

La investigación y el desarrollo de Productos Químicos

Jorge E. Devia

RESUMEN

En este artículo se presentan, en forma breve, los resultados de un proyecto de investigación orientado a la obtención de productos, en el área química, que puedan ser comercializables y que representen una oportunidad de negocios. Se obtuvieron cinco productos que actualmente no se producen en el país y que por sus características pueden ser ofrecidos en el mercado con una buena rentabilidad.

INTRODUCCIÓN

Una de las grandes necesidades en nuestro país es adquirir la cultura y la capacidad para pasar de las etapas de importación y copia de productos a la de creación de los conceptos de aquellos que se necesitan para atender las necesidades de la población en las ciudades y los campos. Pero no se trata simplemente de generar las ideas, es vital llevar estas ideas a la práctica para completar el proceso de la creatividad y la innovación (Bobrow, 1997).

Las reglas para el desarrollo de nuevos productos han cambiado sustancialmente. Muchas empresas se han dado cuenta de que además de los conceptos aceptados de calidad, bajos costos y diferenciación, es necesario incluir la velocidad de respuesta y la flexibilidad, para poder tener éxito en los nuevos mercados. El equipo de trabajo debe ser capaz de adquirir amplios conocimientos y una diversidad de habilidades que le ayuden a tener la versatilidad necesaria para resolver rápidamente una gran variedad de problemas. Además, este equipo debe

compartir su aprendizaje con los demás miembros de la organización.

Este proyecto de investigación, que se realiza en los laboratorios de Ingeniería de Procesos en la Universidad EAFIT, tiene como propósito, además de ofrecer oportunidades a los alumnos para integrar sus conocimientos, identificar y producir algunos productos que tengan valor comercial y que no contribuyan a la degradación del ambiente, para que puedan ser el origen de nuevos negocios. Como consecuencia de la continuación de este proyecto se podría llegar a la creación de una incubadora de empresa en la Universidad, no sólo de base tecnológica, como se tiene actualmente en la ciudad, sino también incluir la producción de otros productos que pueden sustituir algunas importaciones.

Una de las grandes necesidades en nuestro país es adquirir la cultura y la capacidad para pasar de las etapas de importación y copia de productos a la de creación de los conceptos de aquellos que se necesitan para atender las necesidades de la población en las ciudades y los campos.

Para la selección de los productos que se quieran desarrollar, se debe tener en cuenta que, en muchas áreas de los negocios,

JORGE E. DEVIA P. PhD. Docente, departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT.
E-mail: jdevia@eafit.edu.co

son los usuarios más bien que los productores quienes verdaderamente seleccionan lo que se necesita en el mercado. Y se observa que, una vez los usuarios recomiendan un determinado producto, los fabricantes se hacen cargo de estos a pesar del pensamiento convencional de la necesidad de una investigación de mercados previa a cualquier desarrollo (Von Hippel, 1982).

En el desarrollo de nuevos productos se han determinado tres dimensiones necesarias para que estos tengan éxito en el mercado: (a) el desempeño financiero determina el éxito global del producto, (b) la ventana de oportunidad muestra el grado en que el nuevo producto abre nuevas posibilidades en términos de una nueva categoría de productos y una nueva área de negocios y (c) el impacto en el mercado describe la huella que deja el producto en los mercados domésticos e internacionales (Cooper, 1987). En el desarrollo de este proyecto se consideran estas tres dimensiones para seleccionar los productos que puedan tener un buen desempeño en el mercado.

En el largo plazo, la competitividad de un Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Productos depende no sólo de las tres dimensiones anteriores, sino también de la capacidad de crear nuevos estándares para la industria y nuevos nichos de mercado. Así que para lograr productos que tengan un impacto notable en el mercado es necesario elaborar un plan agregado del proyecto que describa las relaciones entre los productos en desarrollo para optimizar el proceso de investigación.

Una vez que se han generado productos no se puede simplemente dejar los procedimientos en los anaqueles, hay que diseñar las estrategias necesarias para

que sean aceptados en el mercado. Actualmente hay muchos productos que se importan y que, con la aplicación de nuevas tecnologías en los procesos, pueden ser producidos en el país a menores costos (MacMillan, 1996).

Este proyecto de investigación, que se realiza en los laboratorios de Ingeniería de Procesos en la Universidad EAFIT, tiene como propósito, además de ofrecer oportunidades a los alumnos para integrar sus conocimientos, identificar y producir algunos productos que tengan valor comercial y que no contribuyan a la degradación del ambiente, para que puedan ser el origen de nuevos negocios. Como consecuencia de la continuación de este proyecto se podría llegar a la creación de una incubadora de empresa en la Universidad, no sólo de base tecnológica, como se tiene actualmente en la ciudad, sino también incluir la producción de otros productos que pueden sustituir algunas importaciones.

DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS

Dentro de la gran variedad de productos cuyo desarrollo se puede investigar, se pueden considerar los siguientes:

El desarrollo de nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades de la industria nacional y de los consumidores (Diseño de Procesos). En este caso se trata de modernizar el proceso para la

producción de fosfato monoamónico, sustancia de amplio uso como abono y que Colombia, a pesar de que tiene minas de roca fosfórica en el Departamento de Santander, sigue importando porque únicamente se produce el fosfato de amonio $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, más no el fosfato diamónico ni el fosfato mononamónico.

El desarrollo de innovaciones derivadas, que hagan que productos originales adquieran atributos que los hagan más atractivos en el mercado (Innovación en Productos). Los aceites esenciales obtenidos de diversas especies vegetales son ampliamente conocidos en aromaterapia y mezclas de estos pueden usarse, por ejemplo, para prevenir la picadura de los mosquitos que transmiten enfermedades como el paludismo y el dengue.

Los atributos de productos existentes pueden ser mejorados o aumentados, logrando mayor aceptación en el mercado y satisfacer otras especificaciones que los productos originales no cumplieran (Innovación en Productos).

