis* y en particular los de sus flores muestran un amplio espectro de acciones farmacológicas, entre las que sobresalen: antibacteriana,

antiinflamatoria y cicatrizante, de ahí la gran importancia de los extractos de Caléndula en la cosmetología moderna. (Lastra *et al.*, 1999).

Extracto de Té Verde: Los estudios experimentales llevados a cabo sugieren que los componentes del té verde pueden ayudar a prevenir el cáncer de piel, cuando se aplican directamente sobre esta. Los polifenoles del té también pueden ayudar a broncearse y a proteger la piel contra el daño provocado por el sol. (Innatia, 2006). Los principales polifenoles en el té verde son los flavonoides, 4 catequinas en este caso relevantes: epicatequina, epicatequina galato, epigalocatequina y epigalocatequina-3-0-galato. Los estudios científicos realizados hasta el momento ven en esta última sustancia el constituyente más significativo. La epigalocatequina-3-0-galato ha sido analizada en diversos modelos experimentales que han mostrado sus notables propiedades antioxidantes. (Valenzuela, 2001).

ENSAYOS PRELIMINARES

Con el fin de lograr un producto que además de ser de buena calidad sea aceptado por los consumidores, se realizan ensayos preliminares con fórmulas comerciales para definir las características, observar la forma de producción, la facilidad de adquisición de las materias primas, consistencia y presentación final del bronceador. Luego de un estudio de aceptación se encuentra que entre la crema, el aceite y el gel bronceador; el aceite es el elegido por los consumidores, además se prefiere la presentación en "spray" con olor a canela y se decide usar un factor de protección de 4.

DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Se decide usar la flor de caléndula y la hoja de té verde porque en la bibliografía consultada se reportan como las plantas con mayores propiedades antiinflamatorias y

antioxidantes. Los extractos de dichas plantas conservan estas propiedades y por ello se incorporan en la formulación del bronceador y, además, son las variables que se evalúan en el diseño de experimentos, debido a que no se usan en bronceadores convencionales y por eso se decide evaluar la influencia de los extractos en el tiempo de bronceado. Los intervalos de variación de las cantidades de extractos de caléndula y té verde son de 2.5-10% (p/p) debido a que estos niveles proporcionan una concentración efectiva, sin aumentar los costos del producto.

El software statgraphics, donde se ingresaron los datos, arrojó que el mejor diseño de experimentos para el bronceador es:

- Clase de diseño: Screening
- Nombre del Diseño: Mixed Level factorial
- Número de Factores Experimentales: 2 (Extracto de Caléndula (%) - Extracto de Té Verde (%))
- Número de Bloques: 3
- Número de Respuestas: 1 (Tiempo de Bronceado (min))
- Número de Corridas: 21

En la tabla 1, se muestran las combinaciones arrojadas por el programa y la variable respuesta conseguida luego de entregar las veintiuna muestras a personas con características de piel similares para que se broncearan en Medellín. Además se encuentra sombreada la combinación elegida para la formulación final del bronceador, ya que fue el ensayo que proporcionó un tiempo de bronceado más extenso.

En la tabla 2, se puede observar la tabla ANOVA arrojada por Statgraphics para este diseño con un 95 % de confianza.

TABLA 1
Resultados de los Ensayos

Ensayo	Extracto Caléndula (%p/p)	Extracto Té Verde (%p/p)	Tiempo de Bronceado (min)
1	2,5	10	30
1	2,5	2,5	40
1	6,25	6,25	40
1	10	2,5	30
1	6,25	2,5	40
1	10	10	40
1	6,25	10	10
2	2,5	10	15
2	2,5	2,5	35
2	6,25	6,25	35
2	10	2,5	25
2	6,25	2,5	60
2	10	10	60
2	6,25	10	30
3	2,5	10	35
3	2,5	2,5	15
3	6,25	6,25	30
3	10	2,5	60
3	6,25	2,5	60
3	10	10	30
3	6,25	10	40

TABLA 2
Análisis de Varianza para el Tiempo de Bronceado

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Caléndula	586,111	2	293,056	1,40	0,2745
B:Té Verde	362,5	2	181,25	0,87	0,4387
RESIDUAL	3341,67	16	208,854		
TOTAL	4245,24	20			

FORMULACIÓN FINAL

Una vez realizado el diseño de experimentos se obtiene la formulación final que se muestra en la Tabla 3

TABLA 3
Formulación Final del Bronceador

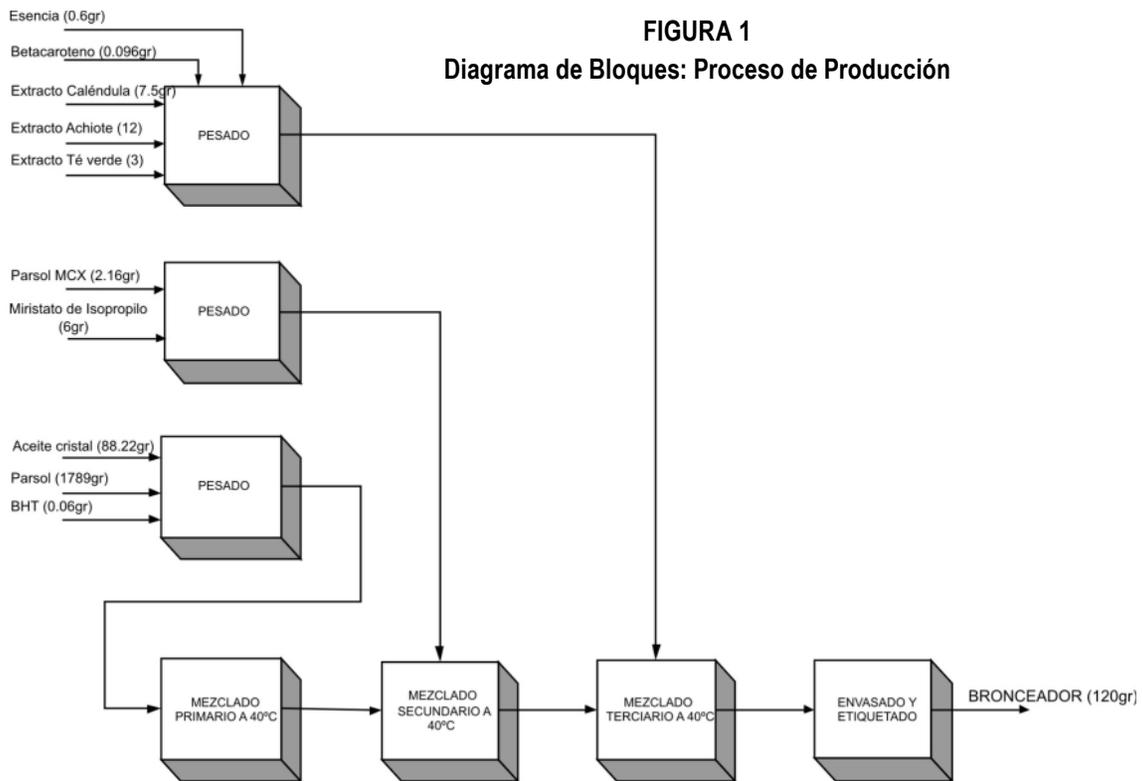
Materia Prima	Cantidad (% Peso)
Aceite de Cristal	86-89
Parsol 1789 (Eusolex 6300)	0.33-0.38
BHT	0.03-0.07
Parsol MCX	2.12-2.15
Miristato de Isopropilo	4-7
Extracto de Achiote	10-13
Extracto de Caléndula	6-9
Extracto de Té Verde	2-5
Betacaroteno	0.095-0.099
Esencia	0.5-07

ACEPTACIÓN DEL PRODUCTO

Además del resultado de la formulación final a partir del diseño de experimentos, se realiza una encuesta de aceptación del producto a las veintiuna personas para analizar otras características del bronceador. Los resultados de la encuesta muestran que el 100% de las personas están conformes con el producto y sintieron humectación y suavidad al aplicarlo. Más del 90% de los encuestados califican entre excelente y muy buenas las características físicas del bronceador y solo un 9.52% sufrieron irritación leve en la parte del pecho. Otro factor que indica la buena aceptación del producto es que el 100% están dispuestos a comprar el nuevo bronceador en comparación con el habitual pues el color, la sensación en la piel y la duración del bronceado son satisfactorias.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Luego de realizar varios ensayos, se encuentra que la mejor manera para producir el bronceador con propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, es la que se ilustra en la Figura 1.



EVALUACIÓN DEL PRODUCTO

Esta evaluación consiste en realizar una serie de pruebas que permiten verificar la calidad del producto y garantizar la inocuidad del mismo. El control de calidad permite evaluar las características organolépticas, fisicoquímicas y de estabilidad del bronceador.

A continuación se muestra la Tabla 4 con los resultados de las pruebas realizadas al producto.

