



Cuadernos de Investigación

**INNOVACIÓN PARA
EL DESARROLLO DE PRODUCTOS**

**JORGE E. DEVIA PINEDA, Ph. D.
ELIZABETH OCAMPO C., I. P.
ASTRID ELIANA JIMÉNEZ R., I. P.
MARÍA ANGÉLICA JIMÉNEZ F., I. P.
SANDRA MILENA ORREGO L., I. P.
ANA LUCÍA OROZCO G., I. P.**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN
DESARROLLO Y DISEÑO DE PROCESOS Y PRODUCTOS -DDP-
Departamento de Ingeniería de Procesos
Universidad EAFIT**

ISSN 1692-0694. MEDELLÍN. AGOSTO DE 2009. DOCUMENTO 75- 082009

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

	Página
RESUMEN - ABSTRACT - AUTOR	7
CAPÍTULO 1	
1. ESTRATEGIAS PARA INNOVAR EN DESARROLLO DE PRODUCTOS	9
1.1 INTRODUCCIÓN	9
1.2 METODOLOGÍA	10
1.3 RESULTADOS.....	12
1.4 CONCLUSIONES.....	13
CAPÍTULO 2	
2. COLORANTE DE LA FLOR DE LA MAJAGUA	14
2.1 ANTECEDENTES	15
2.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL PRODUCTO	17
2.2.1 Tendencias del Mercado.....	17
2.2.2 Identificación de los Factores de Calidad	19
2.3 SELECCIÓN DE INGREDIENTES Y MICROESTRUCTURA	19
2.3.1 Selección de la ruta química	20
2.3.2 Características deseadas del Producto	20
2.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESO	20
2.4.1 Ensayos preliminares	20
2.4.2 Diseño de Experimentos	21
2.4.3 Análisis de resultados	24
2.5 EVALUACIÓN DEL PRODUCTO	28
2.5.1 Descripción del Producto obtenido	28
2.5.2 Características finales del Producto	28
2.6 EVALUACIÓN DEL PROCESO	32
2.6.1 Diseño del Proceso	32
2.6.2 Evaluación Técnica del Proceso	34
2.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA	35
2.7.1 Factores económicos del Proceso	33
2.7.2 Resultados económicos.....	37
2.8 CONCLUSIONES.....	39

CAPÍTULO 3

3. PERCARBONATO DE SODIO	40
3.1 ANTECEDENTES	40
3.1.1 Proceso para producir Percarbonato de Sodio	41
3.1.2 Producción de Percarbonato de Sodio	41
3.1.3 Método para producir Percarbonato de Sodio	43
3.1.4 Proceso por atomización para la obtención de Percarbonato de Sodio	44
3.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL PRODUCTO	44
3.2.1 Tendencias del Mercado	44
3.2.2 Identificación de los Factores de Calidad	50
3.3 SELECCIÓN DE INGREDIENTES Y MICROESTRUCTURA	50
3.3.1 Selección de la ruta química	52
3.3.2 Características deseadas del Producto.....	53
3.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESO.....	53
3.4.1 Ensayos preliminares	53
3.4.2 Diseño de Experimentos	54
3.4.3 Análisis de resultados	58
3.5 EVALUACIÓN DEL PRODUCTO	63
3.5.1 Descripción del Producto obtenido	67
3.5.2 Características finales del Producto.....	69
3.6 EVALUACIÓN DEL PROCESO.....	70
3.6.1 Diseño del Proceso	70
3.6.2 Evaluación Técnica del Proceso	77
3.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA	78
3.7.1 Factores económicos del Proceso	78
3.7.2 Resultados económicos	91
3.8 CONCLUSIONES.....	92
3.9 RECOMENDACIONES	93

CAPÍTULO 4

4. ACEITE DE AGUACATE TIPO GOURMET	94
4.1 ANTECEDENTES	94
4.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL PRODUCTO	96
4.2.1 Tendencias del Mercado	97
4.2.2 Identificación de los Factores de Calidad	102
4.3 SELECCIÓN DE INGREDIENTES Y MICROESTRUCTURA	102
4.3.1 Selección de la ruta química	102
4.3.2 Características deseadas del Producto	102
4.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESO.....	103
4.4.1 Ensayos preliminares	104

4.4.2	Diseño de Experimentos	106
4.4.3	Análisis de resultados	107
4.5	EVALUACIÓN DEL PRODUCTO	110
4.5.1	Descripción del Producto obtenido	111
4.5.2	Características finales del Producto.....	112
4.6	EVALUACIÓN DEL PROCESO	112
4.6.1	Diseño del Proceso	112
4.6.2	Evaluación Técnica del Proceso	112
4.7	EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR	113
4.7.1	Factores económicos del Proceso	113
4.7.2	Resultados económicos	114
4.8	CONCLUSIONES	114

CAPÍTULO 5

5.	BIBLIOGRAFÍA	116
	ANEXO 1. Espectos IR y VIS del colorante de la flor de la Majagua	137
	ANEXO 2. Cálculos económicos del Proceso de obtención del colorante de la flor de la Majagua	123
	ANEXO 3. Espectro IR del Percarbonato de Sodio	127
	ANEXO 4. Diagrama de Flujo del Proceso para obtener Percarbonato de Sodio.....	129
	ANEXO 5. Cálculos económicos para el Proceso para obtener Percarbonato de Sodio....	130
	ANEXO 6. Encuesta para Restaurantes de Aceite de Aguacate - Ficha Técnica	131

RESUMEN

Colombia ha sido normalmente un país exportador de materias primas e importador de productos con valor agregado, pero si esta situación persiste se mantendrá la brecha no sólo económica sino tecnológica. Por lo tanto, es necesario insistir en la necesidad de entrenar a los estudiantes de ingeniería en el diseño y desarrollo de productos, es decir, ir más allá de la simple extracción de materias primas para llegar a los procesos de transformación. Para tal efecto, en este documento se propone el empleo de las prácticas no estructuradas como una aproximación inicial al desarrollo de las habilidades iniciales en el desarrollo de productos. Estas competencias investigativas se fortalecen y ponen a prueba en el desarrollo de los proyectos de grado, requisitos necesarios para obtener los respectivos grados de ingenieros.

Se incluyen, a modo de ejemplo, tres casos investigados, relativos a la obtención de un colorante de la flor del árbol de Majagua, otro caso en el cual, a partir del estudio de patentes, se pueden obtener las condiciones para mejorar el rendimiento en la producción de percarbonato de sodio y finalmente se determinan las condiciones para obtener el aceite de aguacate tipo gourmet.

PALABRAS CLAVES

Innovación, investigación, percarbonato, majagua, colorante natural, aceite vegetal

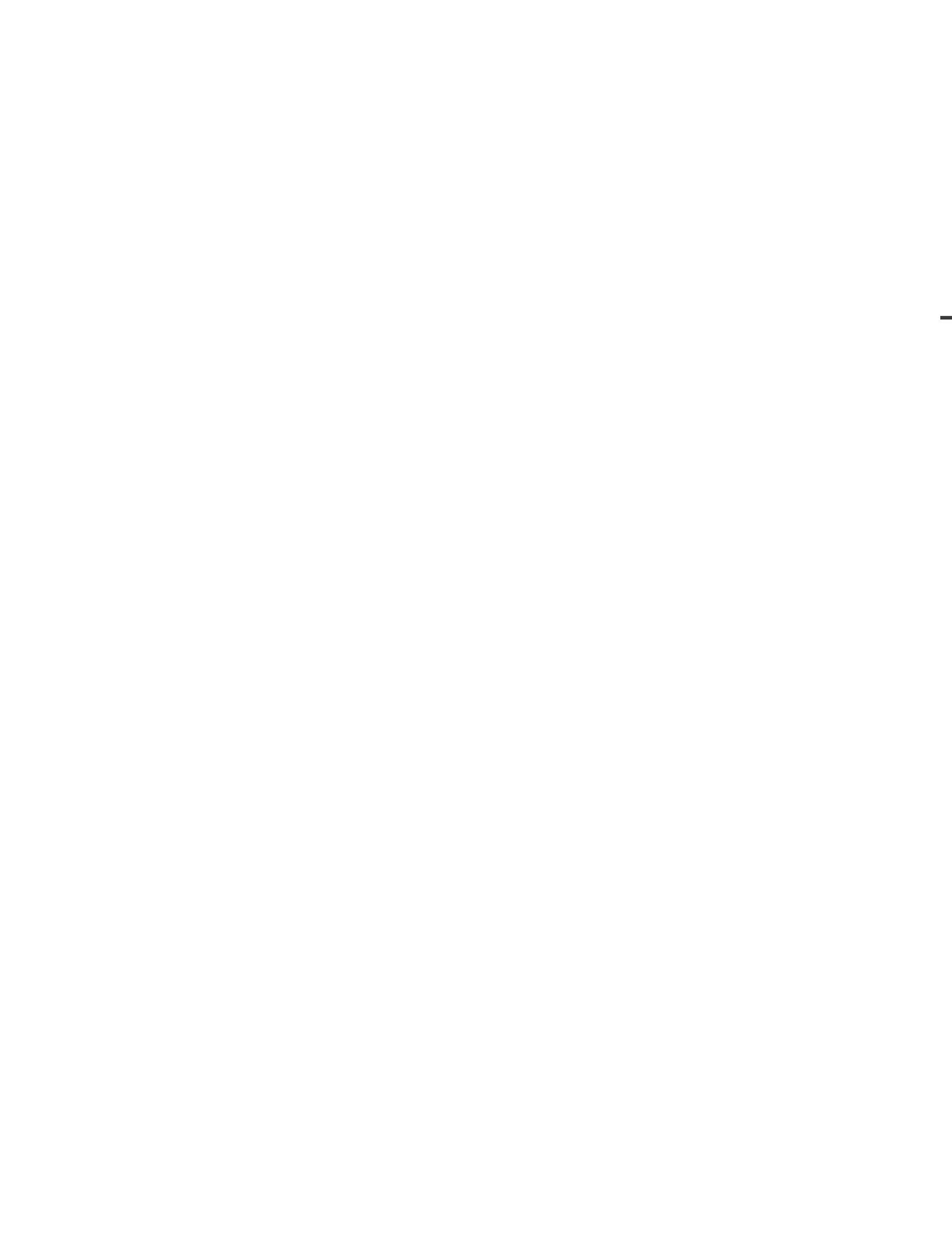
ABSTRACT

Colombia usually has been a commodities exporter country and a value-added products importer but, if this situation persists, not only the economic but also the technological gap will be maintained. Therefore, it is necessary to stress the need to innovate in the training of engineering students in design and product development, that is, to go beyond the simple extraction of raw materials to the transformation processes. To that end, this document proposes the use of not structured practices as an initial approach to develop early skills in product development. These investigative competences are strengthened and tested in the degree project, a requirement for the respective engineer's degree.

Three cases investigated are included as examples, the first is related to obtaining a natural dye from the flower of the Majagua tree, the second case in which, through the study of patents, the conditions for improving performance for the production of sodium percarbonate are obtained and finally the conditions for obtaining an avocado oil gourmet type are determined.

KEY WORDS

Innovation, research, percarbonate, majagua, natural dye, vegetal oil



1.

ESTRATEGIAS PARA INNOVAR EN DESARROLLO DE PRODUCTOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Colombia ha decidido vincularse definitivamente al comercio mundial y para ello se tramitan diversos tratados de libre comercio, que así como representan muchas ventajas para la industria nacional, también son un serio desafío para ofrecer nuevos productos de calidad en el mercado mundial (Plata, 2007). Muchos de los productos que se desarrollan en los laboratorios fracasan en el mercado porque no se ha seguido una rigurosa metodología que incluya evaluaciones y decisiones acertadas en las diversas fases de desarrollo.

Para lograr un avance significativo en el área de desarrollo de nuevos productos (DNP) es indispensable que los ingenieros que se forman en las universidades del país adquieran las competencias, actitudes y valores necesarios para la aplicación de metodologías exitosas en DNP. Es claro que no es posible copiar una metodología exactamente de la misma manera como se hace en otros países de mayor desarrollo, porque en nuestro país se encuentran dificultades que no existen allí. Por lo tanto, es necesario asimilar y adaptar las metodologías para flexibilizarlas de acuerdo con las condiciones gubernamentales, las necesidades de los consumidores y la disponibilidad de recursos propios de nuestro medio.

Como contribución al desarrollo del país y para mejorar la competitividad de las empresas, la Universidad EAFIT forma profesionales con las competencias que se requieren, por medio de la carrera de Ingeniería de Procesos que es un área de la ingeniería que trata de la aplicación creativa de los conceptos de ciencia y tecnología al diseño, la simulación, la optimización, la logística así como a la gestión de los procesos, no importa la naturaleza de las materias primas ni de los productos. Como pretexto para aprender las metodologías necesarias se hace énfasis en los procesos químicos y biotecnológicos, extrapolarlo algunas de aquellas empleadas por otras ramas de la ingeniería. Los egresados del programa tienen la opción de escoger entre dos énfasis: diseño de procesos y biotecnología.

Cada día se hace evidente la necesidad de motivar más a los alumnos para el aprendizaje de la ingeniería y para que los alumnos aprovechen sus diferentes estilos de aprendizaje (Felder, 1996). Se ha encontrado que una de las mejores formas de aprendizaje es por medio de la práctica: aprender haciendo. Por lo tanto, en la formación de los ingenieros que tienen que ver con las áreas química y biotecnológica, que pueden hacer una notable contribución a la innovación y al desarrollo de productos para el consumidor, se aprovechan los conocimientos construidos en cursos

como química orgánica, operaciones unitarias, biotecnología, procesos de biotransformación y en especial el de transferencia de masa, y en los proyectos de investigación para aprender a desarrollar los productos que habrán de competir en los mercados internacionales (Cussler, 2001; Swift, 1999; Devia, 2007).

En este caso se trata de proponer metodologías para desarrollar competencias basándose en actividades orientadas al DNP. Por ejemplo, en los laboratorios de transferencia de masa, además de obtener los datos tradicionales, necesarios para comprender mejor los aspectos teóricos relacionados con cada una de las unidades, se tiene como objetivo fundamental la producción de un producto con valor agregado que pueda ser ofrecido en el mercado.

Por otro lado, en los proyectos de investigación se pueden incluir algunas iniciativas que tengan como objetivo la formulación de un producto innovador y el diseño conceptual de su correspondiente proceso productivo. Los productos resultantes se pueden emplear para concursar en eventos nacionales e internacionales que propician la innovación y para estimular a los empresarios para invertir en nuevos desarrollos. Esta intencionalidad ya es una realidad cumplida, por cuanto varios productos no sólo han competido con éxito en estos eventos, sino que ya están a la venta al público.

El diseño de los procesos para obtener productos químicos incluye varias etapas en las cuales se aplican los principios científicos para la solución de problemas específicos. Además, en cada una de las actividades que deben desarrollar los alumnos se emplean metodologías rigurosas, previamente definidas, que puedan asegurar una alta posibilidad de éxito en el mercado de los productos obtenidos, según evaluación de expertos en mercadeo y evaluación de productos (Seider, 2002; Devia, 2003).

1.2 METODOLOGÍA

Como parte de la formación inicial de los alumnos, en el programa de Ingeniería de Procesos de la Universidad EAFIT, se emplea la metodología de “las prácticas no estructuradas”, (PNE), como una de las diferentes estrategias que se usan en el entrenamiento en el laboratorio. Esta metodología se basa fundamentalmente en el planteamiento del objetivo final de cada una de las prácticas por parte del profesor. Estos objetivos están relacionados con los temas de estudio, y los estudiantes deben diseñar su desarrollo, estableciendo los procedimientos y reactivos necesarios para lograr los objetivos específicos y el objetivos final. El objetivo de cada PNE es de tales características que no permite repetir prácticas que ya aparecen en la literatura, algunas de las cuales se emplean en las prácticas estructuradas. En este caso se trata de inducir a los alumnos a hacer innovaciones y atender situaciones reales que se presentan en el mundo contemporáneo y que pueden investigarse por los procedimientos aprendidos en los diferentes cursos (Correa, 2006).

Con base en la metodología de las PNE, al llegar los estudiantes al laboratorio de transferencia de masa, se integran diferentes equipos de trabajo de tres o cuatro estudiantes, a quienes se les indican las unidades disponibles y se acuerda el número de productos que se deben obtener, utilizando para cada uno de ellos procesos en los que intervengan como mínimo dos unidades, de acuerdo con las que existen en el laboratorio. Cada equipo de trabajo debe decidir, previa consulta con el profesor, los productos que quiere desarrollar.

En el caso de Ingeniería de Procesos se cuenta con unidades de extracción sólido-líquido, líquido-líquido, unidad de destilación y el equipo de Othmer, una unidad de cristalización, una unidad de absorción y un secador por atomización. Con base en este número de unidades los alumnos deben planear sus prácticas para obtener siete productos, con valor agregado, que puedan ser

ofrecidos en el mercado. En algunos casos pueden ser productos reconocidos, que ya se ofrecen en el mercado nacional o internacional, a los cuales se les introducen cambios en ingredientes o en el proceso, o cualquier otro tipo de innovación.

En la planeación de la práctica cada equipo debe preparar un preinforme que incluye los objetivos general y específicos, un diagrama de flujo preliminar de las unidades que se van a emplear, así como el proceso necesario, con las características que se quieren determinar para las diferentes unidades empleadas, así como la bibliografía necesaria acerca del tema. Entre los objetivos de cada práctica se incluye la identificación de los riesgos de seguridad que se pueden presentar en su desarrollo. El preinforme debe sustentarse al profesor antes de iniciar el trabajo, para asegurar que comprenden los conceptos y entienden la operación de los equipos puestos a su disposición. En este caso, y como una aproximación inicial al DNP, los equipos de trabajo emplean la metodología propuesta por Wibowo que incluye las siguientes etapas (Wibowo, 2002):

- 2.1 Conceptualización del producto que se quiere desarrollar, que parte del estudio preliminar del mercado para identificar las tendencias, necesidades y deseos de los consumidores, para proponer posibles innovaciones.
- 2.2 Identificación de los factores de calidad e índices de desempeño, de acuerdo con los resultados del estudio del mercado.
- 2.3 Selección de los ingredientes necesarios y la microestructura deseada para cumplir con los requerimientos identificados.
- 2.4 Selección de las alternativas de procesos y condiciones de operación, a partir de la escogencia de la ruta química, los equipos necesarios y la elaboración del diagrama de flujo.

- 2.5 Finalmente, una vez obtenido el producto en el laboratorio, se hace una evaluación completa tanto del proceso como del producto para identificar el cumplimiento de los requerimientos iniciales.

Una vez aprobado el preinforme por el profesor, previa sustentación frente a las unidades que se van a utilizar, se desarrolla la práctica correspondiente para obtener el producto propuesto, con las innovaciones que sean posibles. El informe final de la práctica incluye, además del cumplimiento de los objetivos propuestos, la presentación del producto obtenido y la sustentación oral.

Otra oportunidad para aprender por medio del DNP es en el desarrollo de proyectos de investigación, como requisito para obtener el título de Ingeniero de Procesos, en los cuales se propone el diseño del proceso para obtener un producto que no se fabrica en el país pero que ya se ofrece en otras latitudes o que definitivamente no existe. En este caso se parte del análisis de las necesidades y deseos del consumidor, se encuentra la información necesaria para diseñar el proceso, especialmente las patentes y se selecciona la ruta química con los respectivos ingredientes y microestructura. Para lograr los objetivos propuestos para el proyecto se emplea la metodología planteada por el profesor Robert G. Cooper, "Stage-Gate", que indica todas y cada una de las fases que se deben cumplir, incluyendo los momentos de decisión, hasta llegar a la evaluación técnica y económica del producto final, y si es posible hacer una prueba de su aceptación real en el mercado (Cooper, 2004).

Para evaluar el avance de cada proyecto se tiene conformado un grupo de tres personas, un experto en el desarrollo de productos, otro en el diseño de procesos y un tercero experto en empresarismo y mercadeo. Para cada momento de decisión se deben presentar los resultados prometidos como producto de cada fase, los cuales se evalúan rigurosamente y se da una respuesta que pretende asegurar que el resultado final siga siendo factible técnica y económicamente.

En esta metodología Stage-Gate, se parte de la generación de ideas para nuevos productos por medio de técnicas creativas, las cuales se evalúan, en una primera decisión, para seleccionar aquellas que aparentan tener mejores posibilidades de éxito en el mercado. Con estas ideas se pasa a la primera fase de exploración, en la cual se busca toda la información posible tanto en la literatura como en el mercado y se hace una evaluación preliminar de los equipos y materias primas necesarias para cada producto. Con estos datos se pasa al segundo momento de decisión en donde se hace una evaluación más rigurosa de los resultados conocidos, posible aceptación en el mercado y se decide con cual producto se debe seguir a la segunda fase.

En la segunda fase se construye el plan de negocios con base en la información recolectada, considerando los atributos del producto seleccionado, con su respectivo análisis financiero. El informe de esta fase sirve para que en la tercera decisión se evalúe la factibilidad técnica y económica del proyecto para decidir si se continúa a la fase de desarrollo físico del producto.

Una vez obtenido el producto en el laboratorio siguen las fases de comprobación de las características deseadas y el cumplimiento de normas nacionales e internacionales, así como la evaluación final de la factibilidad técnica y económica con base en los experimentos y cálculos realizados.

Obviamente, como en todo proyecto de investigación, todas las actividades están enfocadas en el cumplimiento de los objetivos, lo que cual no quiere decir que no se pueda tener cierta flexibilidad en la aplicación de la metodología, y es así como algunas actividades pueden modificarse según las necesidades y el riesgo presentes. Además, las decisiones del grupo evaluador pueden tener cierto nivel de ambigüedad o incertidumbre, permitiendo que algunas de ellas puedan condicionarse a resultados o eventos futuros. Lo realmente

importante es el logro de los objetivos y por lo tanto hay cierta fluidez en el desarrollo de las actividades que no están atadas definitivamente a ninguna fase o secuencia. Se trata de planear ciertas fases de desarrollo, ofrecer unos resultados y al final de cada una presentarlos tal como prometidos.