Productos conocidos pueden presentarse dentro de nuevos contextos que los hagan parecer diferentes a los ya acreditados en el mercado.

Desarrollo de productos que ya tienen éxito en otros países pero que aún no son conocidos en el mercado nacional. Muchos productos químicos han tenido mucho éxito en otros países, pero hasta el momento no se conocen o no se utilizan en el país. Tal es el caso de la capsaicina, sustancia obtenida del ají y que desde el siglo pasado se ha usado en los Estados Unidos para ahuyentar a los perros, por parte de los carteros, y a los osos por parte de los excursionistas.

Diseño de nuevos procesos para obtener productos que ya son conocidos en otros contextos culturales. (Diseño de Procesos)

Modificación de los procesos para obtener productos que ya son ampliamente utilizados en otros países. Con esta finalidad se ha intentado producir un polímero con base el almidón de la yuca industrial, de manera similar a como se hace en otros países con el almidón del maíz y de la papa, para producir empaques y utensilios biodegradables.

EL PROCESO DE DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS

El proceso de desarrollo de productos nuevos tiene varias fases, al final de cada una de las cuales debe hacerse una evaluación para decidir si se continúa el proyecto, porque en muchas ocasiones las condiciones del mercado no son favorables o las dificultades inherentes al proceso de producción son tales que están más allá de las capacidades de quienes emprendieron la aventura creativa.

- **Análisis del mercado:** antes de iniciar cualquier proyecto es necesario verificar cuál puede ser la posible aceptación del producto en el mercado, aunque no siempre hay coincidencia con el resultado esperado. Por ejemplo para el famoso Walk-Man de la Sony no se hizo ningún estudio de mercado, porque ¿quién iba a querer estar escuchando música a toda hora?. Este análisis mas bien permite considerar las posibles necesidades de los consumidores y la probabilidad de que estén dispuestos a pagar cierta cantidad de dinero por un producto que no conocen y del cual sólo saben que puede responder a alguna de sus necesidades.
- **Generación de Ideas de Productos:** a partir de los resultados del análisis de mercado se pueden identificar varias ideas de las oportunidades que se presentan para producir algunos productos. Estas ideas surgen de muy diferentes fuentes: competidores, clientes, vendedores, ejecutivos, etc. De estas ideas se deben seleccionar aquellas más promisorias y que caigan dentro de las posibilidades y capacidades del equipo de trabajo. Una vez seleccionados los productos que se quieren producir hay que refinar las ideas para tratar de adaptarlas lo más que se pueda a las necesidades del consumidor.
- **Diseño conceptual del producto:** en esta etapa se trata de definir la factibilidad de fabricación, desde el punto de vista técnico, de los productos seleccionados, esto es, las

materias primas, los procesos químicos para la producción y la tecnología necesaria. Igualmente hay que definir las especificaciones del producto y las diversas variables que deben considerarse en su producción. Para cumplir con un buen diseño hay que hacer una búsqueda de información suficiente y necesaria, sin llegar a la saturación que impida la creatividad. Igual que en la etapa anterior, se pueden emplear varias de las técnicas creativas conocidas para generar ideas que puedan contribuir al éxito del producto (Devia, 1996)

- **Diseño de los experimentos:** para iniciar los ensayos de producción de un determinado producto es necesario detallar las condiciones experimentales y cuántos y cuáles ensayos son indispensables para determinar las condiciones finales del proceso.
- **Experimentos y ensayos:** corresponde a la etapa experimental en la cual se hacen los ensayos precisos para producir los productos seleccionados y se realizan los análisis y pruebas de laboratorio para garantizar su calidad y funcionalidad.
- **Producción:** una vez definidos los parámetros de producción en el laboratorio, y cuando se trata de productos que se van a llevar al mercado hay que diseñar un plan de escalamiento y definir los costos, capacidad de producción, el plan de mercadeo, la capacitación en ventas y demás factores que hay que considerar, incluido el nombre del producto, para iniciar la comercialización con el fin de colocarlo al alcance de los consumidores y así lograr un buen desempeño financiero (Rosenthal, 1998). Esta última etapa no se puso en práctica en el desarrollo del presente proyecto por estar más allá de los objetivos propuestos.

PRODUCTOS DESARROLLADOS

Después de un amplio análisis de múltiples posibilidades, en este proyecto se seleccionaron cinco de los productos que actualmente no se producen en el país y con los cuales se espera abrir nuevas oportunidades de negocios. Inicialmente y como uno de los resultados de este proyecto el reciclaje de papel ya se ha puesto en práctica en una empresa editorial.

1. Papel reciclado

La importancia del papel y de los productos papeleros en la vida moderna es obvia; no hay ningún producto manufacturado

que tenga una función tan importante en cualquier área de la actividad humana. El papel constituye un medio para guardar, almacenar y difundir información; la mayor parte de la impresión y de la escritura se hace sobre este sustrato. Es el material de envase y embalaje más ampliamente utilizado y es también importante en otras aplicaciones. Cada día aumentan las necesidades de papel, y para suplir esta demanda se requiere gran cantidad de materia prima que en un porcentaje muy elevado proviene de los bosques.

El proceso de desarrollo de productos nuevos tiene varias fases, al final de cada una de las cuales debe hacerse una evaluación para decidir si se continúa el proyecto, porque en muchas ocasiones las condiciones del mercado no son favorables o las dificultades inherentes al proceso de producción son tales que están más allá de las capacidades de quienes emprendieron la aventura creativa.

En numerosas referencias consultadas, se citan las estadísticas de consumo de papel per-capita como un indicador serio del nivel de vida de un país. Por desgracia, también se podrían considerar como un indicador de la contribución de un país a la contaminación de las aguas, la atmósfera y el suelo, a la tala de bosques y a la explotación de los recursos de los países del tercer mundo.

El reciclaje contribuye a reducir el uso de insumos basados en recursos naturales, renovables o no, y a disminuir la cantidad de basuras que llegan a los depósitos

o a los rellenos sanitarios. Además el reciclaje también implica un ahorro energético importante.