TABLA 4
Control de Calidad del Producto

ACEITE BRONCEADOR CARIBEAN SKIN SPF 4			
ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS			
INDICE DE DESEMPEÑO	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO	RESULTADO
Aspecto	Líquido libre de grumos y partículas extrañas	Visual, lectura en microscopio.	CUMPLE
Olor	Canela característico a la nota perfumística	Olfatear la muestra	CUMPLE
Color	De acuerdo a la referencia	Visual comparativo	CUMPLE
Textura	Suave y libre de grumos	Aplicar sobre la mano	CUMPLE
ANÁLISIS QUÍMICOS			
pH	6.0-8.0	Medición directa pH-metro	6.5
ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS			
Gravedad Específica	0-1.0	Picnómetro a temperatura ambiente	0.8516
Viscosidad	0-200 cps a 25 °C	Medición directa en viscosímetro de Brookfield RVD, 100 rpm, spindle No. 1	53.1 cps
Centrifugación	Sin precipitado	Medición Centrífuga	CUMPLE
Estabilidad	No degradación	Horno a 40 °C	CUMPLE

Al analizar estos resultados, se puede ver claramente que el bronceador con propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, cumple satisfactoriamente con todos los estándares de calidad.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Para comprobar que el producto es viable financieramente se realiza un estudio de factibilidad donde se tienen algunos supuestos, a continuación se muestran los más importantes:

Mercado objetivo: 1% de las mujeres colombianas entre 15 y 39 años de los estratos 4, 5 y 6 compran un bronceador por año, aumentando 1% de la participación anualmente.

Unidades vendidas: 15.191 el primer año.

Inversión inicial: \$60'000.000

Precio al consumidor final: \$16.000

Costos de producción: 25% de los ingresos

Con estos supuestos se encuentra que el flujo de efectivo para los 5 primeros años arroja una TIR de 53.47% y un VPN de \$20'930.959, lo que indica que el proyecto es rentable.

CONCLUSIONES

La encuesta de sondeo permite identificar y definir las características principales del producto final. Un aceite bronceador en spray con olor a canela llamado Caribbean Skin.

Los resultados de las pruebas de análisis indican que tanto las materias primas seleccionadas como el producto, cumplen con los requisitos de calidad exigidos para un producto cosmético.

Las cantidades más apropiadas de extracto de caléndula y té verde son 6.25 y 2.5 % respectivamente, porque muestran el mayor tiempo de bronceado.

Elaborar el bronceador a escala de laboratorio es sencillo y tiene un bajo costo, además al realizar la proyección a gran escala los costos no aumentan significativamente y las utilidades son altas.

El aceite bronceador con propiedades antiinflamatorias y antioxidantes es un producto innovador y competitivo en el mercado Nacional, que puede aportar beneficios socioeconómicos al país.

Los extractos de caléndula y té verde aunque no presentan un efecto significativo en el tiempo de bronceado, si demuestran sus efectos positivos sobre la piel.

El aceite bronceador Caribbean Skin tiene una buena aceptación en las personas que lo usaron, la mayoría califica como excelentes sus características y está dispuesto a comprarlo.

Se concluye que el proyecto de empresa es factible económicamente porque hablando del valor presente neto (VPN), se puede observar un VPN mucho mayor que cero (\$20'930.959).

Desde el punto de vista de la tasa interna del retorno (TIR) se concluye que el proyecto es financieramente viable, porque la TIR en el flujo del proyecto es de 53.47% anual, cifra que al compararla con la Tasa mínima de rendimiento (TMR) establecida que es del 42.57% anual, es claramente mayor.

BIBLIOGRAFÍA

Comserpro. (2004). Caléndula Officinalis o Maravilla. [Artículo de Internet]. <http://www.comserpro.com/calendula.php>. [Consulta: 25 de Junio de 2006].

Innatia. (2006). Té verde y salud. [Artículo de Internet]. <http://www.innatia.com/s/c-te-verde-propiedades/a-te-verde.html>. [Consulta: 30 de Junio de 2006].

Lastra Valdes, Humberto y Piquet Garcia, Rosario. (1999). Calendula Officinalis. [Artículo de Internet]. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0034-75151999000300007&script=sci_arttext&tlng=es. [Consulta: 27 de Julio de 2006].

Máximo Solar N° 23. (2004). Fotoprotección. [Artículo de Internet]. <http://www.isdin.es/gara/fotoproteccion.htm>. [Consulta: 15 de Febrero de 2006].

Mundo Belleza. (2006). El sol fuente de belleza y salud. [Artículo de Internet]. <http://www.mundobelleza.com/Consejos%20belleza/bronceado/efectos%20beneficioso/beneficiososol.htm>. [Consulta: 09 de Julio de 2006].

Valenzuela, Alfonso. (2004). El consumo te y la salud: características y propiedades benéficas de esta bebida milenaria. [Artículo de Internet]. http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-75182004000200001&script=sci_arttext&tlng=es. [Consulta: 13 de Julio de 2006].

ELABORACIÓN DE UN PRODUCTO COSMÉTICO PARA EL AREA DE LOS OJOS A PARTIR DE PRODUCTOS NATURALES, A ESCALA DE LABORATORIO

Alexandra Higueta Restrepo
Ahiguit4@eafit.edu.co

RESUMEN

Las mujeres se maquillan desde la antigüedad de diferentes maneras, pero en el fondo, siempre surge la misma idea: estar más atractivas mejorando el aspecto externo.

Hoy en día el maquillaje se utiliza como “arma” de seducción. Es indudable que es más atractivo un rostro bien maquillado, porque se pueden realzar los rasgos más bonitos y esconder los menos agraciados.

La mujer colombiana en general, sobre todo en las grandes ciudades, está especialmente relacionada con la belleza, la apariencia física, y los productos naturales, Este factor se explica en parte por una progresiva liberación de la mujer y una mayor capacidad económica debido a su vinculación al mundo laboral.

En los cosméticos para el área de los ojos se encuentran gran variedad de marcas en el mercado; sin embargo podemos apreciar que la mayoría de ellas son productos sintéticos que de una u otra manera pueden afectar nuestro organismo, produciendo alergias, irritando los ojos, provocando arrugas, resequedad y siendo absorbidos por la piel, hasta llegar a la sangre y causar serias afecciones. Por tal razón nació este proyecto, que pretende innovar con un producto exclusivo con colorantes naturales, extraídos de la gran biodiversidad de nuestro país, que satisfaga las necesidades del consumidor, como facilidad de uso, duración, estética, y humectación, sin perjudicar el área de los ojos.

Para la realización de este proyecto se comenzó planteando las preguntas de investigación, las cuales dan una idea acerca de los objetivos que se pretenden cumplir al final de la investigación, y estas son:

1. ¿Cuáles son las tendencias en el mercado de los productos cosméticos?
2. ¿Cuáles son las materias primas, incluidos los colorantes naturales más adecuados para la elaboración de un cosmético para los ojos, que le confieran las características deseadas por el consumidor?
3. ¿Cuál es la formulación del producto deseado según las preferencias del consumidor?
4. ¿Cuáles son los procesos a utilizar para la elaboración del cosmético?
5. ¿Cuáles son los equipos necesarios para la fabricación del cosmético?
6. ¿Cómo es la calidad del producto obtenido comparado con los existentes en el mercado?

De acuerdo con las preguntas de investigación, se continuó con un estudio previo del mercado, para así conocer las preferencias de las consumidoras en cuanto a productos cosméticos se refiere, obteniéndose que uno de los productos más usados es la pestañina con un 19% ; además los colores negros y cafés son los preferidos por las mujeres en cuanto a delineadores y pestañinas; También se encontró que uno de los aspectos más importantes a la hora de la compra radica en la marca del producto, ocupando un 38.93% seguido por el precio con un 32.21%.

En este proyecto se escogió la pestañina como producto a realizar, porque además de ser el producto líder en consumo para el área de los ojos, también presenta facilidad para la incorporación de los colorantes naturales, los cuales aportan innovación a este producto.

A partir de las características anteriormente mencionadas se evaluaron diferentes materias primas (incluyendo los colorantes naturales usados : carmín, jagua y aguacate) y diferentes formulaciones reportadas en la bibliografía en cuanto a su facilidad para cumplir con las características deseadas por las consumidoras; posteriormente se realizan una serie de ensayos donde se evalúan factores como duración, sensibilidad en los ojos, viscosidad, pH, entre otros.

Cuando se logran establecer en la formulación los parámetros anteriormente mencionados, se comienza con el diseño de experimentos del tipo "Modelo de un factor bajo estudio de efectos fijos sin restricción de aleatoriedad" con el fin de lograr disminuir el tiempo de secado de la pestañina (el cual es la variable que no se tiene estandarizada hasta el momento) . Para alcanzar este objetivo se evalúan diferentes mezclas entre isoparafina y ciclo meticona, hasta obtener el menor tiempo de secado, que es de aproximadamente 1.4 minutos (esto puede variar dependiendo de la cantidad de producto que se aplique). Al obtener la formulación final se realizan las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas y además se efectúa un análisis sensorial con el fin de observar la conformidad de las personas con el producto, lográndose resultados satisfactorios.

Con este proyecto se obtuvo una pestañina cremosa de fácil aplicación, sin formación de grumos y de rápido secado, que proporciona volumen a las pestañas, y con buena resistencia al agua. Cabe anotar que la incorporación de los colorantes naturales no afecta las propiedades inherentes de la pestañina.