1.3 RESULTADOS

Como ejemplo de algunos de los productos que se han producido en el laboratorio de transferencia de masa se pueden mencionar mermeladas a partir de frutas como el arándano o mortiño, la mora y la naranja, empleando el evaporador y el cristizador para completar el proceso de concentración. Con la torre de absorción se han obtenido bebidas carbonatadas, a partir de extractos de frutas. La unidad de extracción sólido-líquido ha permitido obtener aceites esenciales de plantas aromáticas y la unidad de secado por atomización ha servido para la producción de bebidas aromáticas en polvo, colorantes naturales y otros productos en polvo.

El uso del desarrollo de nuevos productos como una estrategia para el aprendizaje ha mostrado que los alumnos se motivan mucho más por el trabajo en el laboratorio y por entender los principios fisicoquímicos y otros aspectos relacionados con los equipos y productos que desean producir. Esta motivación se refleja en la cantidad y calidad de la información que adquieren y cierta competencia que se genera entre los equipos de trabajo por obtener mejores productos.

Uno de los resultados ulteriores es el desarrollo de la capacidad de trabajo en equipo, porque todas las actividades son responsabilidad de todos los integrantes y a ellos corresponde definir los objetivos y planear el desarrollo de la práctica de laboratorio.

Como complemento al trabajo en el laboratorio, en la Universidad se lleva a cabo un evento anual denominado Expoprocesos, en el cual los alumnos

tienen oportunidad de presentar, a estudiantes de otras áreas y a particulares, los resultados de sus prácticas de laboratorio y de sus investigaciones. Además, como una primera prueba de mercado, hay posibilidades de ofrecer los productos en venta a los mismos estudiantes en un evento denominado el Zoco en el cual, una vez al año, durante dos días se venden productos de diferentes fuentes, que pueden ser particulares que se inscriben para tal evento o los mismos estudiantes universitarios.

A su vez como consecuencia de la motivación que genera el deseo de obtener un buen producto, digno de mostrar a sus familiares y compañeros, los alumnos han adquirido una destreza especial en la búsqueda y evaluación de información, especialmente patentes y formulaciones de diferentes países y en la interpretación y adaptación de los datos contenidos en éstas.

Un resultado adicional ha sido el fortalecimiento del programa de Emprendimiento de la Universidad con los productos que se generan en los diferentes proyectos, algunos de los cuales han recibido premios en concursos internacionales como Talent and Innovation of the Americas (TIC Americas), nacionales como Ventures, y locales como Cultura E de la alcaldía de Medellín. Además, algunos de los productos han servido como base para iniciar nuevos negocios tales como Skudmart, productos para la preservación de los cadáveres; Citrotec, productos derivados del aprovechamiento integral de la naranja; Proglass, productos de limpieza no convencionales; Progalu, productos alimenticios de origen biotecnológico y Amakuro que produce mermeladas y otros productos con base en frutas exóticas, entre otros. Estos negocios no sólo ofrecen productos de calidad en el mercado sino que han creado empleo para otros compatriotas.

1.4 CONCLUSIONES

El desarrollo de nuevos productos como estrategia de aprendizaje favorece notablemente el interés y la motivación de los alumnos por las prácticas de laboratorio y el desarrollo de los proyectos de investigación necesarios para obtener sus títulos profesionales.

Así mismo el DNP permite a los alumnos utilizar muchos de los conocimientos que han adquirido a lo largo de sus estudios profesionales y les ayuda a desarrollar sus competencias para la búsqueda y evaluación de la información que deben emplear en sus proyectos.

Como complemento la autoestima de los alumnos se afecta positivamente cuando obtienen premios y distinciones en concursos internos de la Universidad o en eventos nacionales e internacionales que estimulan la innovación. El estímulo que reciben en sus propios hogares por la obtención de productos que pueden llegar a convertirse en negocios es algo que favorece el aprecio y respeto que tienen los padres por la carrera que han elegido sus hijos.

Esta metodología de DNP se ha ampliado a los otros cursos que tienen prácticas laboratorios y todos los alumnos pueden participar en la premiación a los mejores en Expoprocesos.

Gracias a la experiencia desarrollada, se ha incluido, en el plan de estudios del programa de Ingeniería de Procesos de la Universidad EAFIT, un nuevo curso denominado Desarrollo de Productos Químicos y Biotecnológicos, porque al fin y al cabo así como no hay proceso sin producto, tampoco es posible un producto sin un proceso, y el propósito del programa es el diseño, la simulación, la optimización, la logística y la gestión de los procesos, no importa la naturaleza de las materias primas empleadas ni los productos obtenidos.

2.

COLORANTE DE LA FLOR DE LA MAJAGUA

El mercado de la industria de alimentos ha sufrido cambios importantes en busca de nuevas alternativas hacia el mayor uso de productos naturales. Un amplio segmento de los alimentos es ocupado por los productos con propiedades antioxidantes, otro busca sustituir productos de alta incidencia tóxica o alergénica y, además, está el segmento en desarrollo de los colorantes naturales.

Los colorantes en alimentos se han utilizado ampliamente con el fin de mejorar la apariencia física del producto, hacerlo mucho más atractivo para el consumidor y resaltar sus propiedades. Diversos estudios, acerca de los efectos sobre la salud, de muchos aditivos alimentarios sintéticos han generado dudas y han aumentado la tendencia hacia su sustitución por sustancias naturales.

Actualmente se realizan numerosas investigaciones sobre clorofilas, antocianinas y pigmentos terpenoides como los carotenos y el licopeno, tratando de obtenerlos a partir de fuentes naturales como hojas, flores y frutas.

En este trabajo se busca continuar el aprovechamiento de la gran biodiversidad Colombiana con la obtención de un colorante natural que sea inocuo, que no altere las propiedades organolépticas del producto al que va a ser incorporado, se obtenga

en un rendimiento que permita incorporarlo en la industria de alimentos, bastante exigente en cuanto a los parámetros de calidad. Se pretende dar uso a un recurso natural que en Colombia se explota de forma muy artesanal (sólo las fibras), y es el árbol de Majagua.

En ensayos preliminares de extracción de colorante, se obtuvieron dos colorantes diferentes, según el color de la flor: uno rojo y otro amarillo, dos colores que podrían satisfacer las necesidades del mercado. En este momento el colorante artificial de mayor uso es el amarillo No. 5, y la industria de alimentos enfrenta una crisis debido a la resolución No. 00580 de 1996, que hace hincapié en los efectos alérgicos de la tartrazina. Además, durante el año 2007 el INVIMA emitió un comunicado en el cual obliga a las empresas que elaboren alimentos o cosméticos que contengan amarillo No. 5 a cambiar el registro sanitario actual y a incluir en la etiqueta de los productos la siguiente expresión: “Contiene TARTRAZINA que puede producir reacciones alérgicas, tipo angiodema, asma, urticaria y shock anafiláctico”. Lo anterior, teniendo en cuenta las disposiciones expuestas por la Sala Especializada de Medicamentos y Productos Biológicos de la Comisión Revisora dentro del concepto emitido en el Acta No. 1 de 2007. A partir del 3 de septiembre de 2007, los productos cuyos titulares incumplan

las recomendaciones de la Sala son llamados a Revisión Oficiosa y se toman las medidas a que haya lugar. (Invima, 2008).

Sin embargo, cuando se desea reemplazar compuestos artificiales o sintéticos por los naturales, debe tenerse en cuenta su estabilidad frente a cambios de pH, temperatura e iluminación. Por otro lado, la mayoría de estos colorantes naturales debe dosificarse en cantidades mayores, lo que implica una posible alteración de otras propiedades organolépticas del alimento como el aroma, la textura y el sabor. Por lo tanto, como complemento a este trabajo se debe hacer la evaluación de estas propiedades y, mejor aún, considerar para proyectos posteriores la aplicación del colorante en productos alimenticios.

2.1 ANTECEDENTES

Es muy común decir que los alimentos entran por los ojos, y éste es un hecho que las compañías productoras de alimentos deben enfrentar cada vez que ofrecen un producto en el mercado. Las empresas recurren al uso de los colorantes, tanto naturales como artificiales, con el fin de destacar el aspecto saludable, apetecible e inocuo de los alimentos procesados (Lopera, 2003; Arango, 2004; Echeverry & Salazar, 2003; Lugo, 2003).

A principios del siglo XX se incrementa la síntesis de nuevos colorantes para la industria alimenticia. Pero sólo hacia 1950 los colorantes empiezan a ser regulados por la oficina federal FDA (Foods and Drugs Administration), debido a que algunos contenían plomo, arsénico y cobre, por lo que representaban un alto riesgo para la salud (Lugo, 2003). En vista de esta circunstancia, la demanda de colorantes de origen natural ha venido creciendo notoriamente en Europa y Estados Unidos. Se

estima que en la Unión Europea aumente la demanda de colorantes porque estudios recientes pronostican que su participación en el mercado de las importaciones aumenta un 2.7% cada año, como resultado de la creciente demanda de ingredientes naturales para la preparación de alimentos.

Esta tendencia también se observa en las importaciones de colorantes naturales a Colombia, que han venido creciendo en los últimos cinco años, debido principalmente al incremento de su uso en la industria alimenticia como se muestra en la Tabla 2.1 (Proexport, 2008).

De acuerdo con la balanza comercial de Colombia, se puede observar que en cuanto a los colorantes naturales es mayor el volumen de importaciones que de exportaciones, por lo que se debe plantear la necesidad de realizar más investigaciones relacionadas con la obtención de colorantes naturales de diversas fuentes (Tabla 2.1). En la Universidad EAFIT algunos estudiantes de Ingeniería de Procesos han realizado diferentes proyectos explorando algunas fuentes de colorantes naturales como el aguacate, el achiote, la jagua, el plátano, el repollo morado, el maíz morado y el helecho.

En la revisión bibliográfica, se ha encontrado que las flores de la Majagua han sido ampliamente utilizadas como medicinas en su lugar de origen, Cuba (Milanés, Rodríguez, & González, 1999), lo que ha dado oportunidad para algunos estudios sobre sus características botánicas y su carácter medicinal. También se sabe que en Cuba la madera del Majoe es ampliamente usada para elaborar bates de béisbol. En cuanto a Colombia, sólo se conoce que su uso es artesanal, en la elaboración de cuerdas y bolsos a partir de sus fibras.

TABLA 2.1
Balanza Comercial de Colombia
Partida Arancelaria 3203. Materias colorantes de origen vegetal o animal,
 aunque sean de constitución química. Valores en miles de USD\$

	2002	2003	2004	2005	2006
Importaciones					
Campeche	1	4	2	1	2
Achiote	41	32	30	56	67
Clorofilas	56	6	17	18	11
Índigo natural	0	0	0	1	0
Marigold (Xantófila)	1	0	17	114	416
Maíz morado (Antocianina)	0	0	0	0	0
Otros	498	470	771	1100	779
Total	597	512	837	1290	1275
Exportaciones					
Campeche	0	0	0	0	0
Achiote	1	0	0	0	0
Clorofilas	0	0	0	0	0
Índigo natural	0	0	0	0	0
Marigold (Xantófila)	0	0	0	0	0
Maíz morado (Antocianina)	0	0	0	0	0
Otros	6	30	56	63	208
Total	7	30	56	63	208
Saldo en miles de dólares	-590	-482	-781	-1227	-1067

Fuente: Base de datos ALADI (www.aladi.org)

Se dice que la especie *Hibiscus elatus* S.W., conocida como Majagua, tiene reportados distintos usos en medicina tradicional (Beyra & León, 2004). Sus flores, en Cuba, se utilizan por sus propiedades expectorantes, las que se comercializan como jarabe. Un estudio fitoquímico sugiere que en la composición general de las flores de *Hibiscus elatus* existen mucílagos, sustancias reductoras, antocianidinas, taninos y flavonoides, sustancias atóxicas (Márquez & Cuellar, 1999). Dicho estudio permite encaminar el uso del colorante a la industria alimenticia. Además, por tratarse de flavonoides y antocianinas, presentan cambios

frente a variaciones de pH., son solubles en agua y resistentes a la acción de la luz según el medio en que se encuentren. A este tipo de colorantes les favorece el medio ácido, lo que los hace aptos para aplicarse en productos ácidos, en refrescos, jaleas, compotas, mermeladas y confituras. (Alimentatec, 2007).

La Majagua se ha adaptado a las condiciones climáticas y agroecológicas de Colombia, específicamente de Antioquia, donde se encuentra diseminada en amplio rango del territorio, inclusive, ampliamente, en el Área Metropolitana. Sin

embargo, no se encuentran cultivos comerciales establecidos que aseguren la disponibilidad y sostenibilidad de materia prima, pero este trabajo podrá dar pautas para la utilización de las flores de la Majagua como posible fuente de colorante para la industria de alimentos, lo que puede dar pie al interés en establecer de manera industrial este cultivo, por parte de empresas productoras y comercializadoras de aditivos alimenticios, en convenio con entidades gubernamentales.

2.1.1 Características de la Majagua

La Majagua es una planta originaria de Jamaica y Cuba; su nombre científico es *Hibiscus elatus* sw y pertenece a la familia Malvaceae. También se le conoce como Majagua azul o Blue majoe, es un árbol siempre verde de tamaño mediano que puede alcanzar más de 25 m de altura con un tronco recto de 35 cm o más de diámetro. Se le puede identificar por sus hojas de forma acorazonada y con unos pecíolos largos, a la vez que por sus típicas flores en forma de embudo. La madera del majó es de alta calidad y muy atractiva, con matices purpúreos, azul metálicos y verde oliva y tiene una variedad de usos, especialmente la manufactura de muebles finos.

La Majagua crece de forma silvestre en áreas elevadas y húmedas de Cuba y Jamaica. Existe una evidencia indirecta de una distribución natural aún más restringida, sugiriéndose a Cuba como su lugar de origen, de donde el majó habría sido introducido a Jamaica. El majó también ha sido establecido en plantaciones en ambas islas y se ha naturalizado en el sur de la Florida, en México, Perú, Brasil y a través de las Indias Occidentales (Weaber & Francis).

Las flores, objeto de este estudio, aparecen de una a tres a la vez en pedúnculos verdes y robustos en la base de las hojas al final de las ramitas. El cáliz es de un color verde claro y la corola, que consiste de cinco pétalos elípticos y esparcidos, es amarilla, anaranjada o de un rojo bronceado y se oscurece a medida que envejece. Se pueden encontrar muchos estambres montados en una

columna de color rosado con la corola en la base. El pistilo dentro de la columna contiene un ovario de 5 células, un estilo largo y cinco estigmas redondeados. La florescencia ocurre de manera irregular a través de todo el año (Figura 2.1).

FIGURA 2.1
Flor de la Majagua



2.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL PRODUCTO

Para conceptualizar el producto que se quiere obtener se requiere información acerca de las necesidades y requerimientos de los posibles consumidores. Así mismo es necesario evaluar las posibilidades técnicas y de disponibilidad de materias primas para su obtención. Además, es muy importante conocer la legislación, tanto nacional como internacional, que pueda existir acerca de la utilización del colorante natural en los alimentos.

2.2.1 Tendencias del Mercado

El mercado de colorantes naturales actualmente no es realmente competitivo porque está dominado principalmente por los colorantes artificiales. Sin embargo, debido a reciente legislación, que previene sobre los efectos alérgicos de algunos colorantes artificiales, puede ocurrir un cambio en esta situación y transformarse el mercado en uno más competitivo para los colorantes naturales, como ya se observa en Europa.

La información recolectada indica que el mercado prefiere los colorantes en polvo, por su mayor

facilidad para el manejo, aunque en algunos casos se aceptan en solución. Los colorantes naturales están incluidos como productos en varios sectores económicos del país, pero sobresale su presencia en el sector de alimentos y en el de productos naturales. Las industrias de cosméticos, alimentos, farmacéuticos, productos domésticos (aseo y limpieza), pinturas, lacas, barnices, tintas de impresión y recubrimiento entre otros, son los sectores que más demandan colorantes. (Cáceres y otros, 2004).

De acuerdo con estudios realizados por el Instituto Alexander von Humboldt y el Ministerio del Medio Ambiente, la industria de alimentos es el mayor consumidor de colorantes, especialmente para las industrias de lácteos (quesos, yogurt, flanes, pudines, etc.), cárnicos, harinas y pastas, salsas y aderezos, licores y bebidas, pastelería y confitería. También a partir de estos estudios se obtuvieron los gráficos 2.1 y 2.2, que comparan el número de empresas que comercializan colorantes con las que los demandan.

GRÁFICO 2.1. Tipo de material tintóreo natural o sintético comercializado

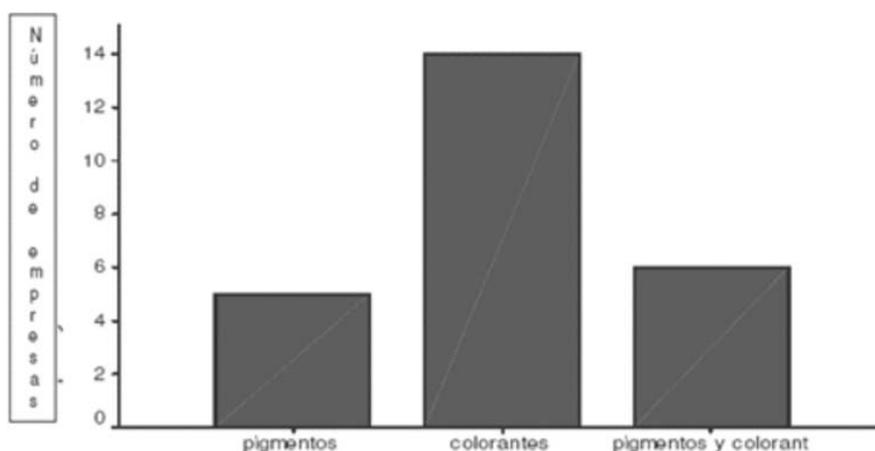
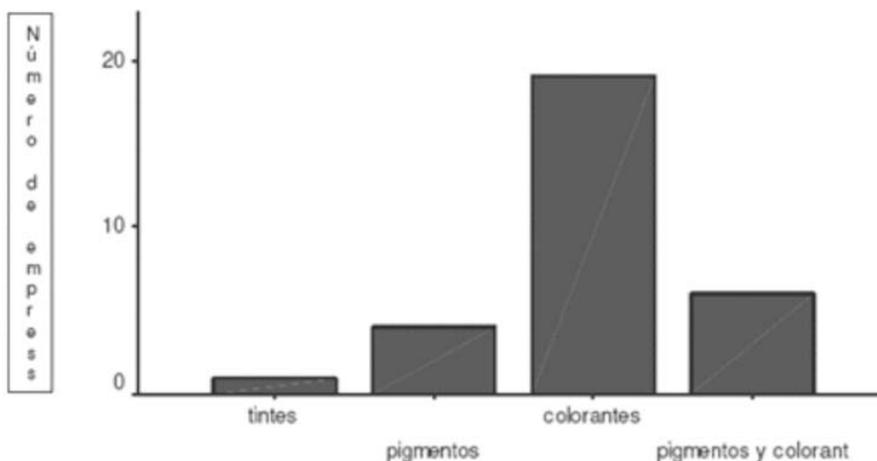


GRÁFICO 2.2. Demanda de material tintóreo sintético o natural



A partir del análisis de las dos gráficas anteriores, puede decirse que los colorantes son un producto natural de alta demanda en Colombia, por lo que se justifica realizar un mayor número de estudios que contribuyan a satisfacerla. También hay que tener en cuenta que en el sector de colorantes para alimentos se encuentra una gran oportunidad comercial, porque las legislaciones mundiales tienden a exigir mayor uso de colorantes naturales en el corto plazo. (Cáceres y otros, 2004). En este momento, los colorantes de mayor explotación comercial en el país son el achiote, la cochinilla y la cúrcuma.

El mercado objetivo de los colorantes, son las empresas productoras de alimentos que requieran colorantes y aditivos para la obtención de sus productos. El producto se puede distribuir de forma directa a sus usuarios.

2.2.2 Identificación de los Factores de Calidad

Para poder competir no sólo en el mercado nacional sino también en el internacional se requiere un producto que cumpla con la legislación y los estándares de calidad: inocuidad, poder tintóreo o colorante definido, estabilidad a la luz o al calor, compatibilidad con los productos de los cuales son aditivos, composición química pura y estandarizada, etc.; se considera que en el país, los colorantes naturales que se utilizan son importados, debido a que los que se producen no cumplen con las características que se requieren para ser considerados como comerciables. (Cáceres, 2004).

La ficha técnica del producto que se obtiene en este trabajo debe ser comparable a la de otros productos similares que se ofrecen en el mercado. Las pruebas para determinar que no causa daño a la salud de quien lo consume y la compatibilidad con los productos en los cuales se usa el colorante como aditivo, están fuera del alcance de esta investigación.

2.3 SELECCIÓN DE INGREDIENTES Y MICROESTRUCTURA

El estudio fitoquímico sugiere que en la composición de las flores de *Hibiscus elatus* existen mucílagos, sustancias reductoras, antocianidinas, taninos y flavonoides, las cuales se caracterizan por ser sustancias atóxicas. Dicho estudio permite encaminar el uso del colorante a la industria alimenticia (Márquez & Cuellar, 1999).

Además, por tratarse de flavonoides y antocianinas, presentan cambios frente a variaciones de pH., son solubles en agua y resistentes a la acción de la luz según el medio en que se encuentren. A este tipo de colorantes les favorece el medio ácido, lo que los hace aptos para aplicarse en productos ácidos, en refrescos, jaleas, compotas, mermeladas y confituras podrá aplicarse en lácteos, jugos, zumos y jarabes.

Para el proceso de extracción, las flores deben estar frescas, en buen estado y completamente florecidas. Pueden recogerse del suelo o directamente del árbol y preferiblemente en las horas de la tarde, porque a esta hora es posible encontrar el mayor contenido de glicósidos en la flor y por ende mayor contenido de colorante.

Como aditivos del producto en polvo se emplean los siguientes:

Maltodextrina: agente que se utiliza para facilitar el secado del colorante en el secador por aspersión. Este compuesto sirve para proteger el colorante de la degradación provocada por la acción de la temperatura.