En teoría, el papel puede reunir todos los requisitos de un producto inocuo para el ambiente: es un producto natural, biodegradable, se fabrica a partir de fuentes renovables y puede ser reutilizado y reciclado.

A pesar de que la práctica de reciclar papel se ha generalizado en la mayoría de los países occidentales, la producción y el consumo de papel nuevo han estado creciendo constantemente en los últimos años. Si se compara la producción de papel de pasta virgen, con la producción de una tonelada de papel viejo, en la elaboración de esta última se emplea la mitad de la energía y la mitad del agua. Tiene también como resultado un 74% menos de contaminación atmosférica y un 35% menos de contaminación del agua, ahorra 15 árboles, reduce vertidos sólidos y crea cinco veces más puestos de trabajo¹.

En este subproyecto se diseñó un proceso para el reciclaje de papeles finos no impresos que son desperdicios en una empresa editorial. El informe completo de los resultados corresponde al Trabajo de Grado de las alumnas de Ingeniería de Producción Paula Giraldo y Daniela Restrepo (Giraldo, 2000).

PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL PAPEL

Los retales desechados en la empresa que suministró las materias primas para desarrollar el proyecto, provienen del

proceso de troquelado y corte de tarjetas y sobres. Son papeles Kimberly Tradition, Kimberly Columns, Kimberly Prestige, papel Acuarela, cartulina bristol, papel durex, papel bond, papel hecho a mano y papel mantequilla. Por sus características y la cantidad producida, únicamente los retales de papel blanco, crema, acuarela y durex fueron procesados.

Una vez separadas las diversas clases, el papel se corta en pequeños pedazos, de aproximadamente 4 cm x 4 cm, que se colocan en remojo durante varios días para no forzar la máquina pulpeadora en el momento de obtener la pulpa y para disminuir el tiempo de licuado. Este tiempo de licuado varía en razón inversa a los días de remojo del papel.

Para el encolado de la pulpa se utiliza un agente parafínico de encolado interno y superficial llamado INDOL LGN, con una concentración de 40 Kg por tonelada de pulpa seca. Este encolado se debe realizar después del pulpeo y no durante éste, para evitar que los enlaces que se formen se destruyan por acción mecánica. El encolante que se agrega a la pulpa debe repartirse uniformemente, con el fin de lograr un encolado parejo en la superficie del papel. Al mezclar esta pulpa con el agua, durante el proceso de formación de la hoja, también debe lograrse una mezcla muy homogénea. La pulpa se deja reposar durante un día para ayudar a la formación de enlaces.

Para obtener las hojas de papel la pulpa se mezcla con agua y se agita suavemente hasta conseguir una mezcla homogénea. Es en este momento se pueden agregar agentes modificantes, tales como fibras de plátano, helechos, cisco de arroz, etc. La hoja se forma con un movimiento de arrastre firme de un bastidor que se sumerge en la mezcla.

1 Ahorros obtenidos en la fabricación de pasta reciclada. Online.
<http://www.indicealfabético.com> p. 4. Fecha de Consulta, agosto 25/2000.

Después de un amplio análisis de múltiples posibilidades, en este proyecto se seleccionaron cinco de los productos que actualmente no se producen en el país y con los cuales se espera abrir nuevas oportunidades de negocios. Inicialmente y como uno de los resultados de este proyecto el reciclaje de papel ya se ha puesto en práctica en una empresa editorial.

Una vez que las que hojas de papel han perdido bastante humedad se ponen en varias capas, separándolas unas de otras con fieltros e interlones, para prepararlas para el proceso de prensado en el cual se elimina el agua libre entre ellas.

Posteriormente las hojas se separan del interlón y se colocan entre dos paños de lenci industrial para prensarlas a una temperatura entre 50 y 90° C. Es mejor utilizar temperaturas bajas dentro del intervalo, para poder mantener el calor durante un mayor tiempo y así lograr un secado más uniforme de todas las hojas prensadas. Las hojas salen con un porcentaje de humedad entre el 6.1 y 6.7 %. Cada hoja de papel se coloca entre dos acetatos y se pasa por unos rodillos laminadores de acero para mejorar su textura superficial y prevenir su combado posterior.

Las hojas de papel obtenidas se analizaron para diferentes variables que se usan normalmente en la industria del papel para determinar la calidad de sus productos y se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 1
Características del papel obtenido

Parámetro	Objetivo (intervalo)	Resultado Obtenido
Peso base (g / m ²)*	180 - 220	199.2 +/- 8.6
Calibre (mm)*	0.375 - 0.475 (+/-0.005)	0.381 +/- 0.006
Opacidad (%)*	121.25 - 136.25	97
Porosidad (U Sheffield)*		70
Lisura (U Sheffield)*		378
Pluma**	1 - 2	1 - 2
Resistencia tensión (KN/m)	8.32 - 10.6987	7.2
Resistencia al rasgado (gramo-fuerza)*		180
pH**	4.2 - 7	6.4
Humedad relativa (%)**	5.5 - 7.5	6.1 - 6.7

* Pruebas realizadas en el laboratorio de Kimberly Colpapel S.A.

** Pruebas realizadas en los laboratorios de la Universidad EAFIT.

Las características de las hojas de papel que se obtuvieron son adecuadas para la fabricación de tarjetería y ya se inició la aplicación de este proceso, con una buena rentabilidad, en la empresa que facilitó el desarrollo del estudio. Además del beneficio económico generado, se creó un nuevo puesto de trabajo y se disminuye considerablemente la producción de desechos de papel.

2. Biopolímeros del almidón de yuca

Cada día aumenta la preocupación por la protección del ambiente, lo cual requiere soluciones a corto plazo para disminuir la cantidad de materiales que diariamente se desechan después de un período de vida útil muy corto. Los materiales plásticos contribuyen notablemente a esta contaminación y entre ellos se pueden destacar las bolsas de plástico y los recipientes y empaques que se usan en restaurantes y cafeterías.