La composición comprende una fase oleosa, la cual esta compuesta principalmente de ceras, sales, parafina, siliconas, ácidos grasos, solvente orgánico y colorante natural (extraída de las plantas) los cuales hacen de esta, una formulación novedosa, porque involucran componentes que fortalecen y mejoran las funciones dérmicas gracias a los componentes químicos de las plantas.

La emulsión se obtiene al mezclar las ceras , grasas, y emulsionantes con el solvente orgánico, que posteriormente son mezclados con el colorante el cual por su naturaleza no es muy soluble en las grasas por tal motivo se debe diluir en una solución apropiada para luego incorporarlo a la mezcla de grasas, dando así la emulsión deseada.

Se usó un solvente orgánico volátil para facilitar el tiempo de secado, como la isoparafina; además las ceras usadas proporcionan adherencia a la pestaña como la cera de abejas y la parafina, así como también se incluye el uso de ácidos grasos que aportan una buena textura como el ácido esteárico .

También es importante el uso de preservativos puesto que este tipo de productos cosméticos son susceptibles a la contaminación con microorganismos, el preservativo usado en este proyecto fue BHT, así como otros componentes entre ellos siliconas, sales, emulsionantes, etc.

El mercado de los cosméticos verdes en especial el segmento del maquillaje, todavía no ha sido muy desarrollado en Colombia; incursionar en este mercado implica nuevos retos puesto que el uso de productos naturales involucra cambios en las formulaciones convencionales, sin embargo suministra un valor agregado al cosmético puesto que los productos naturales facilitan el cuidado de la piel y no causan efectos adversos a largo plazo; Además proporciona nuevas oportunidades de empleo , y creación de empresa que es bastante necesario en nuestro país.

PREPARACIÓN DE ÉSTERES GLICÉRICOS DE COLOFONIA

Catalina Mejía García
cmejia2@eafit.edu.co

Verónica Ochoa Arango
vochoaar@eafit.edu.co

RESUMEN

Se preparó éster glicérico de Colofonia a partir de Colofonia de Gaviotas y Colofonia Brasileira usando glicerina como reactivo grado alimento y zinc como catalizador. La reacción es llevada a cabo en atmósfera de Nitrógeno, para controlar el proceso de oxidación.

Se evaluó la reacción a temperaturas de 240°C, 255°C y 270°C, siendo esta última la mas apropiada para llevar a cabo el proceso de esterificación, debido a que el producto es obtenido en un menor tiempo.

El Zinc es el catalizador más apropiado para acelerar el proceso de esterificación ya que se logra obtener un producto de forma rápida, y con las características de color y punto de ablandamiento esperadas, es necesario tener en cuenta que la cantidad de catalizador no incide en el proceso de esterificación, es decir, en la velocidad de reacción, por lo tanto se pueden usar cantidades muy pequeñas de catalizador; la reacción de la investigación se trabajó con 0.3, 1.65 y 3 gr de Zinc, siendo 0.3 gr de catalizador la cantidad más apropiada para una carga total de materia prima de 600 gr., pues se acelera la reacción y se evita un alto oscurecimiento del producto.

El producto finalmente obtenido tiene un color de 8 y 9, además de un punto de ablandamiento de 89.9°C y 92°C para Brasil y Gaviotas respectivamente, parámetros establecidos tanto por la FDA y el Food Chemical Codex.

1. INTRODUCCIÓN

La industria de gomas de mascar y la de jugos sintéticos, utilizan ésteres de Colofonia preparados con Glicerina grado alimento.

En la actualidad el consumo en Colombia es alto, pero el total de este ingrediente base para las gomas de mascar y aditivo en los jugos, se importa de los Estados Unidos. La China es otro productor potencial de Colofonia que exporta a países como Japón y Australia; sin embargo este productor no satisface las necesidades que requiere su mercado y necesita importar Colofonia de Estados Unidos al igual que muchos otros. Otro posible nuevo productor es India, el cual obtiene la Colofonia de un tipo de árbol llamado *Boswellia Serrata* o árbol Salai

El principal fabricante de éster de Colofonia es la empresa Hércules que produce una Colofonia grado Wood Rosin (WR) de color más alto y que se extrae de variedades de pino *Caribae* y *Ellioti*, principalmente, cultivados en Canadá, Estados Unidos y México. En Colombia el mayor productor de Colofonia es Gaviotas, del tipo *Caribae* que es de alto rendimiento.

Otras especies de pino de las que se extrae la miera o goma base para la separación de la Colofonia y de la trementina, son *Palustris*, *Taeda*, *Ponderosa*, *Halepensis*, *Brutia*, *Pinaster*, *Oocarpa*, *Peuce*. La especie *Oocarpa* tiende a producir mayor proporción de trementina, como sucede en los cultivos hondureños, pero la calidad de la Colofonia es un poco inferior debido al alto porcentaje de material no saponificable que al final no será esterificado y se convertirá en un problema de separación final en el proceso de fabricación industrial de los ésteres de Colofonia con glicerina.

Los ésteres de Colofonia y glicerol, constituyen la base de las gomas de mascar, que además contienen: endulzantes, ablandadores y saborizantes. La base debe tener ciertas características de suavidad, blandura, textura y sensación al mascado y palatabilidad adecuada, la cual se le debe a la base de ésteres de Colofonia y glicerol modificados con los ablandadores. (Kanka, 1998).

La empresa norteamericana Hércules domina el mercado del éster de Colofonia tipo Wood Rosin y ha venido presionando para que la FDA no acepte la Gum Rosin en la base de las gomas de mascar y en la industria de alimentos. Sin embargo, los argumentos presentados por Hércules no han sido suficientes y por lo tanto la FDA concluye que se puede usar la Gum Rosin en la industria de alimentos¹.

Honduras, Brasil, Venezuela y Colombia son algunos de los países latinoamericanos que producen Gum Rosin. La inclusión de este material por parte de la FDA, trae beneficios a estos países especialmente en el área de los alimentos ya que podría competir con la Wood Rosin en los mercados estadounidenses.

1.1 Tipos de colofonia

- Colofonia de Trementina: Su obtención es sencilla, sólo es necesario herir (por escarificación) el árbol y recoger el exudado.
- Colofonia de Madera: Después de dejar los tocones de pino de hoja larga durante unos diez años en el suelo, la corteza y la albura han desaparecido y ha quedado el duramen rico en resina.
- Colofonia de Aceite de Resina: Contiene aproximadamente 90% de materia ácidas que se compone esencialmente de partes iguales de ácidos grasos y resínicos.

1.2 Reacciones

Las reacciones que se pueden dar en la Colofonia pueden ser en el doble enlace como:

- Hidrogenación
- Oxidación al aire
- Isomerización

¹ Fechada Agosto 26 de 2004, una carta (Docket No 2003-0471;FAP No 3 4749; Glycerol Ester of Gum Rosin de la compañía Hércules reclamando a la FDA por la aceptación de la GR como materia prima para ésteres de colofonia con Glicerol, además de la ya empleada y aceptada Word Rosin (WR) de color inferior, aduciendo argumentos técnicos que fueron rechazados por esta oficina, mediante un memorandum fechado el 17 de Febrero de 2005.

Otras pueden darse en el grupo carboxilo como:

- Reducción del grupo carboxilo a alcohol
- Conversión de nitrilo que a su vez se convierte en amina
- Esterificación

1.2.1 Esterificación

El carácter estructural con impedimento estérico del grupo carboxilo del ácido resínico exige temperaturas más altas o condiciones más energéticas para conseguir la esterificación. Este impedimento es, a su vez, la causa de la gran estabilidad del enlace de éster a su escisión por el agua, los ácidos o los álcalis.

Aunque el uso de catalizadores no es requerido para la esterificación, su uso resulta en una rápida reacción. Impurezas metálicas como trazas de cantidades de aluminio, disueltas en la Colofonia puede tener un efecto catalizador. Entre otros compuestos que sirven como catalizadores en las reacciones de esterificación están el ácido bórico, el zinc, óxido de zinc, acetato de zinc, óxido de calcio, hidróxido de calcio, acetato de calcio, cemento Pórtland, óxido de magnesio y ácido láctico, entre otros compuestos. Aun así, la mayoría de éstos traen desventajas en el producto final, por ejemplo el ácido bórico y el hierro dan productos muy oscuros; los catalizadores orgánicos descomponen o aumentan la descomposición de la Colofonia. Generalmente el zinc, el óxido de zinc y los óxidos de metales de tierras alcalinas y sus sales son los que menos problemas tienen.

El término “ester gum” se refiere a ésteres de glicerol con Colofonia sin modificar.

El éster de Colofonia se forma por la reacción de Colofonia con alcohol a temperaturas elevadas. El agua es un subproducto de la reacción.

1.3 Usos de los ésteres de colofonia

- Adhesivos
- Pulimento para pisos

- Tintas para impresión
- Protección para cascos
- Caucho
- Goma de mascar: Los ésteres de Colofonia que pueden ser usados para este fin según la FDA (Food and Drug Administration) incluyen la hidrogenación de metil ésteres de Colofonia, ésteres de PE (Pentaeritritol) de Colofonia y ésteres de glicerol de Colofonia ordinaria, Colofonia polimerizada, y Colofonia hidrogenada.