Benzoato de sodio: ampliamente utilizado por la industria de alimentos como conservante, por lo tanto es conveniente adicionarlo al colorante, porque lo protege de los hongos.

Sorbato de potasio: sal de potasio muy usada en la industria de alimentos, porque inhibe el crecimiento de levaduras, hongos y bacterias debido a su estructura química de enlaces conjugados.

Ácido ascórbico: se utiliza como antioxidante en la industria de alimentos. En este caso, protege al colorante de la degradación y en combinación con el benzoato de sodio evita la contaminación con hongos y las bacterias.

2.3.1 Selección de la ruta química

Para la obtención de los colorantes se emplea el método tradicional de extracción sólido-líquido o lixiviación, usando un solvente sobre las flores secas y molidas.

2.3.2 Características deseadas del Producto

Los colorantes naturales que se desea obtener son de color rojo y amarillo. Con este desarrollo se busca generar otras dos posibilidades de colores naturales, especialmente para la industria de alimentos. El colorante podrá aplicarse en lácteos, jugos, zumos y jarabes, para tal fin se debe tomar en cuenta el pH al cual debe aplicarse. También podría pensarse su uso en fibras textiles como algodón, lana y fique.

Un valor agregado de este producto es su presentación en polvo, porque esta característica evita la degradación del color, la formación de hongos y bacterias y facilita su almacenamiento y transporte, ventajas que no generaría una presentación líquida.

En cuanto al empaque, se piensa en bolsas termoselladas de aluminio. Esta presentación permite conservar mejor el colorante y preservarlo de la acción de la luz.

2.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESO

Para determinar las variables que se deben analizar en el proceso de extracción es necesario realizar algunos ensayos preliminares. Se parte del material fresco, es cual se seca a baja temperatura para evitar los problemas de degradación de sus componentes químicos y se selecciona el solvente más adecuado para la extracción, teniendo en

cuenta que el uso final que se pretende es en alimentos, por lo cual se deben evitar solventes orgánicos como cloroformo, benceno, tetracloruro de carbono y similares. Se busca que el solvente sea agua o en mezcla con alcohol etílico.

2.4.1 Ensayos preliminares

En ensayos de laboratorio previos, se probaron diferentes tipos de solventes para verificar cuál era más afín con el colorante. Entre ellos estuvieron soluciones de ácido clorhídrico, hidróxido de sodio y ácido acético, y solventes como cloroformo, acetona, acetato de etilo, agua, etanol puro, n-butanol y mezclas etanol-agua. A partir de estos ensayos se encontró que los solventes más afines al colorante eran el agua y el etanol, notorio al observar el color de los extractos una vez filtrados. Estos presentaban un color café para el que se extraía sólo con agua y un rojo cereza para el extracto con etanol acidificado. El ensayo con agua se descartó debido a que presentaba un color más verdoso, indicio de una mayor extracción de clorofila.

En diversos artículos de la literatura se sugieren mezclas de diversas relaciones de etanol y agua como las más adecuadas para la extracción de colorantes. Por medio de ensayos preliminares se llegó a la conclusión que el diseño de experimentos se podía llevar a cabo con mezclas acuosas con 50%, 70% de etanol y con etanol comercial del 95%.

El siguiente paso fue filtrar la solución coloreada obtenida por la lixiviación y realizar un primer secado en estufa, el cual generó un polvo pegajoso, acaramelado y difícil de manejar. A raíz de esto, se optó por realizar una concentración de la solución y un posterior secado en secador por atomización. No se decidió realizar el secado por liofilización, debido a que si este proceso se lleva a gran escala, resulta bastante costoso.

A continuación, se lista paso a paso el proceso de extracción del colorante de manera preliminar:

Selección de materia prima

La materia prima debe recogerse fresca, preferiblemente en las horas de la tarde. Se deben seleccionar las que se encuentren más frescas y saludables, para luego someterlas a un control visual de calidad inicial, donde se remueven las impurezas manualmente. Una vez seleccionadas las flores, deben lavarse con agua endurecida (Sharapin, 2000), ya que las que se recogen del suelo, pueden contener restos de arena, polvo y algunos insectos que complican las etapas posteriores del proceso.

Secado

Luego de lavarse, las flores se deben secar en estufa a 40° C durante unas 8 horas, aproximadamente, con el fin de disminuir el porcentaje de humedad, la extracción de clorofilas y sustancias indeseadas durante el proceso de lixiviación. En esta etapa se elimina aproximadamente el 85% de humedad.

Molienda

La materia prima se muele en una licuadora, hasta una malla 30, para facilitar el proceso extractivo del colorante, permitiendo una mayor área de contacto entre el solvente y el material vegetal.

Lixiviación

Este es el proceso más crítico en la obtención del colorante porque intervienen varias variables, que determinan la eficiencia de la extracción realizada. Entre ellas se encuentran:

- El pH, que debe mantenerse entre 2 y 4 para extraer el colorante rojo y entre 4 y 5 para el amarillo.
- La relación sólido a solvente es 1:10, porque facilita un mejor contacto entre el solvente y el material vegetal pulverizado.
- El solvente seleccionado, en este caso la solución 50% de etanol agua.

- La velocidad de agitación
- La temperatura de extracción

Durante los experimentos preliminares se encontró que el mejor solvente es una mezcla 50: 50 de etanol – agua, que extrae una mayor cantidad de colorante. La concentración se midió con un barrido espectral para determinar la absorbancia de tres mezclas distintas: etanol comercial; 70: 30 de etanol agua y 50: 50 de etanol agua. Para esta medición se verificó, inicialmente, que el colorante cumpliera la ley de Beer.

También se encontró que la mejor temperatura para realizar la extracción es 25° C tanto para la flor amarilla como para la roja. Durante los experimentos preliminares, también se analizó el tiempo para la extracción del colorante. Se encontró que para la Majagua amarilla se requiere un tiempo de extracción del colorante de aproximadamente 1 hora, mientras que para la majagua roja el tiempo requerido es de 40 minutos.

2.4.2 Diseño de Experimentos

De acuerdo con documentos relacionados con el estudio de colorantes, se optó por realizar un diseño de experimentos tipo factorial (Sharapin, 2000). Los ensayos preliminares indican que la etapa crítica en este proceso es la extracción, y en ella influyen directamente diversas variables, a saber: la concentración de la solución alcohólica, la temperatura de la extracción y el tiempo para realizar la lixiviación.

Estas tres variables deben ser evaluadas porque además de influir en el rendimiento de la extracción, que es la variable de salida, también inciden en los costos de producción del colorante.

Por medio del diseño de experimentos se evalúan las extracciones de ambos colores de las flores: rojo y amarillo.

Los principales elementos del diseño de experimentos son:

Factores bajo estudio: Se estudian dos factores sobre los cuales se espera tomar una decisión, estos son: la temperatura y tiempo de extracción. Es importante considerar que aunque forman parte de un mismo diseño, se debe realizar el análisis por separado.

Niveles del factor:

- Temperatura: 4° C, 25° C y 45° C
- Tiempo de extracción: 20 minutos, 40 minutos, 1 hora.

Variable de respuesta: La variable de respuesta elegida fue la absorbancia, que mide de forma cualitativa la concentración de color presente en una mezcla.

Unidad experimental: Flores secas y molidas según la especificación.

Número de réplicas para cada ensayo: dos (2).

Nivel de significación (α): 0.05

Hipótesis

- Hipótesis nula (H_0); $\mu_A = \mu_B = \mu_C$ (Todas las medias son iguales, es decir no hay efecto del factor bajo estudio).
- Hipótesis alterna (H_a); existe al menos una media diferente.

Para el desarrollo de los experimentos con cada una de las flores, se mantuvieron controlados tres factores: la temperatura, el tiempo de extracción y la concentración alcohólica. En cada experimento dos de ellos estaban fijos mientras que el otro variaba, como se muestra en las siguientes tablas:

TABLA 2.2. Serie 1 de experimentos: concentración alcohólica variable Temperatura y tiempo de extracción constantes. Flor Roja

Parámetros	Experimento I		Experimento II		Experimento III	
Concentración alcohólica	50%		70%		100%	
Tiempo de extracción	1 hora		1 hora		1 hora	
Temperatura	25° C		25° C		25° C	
Absorbancia	0.417	0.421	0.276	0.289	0.169	0.175

TABLA 2.3. Serie 1 de experimentos: concentración alcohólica variable. Temperatura y tiempo de extracción constantes. Flor amarilla

Parámetros	Experimento I		Experimento II		Experimento III	
Concentración alcohólica	50%		70%		100%	
Tiempo de extracción	1 hora		1 hora		1 hora	
Temperatura	25° C		25° C		25° C	
Absorbancia	2.590	2.604	2.243	2.267	1.250	1.256

A partir de estos ensayos, se determinó que la mejor alternativa para la etapa de extracción, en cuanto a concentración alcohólica, es una mezcla etanol-agua al 50%. Aunque por razones económicas lo ideal sería realizar la extracción con agua solamente, éste es un proceso más complicado, debido a que el agua es más costosa de remover y genera dificultades en el proceso posterior de secado, formando un caramelo.

**TABLA 2.4. Serie 2 de experimentos: temperatura variable.
Concentración alcohólica y tiempo de extracción constantes. Flor roja**

Parámetros	Experimento I		Experimento II		Experimento III	
Concentración alcohólica	50%		50%		50%	
Tiempo de extracción	1 hora		1 hora		1 hora	
Temperatura	4° C		25° C		45° C	
Absorbancia	0.168	0.170	0.315	0.325	0.282	0.298

**TABLA 2.5. Serie 2 de experimentos: temperatura variable.
Concentración alcohólica y tiempo de extracción constantes. Flor amarilla**

Parámetros	Experimento I		Experimento II		Experimento III	
Concentración alcohólica	50%		50%		50%	
Tiempo de extracción	1 hora		1 hora		1 hora	
Temperatura	4° C		25° C		45° C	
Absorbancia	2.025	2.188	2.665	2.580	2.091	2.489

Esta serie de experimentos permite concluir que la mejor alternativa en cuanto a la temperatura de extracción es 25° C. Esta temperatura es ideal, porque reduce los costos energéticos del proceso eliminando los costos de calentamiento.

**TABLA 2.6. Serie 3 de experimentos: tiempo de extracción variable.
Concentración alcohólica y temperatura constantes. Flor roja**

Parámetros	Experimento I		Experimento II		Experimento III	
Concentración alcohólica	50%		50%		50%	
Tiempo de extracción	20 minutos		40 minutos		60 minutos	
Temperatura	25° C		25° C		25° C	
Absorbancia	0.260	0.148	0.953	0.782	0.169	0.197

**TABLA 2.7. Serie 3 de experimentos: tiempo de extracción variable.
Concentración alcohólica y temperatura constantes. Flor amarilla**

Parámetros	Experimento I		Experimento II		Experimento III	
Concentración alcohólica	50%		50%		50%	
Tiempo de extracción	20 minutos		40 minutos		60 minutos	
Temperatura	25° C		25° C		25° C	
Absorbancia	2.745	2.753	2.764	2.634	2.933	2.994

A partir de los experimentos variando el tiempo de extracción se encuentra que el tiempo de extracción para la flor amarilla de la majagua es de 1 hora y el de la flor roja, de 40 minutos.

Un punto importante que se tuvo en cuenta fue la constante dieléctrica del solvente con el que se realizó la extracción, porque afecta el tipo de sólidos que se pueden extraer. En estos experimentos se utilizaron 3 tipos de mezclas alcohólicas: 50%, 70% y 100%. Las constantes dieléctricas se muestran en la siguiente tabla 2.8.

TABLA 2.8. Constantes dieléctricas de los solventes usados

Solvente	Constante dieléctrica (ε) a 25°C	Mezcla etanol agua 50%	Mezcla etanol agua 70%	Etanol 100%
Etanol	24.3	51.3	40.5	24.3
Agua	78.3			

El modelo de cálculo usado fue el siguiente (tomando como base una mezcla 50:50):

$$\epsilon = \frac{(78.3 \times 50) + (24.3 \times 50)}{100}$$

$$\epsilon = 51.3$$

Como es de esperarse, la mezcla etanol-agua 50/50 es la más polar de todas, por tanto tiende a extraer más sustancias de mayor polaridad o ionizables que los extraídos por las concentraciones 70/30 o el etanol, cuyas constantes dieléctricas son menores.

2.4.3 Análisis de resultados

El análisis de los resultados se hace con ayuda de los recursos que ofrece el programa de computador Statgraphics, partiendo del Análisis de Varianza.

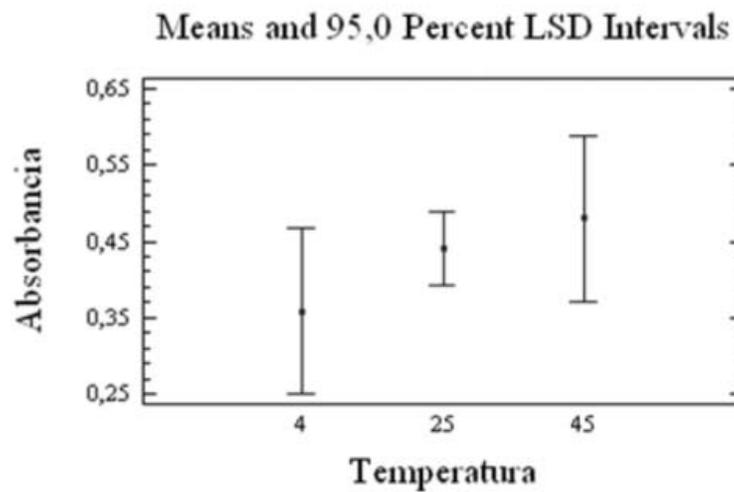
Análisis de varianza

Para efectos del análisis estadístico, se optó por analizar dos de las variables, la temperatura y el tiempo de extracción. La concentración alcohólica se dejó fija en el 50%, porque de acuerdo con Sharapin (2000) y con la constante dieléctrica, éste es el valor ideal para realizar este tipo de extracciones.

TABLA 2.9. ANOVA Absorbancia para la flor roja de la majagua

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Media Cuadrada	F ratio	P - value
Temperatura	0.015609	2	0.0078045	1.36	0.3175
Tiempo	0.601828	2	0.300914	52.35	0.0001
RESIDUAL	0.0402335	7	0.00574764		
TOTAL	0.728535	11			

Un valor p (p – value) menor de 0.01 es una fuerte evidencia contra Ho, mientras que un valor mayor de 0.10 es poca o no evidencia real contra la validez de la hipótesis nula, Ho. Es decir que sí existe influencia del factor tiempo. En cuanto a la temperatura de extracción, parece que la absorbancia no depende de esta variable para la flor roja de la majagua.

GRÁFICA 2.3. Diagrama de medias para la flor roja de la majagua

La gráfica 2.3 muestra como las medias de 45° C y de 25° C están más cercanas que la media obtenida con 4° C de temperatura de extracción. El análisis de estas gráficas determina que los datos se ajustan a una distribución normal, aunque se puede observar que la varianza correspondiente a la temperatura de 25° C es menor. Sin embargo el análisis de múltiple rango es el que define los grupos homogéneos estadísticamente.

TABLA 2.10. “Multiple Range Tests” para las diferentes temperaturas de extracción: flor roja de la majagua

Temperatura °C	Count	LS mean	Homogeneous groups
4	2	0.3585	X
25	8	0.441	X
45	2	0.4795	X

De acuerdo con la Tabla 2.10, se puede anotar que los valores de temperatura no presentan diferencias estadísticamente significativas y por lo tanto se pueden considerar como un grupo homogéneo. Debido a esto y a la menor varianza que se presenta para la temperatura de 25° C, se selecciona ésta como la temperatura de extracción. Esto también es observable en las tablas del diseño de experimentos. La Tabla 2.11 sirve para verificar esta afirmación.

TABLA 2.11. “Table of Least Squares Means” para las diferentes temperaturas y tiempos de extracción: flor roja de la majagua

Nivel	Count	Mean	Error estándar
Temperatura	12	0.426333	
4 °C	2	0.3585	0.0644288
25	8	0.441	0.0282539
45	2	0.4795	0.0644288
Tiempo			
20 min	2	0.189333	0.0644288
40	2	0.852833	0.0644288
60	8	0.236833	0.0282539

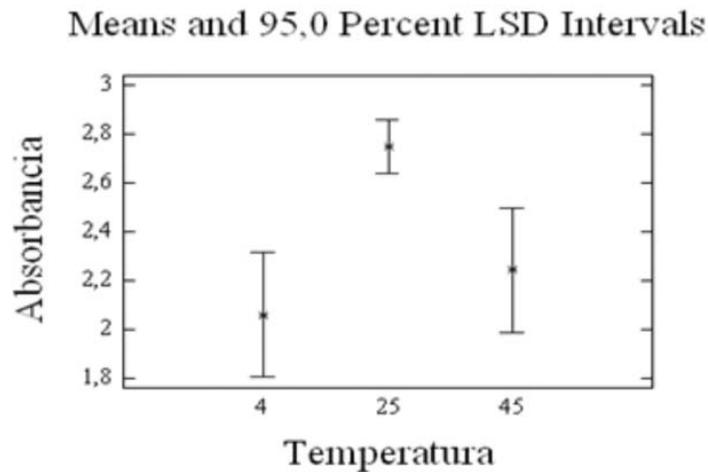
Finalmente, a partir de la Tabla 2.11 se determina que las mejores condiciones para extraer el colorante de la flor roja de la majagua son: temperatura de 25° C, concentración de 50% etanol para el solvente con la que se extraerá el colorante y un tiempo de 40 minutos, debido a que con lo anterior se demostró que el tiempo no afecta la extracción del colorante rojo. Estos resultados concuerdan con lo encontrado durante los experimentos.

TABLA 2.12. ANOVA Absorbancia para la flor amarilla de la majagua

Source	Sum of squares	Df	Mean Square	F ratio	P - value
Temperatura	0.741127	2	0.37564	11.65	0.0059
Tiempo	0.012022	2	0.006011	0.19	0.8319
RESIDUAL	0.222722	7	0.0318175		
TOTAL	1.10543	11			

Un valor p (p – value) menor de 0.01 sugiere una fuerte evidencia contra Ho, mientras que el valor p mayor que 0.10 sugiere poca o no evidencia real contra Ho. En consecuencia se puede afirmar que sí existe influencia de la temperatura sobre el rendimiento, mientras que el tiempo de extracción no parece influir sobre la absorbancia.

En el diagrama de medias (Gráfica 2.4) para la flor amarilla de la majagua, se puede anotar que las medias para la temperatura de 4° C, 25° C y 45° C están relativamente alejadas, aunque para la temperatura de 25° C el valor de la media es mayor, y la varianza menor; por lo que esta es la temperatura más adecuada para la extracción.

GRÁFICA 2.4. Diagrama de medias para la flor amarilla de la majagua

A continuación se muestra la tabla para el análisis de múltiple rango, el cual define los grupos homogéneos estadísticamente.

TABLA 2.13. "Multiple Range Tests" para las diferentes temperaturas de extracción: flor amarilla de la majagua

Temperatura	Count	LS mean	Homogeneous groups
4	2	2.0605	X
45	2	2.244	X
25	8	2.747	X

En este caso, cabe anotar que sólo las temperaturas de 4° C y 45° C conforman un grupo homogéneo. La temperatura de 25° C conforma otro grupo. Este análisis no es suficiente, por lo que también se tendrá en cuenta la tabla de las medias y de error estándar, con el fin de determinar cuáles son las mejores condiciones para realizar la extracción.

TABLA 2.14. "Table of Least Squares Means" para las diferentes temperaturas y tiempos de extracción: flor amarilla de la majagua

Nivel	Count	Mean	Error estándar
Temperatura	12	2.3505	
4°C	2	2.0605	0.151589
25	8	2.747	0.0664763
45	2	2.244	0.151589
Tiempo			
20 min	2	2.3525	0.151589
40	2	2.3025	0.151589
60	8	2.3965	0.0664763

A partir de la Tabla 2.14 se puede concluir que para la temperatura, el valor más adecuado es 25° C y para el tiempo de extracción es 1 hora, porque bajo estas condiciones el error estándar es mucho menor que para las otras condiciones. Bajo estos parámetros, se encontró que el rendimiento es del 5% para el colorante amarillo y 7% para el colorante rojo.

2.5 EVALUACIÓN DEL PRODUCTO

El colorante obtenido se pretende utilizar en la industria de los alimentos para lo cual debe cumplir con todas las Normas de Calidad definidas por el Invima. Dentro del alcance de este trabajo se analizan algunas de sus propiedades organolépticas, sus propiedades fisicoquímicas y los aspectos microbiológicos. Otras pruebas, como las de genotoxicidad y citotoxicidad, deben realizarse en laboratorios especializados certificados para tal fin.

El producto final que se podría ofrecer al mercado es una mezcla del colorante con un material de soporte, y aditivos para su preservación.

2.5.1 Descripción del Producto obtenido

Aspecto de los colorantes obtenidos

Cuando se usa etanol puro (acidificado), el colorante rojo presenta un tono tipo cereza, sin trazas de café y de un matiz muy brillante. Para la mezcla de 50% etanol agua, el colorante es de un rojo intenso, con un poco más de trazas de café.

Para el colorante amarillo se ensayaron las mismas mezclas alcohólicas. Se encontró que la mejor alternativa también era la mezcla 50% de etanol.

Rendimiento

Para obtener 100 gramos de colorante amarillo, se necesitan 2000 gramos de flores secas de la majagua, o sea un rendimiento del 5% medido como peso del residuo sólido seco que queda después de la evaporación del solvente. En el caso del colorante rojo se requiere extraer 1430 gramos de flores secas.

2.5.2 Características finales del Producto

Los colorantes de la majagua se pueden presentar en forma de polvo seco, con los aditivos necesarios para facilitar el proceso de secado a partir de una solución, evitando la degradación de compuestos activos durante esta operación, y para que contribuyan a su preservación por un periodo de tiempo prolongado, manteniéndolo libre de microorganismos.