La búsqueda de materiales polimerizables que puedan reemplazar los plásticos y polímeros sintéticos derivados de los productos petroquímicos es un reto bien interesante para los investigadores. Varias empresas (Biotec, BASF, Novara y otras) ya han venido empleando productos biodegradables a partir del almidón de papa y de maíz mezclados con policaprolactona, co-poliésteres y alcohol polivinílico.

En Colombia, la yuca es un producto cultivado en gran cantidad, al que se le da un mínimo valor agregado y cuya utilización es muy limitada. Es una planta nativa de regiones tropicales de América, que antes del año 1600 fue llevada por los exploradores a África y Asia.

Actualmente se siembra en 92 países donde alimenta a más de 500 millones de personas².

La yuca no sólo se cultiva para consumo humano, sino que gran parte de su producción se procesa y se comercializa convertida en almidón y en otros productos. Por tradición, Colombia es un país productor de yuca y ocupa el tercer lugar de producción en América Latina después de Brasil (24 millones toneladas al año) y Paraguay (2.6 millones toneladas al año). La producción nacional llegó, en 1998, a 1'598.000 toneladas y se sembró un área de 176.944 hectáreas³.

En el país se conocen cuatro variedades de yuca, dos para consumo humano denominadas Corpoica Caribeña y Corpoica Rojita y dos para uso industrial denominadas Corpoica Colombiana y Corpoica Sucreña. Las variedades Corpoica Caribeña y Corpoica Rojita tienen rendimientos de 23.5 toneladas por hectárea, mientras que la yuca de tipo industrial, Corpoica Colombiana y Corpoica Sucreña, rinde hasta 29 toneladas por hectárea (Corpoica, 2000).

Este subproyecto, que corresponde al proyecto de grado de las alumnas de Ingeniería de Producción Natalia Ramos y Catalina Sánchez (Ramos, 2000), es la continuación del esfuerzo por encontrar un proceso que, a partir del almidón de la yuca de tipo industrial, pueda dar lugar a la producción de bolsas, platos y cubiertos desechables.

PROCESO EXPERIMENTAL

Con el fin de adquirir habilidades en el manejo de los polímeros del almidón, el

2 CIAT. 1998.

3 Ministerio de Agricultura. 1999.

trabajo se inició con base en la patente de Estados Unidos 5,679,145 (Andersen, 1994) que recomienda el almidón de papa y el almidón de maíz para obtener biopolímeros

Para los experimentos con el almidón de yuca se utilizaron como reactivos: Agua, Sorbitol, Aceite de linaza, PVA (Polivinil alcohol), Ácido oleico (Aceite de oliva), Cloruro de sodio (NaCl), Cloruro de calcio (CaCl₂), Carbonato de calcio (CaCO₃) y Fosfato de amonio (NH₃PO₄).

Debido a las múltiples variables que se pueden considerar en el proceso de biopolimerización se escogió el Diseño Experimental por Bloques, que se usa para incrementar la precisión del experimento. Un bloque es una porción del material experimental que es más homogénea que el total del material. Al realizar un análisis por bloques se comparan las variables de interés y los resultados de los experimentos dentro de cada bloque (Montgomery, 1991).

El diseño experimental por bloques se hizo partiendo de una cantidad fija del almidón en cada ensayo (10 g) y variando las concentraciones de los demás componentes de la mezcla para formar el gel.

Se formaron siete bloques con almidón y cantidades variables de:

- Agua
- Sorbitol - Aceite de linaza
- Aceite de linaza - Ácido oleico (Aceite de oliva)
- Sorbitol - Sal común (NaCl)
- Sorbitol - Glicerina
- Carboximetilcelulosa (CMC) - Carbonato de Calcio (CaCO₃), con una concentración de 3 g de NaCl

- Carboximetilcelulosa (CMC) - Carbonato de Calcio (CaCO₃), con una concentración de 0.5 g de NaCl y 3 mL de sorbitol.

Para cada muestra se calificaron las siguientes propiedades del gel:

Fluidez: Es la propiedad inversa a la viscosidad. Es la facilidad con que el gel se esparce antes de enfriarse. Para calificar esta propiedad, se observó la facilidad del gel caliente para ser esparcido con un agitador de vidrio sobre una placa de vidrio.

Adherencia: Es la característica del gel que lo hace pegajoso a una superficie. La adherencia se calificó observando qué tanto se pega el gel sobre la superficie de vidrio y al ser manejado con la mano.

Igualmente se calificaron las siguientes propiedades del producto:

Agrietamiento: Es la característica del producto, después de secado, de mostrar separación en el material en una o ambas caras. Se calificaron con menor puntaje de agrietamiento las muestras que presentaron mayor uniformidad en su superficie.

Fragilidad: Es la facilidad que presenta el material para romperse al aplicarle un esfuerzo.

Dureza: Se define la dureza de un material como la resistencia a la indentación permanente. Una buena dureza significa generalmente que el material es resistente al rayado y al desgaste (Groover, 1997). La dureza en este caso se midió como la resistencia del material a cortarse, romperse o doblarse.

Flexibilidad: Es la facilidad que tiene el material para ser doblado. Se tomaron las muestras y se observó su facilidad para ser dobladas con la mano.

Contracción: Es la reducción de las dimensiones del material que se da al someterse a un proceso de secado. Para calcular el porcentaje de contracción, se llenó con el gel un molde de forma circular de dimensiones definidas. Se sometió a secado durante 24 horas a una temperatura de 33°C. Una vez seca la muestra se tomó la medida final y se realizó el siguiente cálculo:

$$\% \text{ contracción} = \frac{\text{Dimensión inicial} - \text{Dimensión final}}{\text{Dimensión inicial}} * 100$$

Del análisis de las propiedades de los productos obtenidos se seleccionó, como la que presenta mejores características, una muestra formada en la siguiente proporción: 10 g. de almidón, 30 mL de agua, 3 mL de sorbitol y 1 mL de aceite de linaza, para producir «pellets».