2. MATERIALES Y METODOS

Los ensayos preliminares fueron realizados en los Laboratorios de la Universidad EAFIT, y los ensayos piloto se realizaron en las instalaciones de la empresa Andercol S.A.

Las materias primas utilizadas fueron suministradas por Andercol S.A. y fueron:

- Colofonia Importada del Brasil
- Colofonia Colombia Gaviotas
- Glicerina grado USP
- Catalizadores

Los métodos empleados para determinar las características exigidas por la norma para los Ésteres Glicéricos de Colofonia grado alimento fueron:

2.1 Número ácido

Indica la cantidad de ácido que hay presente en la colofonia sin reaccionar. Para este producto el número ácido debe estar entre 3 y 9.

$$\text{Número ácido} = 56.1 * N * \frac{V}{W}$$

N = Normalidad del KOH

V = Volumen de KOH utilizado

W = Peso de la muestra tomada del reactor

2.2 Punto de ablandamiento

El punto de ablandamiento es determinado por el método de "Ball and Ring", cuando el producto está listo, es decir, con su valor de número ácido requerido.

Para este producto debe ser igual o mayor de 82°C.

2.3 Color

El método Gardner es usado para determinar el color del producto final. Existe una tabla que compara los valores del método Gardner con los valores dados por la norma ASTM D 509. Para este caso el producto debe tener un color entre 8 y 9 en el método de Gardner.

3. RESULTADOS

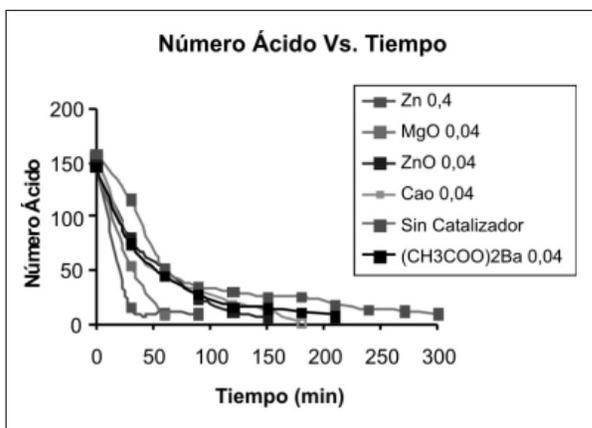
En los ensayos preliminares se hicieron muchos ensayos para determinar cual era el mejor catalizador para llevar a cabo la reacción en el menor tiempo posible y con un color visualmente claro.

Para esto se ensayaron catalizadores como: Oxido de Zinc, Oxido de Calcio, Oxido de Magnesio, Cloruro de Zinc y Acetato de Bario.

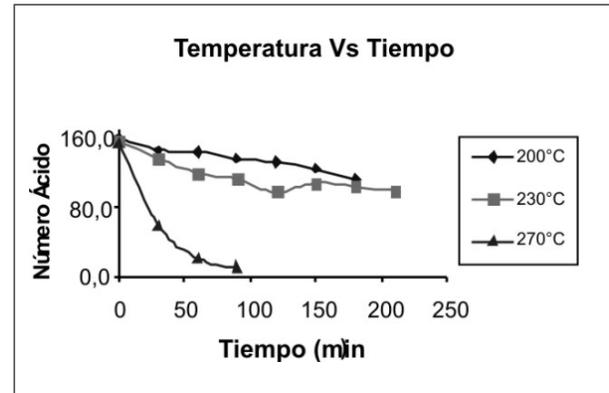
Además se realizaron ensayos a diferentes temperaturas y así determinar cual era la mejor. Para estos ensayos se trabajo sin atmósfera de gas inerte.

De estos ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

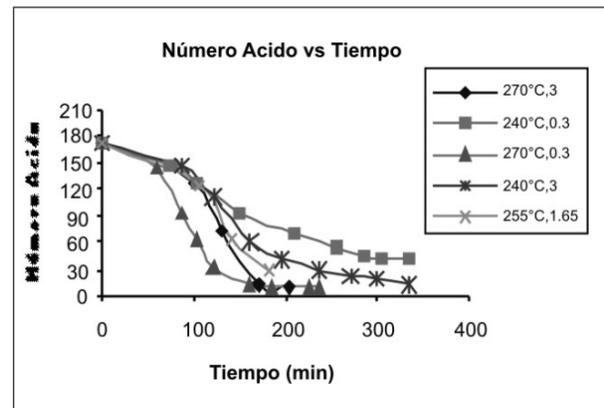
De acá se tiene que el mejor catalizador es el Zinc en polvo en una cantidad de 0.04gr.



En la grafica anterior se puede ver que la mejor temperatura para llevar a cabo la reacción de esterificación es 270°C



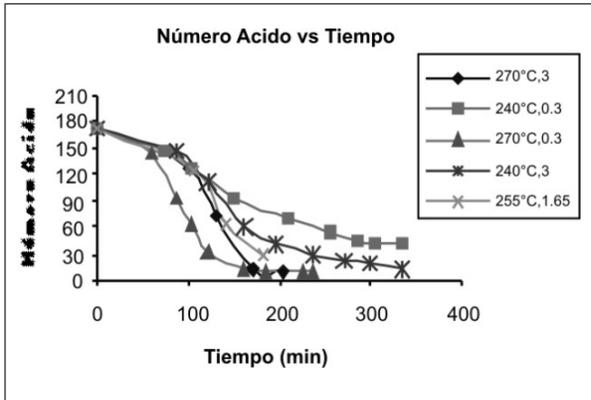
Para los ensayos preliminares se utilizo un exceso de glicerina del 150%, después de varios ensayos se determino que por costos del proceso y de materias primas, era posible trabajar con exceso del 40%, obteniendo las características deseadas en el producto final.



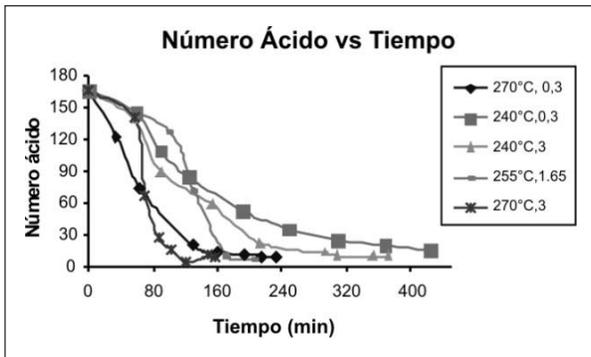
Los ensayos piloto fueron determinados por un Software estadístico, teniendo como variables de entrada: Temperatura, Porcentaje de catalizador y Tipos de Colofonia. Y como variables de respuesta: Número ácido, Color, Punto de Ablandamiento, esto en el menor tiempo de reacción posible.

Los resultados obtenidos fueron:

Colofonia Importada (Brasil)



Colofonia de Gaviotas (Colombia)



Las mejores condiciones del producto final para la Colofonia importada fueron las obtenidas a una temperatura de 270°C y 0.3gr de catalizador Zinc. Para la Colofonia nacional, fue a una temperatura de 270°C, pero con una cantidad de catalizador de 3gr.

Adicional a esto se hizo un ensayo sin catalizador usando una atmósfera de gas inerte, pero el tiempo de reacción fue demasiado largo y por esta razón se obtuvo un producto con un color bastante oscuro.

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Se observa que el uso de un catalizador para llevar a cabo la esterificación de la Colofonia con glicerina es efectivo, pues con éste, se ve cómo el número ácido se reduce considerablemente en el tiempo, mientras que sin el uso de un catalizador, la reacción se tarda entre 6 y 8 horas,

aumentando el gasto energético y de esta forma los costos del producto final.

Un alto exceso de glicerina acelera el proceso de esterificación, es decir aumenta las posibilidades de reacción de los ácidos presentes en la Colofonia con la glicerina, por esto en los ensayos preliminares se logró esterificar en cortos períodos de tiempo.

La disminución de la temperatura no es apropiada para llevar a cabo la reacción de esterificación

5. CONCLUSIONES

Se preparó éster glicérico de Colofonia usando zinc como catalizador, en atmósfera de nitrógeno a 270°C.

Se usó una relación 1/7.8 de glicerina – Colofonia y un 0.05% de catalizador.

El éster glicérico se preparó a partir de dos referencias de Colofonia: Gaviotas y Brasileira; con el fin de tener registros para ambas y poder desarrollar el producto a partir de cualquiera de estos dos tipos evaluados, según la disponibilidad.

El uso de un catalizador para esterificar la Colofonia es necesario si se desea obtener un producto de forma rápida y con menores costos de producción, aunque el producto tome un color ligeramente más oscuro no se sale de los parámetros.

A medida que la temperatura de la reacción disminuye por debajo de los 270°C la esterificación se hace más lenta y a temperaturas entre 270° y 300°C, la reacción es un poco más rápida, pero el producto resulta más oscuro y puede haber pérdida por evaporación y descomposición de la glicerina.