Formulación del colorante

La maltodextrina se usa como el vehículo de secado. La cantidad mínima, en % de maltodextrina, que debe tener el colorante para facilitar el secado y asegurar la estabilidad de los principios activos se calcula por la fórmula:

$$Y = \sum_{i=1}^n a_i X_i$$

Donde:

a_i : es el índice individual de secado de cada componente.

X_i : es la fracción en peso de cada componente.

Y : es el índice total de secado a (160/60) °C. Cuando $Y < 1$, el producto es difícil de secar, $Y = 1$ indica posibilidad de secar y $Y > 1$ alta posibilidad de secar.

Cada compuesto tiene un valor de a_i característico, en la Tabla 2.15 se muestran algunos de los aditivos más usados (López, 2006).

TABLA 2.15. Valor a_i de secado para diferentes compuestos

Compuesto	a_i
Sacarosa	0,85
Glucosa	0,51
Fructosa	0,27
Maltodextrina	1,60
Almidón	2,79

Como no se conoce el valor a_i característico de los sólidos disueltos, se supone que el porcentaje equivale al de la sacarosa disuelta. Además se considera un Y teórico de 1.5 que asegure un buen secado y un porcentaje de sólidos del 20% en la solución concentrada del colorante:

$$Y = (a_{\text{sacarosa}} \cdot X_{\text{sacarosa}}) + (a_{\text{maltodextrina}} \cdot X_{\text{maltodextrina}})$$

$$1.5 = (0.85 \cdot 0.2) + (1,6 \cdot X_{\text{maltodextrina}})$$

$$X_{\text{maltodextrina}} = 83\%$$

Así que según este resultado, el colorante formulado debe contener por lo menos un 83% de maltodextrina para poder garantizar su secado adecuado.

TABLA 2.16. Formulación final de colorante

Componente	% en la fórmula
Colorante	10 – 20
Maltodextrina	70 – 90
Benzoato de sodio	0.1 – 0.3
Ácido ascórbico	0.1 – 0.3
Sorbato de potasio	0.1 – 0.3

Los valores de los porcentajes de benzoato de sodio, sorbato de potasio y de ácido ascórbico se tomaron de la literatura, porque éstos son ampliamente utilizados como aditivos en la industria de alimentos.

Empaque del colorante

Este debe realizarse en una empacadora especial para laminados con cierre térmico, en bolsas de un material que impida el paso de gases y de humedad. Estas condiciones de empaque permitirán una mayor durabilidad y estabilidad del colorante en el tiempo.

Requisitos de calidad para el colorante

Las sustancias que se utilizan como colorantes en alimentos deben cumplir con unos requisitos básicos con el fin de prevenir riesgos para la salud de los consumidores. En esencia, deben ser inocuos; constituir una especie química definida y pura; tener gran poder de tinción con objeto de utilizar la mínima cantidad posible; ser fácilmente incorporables al producto; ser lo más estables posibles a la luz, al calor, a los cambios de pH y a los agentes oxidantes y reductores; poseer compatibilidad con los productos que debe teñir; no poseer olor ni sabor desagradables con el fin de no variar las características del alimento que se colorea; y ser lo más económicos posible.

Es muy difícil que los colorantes naturales cumplan todos estos requisitos, porque son afectados por la luz, el calor, el pH, los agentes oxidantes y reductores y los periodos de almacenamiento. No sucede lo mismo con los colorantes sintéticos o artificiales que, generalmente, son sustancias muy estables a la luz y al calor.

Acerca de su inocuidad, cabe señalar que, aunque muchos colorantes naturales se utilizan desde hace siglos, todavía no se sabe lo suficiente sobre sus consecuencias en el ser humano. De hecho, muchos se estudian en la actualidad y de otros ya se sabe, por ejemplo, que pueden causar urticaria crónica o incluso asma entre las personas sensibles a sus componentes. Este es el caso de la Tartrazina (amarillo No. 5), que está prohibido en varios países, es muy utilizado en pastelería, confitería, verduras enlatadas, productos de la pesca, helados, bebidas de naranja y aderezos para ensaladas, entre otros.

Debido a las consecuencias indeseables para la salud de los consumidores, es precisamente que la FAO/OMS, por medio de su Comité de Expertos en Aditivos Alimentarios, estudia permanentemente los efectos toxicológicos que pueden generarse con los colorantes en alimentos. En función de los resultados obtenidos de dichos estudios, se ha elaborado la siguiente clasificación:

CATEGORÍA A:

Colorantes admitidos para uso alimentario.

CATEGORÍA B:

Colorantes que no han sido lo suficientemente estudiados como para ser incluidos en la categoría A.

CATEGORÍA C-I:

Colorantes no estudiados de forma exhaustiva, pero de los cuales ya se tienen bastantes datos obtenidos de ensayos de larga duración.

CATEGORÍA C-II:

Colorantes con datos inadecuados para su evaluación, pero de los que no se conocen resultados de los ensayos de toxicidad de larga duración como para relacionarlos con procesos cancerígenos.

CATEGORÍA C-III:

Colorantes de los cuales se tienen pocos datos para evaluarlos, pero que son suficientes como para relacionarlos con efectos perjudiciales para la salud.

CATEGORÍA D:

Colorantes de los cuales se desconocen casi por completo datos referentes a su posible toxicidad.

Normalmente, la toxicidad de un colorante está relacionada con su absorción por el tracto gastrointestinal. Actualmente se estudian colorantes de alto peso molecular, que no son absorbidos por

el tracto gastrointestinal, con lo cual se reducirían los riesgos de toxicidad.

En cuanto al colorante de la flor de la majagua, hay que destacar su posible carácter inocuo, porque proviene de una flor compuesta principalmente por polisacáridos y flavonoides (Ver Anexo 1, espectro infrarrojo); además de acuerdo con los estudios publicados por la Revista Cubana de Farmacia no posee agentes tóxicos.

Vale la pena anotar que el estudio del colorante de la majagua se encuentra en sus comienzos y está por fuera del alcance de este trabajo el determinar mediante estudios citotóxicos y genotóxicos, los efectos a largo plazo del consumo de este colorante.

Por el momento el colorante rojo y amarillo obtenido a partir de las flores del árbol de majagua podría clasificarse como del tipo C-II. En cuanto a la definición de los compuestos químicos presentes en el colorante, la literatura da cuenta de la presencia de antocianinas, taninos y flavonoides principalmente (Márquez; Cuéllar, 1999); aunque hay que decir que para poder ingresar los colorantes al mercado es necesario realizar pruebas que cuantifiquen las cantidades de estos compuestos en cada uno de los colorantes, es decir, se deben generar unos estándares de cada colorante.

Respecto a la resistencia de los colorantes a los agentes externos, se obtuvo durante los experimentos que el colorante rojo es mucho más estable a un pH ácido entre 1.5 y 4.5, mientras que el amarillo es más estable a pH entre 4 y 5; aunque hay que anotar que de acuerdo al pH el color puede presentar variaciones.

Este comportamiento también es verificado a través de la literatura, ya que por contener antocianinas es explicable este fenómeno, además se sabe que estos compuestos pertenecen a los flavonoides. Son los colores de muchos frutos (moras, ciruelas, fresas...) y flores (hibiscus), cada uno de ellos con una composición distinta (cianidina, pelargonidina, peonidina, etc.) aunque la principal fuente de

obtención es la piel de uva negra (enocianina) y otros subproductos de las industrias del zumo de uva y del vino. Este tipo de flores suelen dar tonalidades que van desde el rojo hasta el azul.

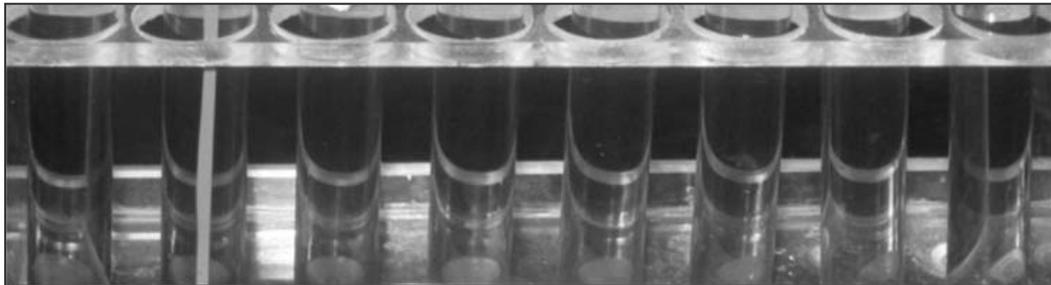
Se conocen como “colorante camaleón” porque cambian de color según la acidez del medio. Las antocianinas son solubles en agua, estables en medio ácido y la estabilidad al calor y a la luz es buena en general, pero depende de la aplicación.

Además, su uso se recomienda en productos ácidos, refrescos, bebidas instantáneas, licores, jaleas, confituras y mermeladas. (Alimentatec, 2007).

Como todas las antocianinas, el color del colorante obtenido de la flor del árbol Majagua varía cuando se cambia el pH de la solución, como puede verse en la Gráfica 2.5:

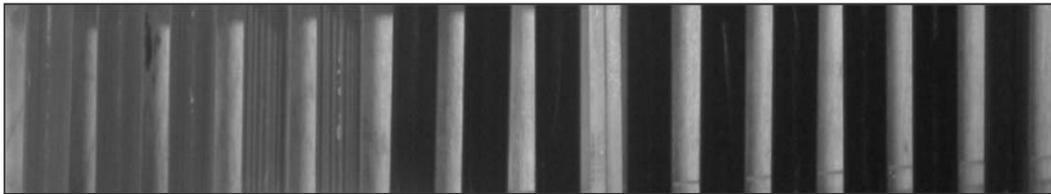
GRÁFICA 2.5. Variación del color del colorante de la flor de la Majagua

- **Variación pH colorante amarillo**



De derecha a izquierda el pH varía de 1 a 8.

- **Variación pH colorante rojo**



De izquierda a derecha el pH varía de 1 a 14

Los ensayos de estabilidad demuestran que ambos colorantes son estables bajo condiciones normales de luminosidad. Los tonos de los colores se conservaron de variación notable a simple vista, por lo menos durante una semana.

Características de calidad de las materias primas

Las materias primas utilizadas en la elaboración del colorante deben cumplir las siguientes características de calidad:

Pruebas físicas:

- Características organolépticas
- Características macroscópicas
- Porcentaje de materiales extraños
- Pérdida de humedad por secado

Pruebas fisicoquímicas:

- Espectro infrarrojo (Anexo 1)
- Absorbancia
- Pruebas microbiológicas

Características de calidad del producto terminado

El colorante terminado debe cumplir con las siguientes pruebas de calidad:

- Inspección y muestreo
- Propiedades organolépticas
- Ensayos fisicoquímicos: espectro infrarrojo y absorbancia.
- Pruebas microbiológicas

2.6 EVALUACIÓN DEL PROCESO

El proceso se evalúa desde los siguientes puntos de vista: impacto sobre el ambiente, factibilidad tecnológica y seguridad. Esta evaluación se hace a partir del mismo diseño, en el cual se tienen en cuenta las normas y principios generales conocidos para tal fin.

2.6.1 Diseño del Proceso

Una vez se ha evaluado el entorno en el que va a operar el proceso y se ha identificado su estructura, se definen las funciones de las diversas etapas o elementos del proceso así como sus interacciones. A continuación, se entra en la etapa de diseño del proceso propiamente dicha, definiendo en primer lugar el correspondiente Diagrama de Bloques que establece las relaciones entre las diferentes etapas y define los balances de masa y energía necesarios.

La obtención del colorante en polvo de la majagua no requiere de alta tecnología para llevarse a cabo. La materia prima son las flores del árbol de majagua, las cuales se encuentran disponibles durante todo el año. En este momento no existen cultivos a nivel industrial de esta planta, pero sería interesante plantear esta alternativa una vez se determine la viabilidad de este proceso.

Etapas del Proceso

Lavado

Una vez recolectadas y recibidas las flores de majagua, deben someterse a un proceso de

lavado con agua potable endurecida, con el fin de retirar los insectos y el polvo que se acumula en ellas. Una vez lavadas, se debe proceder a retirar manualmente el ovario de la flor y las partes verdes que aún conservan.

Secado

Luego de lavadas las flores, se procede a secarlas en una estufa de aire caliente a una temperatura no mayor de 40° C durante 8 horas, con el fin de reducir el contenido de agua y de clorofilas de la flor y así facilitar el proceso de extracción.

Molienda

Las flores secas se muelen en un molino de cuchillas durante 3 minutos con el fin aumentar el área superficial para facilitar la humectación por el solvente en la extracción. El material vegetal se lleva hasta un tamaño fino (malla 30), que facilita la extracción y evita la formación de una especie de lodo.

Extracción

Una vez trituradas las flores, se prepara la mezcla 1:1 con etanol grado alimenticio y agua para proceder con la lixiviación. En esta etapa hay que tener en cuenta que la flor amarilla y la flor roja tienen dos periodos de extracción diferentes: para la flor amarilla es de 1 hora y para la flor roja se requieren 40 minutos. No se debe olvidar que por tratarse de dos colores diferentes, el proceso para extraer cada uno debe llevarse a cabo en operaciones diferentes.

Filtración

La filtración del extracto se realiza con muselina, con el fin de remover el residuo de material vegetal que queda después de extraer el colorante y demás compuestos solubles en el solvente.

Concentración

La concentración se realiza con un rotoevaporador (destilación al vacío). En este equipo se

remueve gran parte del etanol contenido en el extracto, el cual es reutilizable en el proceso después de concentrarlo. El extracto se debe llevar hasta un contenido de sólidos de aproximadamente de un 20%.

A escala industrial, el equipo más usado es el concentrador de Roberts que es un intercambiador de calor con una batería de tubos delgados dispuestos concéntricamente dentro de un tubo central más largo. Los tubos se calientan con vapor y la solución que se desea concentrar pasa por el interior de los tubos, donde se evapora. Puede operar al vacío de ser necesario y puede o no necesitar bombas para la circulación. Para concentrar sustancias termolábiles, se recomienda usar un evaporador de película, porque en éste el cambio de fase ocurre en una capa muy fina.

Aditivos

En esta etapa se mezclan los colorantes con los aditivos necesarios, según la formulación establecida: maltodextrina, benzoato de sodio, sorbato de potasio y ácido ascórbico. De acuerdo con las condiciones necesarias para el secado por aspersión, la concentración final de sólidos disueltos en la solución no debe ser menor del 12%.

Secado

Para extractos acuosos, se recomienda usar la liofilización, aunque este proceso a nivel industrial resulta costoso; en vista de esto, el equipo más recomendado es el secador por aspersión (Spray Dryer).

La mezcla se lleva al secador por atomización con una concentración de sólidos superior al 12%. La temperatura de la alimentación es de 25° C, la temperatura de entrada del aire es de 140° C. En esta operación se obtiene un polvo fino de color amarillo o rojo pálido (según sea el color de la flor) y una humedad menor al 5%.

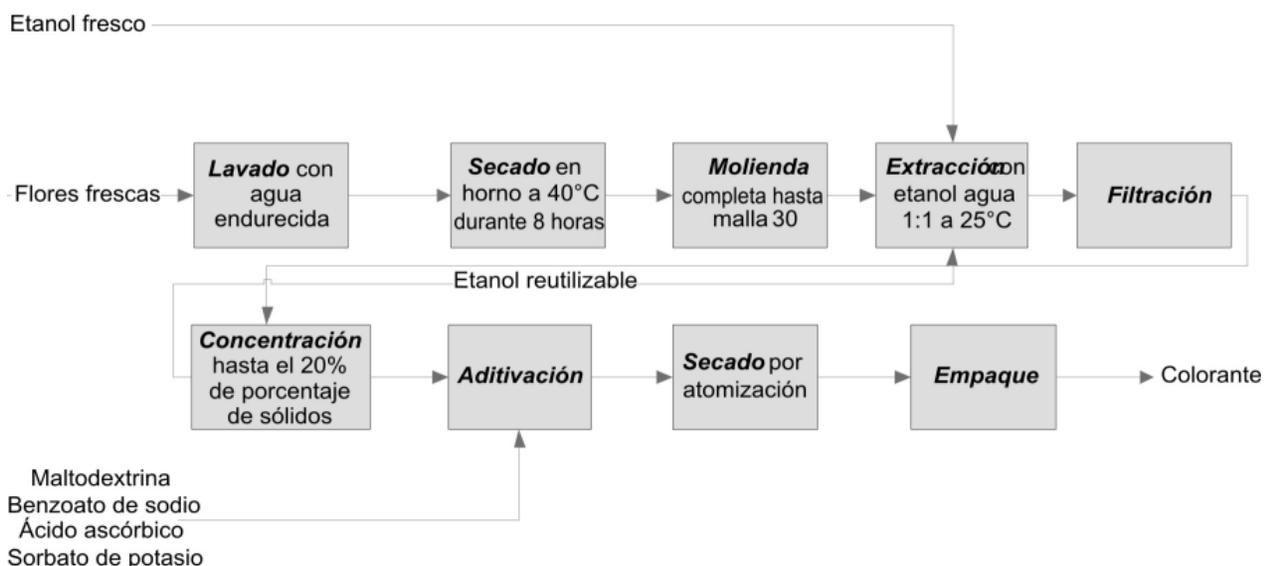
Empaque

Esta etapa del desarrollo del producto no se culmina, ya que no estaba contemplada dentro de los objetivos. De manera preliminar se espera poder empaquetar el colorante en bolsas laminadas y selladas en caliente. Hay que tener en cuenta que para poder definir el empaque en el que se podría comercializar el colorante, es necesario realizar pruebas que determinen que no existe una interacción química entre el empaque y el colorante, que no hay alteraciones del producto con el paso del tiempo o por la acción de la temperatura porque de presentarse estas situaciones, se vería en riesgo la estabilidad del producto.

Diagrama de Bloques del Proceso

En la Gráfica 2.6 se muestran las diferentes etapas del proceso, organizadas según sus relaciones e interacciones, y se especifican algunas de las condiciones para cada una de las etapas. No se incluye el balance de masa y energía porque ocurren muchas pérdidas de masa en las etapas de molienda y secado y, además, el balance de energía del secador por atomización no se conoce.

GRÁFICA 2.6. Diagrama de Bloques del Proceso



2.6.2 Evaluación Técnica del Proceso

Secado del colorante

Por tratarse de un producto natural, la etapa de secado es delicada, porque las altas temperaturas a las que puede verse sometido el colorante pueden alterar su composición química, al eliminar sustancias termolábiles, lo que puede reducir la calidad del color que se obtiene en el producto final.

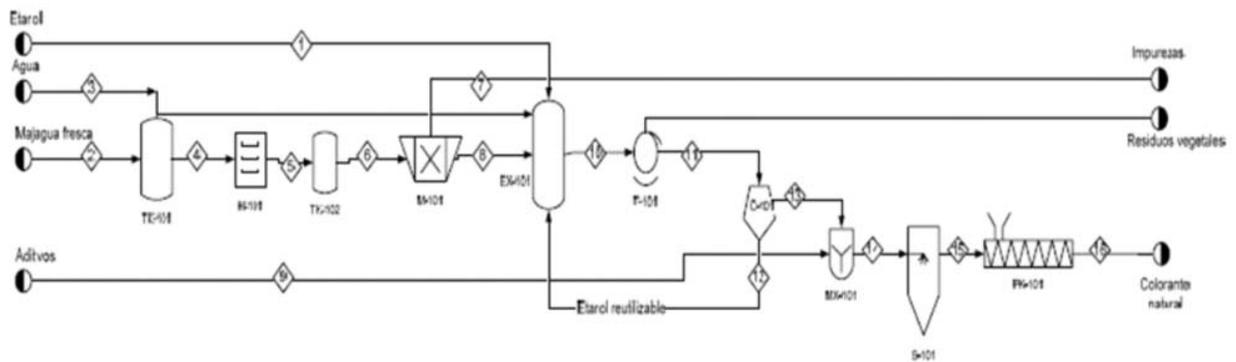
El secado se realizó en el secador por atomización Mini Spray Dryer B - 290, marca Buchi de la Universidad de La Salle, con la colaboración de la empresa Colflavor. Este equipo permite evaporar hasta 1.0 kg de agua por hora, y la temperatura interior de la cámara se varía entre 140° C que es la del aire caliente y 80° C en la parte inferior, aunque este equipo puede alcanzar una temperatura máxima de 220° C. Así es posible evitar posibles daños del producto por la alta temperatura, teniendo en cuenta que el tiempo de permanencia dentro de la cámara es de milisegundos (Figura 2.2).

FIGURA 2.2
Secador por Atomización marca Buchi



GRÁFICA 2.7
PDF del Proceso para obtener colorante de la flor de la Majagua

TK-101	H -101	TK -102	M -101	EX -101	F -101	C - 101	MX -101	S- 101	PK -101
Tanque lavador de MP	Estufa de secado	Tanque de almacenamiento MP seca	Molino	Percolador	Filtro	Concentrador de Roberts	Mezclador de aditivos	Spray dryer	Empacadora



Título: Producción de colorante de Majagua

Elaboró: Astrid Jiménez

Aprobó: Elizabeth Ocampo

Fecha: 02/14/2008 **Edición:** 1

2.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA

El estudio financiero comprende todo el análisis de las inversiones, los costos y los gastos que requiere el proyecto. Con este análisis se busca determinar un margen de utilidad, y con algunas suposiciones adicionales se llega a calcular la rentabilidad y las tasas de retorno, con el fin de establecer la viabilidad del proyecto. Se calcula la demanda proyectada para una planta pequeña durante los próximos 5 años.

2.7.1 Factores económicos del Proceso

Las inversiones a considerar dentro del proyecto incluyen:

- Equipos.
- Muebles y enseres generales.
- Vehículo de recolección.
- Capital de trabajo.
- Otras inversiones (permisos, certificado del Ministerio de salud)

Para efectos prácticos, se considerará que el ciclo productivo corresponde a un trimestre.