Ensayo de extrusión: Estos pellets fueron presecados en la estufa a una temperatura de 100°C por 90 minutos, para rebajar su humedad al 18.4%. Posteriormente se llevaron a un secador a 108°C por 8 minutos, donde su humedad se redujo a 9.6%. Con estos pellets se hizo un ensayo de extrusión con una máquina extrusora de medición con tres zonas de calentamiento, tipo 19/25D, con reómetro de torque marca HAAKE RHEOCORD 90.

Se obtuvo una película delgada, muy frágil y con propiedades mecánicas muy bajas. Su fragilidad tiende a disminuir a medida que absorbe humedad del ambiente, además el producto se deshace al ser humedecido con agua. Es necesario introducir modificaciones en los componentes de la mezcla para aumentar el grado de polimerización y mejorar las características de este producto.

Ensayo de inyección: Para realizar este ensayo se seleccionó una muestra formada en la siguiente proporción: 10 g de almidón, 30 mL de agua, 3 mL de sorbitol y 0.5 mL de aceite de soya.

Se realizó el ensayo de inyección en una máquina inyectora marca VAN DORN, modelo 150 RS 8F-1972, de 20 toneladas de presión e inyección máxima de 220 g por ciclo.

El producto obtenido tiene una dureza comparable a la de otros materiales plásticos y tiene posibilidades para usarse en la fabricación de cubiertos y platos desechables. Sus características se pueden mejorar con la adición de nuevos componentes en diferentes concentraciones.

De acuerdo con estos resultados, la fabricación de biopolímeros a partir del almidón de yuca industrial es promisoría y se recomienda continuar su estudio, haciendo nuevos ensayos con diferentes aditivos hasta lograr materiales que cumplan las especificaciones requeridas para los productos que se desea producir.

3. Repelente para animales domésticos

En el mundo actual es muy común que las familias tengan en sus casas perros y gatos como mascotas, que deben ser ejercitados diariamente y atendidas sus necesidades fisiológicas, para lo cual se acostumbra llevarlos al jardín del vecino, con las naturales molestias que causan. Por otro lado, cuando estas mascotas se tienen en apartamentos y espacios muy reducidos es necesario estar vigilantes para que se mantengan apartados de alfombras y otros sitios.

En la búsqueda de productos químicos que puedan mantener alejados a los animales domésticos de ciertas zonas, se encontró que desde el siglo XIX los carteros de Estados Unidos usan un compuesto obtenido del ají para echarlo en los ojos de los perros para evitar ser mordidos. El Servicio de Correos de los Estados Unidos tiene un contrato con Burlington Bio-Medical & Scientific Corp. para fabricarles «la oleoresina del ají en una solución de aceite mineral. La concentración del ingrediente activo, capsaicina, debe ser 0.35% por peso del contenido líquido, más o menos 10% de tolerancia». (U.S. Postal Service, 1991).

Igualmente, los cazadores y campistas usan este compuesto para ahuyentar los osos que merodean por sus sitios de acampar en los bosques. Este compuesto, la Capsaicina, tiene propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y analgésicas además de actividad antifúngica contra dermatofitos (Chowdhury, 2000).

En 1991, la Capsaicina fue reclasificada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) como un pesticida bioquímico. Además, debido a su uso tradicional en la dieta humana, la Agencia ha propuesto que sea eximida del requisito de la tolerancia para los residuos en los alimentos (Maloney, 2000).

El propósito de este subproyecto es preparar soluciones de Capsaicina que sirvan como repelente de los animales domésticos, pero sin causarles daño alguno. Esta sustancia debe permanecer en el sitio durante varios días para que el

animal no quiera estar allí. La patente de Estados Unidos 5,674,496 (Etscorn, 1997) describe una sustancia y un método para disminuir o eliminar el daño que causan los roedores a recipientes, cables aislados y similares.

La Capsaicina es una sustancia orgánica, una bencilamina de un ácido decilénico, que fue aislada por primera vez por un científico de apellido Thresh (1876), se obtiene a partir de algunas plantas de la familia de las Solanáceas, género *Capsicum* (como el ají y los pimentones). Es una sustancia de alto peso molecular, que puede purificarse en la forma de un sólido cristalino de gran poder pungente, es insoluble en parafina líquida, en agua fría, en sorbitol y en glicerina; es soluble en sustancias no polares, como el éter de petróleo, acetona, derivados del petróleo, éter etílico, etanol, isopropanol, cloroformo y benceno. Es parcialmente soluble en el aceite de oliva y en ácido sulfúrico concentrado. Cuando se extrae forma un aceite viscoso, que contiene una mezcla de diferentes derivados denominados capsaicinoides (Polato de Lima, 2000).

La capsaicina pura es un sólido rojo oscuro, insoluble en agua, pero soluble en alcohol etílico. Forma cristales monoclinicos, muy compactos. Su punto de fusión es 65°C y ebulle entre 210-220°C.

El proceso de extracción con diclorometano a temperatura ambiente se ensayó repetidas veces en el laboratorio, obteniéndose, por cada 50 g de ají molido, 6.4 mL de un producto aceitoso compuesto por una mezcla de capsaicinoides. El 80-90% del dichlorometano que se emplea en la extracción se puede recuperar por destilación, para volverlo a usar en extracciones posteriores. Para la aplicación que se desea no es necesario

purificar la capsaicina, porque los demás capsaicinoides tienen las mismas propiedades pungentes que se requieren en el producto para mantener alejados de un lugar determinado a los animales domésticos.

Como solventes del aceite obtenido se ensayaron etanol comercial, aceite de cristal y barniz. Los ensayos de campo realizados con el producto, en concentraciones de 1 mL de la mezcla de capsaicinoides en 250 mL del solvente, durante cerca de un año, dieron resultados satisfactorios con todas las razas de perros, excepto con los Pittbull, que tiene un sentido del olfato muy deficiente en comparación con sus hermanos.