Se ensayaron otros catalizadores como óxidos de zinc, calcio y magnesio, entre otros, con rendimientos inferiores al zinc metálico.

Se realizaron varias esterificaciones sin corriente de nitrógeno pero el producto final resulta más oscuro que

cuando se emplea atmósfera de nitrógeno, ya que no es controlado el proceso de oxidación evitando las corrientes de aire en el reactor. Una corriente de nitrógeno garantiza un producto de mejor color.

Se hicieron varios ensayos sin catalizador con y sin corriente de nitrógeno, pero el proceso resulta mucho más lento.

El uso del catalizador, independiente de si se usa atmósfera de nitrógeno, produce un éster más oscuro, es decir, acelera el proceso de oxidación.

El zinc en polvo es el catalizador más recomendable para producir ésteres glicéricos de Colofonia de mejor calidad.

6. BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, Gilbert R. (1945). Rosin esters and Method of producing. Patente 2,369,125

BEEGLE, F.M. 1924. Laboratory Experimental Work on Éster Gum. Industrial and Engineering Chemistry. p953 – 955.

BUDAVARI, Susan. (1989). The Merck Index. An encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals. p8245 y 3652.

CAMPBELL, A Stuart (1937), Wood Naval Stores Industry. pp. 2 82 - 283.

**DISEÑO DE UN
PROCESO A ESCALA
DE LABORATORIO
PARA LA
PRODUCCIÓN DE
UN “AFTER SHAVE”
CON PROPIEDADES
RETARDANTES DEL
CRECIMIENTO DEL
VELLO**

Natalia Siegert V.
nsiegert@gmail.com

RESUMEN

Se desarrolla un after shave con características agradables y propiedades retardantes del crecimiento del vello, para ofrecerle a los usuarios un producto innovador, que les de la posibilidad de afeitarse menos frecuentemente y de mejorar su apariencia mientras cuidan su piel.

Se parte de una evaluación previa, mediante encuestas a los usuarios potenciales y búsqueda de estadísticas y artículos relacionados, del posible mercado del producto y de los factores de calidad esperados. Se seleccionan 3 componentes retardantes naturales, según la facilidad de consecución, investigaciones y patentes relacionadas. Se hacen ensayos con diferentes formulaciones, de las que se deduce que uno de los componentes evaluados (A) es el más efectivo para retardar el crecimiento del vello, mientras otro (B) parece tener un efecto contrario.

INTRODUCCIÓN

La barba aparece en el hombre aproximadamente entre los 15-16 años, especialmente en las zonas del mentón y el bigote (y en menor medida en mejillas y cuello)¹. Desde ese momento, los hombres adoptan el hábito de afeitarse, aunque trae consigo una agresión a la piel. En una afeitada se pueden destruir hasta tres capas de la epidermis, y en muchos casos, la piel dispone sólo de 24 horas para recuperarse². Para disminuir estos daños se han desarrollado lociones o cremas “after shave”, que desinflan, protegen y nutren la piel, pero el crecimiento del vello no se ve afectado. Se han desarrollado lociones y cremas retardantes, dirigidas generalmente al público femenino, como Vaniqa³ y Prodepil⁴. Estados Unidos cuenta con diversas patentes en la reducción del crecimiento del vello^{5,6,7}. Entre sus componentes activos están el ácido pantoténico, tripsina, extractos naturales y la solución de Bromuro de Lauril Isoquinoleina mencionada anteriormente. La empresa japonesa de cosméticos Shiseido, tiene patentado un inhibidor con base en extractos naturales en Europa, Estados Unidos y Japón. Entre sus ingredientes activos se encuentran las siguientes hierbas o extractos: cedro, soya, tomillo, caléndula, componente A, componente B, componente C y rosa salvaje. Recomiendan que los extractos estén entre el 0.000001 y el 5% en peso de toda la composición.

SELECCIÓN DE LA FÓRMULA

Para determinar las características esperadas (factores de calidad) por los usuarios potenciales, se realizó una encuesta con 120 de ellos. Los resultados indican que prefieren el after shave en loción, y que los principales factores de calidad incluyen que elimine la irritación, que refresque y que humecte. Según esto, se escogen algunos ingredientes naturales para complementar la fórmula: Ginkgo biloba, Té verde, Caléndula y Pepino, que le transmiten al producto sus propiedades humectantes, refrescantes, energizantes, antiirritantes, antiinflamatorias, protectoras y cicatrizantes.

Se realizan diferentes formulaciones con todos los extractos naturales y se le dan a probar a diferentes hombres, que por unanimidad escogen una de ellas.

DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Este diseño evalúa primordialmente la acción de los componentes retardantes mediante un diseño factorial de tres niveles para encontrar la concentración óptima de los mismos. La variable de respuesta para este diseño, es el porcentaje de usuarios que reportan una variación en la estructura o crecimiento de su barba.

Los puntos mínimos y máximos de los componentes a variar se definen de acuerdo con lo reportado en la literatura⁸. Con base en estos niveles se hace un diseño de experimentos factorial, y se empieza a utilizar la siguiente notación:

- Componentes: A, B y C
- Niveles: 1 (Mínimo), 2 (Medio) y 3 (Máximo)

Por ser tres variables evaluadas en tres niveles, el diseño factorial dicta realizar $3^3=27$ experimentos. De estos 27 experimentos, se escogen inicialmente 9, en los que se pueda comparar más fácilmente la acción de cada componente. Por esta razón, se escogen composiciones donde contrasten valores máximos y mínimos, y donde se pueda ver el efecto de aumentar la concentración de todos los componentes en la misma proporción. Cada ensayo se entrega para su evaluación a 5 personas, y se hace por duplicado para tener una mayor confiabilidad en los resultados. Las combinaciones escogidas para los experimentos iniciales fueron:

- Los tres componentes en la misma concentración
 - A1B1C1 A2B2C2 A3B3C3
- Un componente en la concentración máxima y los otros dos en la mínima.
 - A3B1C1 A1B3C1 A1B1C3
- Un componente en la concentración mínima y los otros dos en la máxima.
 - A1B3C3 A3B1C3 A3B3C1

- Adicionalmente, se hizo una loción sin componentes retardantes.
 - A0B0C0

De los resultados de estos experimentos, se escoge un nuevo intervalo y se realizan los experimentos finales.

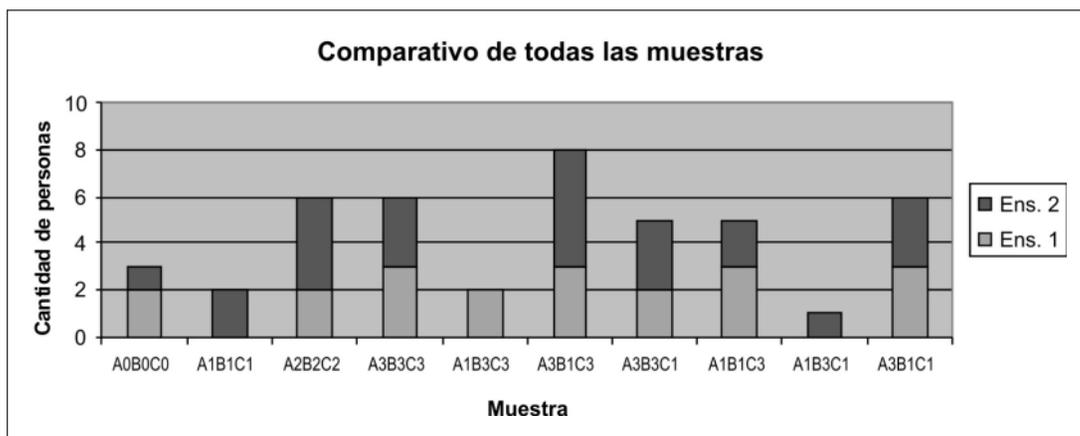
RESULTADOS

Los resultados obtenidos (el número de personas que notó cambios en el crecimiento de su barba) de los 20 experimentos iniciales se muestran en la Tabla 1 y en la Gráfica 1, divididos en primer y segundo ensayos, para un tiempo de seis semanas. Se calcula además el promedio de personas y el error estándar por muestra, que se grafican más adelante. En la Gráfica 1 se ve que hubo muestras (A1B1C1, A1B3C3 y A1B3C1) con menos resultados al de cero retardantes (A0B0C0).