Costos de equipos

TABLA 2.17
Costo estimado de los equipos

Elemento	Precio (\$)
Equipo de percolación	3.150.000
Concentrador Roberts	5.250.000
Filtro prensa	1.575.000
Spray dryer	10.500.000
Beaker	18.900
Beaker	29.400
Probeta	63.000
Probeta	42.000
Plancha de calentamiento con agitación	1.260.000
Magneto	3.150
Termómetro	42.000
Empacadora	10.500.000
Total	32.433.450

Como ejercicio académico, se propone el diseño de una planta que produzca 100 toneladas de colorante por año, de acuerdo con la formulación establecida, para ofrecer al mercado el producto en empaques de 50 Kilos. Para tal ejercicio se parte de la información general que se presenta en la Tabla 2.18.

Con base en estas premisas se proyecta la demanda y los ingresos anuales, tal como se muestra en la Tabla 2.19. La meta de ventas se basó en datos estadísticos encontrados en una fuente de internet (Mincomex, 2008) donde se encontró que 4 compañías reconocidas en la industria exportaban 104 toneladas de colorante natural a América Latina, basada en esta demanda se realiza una proyección de las ventas que se tendrían en Antioquia para un periodo de 1 año. La demanda que se supone es de 15 toneladas al año.

TABLA 2.18. Información Básica para Evaluación Económica

INFORMACIÓN GENERAL				
Capacidad nominal de la planta	100 ton/año			
CRECIMIENTO REAL				
AÑO	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Precio	15%	15%	6%	6%
Costos Variables	4%	4%	3%	3%
Gastos Administración	5%	5%	10%	10%
Volumen Ventas	10%	10%	25%	25%
Inflación	6,0%	e.a.		
CRECIMIENTO NOMINAL				
AÑO	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Precio	21,90%	21,90%	12,36%	12,36%
Gastos fijos	21,90%	21,90%	12,36%	12,36%
Costos Variables	10,24%	10,24%	9,18%	9,18%
Tasa Impuestos	35,00%			
Gastos Ventas	15,00%			

La inversión total para empezar el proyecto es de \$108.708.072, después de un análisis se ha optado por financiar el 70% de éste con una entidad bancaria, y el otro 30% lo asumirían los inversionistas, para resumir:

Inversión Inicial	108.708.072	
Financiación	70,00%	\$76.095.650
Recursos Propios	30,00%	\$32.612.422

Los cálculos y resultados económicos de este ejercicio aparecen en el trabajo de grado de Ingeniería de Procesos de Astrid Jiménez (2008).

**TABLA 2.19. Demanda del Producto e Ingresos Anuales
Resultados económicos**

	AÑO 0	1	2	3	4	5
Inflación		6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%
COLORANTE ROJO						
Volumen de ventas		70	77	85	106	132
Precio por unidad (50 Kg)		1.100.000	1.340.900	1.634.557	1.836.588	2.063.591
TOTAL COLORANTE ROJO		77.000.000	103.249.300	138.446.986	194.448.792	273.103.329
COLORANTE AMARILLO						
Volumen de ventas		230	253	278	348	435
Precio por unidad (50 Kg)		1.100.000	1.340.900	1.634.557	1.836.588	2.063.591
TOTAL LÍNEA		253.000.000	339.247.700	454.897.241	638.903.175	897.339.509
TOTAL INGRESOS		330.000.000	442.497.000	593.344.227	833.351.967	

En el Anexo 2 se incluyen varias Tablas de datos que permiten el cálculo de los resultados económicos de un posible proyecto, con base en este ejercicio académico, que podría ser evaluado a la luz de suposiciones menos ambiciosas y probablemente más cercanas a la realidad.

TABLA 2.20. Estado de Resultados del Proyecto propuesto

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
ESTADO DE RESULTADOS					
Ingresos	330.000.000	442.497.000	593.344.227	833.351.967	1.170.442.838
Costos Variables	114.133.500	102.670.370	113.183.816	123.574.091	134.918.192
MARGEN DE CONTRIBUCION	215.866.500	339.826.630	480.160.411	709.777.877	1.035.524.646
Costos Fijos	13.920.000	14.611.200	15.805.363	17.016.187	18.323.757
Gastos Fijos	46.120.000	54.777.938	65.663.976	80.968.866	101.431.265
Gastos Administrativos	169.632.000	178.113.600	187.019.280	205.721.208	226.293.329
Depreciación	3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145
Amortización Diferidos	1.000.000	1.000.000	1.000.000	0	0
UTILIDAD BRUTA	-18.778.645	87.350.747	206.698.647	402.098.471	685.503.149
Gastos de Ventas	49.500.000	66.374.550	89.001.634	125.002.795	175.566.426
UTILIDAD ANTES DE I E I	-68.278.645	20.976.197	117.697.013	277.095.676	509.936.724
Gastos financieros	16.741.043	14.578.001	11.939.090	8.719.618	4.791.862
UTILIDAD ANTES DE I	-85.019.688	6.398.196	105.757.924	268.376.059	505.144.862
Impuesto	-23.897.526	7.341.669	41.193.955	96.983.487	178.477.853
UTILIDAD D I	-61.122.162	-943.473	64.563.969	171.392.572	326.667.008

Con estos datos se halla el flujo de efectivo neto. A partir del flujo de efectivo se deben calcular los índices de rentabilidad, los cuales permiten analizar la conveniencia del proyecto. Estos indicadores son:

- Valor presente neto (VPN)
- Tasa interna de retorno (TIR)

TABLA 2.21. TIR y VPN

VPN PROYECTO	45.792.000
TIR PROYECTO	45%

A continuación se muestra un análisis de sensibilidad para determinar la variación de la TIR y el VPN de acuerdo al precio de venta sugerido para el colorante de \$ 22000.00 por kilo:

TABLA 2.22. Análisis de sensibilidad de la TIR y VPN

VARIACIÓN EN PRECIO DE VENTA			
	Disminución 10%	Actual	Aumento 10%
TIR Proyecto	183,00%	45,32%	200,00%
VPN Proyecto	139.257.000	45.792.000	1.833.598.000
TIR Inversionista	354,00%	61,41%	362,00%
VPN Inversionista	817.202.000	73.028.000	1.272.806.000

Para que un proyecto se considere rentable hay dos criterios:

A partir del VPN:

- Si $VPN (TIO) > 0$ El proyecto financieramente es bueno.
- Si $VPN (TIO) = 0$ Proyecto indiferente financieramente.
- Si $VPN (TIO) < 0$ Financieramente el proyecto se descarta.

En este caso el $VPN > 0$ por lo que se considera el proyecto financieramente es bueno.

A partir de la TIR:

- Si $TIR > TIO$ El proyecto financieramente es bueno, factible, se justifica
- Si $TIR = TIO$ Proyecto indiferente financieramente, pero si el proyecto implica mayor riesgo no se justifica.
- Si $TIR < TIO$ Financieramente el proyecto se descarta

En este caso $TIR > TIO$ por lo que también se confirma que el proyecto financieramente es bueno.

CONCLUSIONES

A partir del desarrollo y de los resultados de este subproyecto se puede concluir lo siguiente:

El mercado mundial de colorantes tiende hacia el uso de colorantes naturales, que sustituyan total o parcialmente los artificiales. Una de las industrias que más demanda este tipo de productos es la de alimentos; esta industria requiere productos económicos, pero de alto poder de tinción y que cumplan con los estándares internacionales de calidad, tales como Color Index, definición de componentes activos, comportamiento ante variaciones de pH, resistencia a la temperatura y a la luz, etc.

El proceso más usado tanto a escala de laboratorio como industrial, para obtener extractos de productos naturales es la lixiviación. De acuerdo con la

tecnología que se utilice, esta operación puede recibir nombres diferentes. Para el caso de la extracción del colorante de la flor de la majagua amarilla y de la roja, se selecciona la percolación, porque permite un mayor aprovechamiento del material vegetal y de los solventes, por lo que se considera un proceso más económico.

Se encuentra que, de acuerdo al color de la flor, se requieren condiciones diferentes para la obtención del colorante. Según el diseño de experimentos y el Análisis de Varianza se determina que ambos colorantes se pueden extraer eficientemente a 25° C y con una solución extractora 1:1 de etanol y agua. La variación en el proceso extractivo para ambas flores, radica en el factor tiempo. Para la majagua roja se requieren 40 minutos para la extracción, mientras que la amarilla necesita 1 hora. El pH es un factor muy importante en este caso, porque se trata de una antocianina, y por lo tanto se observan cambios en el color de ambos colorantes. Se determina que el pH ideal para el colorante rojo es entre 2 y 4; mientras que el amarillo debe mantenerse entre 4 y 5.

Los factores de calidad dependen de las necesidades del mercado. En el ámbito internacional y nacional, la legislación requiere especificar en la hoja técnica del producto: el Color Index, la identificación de los principales compuestos químicos presentes en el colorante, el pH al que es más estable el colorante y la generación de estándares. Para el caso de la majagua y por tratarse apenas de la primera etapa de desarrollo de los colores, se determina el pH de mayor estabilidad, los colores permanecen estables a la intemperie por lo menos una semana y se dan los primeros pasos para la definición de un estándar. De acuerdo a las categorías internacionales, estos colorantes pueden clasificarse como C-II.

Según el análisis financiero y técnico, de carácter académico, éste resulta con buenas posibilidades de ser un proyecto financieramente justificable.

El diseño preliminar para producir colorantes presentado es flexible, para que permita la extracción de otros colorantes adicionales al de la Majagua y así pueda ser un proceso sostenible en el tiempo.

3.

PERCABONATO DE SODIO

3.1 ANTECEDENTES

Con el creciente problema de contaminación que se presenta actualmente no sólo en Colombia sino en el mundo entero, las propuestas de ecología industrial, producción más limpia y cero emisiones se hacen cada vez más necesarias. Es por esto que para los ingenieros de hoy, reemplazar sustancias contaminantes por otras que no representen mayor daño al ambiente y que a su vez generen un valor agregado al proceso, se ha convertido en uno de sus mayores retos.

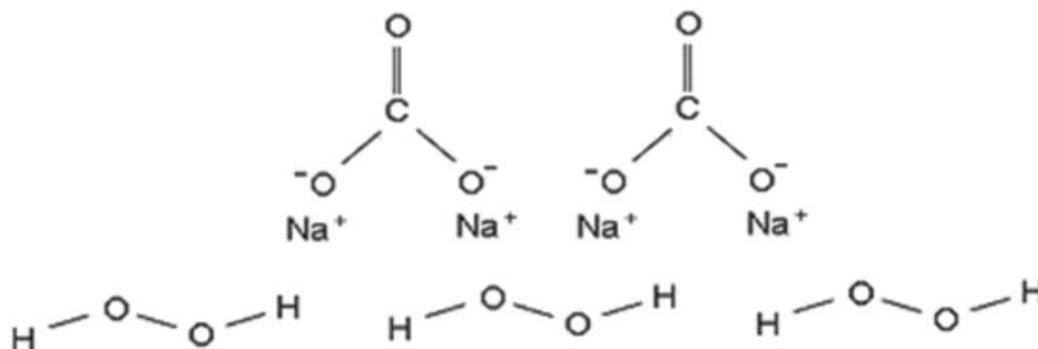
En la gama de blanqueadores, una de las materias primas fundamentales más utilizadas es el perborato de sodio. Además de tener un precio favorable, se logra obtener productos de buena calidad. Su principal defecto es que, como compuesto derivado del boro, tiene efectos contaminantes. El monohidrato y el tetrahidrato del perborato se usan como agentes oxidantes y blanqueadores o decolorantes en productos para la limpieza, cosméticos y preparaciones farmacéuticas, pero su principal aplicación es en los detergentes. Estos detergentes normalmente contienen hasta un 15% por peso del tetrahidrato y hasta un 10% del monohidrato que es más soluble en agua.

Como una alternativa para reemplazar el perborato y evitar el problema de la contaminación surge

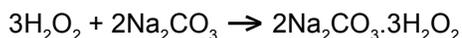
el percarbonato de sodio, que cumple con las características blanqueadoras necesarias y, adicionalmente no es tóxico y se descompone en sustancias naturales, carbonato de sodio, oxígeno y agua, que no afectan el ambiente. La principal dificultad con este producto es que, debido a su alto poder oxidante, cuando está en contacto con otros materiales puede producir fuego y hasta explosiones. Por lo tanto su transporte es difícil y por tal razón su uso en Colombia es muy limitado. El percarbonato de sodio ofrece los mismos beneficios funcionales del peróxido de hidrógeno líquido, es decir, se disuelve fácilmente en agua liberando oxígeno y es un poderoso agente blanqueador que sirve para remover manchas y para desodorizar. Además, es un agente desinfectante que destruye numerosos tipos de bacterias y puede usarse para desinfectar instrumental médico.

El percarbonato de sodio tiene la apariencia de un sólido cristalino blanco, su fórmula molecular es $2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$. Es un compuesto inorgánico, soluble en agua, que se disocia en iones de sodio, iones de carbonato y en peróxido de hidrógeno. Su nombre no refleja la verdadera naturaleza o estructura de este material, de hecho, el compuesto es carbonato de sodio sesquiperhidratado, es decir es un compuesto de adición. (McKillop, 1995).

La estructura molecular del percarbonato de sodio se representa continuación:



En general este compuesto se produce por cristalización. Una solución o suspensión de carbonato de sodio se hace reaccionar con peróxido de hidrógeno a temperatura entre 10 y 20° C y el producto se cristaliza con ayuda de estabilizadores. Debido a la buena solubilidad del percarbonato de sodio es necesario adicionar una sal para aumentar el rendimiento de la cristalización. Cuando se descompone genera oxígeno, agua y carbonato de sodio, las cuales son sustancias que no afectan al ambiente (Sittig, 1968).



Existe un buen número de patentes que muestran el proceso general para obtener el producto pero mantienen en reserva los detalles de los procedimientos, los cuales se deben aprender por medio de la investigación, con el fin de introducir posibles simplificaciones y mejoras. Las patentes más explícitas en cuanto al proceso de manufactura del Percarbonato de Sodio son:

3.1.1 Proceso para producir Percarbonato de Sodio

Este proceso, esquematizado en la figura 3.1, consiste en obtener percarbonato de sodio, por medio de la reacción de carbonato de sodio, peróxido de hidrógeno en una solución de carbonato de sodio, aditivos y líquido madre reciclado. Para obtener el producto final, es necesario emplear una centrífuga, con el fin de separar el producto sólido del líquido madre, que se recicla al tanque de disolución. (James, et al, 2001)

Ventajas

Con la recirculación del líquido madre, se reducen las pérdidas de las materias primas y las descargas de éste al ambiente.

Normalmente los procesos para la producción de percarbonato de sodio emplean como agente para ayudar a la cristalización cloruro de sodio, el cual después de la reacción se encuentra presente en el líquido madre que se recicla al reactor. Lo que se propone por este proceso es eliminar el uso de este agente estabilizador, con el fin de obtener un producto más puro.

Desventajas

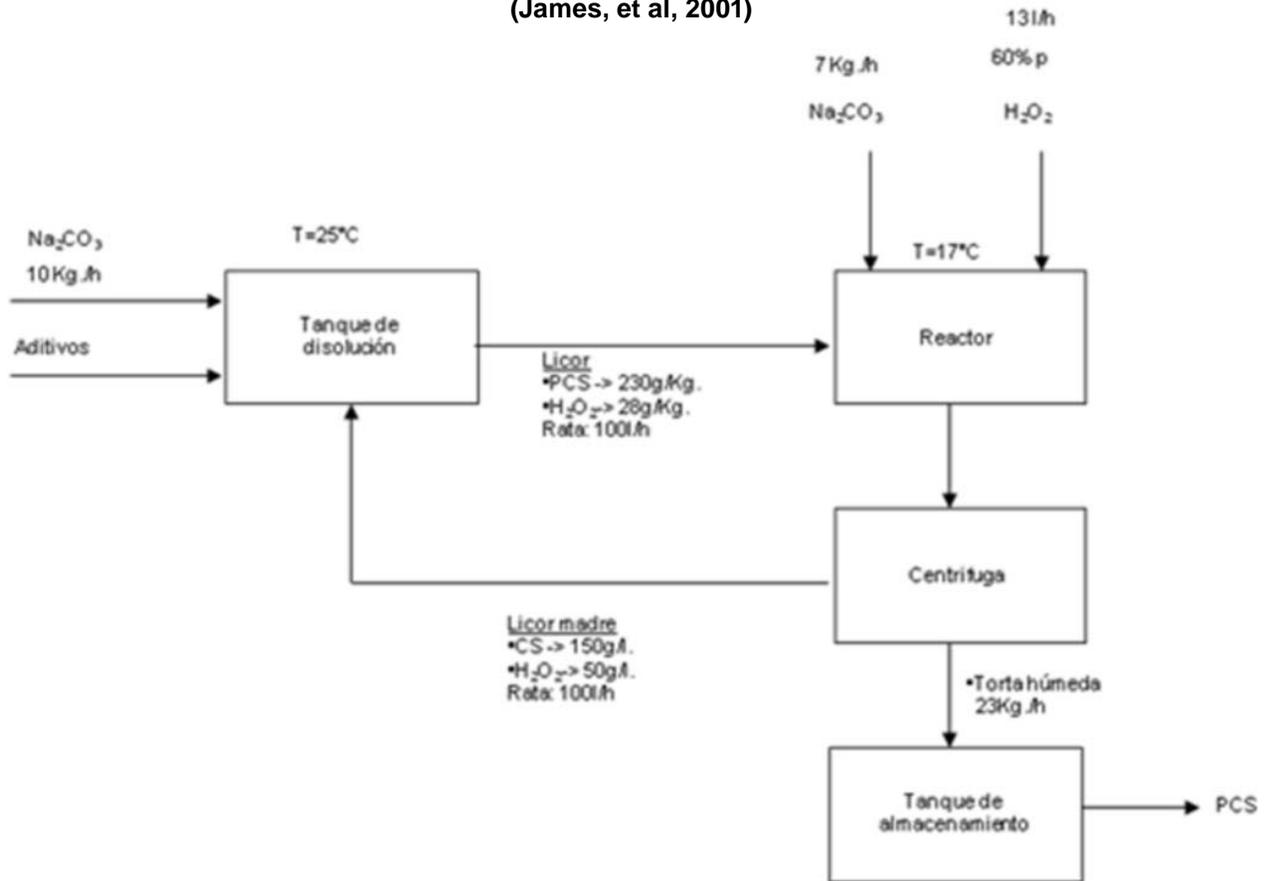
El uso de aditivos (poliacrilato, silicato de sodio) pueden afectar o modificar las propiedades del producto obtenido.

Recircular todo el líquido madre que sale de la centrifuga hace que se varíen las proporciones de las materias primas que entran, lo que se refleja en el rendimiento de la reacción.

3.1.2 Producción de Percarbonato de Sodio

En este proceso, similar al anterior, cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 3.2, el peróxido de hidrógeno y el carbonato de sodio en solución acuosa, en concentración entre el 60 y 90%, se introducen a un reactor donde se lleva a cabo la generación de percarbonato de sodio. Se elimina el uso de NaCl como agente para ayudar a la

FIGURA 3.1. Proceso para producir Percarbonato de Sodio (James, et al, 2001)



cristalización. Luego de ocurrida la reacción, se pasa a un separador, donde la solución madre recirculada se lleva a un tanque de disolución para diluir el carbonato de sodio y, el percarbonato de sodio, sale como producto final. El reactor opera en un intervalo de temperatura entre 10 y 25°C. (James, et. al, 2002)

Ventajas

Para este proceso no es necesario el uso NaCl que mejore el rendimiento de la cristalización, debido a que se controlan otros aspectos de la reacción.

Dado que no se emplea cloruro de sodio, la estabilidad final del percarbonato de sodio no se afecta negativamente, dándole un valor agregado al producto obtenido mediante este método.

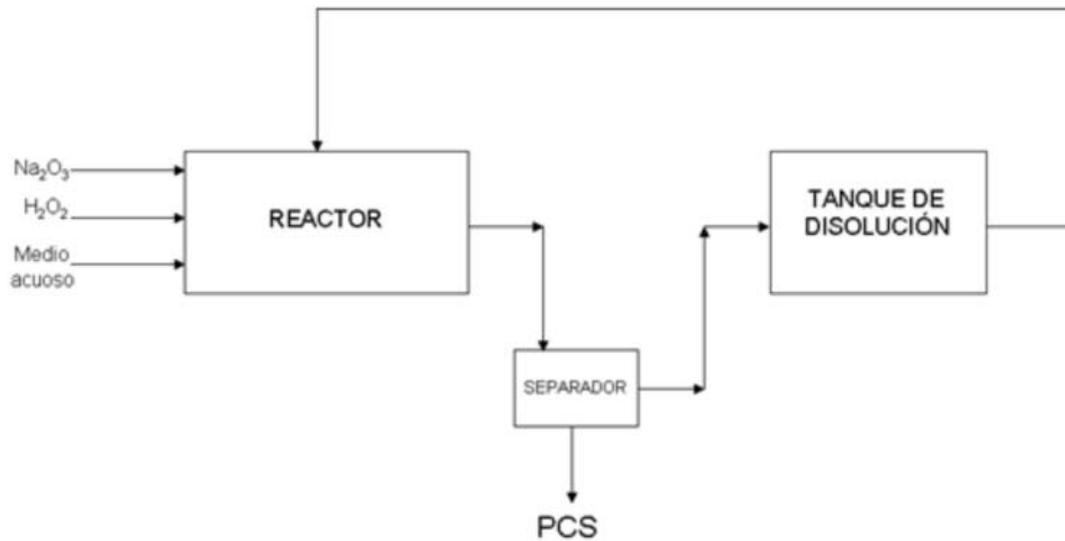
Las emisiones al ambiente se minimizan gracias a la recirculación constante de una fracción de la solución madre, aprovechando al máximo las materias primas que no reaccionaron inicialmente.

Desventajas

Es necesario emplear un tanque auxiliar para disolver el carbonato de sodio precipitado en la fracción de la solución madre, por lo tanto aumentan los costos.

La recirculación de la solución madre puede contener peróxido de hidrógeno residual, lo cual podría generar producción de percarbonato de sodio en el tanque de disolución, afectando sus características.