El producto obtenido es fácilmente comercializable, no contamina el ambiente y tiene una buena rentabilidad. Sirve para mantener los animales domésticos alejados de ciertas zonas restringidas y no les causa daño en su salud. El rendimiento mejora entre más fresco esté el ají.

4. Fosfato monoamónico

Uno de los compuestos químicos de mayor utilización en la composición de los fertilizantes es el fosfato de amonio, que sirve para suministrar nitrógeno y fósforo, en diferentes proporciones, a los suelos. Con este nombre se presentan, en realidad, tres compuestos: el fosfato de amonio $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$; el fosfato diamónico, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$; y el fosfato monoamónico $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$. Las importaciones a Colombia del fosfato monoamónico, incluso mezclado con fosfato diamónico fueron superiores a los diecisiete millones de dólares (U.S. \$ 17.000.000) durante 1999, principalmente de los Estados Unidos y en los primeros seis meses del 2000, las importaciones eran superiores de los ocho millones de dólares (Cámara de Comercio, 2000).

En este subproyecto se planteó la posibilidad de producir fosfato monoamónico cristalino de grado fertilizante, que no se produce en el país, y cuyo consumo es elevado para la producción de abonos. Para ello se hizo una amplia búsqueda bibliográfica, especialmente patentes, para identificar los métodos de producción conocidos y evaluar las posibles alternativas para una innovación.

Tradicionalmente la producción de fosfato de amonio se ha hecho pasando amoniaco gaseoso por una solución de ácido fosfórico, según la reacción:



En esta reacción se obtiene la mezcla de fosfatos porque es muy difícil controlar el pH de la solución. El mayor porcentaje de producto es el fosfato de amonio $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$.

Numerosas patentes describen procesos para la manufactura de fosfatos de amonio cristalizados en escala industrial a partir de ácido fosfórico y amoniaco gaseoso, para obtener una mezcla de fosfatos mono- y diamónicos (Devia, 2000). A diferencia de estos procesos patentados, en este trabajo se logró producir fosfato monoamónico de alta pureza en solución acuosa a partir de ácido fosfórico y solución de hidróxido de amonio.

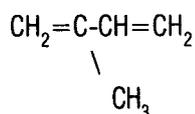
El proceso de obtención en el laboratorio se puede resumir así:

- (a) En un vaso de precipitados se ponen 250 mL de ácido fosfórico al 85% y se agrega, gota a gota, hidróxido de amonio grado comercial, sometiendo a la mezcla a agitación constante. La reacción es muy exotérmica, por lo tanto el hidróxido debe agregarse lentamente para evitar que la temperatura aumente excesivamente (normalmente hasta 55°C).
- (b) El pH de la solución se controla cuidadosamente y cuando aumenta hasta un rango de 3 a 3.5 se suspende la adición de hidróxido de amonio y se calienta la solución con el fin de concentrarla.
- (c) La mezcla se enfría para cristalizar el fosfato monoamónico, identificado por sus características físicas y espectro infrarrojo que coincide con el espectro del fosfato monoamónico de referencia (Nyquist, 1971).
- (d) Se deja enfriar la mezcla y se espera a que se cristalice el fosfato.
- (e) Luego se procede a filtrar para recuperar los cristales, que se secan en una estufa a 170° C.

El análisis químico del producto obtenido indica que los cristales obtenidos son de pureza suficiente para utilizarlos en la fabricación de fertilizantes. Es un proceso de bajo costo y su precio para el mercado se compara muy favorablemente con el precio internacional.

5. Repelentes para mosquitos

Los aceites esenciales son mezclas de sustancias volátiles responsables de la fragancia de muchas plantas, flores y semillas y en cuya estructura química hay una o más unidades de isopreno. A estos compuestos se les llaman «terpenos», nombre que se deriva de los compuestos aislados de la trementina, una oleoresina de muy bajo punto de ebullición que se obtiene del pino.



Estructura del Isopreno

Algunos aceites esenciales son derivados alcohólicos y aldehídicos de terpenos acíclicos, que tienen olores más fragantes que los de los hidrocarburos.

Los terpenos son sustancias que se conocen desde la antigüedad y se han usado desde entonces como medicinas y fragancias. En la actualidad su mayor uso es en aromaterapia y como repelentes de los insectos. En algunas ocasiones se usan las hojas y las plantas frescas para colgarlas en los lugares donde se desea ahuyentar los insectos. En otros casos, como con el eucalipto, las hojas se queman para producir humo y evitar la presencia de mosquitos y otros insectos. Cuando se diseñaron procesos para extraer los aceites esenciales se comenzaron a usar integrados a los combustibles, como la cera y el petróleo, para liberar los compuestos repelentes al medio. Estos aceites también se pueden usar en mezclas en forma de lociones o de aspersores.

Extracción de aceites esenciales

Para la extracción de los aceites esenciales existen por lo menos cinco métodos diferentes, de acuerdo con la volatilidad y la sensibilidad al calor de los materiales tratados.

La maceración con grasas o «enfleurage» se utiliza para obtener aceites de flores con bajo contenido y que son muy sensibles al calor. En este caso las flores frescas se colocan en bandejas cerradas con un vidrio hermético y se rodean con una grasa para que los aromas volátiles no escapen al aire y las moléculas sean absorbidas por la grasa. Este proceso se repite durante varios días, hasta que la grasa está totalmente saturada con el aceite. Esta grasa se mezcla con alcohol etílico u otro solvente apropiado, para extraer los compuestos aromáticos. Posteriormente el solvente se destila para obtener las esencias puras.

Los aceites esenciales también se pueden extraer con solventes, tal como el hexano y los alcoholes. Este proceso tiene el inconveniente de que otras sustancias solubles en los solventes también son extraídas y es necesario retirarlas antes de hacer la destilación del solvente para obtener el aceite esencial.