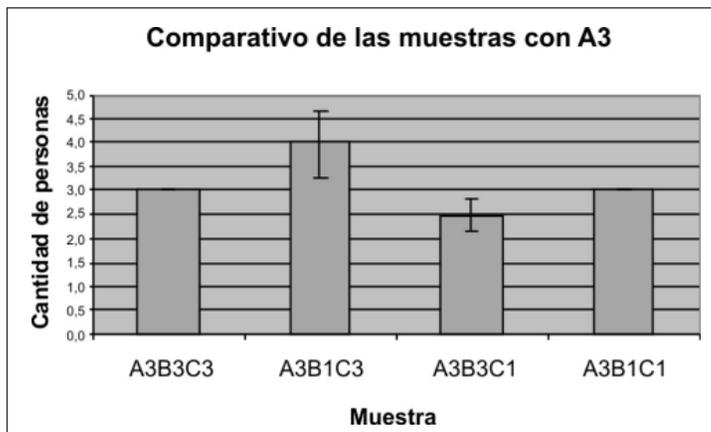
TABLA 1
Resultados de los experimentos iniciales

Muestra	Ens. 1	Ens. 2	Promedio	Error estándar
A0B0C0	2	1	1,5	0,35
A1B1C1	0	2	1,0	0,71
A2B2C2	2	4	3,0	0,71
A3B3C3	3	3	3,0	0,00
A1B3C3	2	0	1,0	0,71
A3B1C3	3	5	4,0	0,71
A3B3C1	2	3	2,5	0,35
A1B1C3	3	2	2,5	0,35
A1B3C1	0	1	0,5	0,35
A3B1C1	3	3	3,0	0,00

GRÁFICA 1. Resultados de los experimentos iniciales



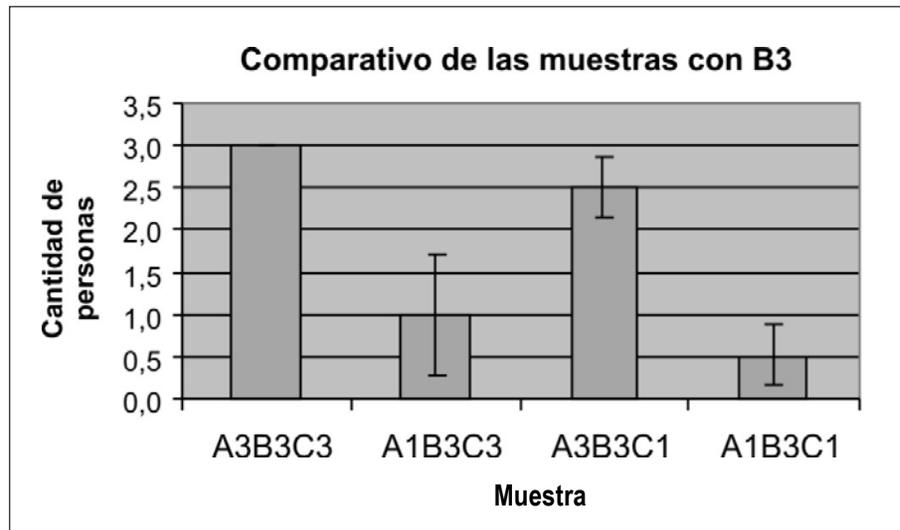
GRÁFICA 2. Resultados con el componente A en el nivel 3



Para analizar mejor los resultados, se muestran gráficas por similitudes en las composiciones.

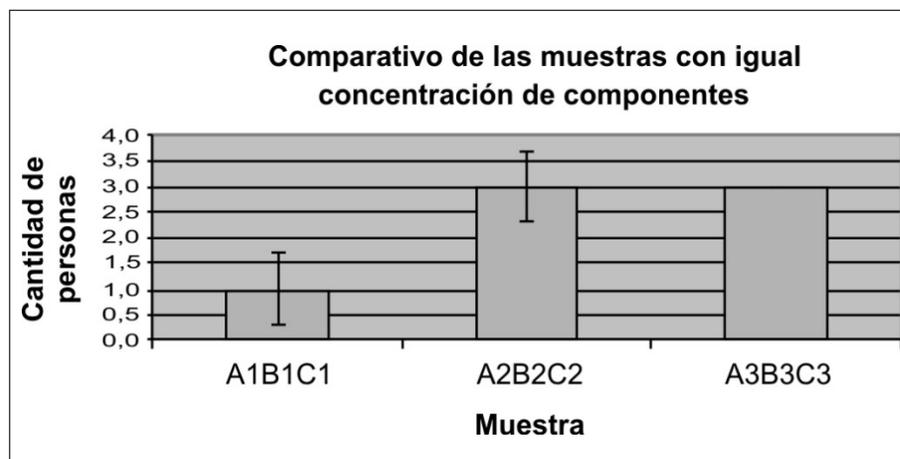
En esta gráfica es notable el efecto del componente A en el retardamiento del vello. También puede verse, que a la misma concentración de extracto de componente C, el efecto retardante disminuyó cuando se aumentó la concentración de componente B. Por otro lado, el componente C parece acompañar el efecto del componente A.

GRÁFICA 3
Resultados con el componente B en el nivel 3



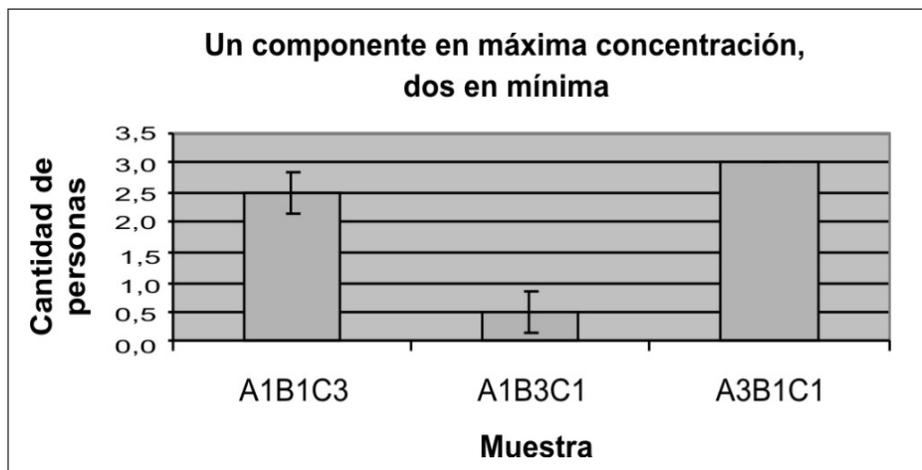
Es notorio que el efecto del componente B en la desaceleración del crecimiento del vello es mucho menor que la del componente C y el componente A. Cuando el único componente en su concentración máxima fue el componente B se obtuvieron muy malos resultados. Cuando se combinó con la máxima concentración de componente A y/o del componente C, los resultados mejoraron.

GRÁFICA 4
Resultados de las muestras con igual concentración de componentes



El aumentar las concentraciones de los componentes en igual proporción no garantiza que la acción retardante del after shave sea mejor, como muestra la gráfica. Aunque se ve un error grande en estos resultados, se podría pensar que el componente B contrarresta la acción de los otros dos retardantes, según lo expuesto en gráficas anteriores.

GRÁFICA 5
Resultados variando la composición máxima



Esta gráfica comprueba una vez más que el componente B en altas concentraciones respecto a los otros dos retardantes (A1B3C1) tiene un efecto casi nulo. Los resultados de este ensayo son menores a los obtenidos sin ningún componente desacelerador, por lo que pueden obedecer a percepciones y no a resultados reales.

Según los resultados iniciales, se decidió realizar un nuevo experimento con las concentraciones máximas de extracto de componente A y de componente C, eliminando por completo el componente B. También se hizo de nuevo la mejor formulación inicial, para repartirla a más personas y poder compararla con la nueva formulación. Cada fórmula se entregó a 10 personas y se hizo por duplicado. Los resultados variaron un poco respecto a los obtenidos anteriormente, cuando se alcanzó un 80% de personas que afirmaba que había notado cambios en su barba. En estos resultados, el 60% de los hombres tratados con la formulación anterior dice haber visto una desaceleración en el crecimiento de su barba o un cambio en la estructura de la misma. La formulación sin componente B sólo tuvo un 5% más, haciendo la diferencia casi despreciable. Sin embargo, se escogió como la mejor formulación, según todos los resultados y análisis hechos.

TABLA 2
Resultados de los ensayos finales

Muestra	Ens. 1	Ens. 2	Promedio	Error estándar
A3B0C3	5	8	6,5	1,06
A3B1C3	7	5	6,0	0,71

La fórmula final quedó entonces así:

- | | % |
|-------------------------------|------------|
| • Agua | c.s.p.100 |
| • Etanol | 30-37 |
| • Mentol | 0.01-0.45 |
| • Alcohol Bencílico | 0.001-0.15 |
| • Extracto de pepino | 0.4-1.5 |
| • Extracto de te verde | 0.4-1.5 |
| • Extracto de ginkgo biloba | 0.4-1.5 |
| • Extracto de caléndula | 0.4-1.5 |
| • Extracto de componente A | 0.1-3.0 |
| • Extracto de de componente C | 0.1-3.0 |
| • Metilparabeno | 0.2 |
| • Perfume | |
| • Color | |

Entre las 20 personas que utilizaron la formulación final se realizó una encuesta en donde se comprobó la aceptabilidad del producto en función de sus factores de calidad. El producto se evaluó mediante análisis organoléptico, de medición de pH y microbiológico, y se demostró la estabilidad del producto.