FIGURA 3.2. Percarbonato de Sodio y proceso para producirlo (James, et al, 2002)



3.1.3 Método para producir Percarbonato de Sodio

Este proceso de producción “en seco”, esquematizado en la figura 3.3, consiste en obtener percarbonato de sodio, en forma de cristales, en un reactor de lecho fluidizado para su posterior secado y centrifugado. En la etapa de granulación se pueden usar silicatos como agente estabilizador, aunque no es necesario, y cloruro de sodio como aditivo, para aumentar el rendimiento de la

reacción. El mezclador opera en un intervalo de temperatura de 10°C a 20°C. (Doetsch, et. al, 2001)

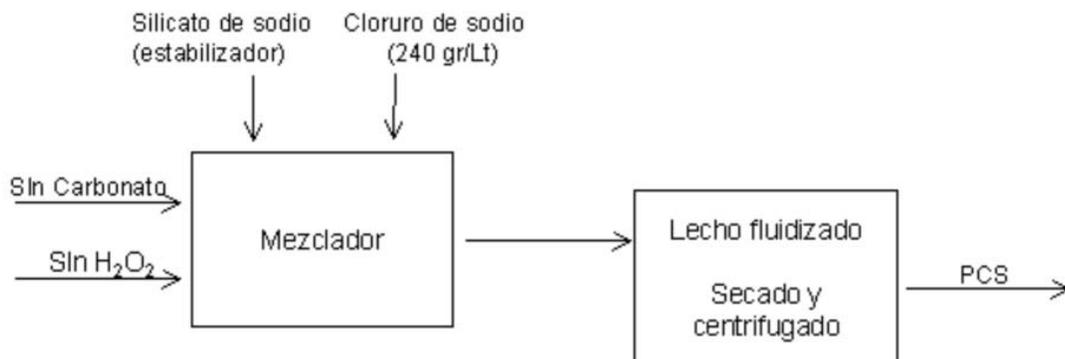
Ventajas

Proceso sencillo y fácil de llevar a cabo.

Desventajas

Pueden modificarse las propiedades del percarbonato de sodio debido a la presencia del cloruro de sodio en el producto.

FIGURA 3.3. Diagrama de bloques 3, Proceso de cristalización para la obtención de percarbonato de sodio (Doetsch, et al, 2001)



3.1.4 Proceso por atomización para la obtención de percarbonato de sodio

Este proceso flexible, cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 3.4, consiste en obtener percarbonato de sodio homogéneo inicialmente de una solución acuosa del H_2O_2 hasta un máximo de 50% por peso con carbonato de sodio sólido y luego secado rápido por atomización, con el fin de omitir la etapa de filtrado o centrifugado. (Mathes et al, 2001).

Ventajas

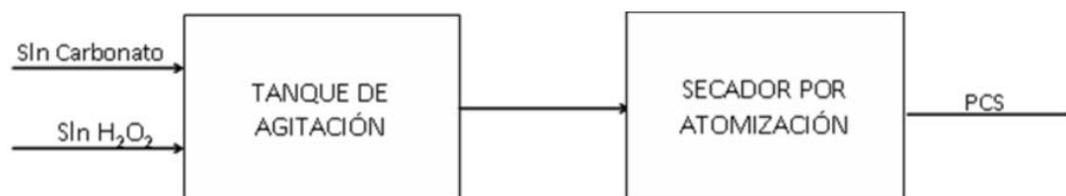
Bajos costos debido a que no es necesario emplear filtro o centrifuga para separar el percarbonato de sodio de la solución madre.

Desventajas

El producto obtenido mediante este proceso tiene una densidad baja (0.35 gr/cm^3) lo que ocasiona que no pueda ser empleado para la fabricación de detergentes.

Otras patentes se refieren a la obtención del producto en forma de polvo o de gránulos o recubierto para mejorar su estabilidad y ser usado en detergentes (Jakob et al, 2005, 2007).

FIGURA 3.4. Diagrama de bloques 4, Proceso spray para la obtención de percarbonato de sodio (Mathes et al, 2001).



3.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL PRODUCTO

La conceptualización del producto comprende un análisis de las tendencias del mercado en Colombia, no sólo del producto mismo sino de otros derivados de éste. Además, deben identificarse los factores de calidad del producto deseado.

3.2.1 Tendencias del mercado

El percarbonato de sodio se emplea en Europa, Estados Unidos y México, entre otros países, y su participación en el mercado se ha venido incrementando debido a su variedad de usos a escala industrial, y porque ejerce menor impacto

sobre el ambiente en relación con productos similares empleados, como el perborato de sodio. Por lo tanto es conveniente hacer un análisis preliminar del mercado con el fin de identificar el conocimiento que tienen las empresas sobre el percarbonato de sodio, sus aplicaciones y los competidores más fuertes de este producto en el medio, para determinar si este producto puede competir en el mercado con productos similares.

Se diseñó una encuesta de mercado dirigida a los principales consumidores de agentes blanqueadores, tales como compañías cosméticas, odontológicas, textiles y de alimentos. En la Tabla 3.1, se pueden ver los datos técnicos y el tamaño de muestra de la encuesta.

TABLA 3.1. Ficha técnica de la encuesta realizada

FICHA TÉCNICA	
Población objetivo	Empresas consumidoras de agentes blanqueadores
Tamaño de la muestra	24 empresas
Empresas encuestadas	10 empresas
Toma de la muestra	12,13,14,,25,26 y 27 de Marzo de 2008
Metodología	Encuestas telefónicas y vía e-mail
Realizada por	María Angélica Jiménez, Sandra Milena Orrego Ana Lucia Orozco Estudiantes de Ingeniería de Procesos Universidad EAFIT

La encuesta y sus resultados se presentan a continuación:

Encuesta a clientes potenciales del agente blanqueador con base en percarbonato de sodio

- ¿Qué agente blanqueador emplea para sus procesos o productos?
- ¿Qué características fisicoquímicas busca en un agente blanqueador?
- ¿En qué presentación adquiere el agente blanqueador?
- ¿Qué criterios emplean para la selección del agente blanqueador?
- ¿Conoce usted el percarbonato de sodio?
- Si emplea el percarbonato de sodio, ¿Dónde lo adquiere?
- ¿Qué medidas de seguridad se recomiendan para el uso de este agente blanqueador?

- ¿Cuál es la cantidad promedio mensual del agente blanqueador empleada en sus procesos o productos?
- ¿Cuál es el precio promedio por kilo del agente blanqueador?
- ¿Cuál es el uso del agente blanqueador en su empresa?

Resultados

Agentes blanqueadores empleados

Se puede observar de la gráfica 3.1, como el hipoclorito de sodio es el agente blanqueador más usado, seguido por el peróxido de hidrógeno y el peróxido de carbamida, que son los principales productos relacionados con el blanqueamiento dental.

El hecho de encontrar tantos agentes blanqueadores en el mercado es una oportunidad para el percarbonato de sodio, ya que cada uno de ellos representa un mercado potencial al que se puede llegar.

GRÁFICA 3.1
Agentes blanqueadores empleados en el mercado

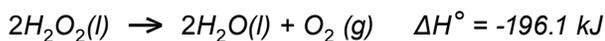


A continuación se presenta una breve información acerca de los agentes blanqueadores que se pueden considerar competencia del percarbonato de sodio.

Peróxido de hidrógeno (H₂O₂)

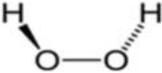
El peróxido de hidrógeno, también conocido como agua oxigenada, es un compuesto químico con características de líquido transparente altamente polar, con fuertes puente de hidrógeno como el agua. Es un agente oxidante, inestable y reactivo, el cual se descompone en agua y oxígeno gaseoso,

como se describe en la siguiente reacción exotérmica (Brown, 2004):



Por lo general, el peróxido de hidrógeno se fabrica en grandes cantidades por electrólisis de disoluciones acuosas de ácido sulfúrico, de bisulfato ácido de potasio o de sulfato ácido de amonio. También se prepara por la acción de los ácidos sobre otros peróxidos, como los de sodio y bario. En la tabla 3.2 se presenta su ficha técnica.

TABLA 3.2. Ficha técnica del peróxido de hidrógeno

PERÓXIDO DE HIDRÓGENO		
INFORMACIÓN GENERAL	Nomenclatura IUPAC	Peróxido de hidrógeno
	Otros nombres	Agua oxigenada
	Fórmula	H ₂ O ₂
	Número CAS	7722-84-1
PROPIEDADES FÍSICAS	Estado de agregación	Líquido
	Apariencia	Incoloro
	Densidad	1400 kg/m ³ ; (1,4 g/cm ³)
	Masa molecular	34,0147 uma
	Punto de fusión	272,6 K (-0,3998 °C)
	Punto de ebullición	373,15 K (100,15 °C)
	Estructura cristalina	n/d
PROPIEDADES QUÍMICAS	Acidez (pKa)	11,65
	Solubilidad en agua	Miscible
	KPS	n/d
	Momento dipolar	2,26 D
TERMOQUÍMICA	$\Delta_f H^0_{\text{gas}}$	-136,11 kJ/mol
	$\Delta_f H^0_{\text{líquido}}$	-188 kJ/mol
	$\Delta_f H^0_{\text{sólido}}$	-200 kJ/mol
	$S^0_{\text{gas, 1 bar}}$	232,95 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
	$S^0_{\text{líquido, 1 bar}}$	110 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
PELIGROSIDAD	NFPA 704	
RIESGOS	Ingestión	Serios daños, posiblemente fatal.
	Inhalación	Irritación severa, posiblemente fatal.
	Piel	Agente aclarante y desinfectante. Causa ardor casi inmediatamente.
	Ojos	Irritación severa. Posibles quemaduras
APLICACIÓN	Industrial	Blanqueo de pulpa de papel, blanqueo de algodón, blanqueo de telas.
		En la industria alimenticia: blanqueo de quesos, pollos, carnes, huesos y, en el proceso para la elaboración de aceites vegetales
	Aeroespacial	Combustible de cohetes
		Impulsor de las turbo bombas
	Otros usos	Restauración de objetos de arte
	Antiséptico general	

Para el desarrollo de este proyecto se empleó peróxido de hidrógeno a una concentración del 35%p.

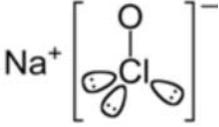
Hipoclorito de sodio (NaClO)

El hipoclorito de sodio es un compuesto químico con características de solución acuosa fuertemente oxidante, clara, ligeramente amarilla, de olor característico penetrante e irritante. Por lo general, se obtiene a partir de hidróxido de sodio y cloro en presencia de agua, por secado al vacío y congelación sobre ácido sulfúrico concentrado.

Para que mantenga su estado sólido es necesario mantenerlo refrigerado (Elders, 1989).

Las soluciones de hipoclorito de sodio se preparan por dos métodos: el primero de ellos es el método químico, que se utiliza para preparar soluciones que van a permanecer almacenadas durante un largo tiempo, mientras que el segundo es un método electroquímico de producción in-situ, que se emplea cuando la solución se utiliza a continuación de la preparación. En la tabla 3.3 se presenta la información técnica del producto (Elders, 1989).

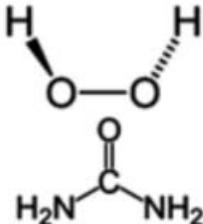
TABLA 3.3. Ficha técnica del hipoclorito de sodio

HIPOCLORITO DE SODIO		
INFORMACIÓN GENERAL	Nomenclatura IUPAC	Hipoclorito de sodio
	Fórmula	NaClO
PROPIEDADES FÍSICAS	Estado de agregación	Sólido
	Apariencia	Sólido blanco
	Densidad	1.210 kg/m ³ (0,00121 g/cm ³)
	Masa molecular	74.4 uma
	Punto de fusión	297 K (25 °C)
PROPIEDADES QUÍMICAS	Solubilidad en agua	Soluble
PELIGROSIDAD	Reacciona violentamente con múltiples sustancia químicas	
RIESGOS	Ingestión	Peligroso en grandes concentraciones.
	Inhalación	Peligroso en grandes concentraciones.
	Piel	Causa quemaduras y cáncer de piel en grandes cantidades.
	Ojos	Causa quemaduras
APLICACIÓN	Blanqueado, desinfección, control de olor, cloración de aguas de proceso o bebidas, eliminación de algas en piscinas, eliminación del pelo en la industria del cuero.	
	Industrias de pollos, granjas porcícolas, industrias lecheras, procesadoras de alimentos, refinerías de petróleo, refinerías de aceite, industria textil, industria de la pulpa y el papel, manufactura de jabón.	

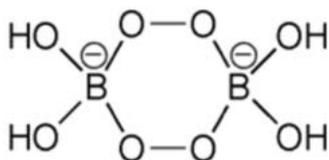
Peróxido de carbamida ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O.H}_2\text{O}_2$)

El peróxido de carbamida, también llamado peróxido de hidrógeno de urea, es un polvo cristalino de color blanco sin olor ni toxicidad, es soluble en agua, y contiene aproximadamente un 35% de peróxido de hidrógeno y un 65% de urea (Tabla 3.4).

TABLA 3.4. Ficha técnica del peróxido de carbamida

PERÓXIDO DE CARBAMIDA		
		
INFORMACIÓN GENERAL	Nombre químico	Peróxido de hidrógeno de urea
	Fórmula Molecular	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$
	Peso Molecular	94.07
	Número CAS	124-43-6
CALIDAD DEL PRODUCTO	Densidad en masa (g/L)	500-800
	Temperatura de descomposición, °C	75-85
	Solubilidad (20° C, g/l)	800
APLICACIÓN	Médica y farmacéutica	Desinfección
		En tratamiento de cáncer se utiliza para curar el exceso de líquido en el espacio que existe entre los tejidos que recubren el abdomen y los órganos abdominales
		En pastas dentífricas (reduce manchas, bacterias y enfermedades dentales)
	Química	Se utiliza para fabricar tintes de pelo
		Detergente
	Agrícola y acuática,	Se utiliza como proveedor de oxígeno y desinfectante en el estanque con peces.
		Madurar las frutas y verduras.
	Textil y en papel,	Blanqueador de algodón, lana, lino y fibra
Blanqueador en industria de papel		

Perborato de Sodio (NaBO_3)



El perborato de sodio es un compuesto cristalino blanco, inodoro y soluble en agua. Usualmente, se encuentra de dos formas: tetrahidratado y monohidratado. El perborato de sodio tetrahidratado se obtiene por adición del peróxido de hidrógeno y el metaborato de sodio en solución, a una temperatura de 20° C. El perborato de sodio monohidratado se produce por la deshidratación del perborato de sodio tetrahidratado en un reactor de lecho fluidizado con aire caliente. Este último presenta tres ventajas sobre el compuesto tetrahidratado, las cuales son: mayor contenido de oxígeno disponible, mayor estabilidad térmica y mayor tasa de disolución en el agua (Hill, 2000).

Los principales usos del perborato de sodio son: elaboración de detergentes en polvo, blanqueadores de color, fabricación de algunos tipos de vidrio y algunos plásticos, aclaramiento dental, entre otros.

3.3.2 Identificación de los Factores de Calidad

Se quiere obtener un producto en polvo, con estabilidad suficiente para poderlo utilizar no sólo en detergentes sino en un gel que pueda ser empleado para blanquear los dientes. Estos

geles generalmente contienen un porcentaje muy bajo del agente blanqueador, y se activan en contacto con la humedad. El producto debe estar libre de impurezas y cumplir con la Norma de calidad establecida para tal clase de productos y comparable con el producto ofrecido en otros países.

3.3 SELECCIÓN DE INGREDIENTES Y MICROESTRUCTURA

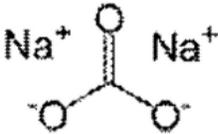
Para la producción de percarbonato de sodio se emplean el carbonato de sodio y peróxido de hidrógeno o agua oxigenada al 35% por peso, cuya ficha técnica aparece en la Table 3.2.

Carbonato de Sodio

El carbonato de sodio es una sal blanca y traslúcida que se presenta en forma de cristales o polvo blanco higroscópico. Es conocido comúnmente como barrilla, natrón, soda Solvay y sosa.

Se puede obtener en la naturaleza (cenizas de plantas, depósitos de lagos alcalinos, quema de barrilla) o artificialmente, por medio del método Solvay, que emplea como materias primas sal (NaCl), caliza (CaCO_3) y amoníaco (NH_3). Este proceso consiste en hacer reaccionar, en medio acuoso, cloruro sódico con bicarbonato amónico para obtener bicarbonato sódico, a partir del cual se consigue, por descomposición, carbonato de sodio. En la Tabla 3.5 se presentan las propiedades del carbonato de sodio (Laitinen, 1982).

TABLA 3.5. Ficha técnica del carbonato de sodio

CARBONATO DE SODIO		
		
INFORMACIÓN GENERAL	Nomenclatura IUPAC	Carbonato de sodio
	Otros nombres	Barrilla, natrón, soda Solvay y sosa
	Fórmula	Na ₂ CO ₃
	Número CAS	[497-19-8]
PROPIEDADES FÍSICAS	Estado de agregación	Sólido
	Apariencia	Sólido blanco
	Densidad	2.5 × 10 ³ kg/m ³ ; (2.5 g/cm ³)
	Masa molecular	106 uma
	Punto de fusión	1.124 K (851 °C)
	Punto de ebullición	1.873 K (1.600 °C)
PROPIEDADES QUÍMICAS	Solubilidad en agua	10,9 g por cada 100 g de agua
	KPS	n/d
	Momento bipolar	n/d
TERMOQUÍMICA	$\Delta_f H^0_{\text{líquido}}$	-1102 kJ/mol
	$\Delta_f H^0_{\text{sólido}}$	-1131 kJ/mol
	$S^0_{\text{sólido}}$	135 J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
PELIGROSIDAD	NFPA 704	
RIESGOS	Ingestión	Causa irritación.
	Inhalación	Dañina, deben evitarse especialmente exposiciones prolongadas.
	Piel	Irritaciones y posiblemente quemaduras.
	Ojos	Irritación grave, posiblemente con heridas graves.
APLICACIÓN	Productos de limpieza	Es usado como materia prima para saponificación de los ácidos grasos en la fabricación de detergentes.
	Industria del vidrio	Se usa como fundente en los hornos de vidrio para: Envases de vidrio, vidrio plano, fibras aislantes, cristalería.
	Industria química	Se usa como fuente de alcalinidad y de ion sodio en la fabricación de: tripolifosfatos, metasilicato de sodio, bicarbonato de sodio, entre otros.

Disponibilidad de las Materias Primas

En la tabla 3.6 se muestra la información de empresas colombianas que ofrecen las materias primas (carbonato de sodio y peróxido de hidrógeno) para la producción del percarbonato de sodio.

TABLA 3.6. Empresas colombianas que ofrecen las materias primas

EMPRESAS COLOMBIANAS QUE OFRECEN H ₂ O ₂ y Na ₂ CO ₃				
NOMBRE EMPRESA	TIPO DE EMPRESA	OFRECE	UBICACIÓN	PRECIO
PROTOKIMICA	Importador	Na ₂ CO ₃	Medellín	3300 \$/lb
		H ₂ O ₂ 35%		\$2050 medio litro
GMP PRODUCTOS QUIMICOS	Distribuidor	H ₂ O ₂	Medellín	1790 \$/Kg
CIMPA LTDA	Distribuidor	H ₂ O ₂ 35%	Bogotá	1440 \$/Kg
COLQUÍMICA	Importador	H ₂ O ₂ 50%	Cali	2500 \$/Kg
BELL CHEM INTERNACIONAL	Comercializador	H ₂ O ₂ 50%	Medellín	1800 \$/IKg
AQUITECNO LTDA	Importador	Na ₂ CO ₃	Bogotá	500 US\$/Ton
ROCSA COLOMBIA S.A	Importador-distribuidor	Na ₂ CO ₃	Bogotá	680 US\$/Ton

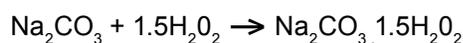
Las materias primas empleadas para el desarrollo de este proyecto se adquirieron en la empresa PROTOKIMICA.

3.3.1 Selección de la ruta química

Para seleccionar la ruta química para la obtención del percarbonato de sodio, es necesario realizar ensayos preliminares, con el fin de establecer las variables más importantes en este proceso. Para tal fin se tienen en cuenta los antecedentes que aparecen en las diferentes patentes sobre la obtención de este producto, e introduciendo las modificaciones necesarias para lograr el propósito deseado. Estos experimentos se realizan en el laboratorio de Procesos Orgánicos de la Universidad EAFIT, con variaciones de temperatura, pH, velocidad y tipo de agitación y, cantidades de materia prima.

La metodología empleada para realizar este estudio, se observa en la figura 3.5.

La ruta química que se emplea para la obtención del percarbonato de sodio es una reacción de adición, entre una solución de carbonato de sodio sólido y el peróxido de hidrógeno al 35% por peso. Esta reacción se describe a continuación:



Estequiométricamente, por medio de un balance global de materia, se puede decir que, con 2.5 moles de reactivos se obtiene 1 mol de producto. En los ensayos realizados se emplean 0.0266 moles de reactivos y se obtienen 0.0055 moles de producto, mientras que el rendimiento teórico debería ser de 0.0106 moles. En consecuencia, el rendimiento de la reacción es del 51.9%. Uno de los principales factores que influyen en este

rendimiento es la alta solubilidad del producto y la dificultad para recuperarlo en su totalidad debido a su inestabilidad.

FIGURA 3.5
Etapas de las alternativas del proceso



Materias primas:

- Peróxido de hidrógeno (35% peso).
- Carbonato de sodio liviano.
- Agua potable

Equipos de laboratorio:

- Beakers
- Probetas
- Mezclador de vidrio
- Plancha de agitación magnética. (Marca: Corning)
- Pipetas
- Papel filtro

- Embudo
- Termómetro
- Espectrofotómetro IR, Perkin-Elmer
- Espectrofotómetro UV-VIS

3.3.2 Características deseadas del Producto

De acuerdo con los resultados del análisis preliminar del mercado, y dado el desconocimiento del percarbonato de sodio en nuestro medio, se propone desarrollar un polvo blanco que se pueda incorporar en detergentes y otros productos utilizados para blanquear, que cumpla con los factores de poder de blanqueo, densidad, acidez, humedad, oxígeno activo y solubilidad, comparables con productos similares o con el mismo producto ofrecido por empresas de otros países, como China, por ejemplo.