Un método relativamente nuevo es la extracción supercrítica con CO₂. Este proceso aprovecha la propiedad del CO₂ gaseoso, de que al aplicarle una presión relativamente baja se convierte en líquido. Este líquido se usa, entonces, como un «solvente líquido» inerte y seguro, que permite extraer los aceites esenciales a muy baja temperatura para evitar la degradación térmica (Renkel, 1998)

Probablemente los procedimientos más comunes para obtener los aceites esenciales son la destilación por arrastre con vapor

y la hidrodestilación, que fueron usados en el desarrollo de este proyecto. En la destilación con vapor éste se hace pasar, desde una fuente generadora, a través del material del cual se va a extraer el aceite y en un condensador se condensan el vapor y el aceite resultantes. En la hidrodestilación el vapor se genera, por calentamiento, en el mismo seno del material suspendido en agua.

En este trabajo se han extraído aceites esenciales del cardamomo (*Elletaria cardamomun* L. Maton), de la cáscara de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck), de limoncillo (*Cymopogon citratus* D.C.), de eucalipto (*Eucaliptus globulus* Labille) y de pino (*Pinus sylvestris* L.). La concentración de los aceites varía según el tiempo que haya transcurrido desde la recolección del material fresco hasta el proceso de extracción. Cada uno de estos aceites, además de su olor aromático agradable, tiene sus características particulares.

- **Aceite de la semilla de cardamomo:** es un líquido, insoluble en agua, de color amarillo pálido, cuya gravedad específica a 25° C varía entre 0.9200 y 0.94000. Se extrae por destilación por arrastre con vapor, con ayuda de la hidrodestilación, con un rendimiento de cerca del 5% al 7% en base seca, según el tiempo que las semillas hayan estado expuestas al aire.
- **Aceite de la cáscara de naranja dulce valencia:** es un líquido, insoluble en agua, cuyo color varía de amarillo anaranjado a anaranjado oscuro, y su gravedad específica, a 20° C, varía entre 0.84200 y 0.84700. El Índice de Refracción varía entre 1.47200 y 1.47400 a 20° C. Se extrae por destilación por arrastre con vapor, con ayuda de la hidrodestilación, de las cáscaras molidas, a las cuales se les ha retirado el endocarpio, con un rendimiento, en base seca, del 3% al 4%.
- **Aceite de limoncillo:** es un líquido, insoluble en agua, con un color que varía de amarillo pálido a amarillo, y su gravedad específica está entre 0.88700 y 0.89900 a 25° C. El Índice de Refracción a 20° C está entre 1.47800 y 1.49700. En la extracción por destilación con arrastre por vapor de las hojas y el tallo verdes, se obtiene un rendimiento alrededor del 0.5%, en base seca.
- **Aceite de Eucalipto:** es un líquido, escasamente soluble en agua, cuyo color varía entre incoloro y amarillo pálido. La gravedad específica a 25° C está entre 0.90500 y 0.92500.

El índice de Refracción a 20° C varía entre 1.45800 y 1.46500. La destilación por arrastre con vapor de las hojas, da un rendimiento de cerca del 0.1%, en base seca.

- **Aceite de Pino:** líquido insoluble en agua, de color amarillo pálido, con gravedad específica entre 0.85700 y 0.88500 a 25° C. Su Índice de Refracción está entre 1.473 y 1.47850 a 20° C. El rendimiento de la destilación por arrastre con vapor de los frutos, es entre 0.2% a 0.3% en base seca.

TABLA 2

Rendimiento de la extracción por arrastre con vapor

Aceite	Rendimiento Base seca	Humedad %
Cardamomo (semilla)	5% a 7%	15
Naranja (cáscara)	3% a 4%	75
Limoncillo (ramas)	0.5%	81.6
Eucalipto (hojas)	0.1%	35.3
Pino (ramas)	0.2% a 0.3%	40.8
Pino (semillas)	2.2%	50.2

Mezclas repelentes de mosquitos

En muchas regiones del país abundan los mosquitos que transmiten enfermedades como el paludismo y el dengue. Para combatir estos insectos se han utilizado muchas estrategias entre ellas aplicar sobre la piel repelentes naturales, obtenidos de diferentes especies de plantas, y los repelentes sintéticos como el ftalato de dimetilo y la N,N-dietil-m-toluamida (DEET). Estos funcionan por evaporación en la superficie de la piel y su actividad dura relativamente poco tiempo. Además los repelentes sintéticos no pueden aplicarse a la piel de los niños porque se absorben y pueden causar serias intoxicaciones.

El presente trabajo se refiere a mezclas de aceites esenciales obtenidos de plantas que crecen en el país y que pueden ser utilizadas como repelentes de insectos en diferentes presentaciones. Hay numerosas patentes para mezclas de productos químicos que sirven como repelentes de los mosquitos. (Devia, 2000).

En este trabajo se seleccionaron tres mezclas de los aceites esenciales obtenidos en el laboratorio, que se mezclaron en una concentración máxima total del 32%, usando como vehículo una sustancia vegetal no tóxica, como el aceite de oliva así:

TABLA 3
Mezclas repelentes de insectos

Mezcla No. 1		Mezcla No. 2		Mezcla No. 3	
Pino	4.00 g	Eucalipto	1.16 g	Pino	6.00 g
Cardamomo	5.03 g	Limoncillo	1.31 g	Cardamomo	6.53 g
Naranja	6.15 g	Pino	3.55 g	Naranja	3.20 g
Aceite de Oliva	34.82 g	Naranja	9.93 g	Aceite de Oliva	34.32 g
		Aceite de Oliva	34.04 g		

Las mezclas tienen un olor aromático agradable y su consistencia aceitosa permite su distribución uniforme sobre la piel, en forma de loción. Además, la estabilidad del aceite de oliva contribuye a que su acción dure por varias horas.