EL PROCESO

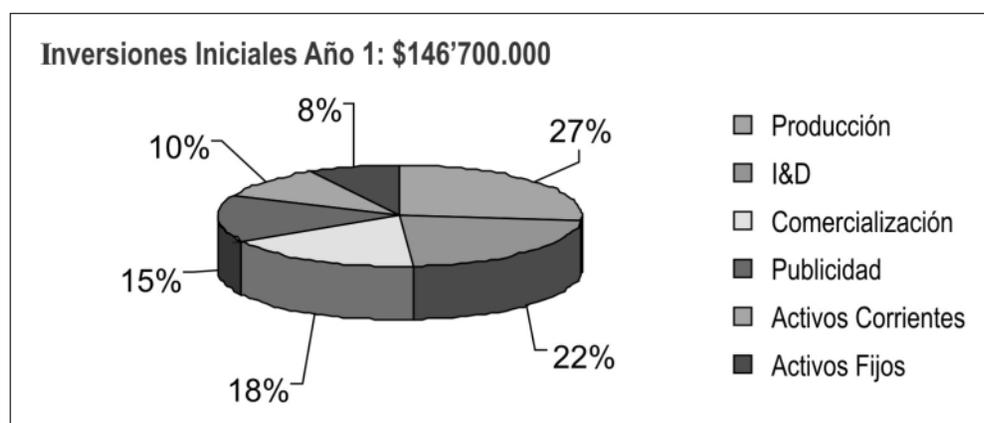
- **Preparación de los extractos naturales:** Todos los extractos se realizaron mezclando 100g de material seco por 1000ml. de propilenglicol, con agitación continua por 30 minutos y a una temperatura entre 48 y 55°C. Al final, se filtraron para obtener soluciones más homogéneas.
- **Pesaje y mezclado:** Se pesa cada componente del producto de acuerdo con la formulación y se disuelven uno a uno en el etanol, con agitación continua.
- **Ajuste de pH:** Para ajustar el pH de la mezcla se utilizó ácido cítrico, hasta obtener un pH neutro.
- **Clarificación por enfriamiento y filtración:** El after shave se pone 10 minutos en la nevera y luego se filtra.
- **Envasado y etiquetado:** Se vierte la solución en los envases seleccionados y se pone la etiqueta respectiva.

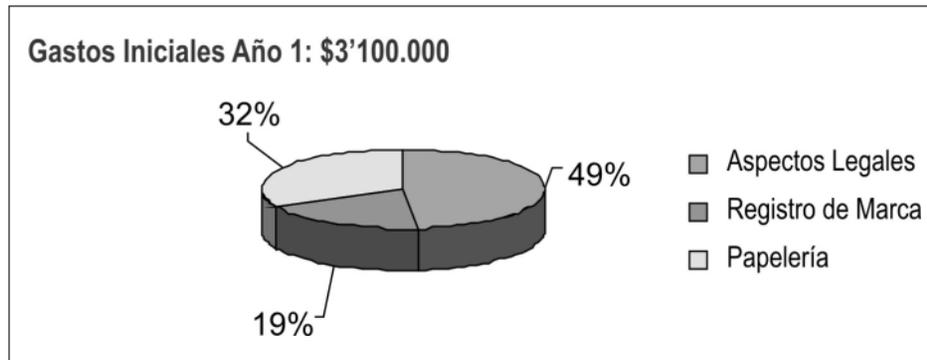
EVALUACIÓN DEL PROCESO

- **Seguridad:** El proceso es seguro; sólo requiere un leve calentamiento para la preparación de los extractos, no se utilizan sustancias tóxicas y el equipo que se utiliza no requiere personal altamente calificado.
- **Tecnología:** No se utiliza alta tecnología en el proceso, ya que es muy simple. Los equipos usados se limitan a un pHmetro, una plancha agitadora y vidriería.
- **Materias primas:** Las materias primas usadas son de fácil consecución en Medellín y no son nocivas.
- **Ambiental:** El proceso se desarrolla con pocas emisiones al ambiente. Los residuos generados son el papel filtro usado y el material restante de la preparación de los extractos; por ser material orgánico, se trata fácilmente. Casi toda el agua que se utiliza hace parte del producto final.

CONSIDERACIONES FINANCIERAS

Para el primer año de la empresa son necesarios \$149'800.000, distribuidos así:

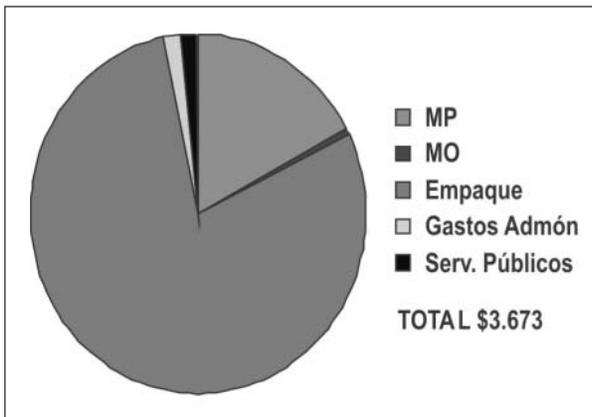




FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Para estimar la viabilidad que podría tener el after shave en el mercado se hace una cuantificación de los costos del producto a escala de laboratorio.

Los costos unitarios, para 100 ml. de after shave, se resumen en el siguiente gráfico.



De acuerdo con los precios de la competencia, el valor percibido por los usuarios y teniendo en cuenta un público objetivo y las propiedades retardantes del after shave, se decide venderlo a \$20000 la unidad de 100 ml. Esto da una rentabilidad de 444.5%, que ayudaría a cubrir, junto a las ganancias de los otros productos, la investigación y el desarrollo de nuevos productos y la inversión inicial de 150 millones. Las ventas proyectadas, sólo para Medellín, en el año 1 alcanzan los \$214'629.000, cubriendo así la inversión inicial.

CONCLUSIONES

- El mercado de los cosméticos masculinos está en alza y Colombia es un gran lugar para iniciar una empresa de este tipo.
- Se desarrolló a escala de laboratorio un after shave con propiedades retardantes del vello, a base de extractos de componente A y de componente C.
- Los factores de calidad deseados por los usuarios de after shaves exigen que el producto calme la irritación, humecte y refresque al mismo tiempo.
- El componente que obtuvo mejores resultados en la desaceleración del vello fue el componente A. El componente C tuvo también buenos efectos, mientras el componente B parecía hacer lo contrario.
- La mejor fórmula obtenida fue aquella con concentraciones máximas de extractos de componente A y de componente C; eliminando totalmente el componente B.
- Se garantizó la calidad del producto por análisis organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos.
- El análisis de factibilidad económica demostró que el proyecto puede ser viable, con una rentabilidad esperada de 444.5%
- Un after shave con propiedades retardantes del vello es un producto innovador; puede ser base para crear una

empresa y aportar al desarrollo socioeconómico del país. Sin embargo, el proceso para su obtención está diseñado para escala de laboratorio; debe escalarse para aumentar la capacidad y competir con más fuerza.

REFERENCIAS

- i Global Cosmetic Magazine. Protección dermofarmacéutica de la piel masculina. www.globalcosmetic.com (Consulta 12/05/06)
- ii AMIRALL, et. al. Desarrollo de una loción astringente "after shave" a base de Spirulina. Instituto de Farmacia y Alimentos Universidad de la Habana. La Habana, Cuba (2003)
- iii Nueva dermatología. Problemas al afeitarse. <http://www.nuevadermatologia.com.ar/afeitarse.html>. (Consulta 06/07/06)
- iv Cosméticos con tu marca. Fichas técnicas. <http://www.cosmeticoscontumarca.com/tm12.htm> (Consulta 06/07/06)
- v JARDIEN, et al. Reduction of hair growth. United States Patent 7,015,349. (Marzo 21, 2006)
- vi TSUJI, et al. Method of inhibiting hair growth. United States Patent 6,747,017. (Junio 8, 2004)
- viii TSUJI, et al. Treating method for suppressing hair growth. United States Patent 6,375,948. (Abril 23, 2002)
- viv TSUJI, et al. Method of inhibiting hair growth. United States Patent 6,747,017. (Junio 8, 2004)

TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

Copia disponible en: www.eafit.edu.co/investigacion

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

Cuaderno 21 – Agosto 2004

*ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DE LA AVENIDA
TORRENCIAL DEL 31 DE ENERO DE 1994 EN LA
CUENCA DEL RÍO FRAILE Y
SUS FENÓMENOS ASOCIADOS*

Juan Luis González, Omar Alberto Chavez,
Michel Hermelín

Cuaderno 22 – Agosto 2004

*DIFERENCIAS Y SIMILITUDES EN LAS TEORÍAS
DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO*

Marleny Cardona Acevedo, Francisco Zuluaga Díaz,
Carlos Andrés Cano Gamboa,
Carolina Gómez Alvis

Cuaderno 23 – Agosto 2004

GUIDELINES FOR ORAL ASSESSMENT

Grupo de investigación Centro de Idiomas

Cuaderno 24 – Octubre 2004

*REFLEXIONES SOBRE LA INVESTIGACIÓN
DESDE EAFIT*

Dirección de investigación y Docencia

Cuaderno 25 – Septiembre 2004

*LAS MARCAS PROPIAS DESDE
LA PERSPECTIVA DEL CONSUMIDOR FINAL*

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 26 – Febrero 2005

PUBLICACIONES Y PONENCIAS -2004-

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 27 – Marzo 2005

EL MERCADEO EN LA INDUSTRIA DE LA CONFECCIÓN – 15 AÑOS DESPUÉS -

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 28 – Abril 2005

LA SOCIOLOGÍA FRENTE A LOS ESPEJOS DEL TIEMPO: MODERNIDAD, POSTMODERNIDAD Y GLOBALIZACIÓN

Miguel Ángel Beltrán, Marleny Cardona Acevedo

Cuaderno 29 – Abril 2005

“OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA DE CIANURO”