3.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESO

Para seleccionar la posible alternativa más viable para el proceso de producción del percarbonato de sodio se analizan las diversas patentes conocidas y se evalúan las variables consideradas en cada una de ellas. Es necesario considerar la disponibilidad de las materias primas y de la tecnología necesaria para seleccionar una alternativa que sea viable técnica y económicamente.

Como es bien sabido, en las patentes no se incluyen detalles de los procedimientos y por ello es necesaria la experimentación para encontrar aquellos aspectos que el inventor mantuvo en reserva y que son cruciales para lograr los resultados deseados.

3.4.1 Ensayos preliminares

Los ensayos preliminares se llevan a cabo en cinco etapas, que se muestran en el diagrama de bloques de la figura 3.6.

La temperatura a la cual se trabaja durante el proceso es de 23° C (temperatura ambiental),

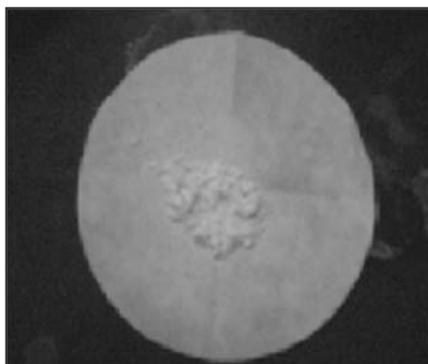
exceptuando la etapa de secado, para lo cual la estufa se mantiene a una temperatura de 50° C, para evitar la descomposición del producto, a presión atmosférica de 0.96 atm.

FIGURA 3.6. Diagrama de bloques del montaje experimental



El filtrado que se produce en la quinta etapa se puede recircular a la segunda, para aumentar el rendimiento del proceso. El producto que se obtiene en la etapa de secado, se muestra en la figura 3.7.

**FIGURA 3.7
Producto obtenido después de la etapa de secado**



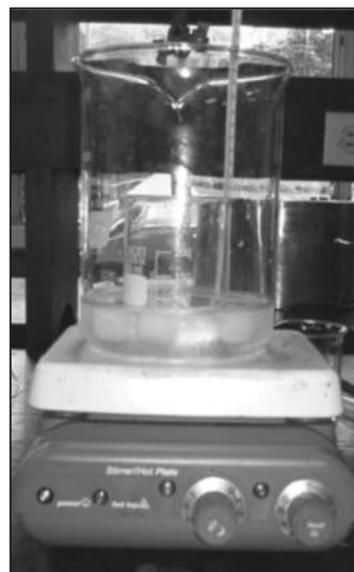
el proceso. En la Tabla 3.7, se muestran los resultados obtenidos del rendimiento de la reacción a 23° C (columna 5) y a 5° C (columna 6). En esta tabla se verifica que el rendimiento no varía en mayores proporciones cuando se disminuye la temperatura del proceso.

El rendimiento de la reacción se refiere a la relación entre la cantidad real y la cantidad teórica de producto obtenido. Para calcular este valor, se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{cantidad real de producto}}{\text{cantidad teórica de producto}} \times 100$$

A continuación, en la figura 3.8, se observa el montaje realizado para el proceso en frío (T=5°C).

**FIGURA 3.8
Montaje experimental para proceso en frío**



3.4.2 Diseño de Experimentos

Teniendo en cuenta los ensayos preliminares realizados, se encuentra que variables como pH y la temperatura del proceso, no afectan significativamente la obtención del percarbonato de sodio. La variable que tiene mayor influencia en el rendimiento y calidad del productos es la relación entre los agentes reaccionantes.

Temperatura

En el proceso se emplea la temperatura ambiental (23° C) ya que ésta no afecta de forma significativa

TABLA 3.7. Rendimiento de la reacción, con variación de temperatura

ENSAYO	Componentes de la mezcla			Variable de respuesta	
	Na ₂ CO ₃ (%p)	H ₂ O ₂ (%p)	H ₂ O (%p)	Rendimiento de la reacción T=23° C	Rendimiento de la reacción T=5° C
1	26.324	19.899	53.777	29.009%	29.380%
2	14.334	24.094	61.572	12.788%	11.374%
3	14.187	22.748	63.065	12.844%	12.113%
4	14.043	21.431	64.527	14.178%	15.006%
5	26.054	18.597	55.349	32.048%	29.734%
6	21.967	20.435	57.598	25.294%	24.298%
7	16.671	21.663	61.666	18.775%	16.907%
8	15.055	19.558	65.387	19.595%	20.101%
9	34.553	11.245	54.202	52.062%	50.737%
10	21.219	27.574	51.208	18.775%	16.009%
11	22.129	12.503	65.369	33.325%	33.510%
12	31.722	23.897	44.381	31.562%	29.619%

Acidez (pH)

El pH de la solución no se modifica (pH=12) porque, al acidular con ácido clorhídrico para modificarlo en un intervalo de 9 a 11, se encuentra que el rendimiento de la reacción no se altera significativamente, como se ve en la Tabla 3.8 (columnas 5 y 7) y, por el contrario, se forma cloruro de sodio, que resulta al reaccionar con el carbonato de sodio.

TABLA 3.8. Rendimiento de la reacción, con variación de pH

ENSAYO	Componentes de la mezcla			Variable de respuesta		
	Na ₂ CO ₃ (%p)	H ₂ O ₂ (%p)	H ₂ O (%p)	Rendimiento de la reacción pH=12	pH	Rendimiento de la reacción
1	26.324	19.899	53.777	29.009%	10	30.980%
2	14.334	24.094	61.572	12.788%	9	11.009%
3	14.187	22.748	63.065	12.844%	9	12.598%
4	14.043	21.431	64.527	14.178%	11	14.100%
5	26.054	18.597	55.349	32.048%	10	32.303%
6	21.967	20.435	57.598	25.294%	10	25.099%
7	21.219	27.574	51.208	18.775%	10	17.406%
8	15.114	19.634	65.252	19.595%	11	19.070%
9	41.546	13.521	44.933	52.062%	9	52.023%
10	21.219	27.574	51.208	18.775%	10	17.603%
11	22.129	12.503	65.369	33.325%	10	31.597%
12	31.722	23.897	44.381	31.562%	9	32.186%

Modelo Estadístico

Debido a las características del sistema, se elige el Diseño de Experimentos de mezclas, en el cual los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla y la variable de respuesta, el rendimiento, depende de las proporciones relativas con las que participen los ingredientes y no de la cantidad absoluta de ellos (Gutiérrez, 2008).

Los datos se procesan de acuerdo con el Diseño de Mezclas Simplex-Reticular $\{q,m\}$ (simplex-

lattice) porque éstos se encuentran distribuidos regularmente sobre una región de superficie de respuesta; se consideran 'q' componentes y se ajusta un modelo estadístico de orden 'm'. (Gutiérrez, 2008).

En este caso se trabaja con $q = 3$ componentes (carbonato de sodio, peróxido de hidrógeno y agua) y de orden $m = 2$. En la Tabla 3.9 se presentan las mezclas con las cuales se realiza el diseño de experimentos y el rendimiento de las diferentes reacciones:

TABLA 3.9. Mezclas para la obtención del percarbonato de sodio

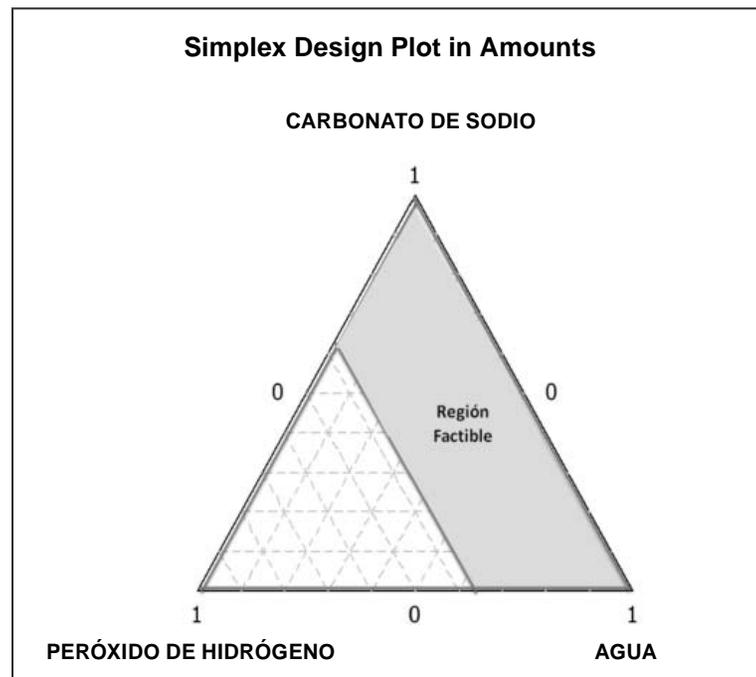
ENSAYO	Componentes de la mezcla (%p)			Variable de respuesta (Y_1)
	$Na_2CO_3 x_1$	$H_2O_2 x_2$	$H_2O x_3$	Rendimiento de la reacción
1	26.324	19.899	53.777	29.009%
2	14.334	24.094	61.572	12.788%
3	14.187	22.748	63.065	12.844%
4	14.043	21.431	64.527	14.178%
5	26.054	18.597	55.349	32.048%
6	21.967	20.435	57.598	25.294%
7	21.219	27.574	51.208	18.775%
8	15.114	19.634	65.252	19.595%
9	41.546	13.521	44.933	52.062%
10	21.219	27.574	51.208	18.775%
11	22.129	12.503	65.369	33.325%
12	31.722	23.897	44.381	31.562%

Para el análisis del Diseño de Experimentos de Mezclas se emplea el software MINITAB® con el fin de obtener la mezcla óptima con la cual se obtiene el mayor rendimiento. Es necesario tener

en cuenta tres restricciones importantes, las cuales especifican en la Tabla 3.10, que delimitan la región experimental factible a una zona o subregión del simplex (gráfica 3.2).

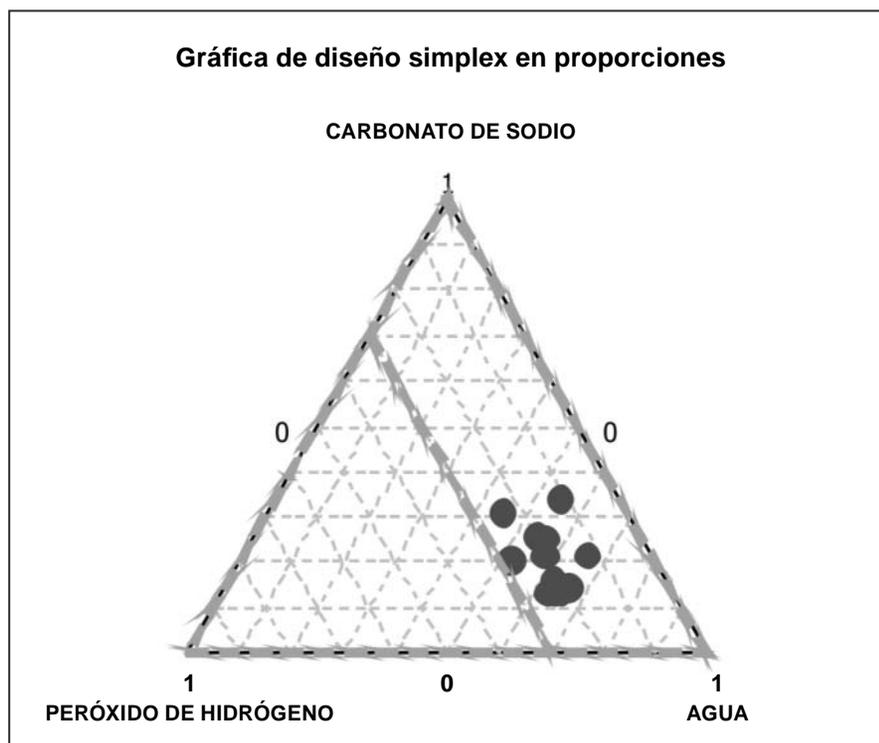
TABLA 3.10. Restricciones para el diseño de experimentos

Componente	Restricción ($x=\%p$)	Motivo
Componente 1 Na₂CO₃	$0 < x_1 < 100$	El carbonato de sodio debe estar siempre presente en la mezcla (con presencia de los otros dos componentes) para que se pueda llevar a cabo la reacción.
Componente 2 H₂O₂	$0 < x_2 < 35$	El peróxido de hidrógeno con el cual se trabaja en el diseño de experimentos está al 35%p
Componente 3 H₂O	$0 < x_3 < 100$	El agua siempre debe estar presente en la mezcla para formar la solución con el carbonato de sodio y facilitar la reacción con el peróxido de hidrógeno.

GRÁFICA 3.2. Región factible para el diseño de experimentos

En la gráfica 3.3, se ubican las 12 mezclas que se ensayan para el Diseño de Experimentos, teniendo en cuenta las restricciones mencionadas.

GRÁFICA 3.3. Ubicación de las mezclas en la representación geométrica del diseño de experimentos con q=3 componentes



3.4.3 Análisis de resultados

Con el fin de analizar el efecto de los componentes sobre la respuesta, es necesario ajustar y seleccionar el modelo estadístico adecuado (lineal, cuadrático o cúbico especial), con la ayuda de MINITAB®.

En la Tabla 3.11 se muestra la estimación de los coeficientes de regresión de los componentes de la mezcla. En la primera columna (*Término*) se nombran los términos que participan en la regresión; en la segunda columna (*Coef*) se presentan los coeficientes de cada término de la regresión; en la tercera columna (*SE Coef*) se encuentran los coeficientes de la suma de cuadrados de cada componente y, en la cuarta columna (*P*), se encuentra el valor p. El valor p prueba si el factor o modelo es significativo o aporta elementos en la explicación de la respuesta al compararlo con el factor o modelo anterior de más bajo orden. (Gutiérrez, 2008).

El coeficiente de determinación (R^2) muestra la proporción de la variación total en Y que puede ser explicada por la variación en X (Freund, 2000). Para este caso, el coeficiente de determinación indica que la variación en la proporción de los componentes de la mezcla explican el 99.05% de la variación en el rendimiento de la reacción.

En la Tabla 3.12 se presenta el análisis de varianza para los posibles modelos de regresión. En la primera columna (*Fuente*) se nombran los modelos de regresión a los cuales se les realizó el análisis estadístico; en la segunda columna (*GL*) se presentan los grados de libertad de cada modelo, los cuales representan el número de parámetros libres.

En la columna *SC Adjust* se presenta el resultado de la suma de cuadrados correspondiente a cada modelo; en la cuarta columna (*MC Adjust*) se da el valor del cuadrado medio para cada modelo; en la quinta columna (*F*) se da el valor de la distribución

F (esta prueba es útil para determinar si una población normal tiene una mayor variación que la otra) y, en la última columna (*P*), se muestra el valor p para cada modelo.

TABLA 3.11 Estimación de los coeficientes de regresión de los componentes de la mezcla

Regresión para mezclas: rendimiento vs. carbonato, agua, peroxido			
Coeficientes de regresión estimados para rendimiento (proporciones del componente)			
Término	Coef	SE Coef	P
carbonato	9.77	4.425	*
agua	2.10	1.047	*
peroxido	9.06	4.499	*
carbonato*agua	-19.01	10.395	0.127
carbonato*peroxido	-50.91	25.156	0.099
agua*peroxido	-21.28	10.440	0.097
carbonato*agua*peroxido	86.46	45.983	0.119
R-cuad. (ajustado) = 99.05%			

TABLA 3.12 Análisis de varianza para la variable de respuesta

Análisis de varianza para rendimiento (proporciones del componente)					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	6	0.142507	0.023751	191.55	0.000
Lineal	2	0.000665	0.000332	2.68	0.162
Cuadrática	3	0.000922	0.000307	2.48	0.176
Cúbico especial	1	0.000438	0.000438	3.53	0.119
Error residual	5	0.000620	0.000124		
Total	11				

Con el criterio del 'valor p' ($p < 0.05$ porque se toma un nivel de significancia $\alpha = 5\%$, que es la probabilidad α de cometer un error), se determina cuales de las interacciones son relevantes para el Diseño de Experimentos. Con esto se puede establecer que las interacciones carbonato-agua y carbonato-peróxido-agua tienen un 'valor p' grande (0.127 y 0.119 respectivamente) en comparación con los valores que se obtienen para las otras dos interacciones, por lo que se excluyen (Tabla 3.13) y así, mejorar el modelo estadístico en términos del valor p, como se observa en la Tabla 3.14.

TABLA 3.13 Estimación corregida de los coeficientes de regresión de los componentes de la mezcla

Regresión para mezclas: rendimiento vs. carbonato, agua, peroxido			
Coeficientes de regresión estimados para rendimiento (proporciones del componente)			
Término	Coef	SE Coef	P
carbonato	1.702	0.1986	*
agua	0.206	0.1285	*
peroxido	0.839	1.0880	*
carbonato*peroxido	-3.877	1.6949	0.056
agua*peroxido	-2.057	1.8341	0.299
R-cuad. (ajustado) = 98.81%			

Tabla 3.14 Análisis de varianza corregido, para la variable de respuesta

Análisis de varianza para rendimiento (proporciones del componente)					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Regresión	4	0.142044	0.035511	229.63	0.000
Lineal	2	0.004182	0.002091	13.52	0.004
Cuadrática	2	0.000856	0.000428	2.77	0.130
Error residual	7	0.001083	0.000155		
Total	11				

Del análisis de varianza que se muestra en la Tabla 3.14, para la variable de respuesta (rendimiento de la reacción), se selecciona el modelo cuadrático, porque es el que mejor se ajusta al diseño de mezclas, pues en comparación con el modelo lineal, el modelo cuadrático, presenta una menor variación (F=2.77) y un valor-p que muestra que el modelo es significativo (p=0.130).

El modelo cuadrático se denota con (Gutiérrez, 2008):

$$E_{(y)} = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j$$

Teniendo en cuenta que la suma de todos los componentes es el 100% y las variables (factores) no pueden ser tratadas de forma independiente, es necesario tener en cuenta las siguientes restricciones (Gutiérrez, 2008):

$$0 \leq x_{i,j} \leq 1$$

$$x_1 + x_1 + \dots + x_q = 1$$

Donde:

$E_{(y)}$: Valor esperado de la variable de respuesta.

β_i : Coeficiente para el componente puro i .

β_{ij} : Coeficiente para la mezcla de los componentes i - j .

$x_{i,j}$: Componente puro i, j .

Así se define la ecuación predictiva del modelo cuadrático:

Donde:

Y_1 : Rendimiento de la reacción.

x_1 : Carbonato de sodio.

x_2 : Peróxido de hidrógeno.

x_3 : Agua.

De la magnitud de los coeficientes lineales estimados se puede concluir que los componentes x_1 (carbonato de sodio) y x_2 (peróxido de hidrógeno) tienen un mayor efecto sinérgico sobre la respuesta (rendimiento de la reacción, Y_1) porque a medida que aumenta la proporción de estos factores en la mezcla, se aumenta en gran medida el rendimiento de la reacción. Aunque el componente x_3 (agua) también tiene un efecto sinérgico sobre la respuesta, su influencia no es tan relevante en comparación con los otros dos componentes, debido a la magnitud de su coeficiente (0.206).

En cuanto a los efectos combinados se aprecia que $x_1 x_2$ y $x_2 x_3$, es decir, carbonato de sodio-peróxido de hidrógeno y peróxido de hidrógeno-agua, respectivamente, tienen un efecto antagónico sobre Y_1 , siendo de mayor influencia la combinación $x_1 x_2$.

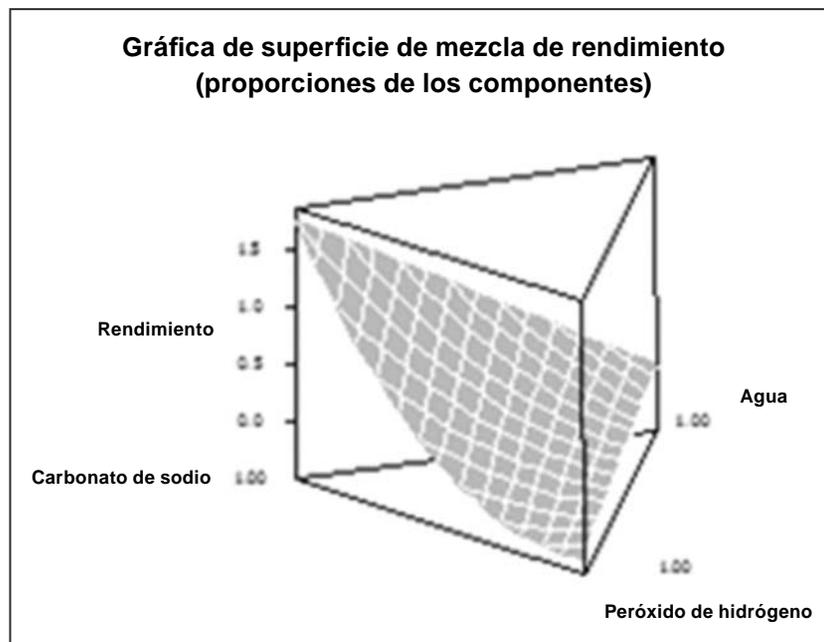
Lo anterior se puede apreciar en la gráfica 3.4 (superficie de respuesta) y en la gráfica 3.5 (gráfico de trazas). En la gráfica 3.4 se representa el comportamiento de superficie de respuesta para la interacción entre el carbonato de sodio, el peróxido de hidrógeno y el agua, observándose que en los vértices del triángulo donde la participación de los factores es cero, el valor de la variable de respuesta también es cero porque al no haber componentes

en la mezcla, no hay reacción y por lo tanto no hay rendimiento de ésta. Además se observa que el mayor rendimiento de la reacción se da cuando hay mayor participación del carbonato de sodio en la mezcla, seguida del peróxido de hidrógeno y, con una menor participación del agua.