Con la colaboración de varias personas se observó la acción de las mezclas para ahuyentar los mosquitos, con resultados muy positivos en todos los casos, notándose que la loción evita completamente las picaduras de los mosquitos. Adicionalmente se observó que si se deja abierto un frasco que contenga las mezclas, sus vapores sirven para ahuyentar las moscas. Las mezclas 1 y 2 son más efectivas que la 3 para ahuyentar los mosquitos, aún sin aplicarlas sobre la piel. Simplemente dejando el frasco que contiene la mezcla abierto al aire, se obtienen muy buenos resultados no sólo con los mosquitos sino también con la mosca doméstica.

Aunque con esta evaluación eminentemente cualitativa no es posible asegurar un porcentaje de efectividad de las mezclas repelentes, si es una buena indicación de la capacidad que tienen estos aceites esenciales para repeler los mosquitos.

Es deseable que en un futuro se pueda aplicar un método normalizado para probar la eficacia de las mezclas, tal como la Norma ASTM: E951-83 «Standard Test Method for Laboratory Testing of Non-Commercial Mosquito Repellent Formulations on the Skin» para determinar el tiempo en el que la formulación protege en un 95% contra los mosquitos.

CONCLUSIÓN

El desarrollo de productos que aun no se fabrican en el país abre múltiples posibilidades a los alumnos para iniciar sus propios negocios. En muchos casos, aunque ya existen patentes y se conocen productos similares en otros países, es posible

desarrollar nuevos conceptos de productos con base en sustancias obtenidas de nuestra propia biodiversidad o haciendo modificaciones, más o menos importantes, a los procesos, de tal manera que se rebajen los costos de producción y se pueda obtener una mayor rentabilidad.

Por otro lado el proceso de investigación permite aplicar los conocimientos en el manejo de la información, y conocer las dificultades y limitaciones prácticas que debe enfrentar el investigador por la falta de acceso a las máquinas que se emplean en el ámbito industrial, para hacer los ensayos necesarios para el desarrollo de los productos.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece la participación en el proyecto de las alumnas de Ingeniería de Producción Paola Giraldo y Daniela Restrepo quienes estuvieron a cargo del reciclaje de papel; Natalia Ramos y Catalina Sánchez trabajaron en la biopolimerización del almidón y un grupo de estudiantes de Ingeniería de Procesos trabajó en los demás subproyectos. Su consagración al trabajo hizo posible iniciar el desarrollo de productos que pueden ser fuentes de ideas para nuevos negocios.

REFERENCIAS

- Andersen, Per Just; Hodson, Simon K. (1994) "Starch-based compositions having uniformly dispersed fibers used to manufacture high strength articles having a fiber-reinforced, starch-bound cellular matrix". U.S. Patent No. 5,679,145.
- Bobrow, E. (1997). El Desarrollo de Nuevos Productos. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.

- Cámara de Comercio de Medellín. (2000). Consultorio Empresarial en Comercio Exterior. Importaciones 1999/2000
- Chowdhury, B. et al. (2000). «Capsaicin, a unique anti-oxidant, anti-inflammatory, analgesic compound with antifungal activity against dermatophytes». *Journal of Medical Science Research*. Vol. 24, No. 10. [En línea]. <http://www.anagen.net/caps3.htm> (8 Junio 2000)
- Cooper, R.G. and Kleinschmidt, W. (1987). «Success Factors in Product Innovation». *Industrial Marketing Management*. 16, No. 3, 215.
- Corpoica. Boletín divulgativo. Julio 21/ 2000. [En línea]. Colombia: Página web www.corpoica.org.co. (8 Septiembre 2000).
- Devia, Jorge E. (1996). *Creatividad: Un Camino hacia el Éxito*. Medellín: Editorial EAFIT.
- Devia, Jorge E. (2000). *INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PRODUCTOS*. Informe Final. Medellín: Universidad EAFIT
- Estcorn, F. T. et al. (1997). «Animal Repellent». U. S. Patent 5,674,496.
- Giraldo, Paola y Restrepo, Daniela. (2000). *Diseño de un Sistema Productivo para una Pequeña Planta de Producción Papelera*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Groover, M. (1997). *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA*. 1ª. Edición. México: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.
- MacMillan I. C. y McGrath, R. G. (1996). «Descubra el Potencial Oculto de sus Productos», *Oficina Eficiente* No. 72, Sept - Oct., pp. 36 - 47.
- Maloney, B. «My Lousy Little Pepper Page». [En Línea]. <http://people/cornel.edu/pages/bjm10/capsaicin/capsaicin.html> (25 Mayo 2000).
- Montgomery, Douglas C. *Diseño y Análisis de Experimentos*. México: Grupo editorial Iberoamérica. 1991.
- Nyquist, R. A. and Kagel, R.O. (1971) *INFRARED SPECTRA OF INORGANIC COMPOUNDS*. Espectro # 224, pp. 160-161. New York: Academic Press.
- Polato de Lima, Denise. [En Línea] «Capsaicina». <http://www.idemperidem.com/farmacia/textos/capsaicina.htm> [4 Nov. 2000]
- Ramos Natalia y Sánchez Catalina. (2000). *Diseño del Proceso de Producción de Artículos Desechables Biodegradables a partir de Almidón de Yuca*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Renkel, Susan L. (1998). «What is CO₂ Extraction». <http://www.naturesgift.com/CO2.htm/> (6 Oct. 2000)
- Rosenthal, Stephen R. (1998). *Diseño y Desarrollo Eficaces del Nuevo Producto* México: McGraw-Hill
- Thresh, R. (1876) «Capsaicin, The Active Principle of Capsicum Fruits» *The Pharmaceutical Journal and Transactions* p. 21 July
- U.S. Postal Service. «BURLINGTON BIOMEDICAL & SCIENTIFIC CORP. Solicitation No. 197101-91-A-0921». [En Línea]. <http://www.usps.com/lawdept/LegalPIly/Contract/1991/9187.htm> (28 Mar 2000)
- Von Hippel, E. (1982). «Get new Products from Customers». *Harvard Business Review*, March-April 1, pp. 117-122