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 30 – Mayo 2005

EVALUACIÓN A ESCALA DE PLANTA PILOTO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO, BAJO LA FILOSOFÍA “CERO EMISIONES”

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 31 – Junio 2005

LA DEMANDA POR FORMACIÓN PERMANENTE Y CONSULTORÍA UNIVERSITARIA

Enrique Barriga Manrique

Cuaderno 32 – Junio 2005

ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2004

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 33 – Julio 2005

PULVERIZACIÓN DE COLORANTES NATURALES POR SECADO POR AUTOMIZACIÓN

Grupo de Investigación Desarrollo y

Diseño de Procesos -DDP-

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 34 – Julio 2005

“FOTODEGRADACIÓN DE SOLUCIONES DE CLOROFENOL-CROMO Y TOLUENO-BENCENO UTILIZANDO COMO CATALIZADOR MEZCLA DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂), BENTONITA Y CENIZA VOLANTE”

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Edison Gil Pavas

Cuaderno 35 – Septiembre 2005

HACIA UN MODELO DE FORMACIÓN CONTINUADA DE DOCENTES DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN EL USO PEDAGÓGICO DE LAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

Claudia María Zea R., María del Rosario Atuesta V., Gustavo Adolfo Villegas L., Patricia Toro P., Beatriz Nicholls E., Natalia Foronda V.

Cuaderno 36 – Septiembre 2005

ELABORACIÓN DE UN INSTRUMENTO PARA EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE CAMBIO ASOCIADOS CON LA IMPLANTACIÓN DEL TPM EN COLOMBIA

Grupos de Investigación:

Grupo de Estudios de la Gerencia en Colombia

Grupo de Estudios en Mantenimiento Industrial (GEMI)

Cuaderno 37 – Septiembre 2005

PRODUCTOS Y SERVICIOS FINANCIEROS A GRAN ESCALA PARA LA MICROEMPRESA COLOMBIANA

Nicolás Ossa Betancur

Grupo de Investigación en Finanzas y Banca

Área Microfinanzas

Cuaderno 38 – Noviembre 2005

PROCESO “ACOPLADO” FÍSICO-QUÍMICO Y BIOTECNOLÓGICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON CIANURO

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y

Biotecnológicos -GIPAB-

Cuaderno 39 – Febrero 2006

LECTURE NOTES ON NUMERICAL ANALYSIS

Manuel Julio García R.

Department of Mechanical Engineering

Cuaderno 40 – Febrero 2006

MÉTODOS DIRECTOS PARA LA SOLUCIÓN DE SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES SIMÉTRICOS, INDEFINIDOS, DISPERSOS Y DE GRAN DIMENSIÓN

Juan David Jaramillo Jaramillo, Antonio M. Vidal Maciá, Francisco José Correa Zabala

Cuaderno 41- Marzo 2006

PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES Y REGISTROS 2005

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 42- Mayo 2006

A PROPÓSITO DE LA DISCUSIÓN SOBRE EL DERECHO PENAL “MODERNO” Y LA SOCIEDAD DEL RIESGO

Diana Patricia Arias Holguín

Grupo de Estudios Penales (GEP)

Cuaderno 43- Junio 2006

ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2005

Departamento de Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería

Cuaderno 44- Junio 2006

EL “ACTUAR EN LUGAR DE OTRO” EN EL CÓDIGO PENAL COLOMBIANO, ÁMBITO DE APLICACIÓN Y PROBLEMAS MÁS RELEVANTES DE LA FÓRMULA DEL ART. 29 INCISO 3

Susana Escobar Vélez

Grupo de Estudios Penales (GEP)

Cuaderno 45- Septiembre 2006

ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2004 Y EN EL 2005-1

Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto

Escuela de Ingeniería

Cuaderno 46- Octubre 2006

COMENTARIOS A VISIÓN COLOMBIA II CENTENARIO: 2019

Andrés Ramírez H., Mauricio Ramírez Gómez y Marleny Cardona Acevedo

Profesores del Departamento de Economía

Antonio Barboza V., Gloria Patricia Lopera M.,

José David Posada B. y José A. Toro V.

Profesores del Departamento de Derecho

Carolina Ariza Z. – *Estudiante de Derecho*

Saúl Echavarría Yepes-*Departamento de Humanidades*

Cuaderno 47- Octubre 2006

LA DELINCUENCIA EN LA EMPRESA: PROBLEMAS DE AUTORÍA Y PARTICIPACIÓN EN DELITOS COMUNES

Grupo de Estudios Penales (GEP)

Maximiliano A. Aramburo C.

Cuaderno 48 – Octubre 2006

GUIDELINES FOR TEACHING AND ASSESSING WRITING

Grupo de Investigación – Centro de Idiomas (GICI)

Ana Muñoz, Sandra Gaviria, Marcela Palacio

Cuaderno 49 – Noviembre 2006

APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOCATALÍTICOS PARA LA DESTRUCCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS Y OTRAS SUSTANCIAS EN FUENTES HÍDRICAS

Grupo de Investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Edison Gil Pavas, Kevin Molina Tirado

Cuaderno 50 – Noviembre 2006

*PROPUESTAS METODOLÓGICAS EN
LA CONSTRUCCIÓN DE CAMPOS
PROBLEMÁTICOS DESDE EL CICLO DE VIDA DE
LAS FIRMAS Y EL CRECIMIENTO INDUSTRIAL DE
LAS MIPYMES*

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales
Departamento de Economía
Escuela de Administración
Marleny Cardona Acevedo
Carlos Andrés Cano Gamboa

Cuaderno 51 – Enero 2007

*PRODUCTO DE TELEPRESENCIA PARA
LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN
EL ÁMBITO NACIONAL*

Departamento de Ingeniería de Sistemas
Departamento de Ciencias Básicas
Helmuth Treftz Gómez,
Pedro Vicente Esteban Duarte
Andrés Quiroz Hernández
Faber Giraldo Velásquez
Edgar Villegas Iriarte

Cuaderno 52 – Febrero 2007

*PATRONES DE COMPRA Y USO DE VESTUARIO
MASCULINO Y FEMENINO EN
LA CIUDAD DE MEDELLÍN*

Departamento de Mercadeo
Belisario Cabrejos

Cuaderno 53 – Febrero 2007

*EL DEBATE SOBRE LA MODERNIZACIÓN
DEL DERECHO PENAL*

Materiales de investigación

Grupo de Investigación
Grupo de Estudios Penales (GEP)
Juan Oberto Sotomayor Acosta
Diana María Restrepo Rodríguez

Cuaderno 54 – Marzo 2007

*ASPECTOS NORMATIVOS DE LA INVERSIÓN
EXTRANJERA EN COLOMBIA: Una mirada a la luz
de las teorías de las Relaciones Internacionales*

Pilar Victoria Cerón Zapata y
Grupo de Investigación en Inversión Extranjera:
Sabina Argáez, Lina Arbeláez y Luisa Victoria Euse

Cuaderno 55 – Abril 2007

*PUBLICACIONES, PONENCIAS,
PATENTES Y REGISTROS 2006*

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 56 – Abril 2007

*CAPITAL HUMANO: UNA MIRADA DESDE
LA EDUCACIÓN Y LA EXPERIENCIA LABORAL*

Marleny Cardona Acevedo
Isabel Cristina Montes Gutiérrez
Juan José Vásquez Maya
María Natalia Villegas González
Tatiana Brito Mejía
Semillero de Investigación en Economía de EAFIT
–SIEDE–
Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales
–ESyT–

Cuaderno 57 – Mayo 2007

*ESTADO DEL ARTE EN EL ESTUDIO DE
LA NEGOCIACIÓN INTERNACIONAL*

Maria Alejandra Calle
Departamento de Negocios Internacionales
Escuela de Administración

Cuaderno 58 – Agosto 2007

*ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN
EL AÑO 2006*

Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 59- Octubre 2007

DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS (DNP)

Jorge E. Devia Pineda, Ph.D.

Grupo de Investigación Desarrollo y Diseño de
Procesos y Productos -DDP-

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 60- Marzo 2008

*ARTÍCULOS DE PROYECTOS DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO QUE SE
GRADUARON DESDE EL 2005-2 HASTA EL 2007-1*

Grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño

Cuaderno 61- Marzo 2008

*MEMORIAS CÁTEDRA ABIERTA TEORÍA
ECONÓMICA*

Marleny Cardona Acevedo

Danny Múnera Barrera

Alberto Jaramillo Jaramillo

Germán Darío Valencia Agudelo

Sol Bibiana Mora Rendón

Cuaderno 62- Abril 2008

*PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES
Y REGISTROS - 2007*

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 63- Junio 2008

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2006

Escuela de Ingeniería