Esto también se observa en el gráfico de trazas, con los componentes carbonato de sodio (línea negra continua), peróxido de hidrógeno (línea verde

discontinua) y agua (línea roja discontinua). Éste se emplea para evaluar la importancia relativa de los componentes en la mezcla, en donde se parte de una mezcla de referencia (33.33%p de carbonato de sodio, 33.33%p de peróxido de hidrógeno, 33.33%p de agua) para observar la manera como la respuesta (rendimiento de la reacción, eje Y) se modifica cuando uno de los componentes aumenta o disminuye su participación en la mezcla (eje x).

GRÁFICA 3.4 Superficie de respuesta para Y_1 (rendimiento de la reacción)



El agua tiene un menor efecto sobre la respuesta porque no contribuye a la formación del producto final, como solvente que se emplea para disolver el carbonato de sodio y formar una matriz líquida que facilita la reacción con el peróxido de hidrógeno.

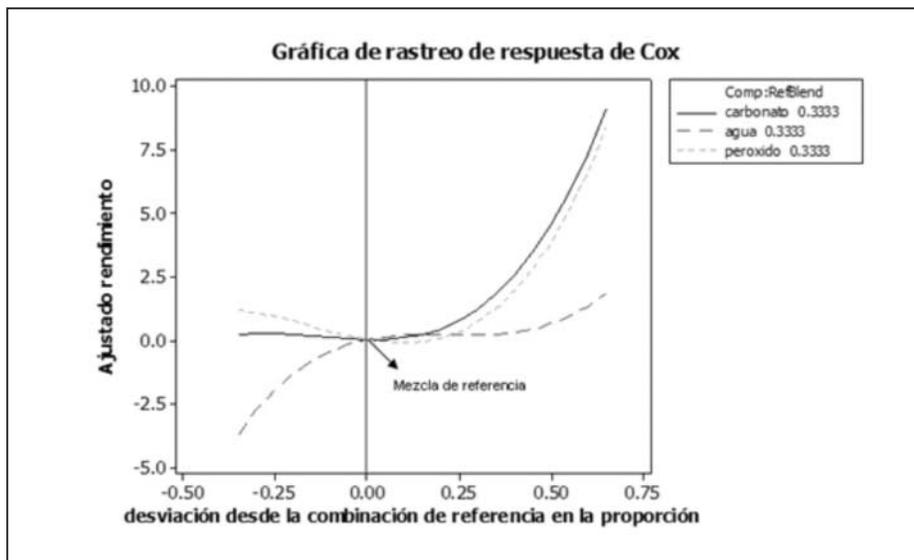
En la gráfica 3.5 se pueden determinar las proporciones de los componentes según el rendimiento de la reacción deseado. Como se observa, para lograr un rendimiento del 52.09%, se necesita una mezcla de carbonato de sodio, peróxido de hidrógeno y agua de 57.85%p, 27.76%p y 14.39%p, respectivamente.

Con el fin de encontrar una respuesta óptima que maximice la función objetivo

$$Y_1 = 1.702 x_1 + 0.839 x_2 + 0.206 x_3 - 3.877 x_1 x_2 - 2.057 x_2 x_3,$$

se realiza un análisis estadístico con la ayuda del software, en el cual se especifica el valor mínimo y el valor deseado para el rendimiento de la reacción (Inferior=0, Objetivo=1, respectivamente). Este análisis arroja la proporción de los componentes en la mezcla (Tabla 3.15).

GRÁFICA 3.5. Gráfico de trazas para el diseño de mezclas



GRÁFICA 3.5. Superficie de contorno para Y_1 (rendimiento de la reacción)

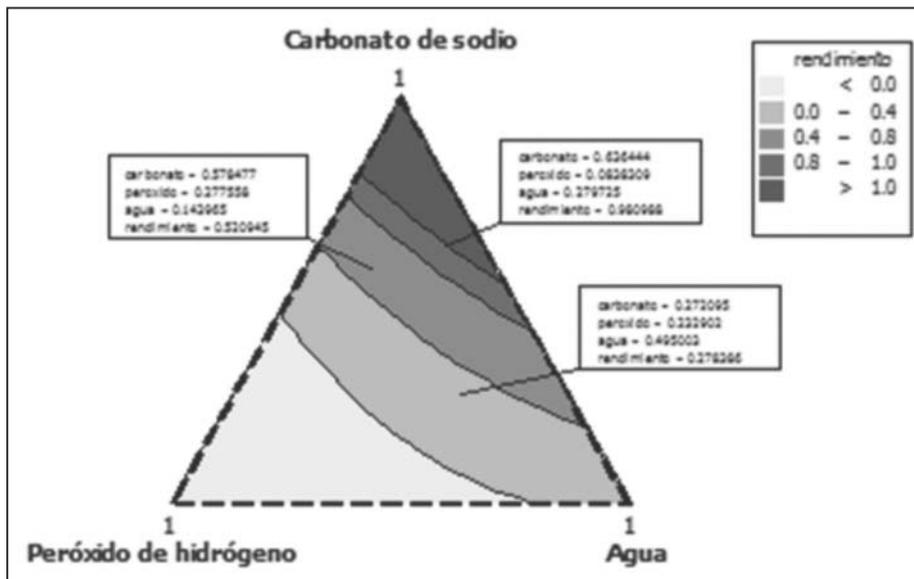


TABLA 3.15. Respuesta óptima que maximiza el rendimiento de la reacción

Optimización de respuesta				
Parámetros				
	Meta	Inferior	Objetivo	Superior
rendimiento	Máximo	0	1	1
Solución global				
Componentes				
carbonato	=	0.41546		
agua	=	0.44933		
peroxido	=	0.13521		
Respuestas pronosticadas				
rendimiento	=	0.52065		

Como se ve en la Tabla 3.15, la mezcla que da como resultado el valor máximo de la variable de respuesta Y_1 (rendimiento de la reacción= 52.065%) está dada por:

- Carbonato de sodio: 41.546%p
- Peróxido de hidrógeno: 13.521%p
- Agua: 44.933%p

Esta relación óptima se comprueba con el resultado obtenido experimentalmente en el laboratorio, en el ensayo número 9 (Tabla 3.9. Mezclas para la obtención del percarbonato de sodio).

3.5 EVALUACIÓN DEL PRODUCTO

El producto obtenido debe satisfacer las necesidades identificadas en el estudio del mercado, y para tal fin debe ser evaluado y probado a partir de muestras preparadas en el laboratorio. Se debe identificar cualquier desviación de los factores de calidad especificados y se deben hacer las modificaciones necesarias en las condiciones de operación o en los equipos usados para cumplir los objetivos propuestos.

Para determinar la calidad del producto obtenido se realizan diferentes pruebas derivadas del análisis del mercado.

Prueba de blanqueo

Con el fin de evaluar el poder blanqueador del producto obtenido, se realiza un test de blanqueo. A una solución de ácido sulfúrico y permanganato de potasio de concentración 0.022 M, se le adiciona una solución del percarbonato de sodio y agua, a una concentración de 0.2123 M.

En la Tabla 3.16, se observa que es necesario adicionar 0.253 ml de la solución del agente blanqueador y agua, para decolorar 1 ml de la solución de permanganato de potasio y ácido sulfúrico. En la figura 3.9 puede observarse el proceso de decoloración descrito para el producto obtenido. Los resultados conseguidos con la prueba de blanqueo se comparan con el poder blanqueador del peróxido de hidrógeno (35%p) y el carbonato de sodio, para verificar las cualidades del agente blanqueador.

TABLA 3.16
Resultados de la prueba de blanqueo
para el producto obtenido

Prueba de blanqueo
Volumen de solución (Agente blanqueador + Agua) adicionada (mL)
0.253

En la Tabla 3.17 se indican las cantidades de peróxido de hidrógeno y carbonato de sodio en solución que se agregan para tratar decolorar 1 ml de la solución de permanganato de potasio y ácido sulfúrico. Es importante aclarar que con 0.844 ml de solución de carbonato de sodio adicionado

no es posible decolorar dicha solución. Estos procedimientos se ven en la figuras 3.17 y 3.18, respectivamente.

TABLA 3.17
Resultados de la prueba de blanqueo
para el peróxido de hidrógeno y
el carbonato de sodio

Sustancia	Volumen adicionado (ml)
Peróxido de hidrógeno	0.0844
Solución de carbonato de sodio	0.844

FIGURA 3.16. Prueba de blanqueo del producto

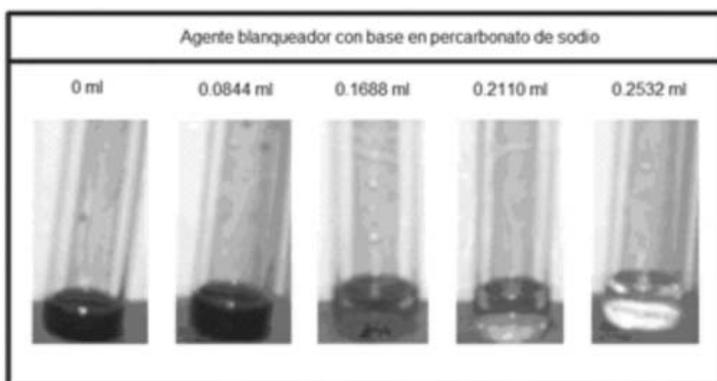


FIGURA 3.17. Prueba de blanqueo del peróxido de hidrógeno

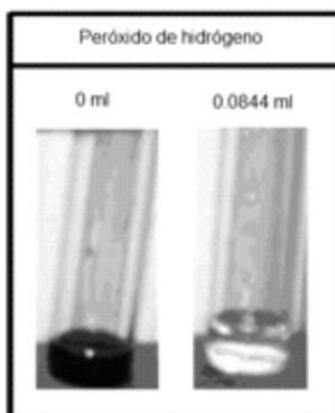
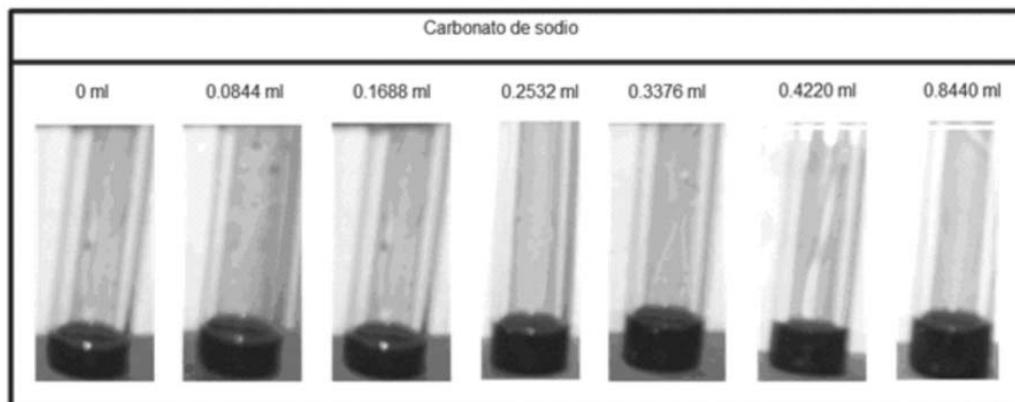


FIGURA 3.18. Prueba de blanqueo del carbonato de sodio**Densidad**

Para determinar la densidad del producto, se tara, en la balanza analítica, un recipiente de 1 ml, el cual, posteriormente, se llena totalmente con el sólido. Con el fin de disminuir los espacios vacíos entre las partículas sólidas, el recipiente se somete a vibración por un lapso de 1 minuto.

$$\text{densidad producto} = \frac{\text{masa del producto en recipiente}}{\text{volumen ocupado por el producto en recipiente}}$$

Densidad del producto = 0.7591 g/cm³

Acidez (pH)

El producto se disuelve en agua destilada (pH de 5.21) y, con la ayuda de un pHmetro se mide su pH, a una temperatura de 24.7°C.

pH del producto = 10.26

Oxígeno activo

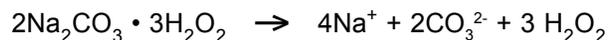
Para determinar el porcentaje de oxígeno activo y dióxido de carbono que se disocian del producto obtenido, se realiza el experimento (figura 3.19):

Un eudiómetro de 50 ml se llena bencina de petróleo.

En un erlemeyer se hace reaccionar 0.01 gr del producto con agua, con el fin obtener el oxígeno que esta reacción desprende, el cual, por medio de una manguera, se introduce hasta el eudiómetro

para desplazar el volumen que ocupa el solvente. Para determinar el porcentaje de dióxido de carbono, se hace reaccionar con agua la misma cantidad de carbonato de sodio empleada para obtener 0.01 gr de producto. Este experimento se realiza de la misma manera que el experimento mencionado para el producto.

El percarbonato de sodio se disuelve rápidamente en el agua, disociándose en iones de sodio, iones de carbonato y en peróxido de hidrógeno, como se observa en la siguiente reacción (Mckillop, 1995):

**Peróxido de Hidrógeno**

El peróxido de hidrógeno es una sustancia reactiva en presencia de otras sustancias.

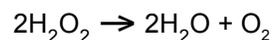
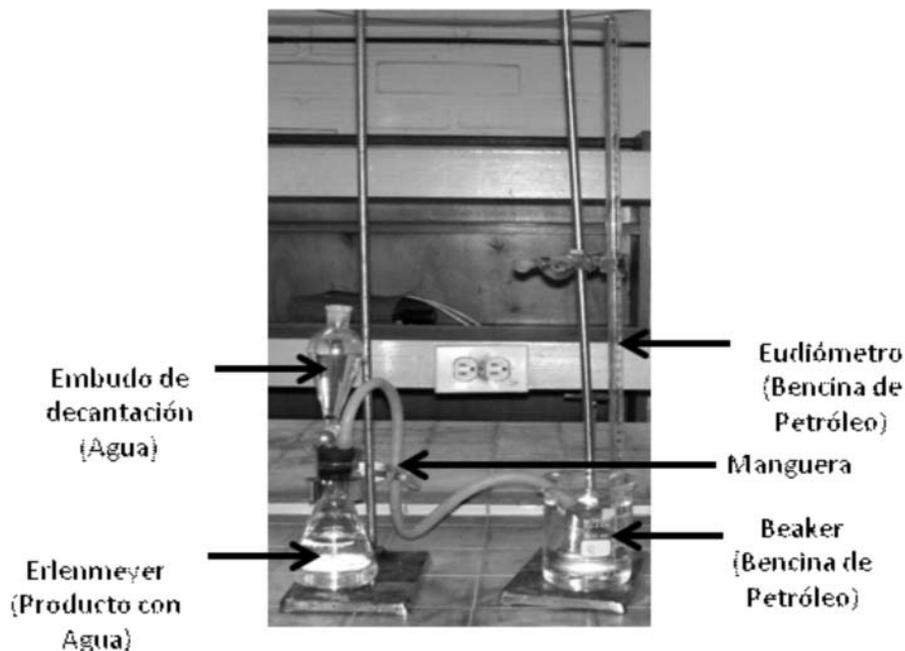
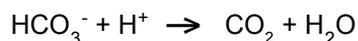
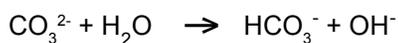


FIGURA 3.19. Montaje experimental para el cálculo del oxígeno activo del producto



Carbonato de sodio

La presencia del carbonato de sodio en el agua se ve reflejada en un incremento en la alcalinidad y en una tendencia al aumento en el pH:



Oxígeno activo del producto

Propiedades de la bencina de petróleo:

- Punto de ebullición: 30° C-90° C.
- Presión de vapor: 350 Pa (20° C).
- Densidad: 0.654 g/cm³ (20° C).
- Volumen que desplaza el oxígeno: 95.73 ml.
- Volumen que desplaza el CO₂: 153.97 ml

Estequiométricamente, con 0.00554 moles de producto se deben generar 0.004155 moles de O₂ y 0.00554 moles de CO₂, siendo esto en volumen, 93.0021 ml y 152.3500 ml, respectivamente.

Humedad

Para determinar el porcentaje de humedad del agente blanqueador, se realizan 2 tipos de mediciones. La primera está relacionada con la humedad del producto después de la reacción y después de ser filtrado (Tabla 3.18) y la segunda, es la humedad con la cual se va a almacenar el producto (Tabla 3.19).

En la tabla 3.18, w_1 se refiere al peso del producto obtenido después de la reacción y, w_2 es el peso del producto cuando se somete a una temperatura de 50°C, durante 30 minutos, en la estufa. En la tabla 23, w_3 es el peso del agente blanqueador que se va a almacenar y w_4 es el peso de este producto después de someterse nuevamente a una temperatura de 50°C por un período de 15 minutos en la estufa.

Para hallar estos porcentajes de humedad, se emplea la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{W_1 - W_2}{W_3} \times 100$$

TABLA 3.18
Porcentaje de humedad del producto
obtenido después de la reacción

	Después de la reacción
w ₁ (g)	3.88
w ₂ (g)	3.27
% Humedad	15.72

TABLA 3.19
Porcentaje de humedad del producto
para almacenar

	Producto para almacenar
w ₃ (g)	3.27
w ₄ (g)	3.21
% Humedad	1.83

Solubilidad

Para determinar la solubilidad del percarbonato de sodio, se adiciona, poco a poco, el producto en agua hasta obtener una solución saturada, cuando aparece precipitado. Se alcanzó a agregar 18.9 gr del producto en 100 gr. de agua, obteniendo una solución saturada a una temperatura de 23°C.

Solubilidad del producto (23° C, 100 gr de agua):
 189 g/Lt.

3.5.1 Descripción del Producto obtenido

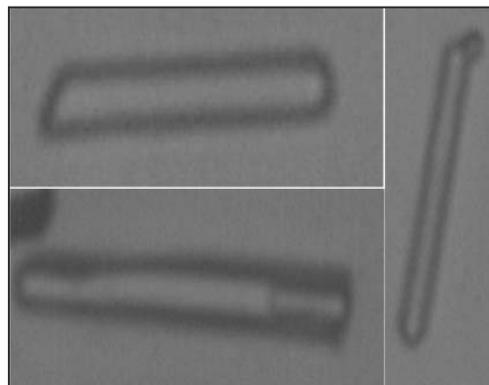
El percarbonato de sodio obtenido es un polvo blanco, de estructura cristalina, el cual se somete a dos tipos de ensayos: uno para determinar la estructura cristalina del producto (forma y tamaño de las partículas cristalinas y aglomerados) y el espectro infrarrojo para compararlo con el de muestras comerciales.

Estructura cristalina

El agente blanqueador obtenido presenta una estructura cristalina acicular, es decir, los cristales

tienen forma de agujas, delgadas y alargadas; como se observa en la figura 3.20.

FIGURA 3.20
Estructura cristalina del producto



En promedio, el tamaño de los cristales del percarbonato de sodio oscila entre 1 μm hasta 100 μm y, el tamaño de las partículas de los aglomerados oscila entre 160 μm hasta 1400 μm . (Bossoutrot, 2002).

Para el producto obtenido, el tamaño promedio de los cristales es de 124.500 μm , y el tamaño promedio de las partículas de los aglomerados es de 406.917 μm . En la figura 3.21 y 3.22, pueden observarse las fotografías tomadas, en el microscopio, de los cristales y de los aglomerados del producto, respectivamente.

FIGURA 3.21
Tamaño de los cristales del producto

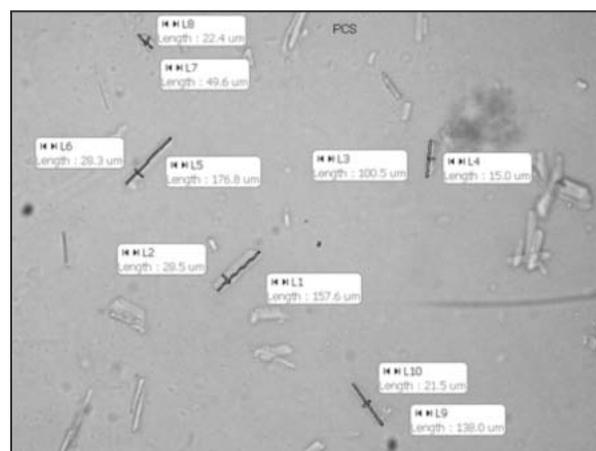
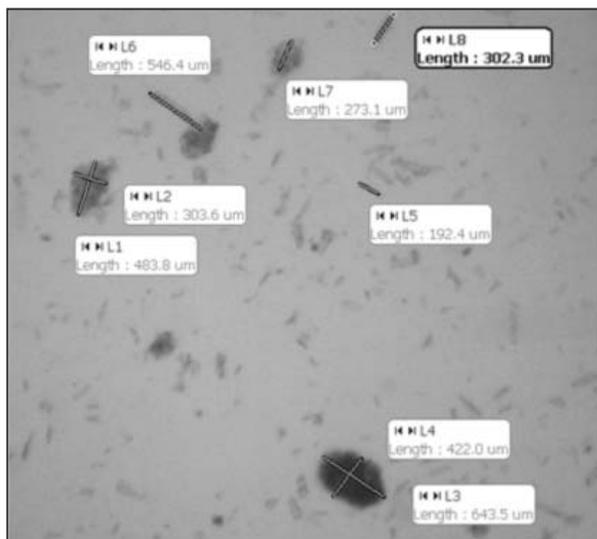


FIGURA 3.22
Tamaño de los aglomerados del producto



Los valores que se obtienen del tamaño promedio de las partículas y el tamaño promedio de los aglomerados del producto también se comparan con los resultados del carbonato de sodio, para corroborar que el agente blanqueador obtenido en el laboratorio no es la materia prima empleada. El tamaño promedio de los cristales del carbonato de sodio utilizado es de $250.325 \mu\text{m}$ (ver figura 3.23) y el tamaño promedio de los aglomerados es de $390.675 \mu\text{m}$ (ver figura 3.24), diferenciándose del tamaño promedio de cristales y aglomerados del producto, como se especificó anteriormente.

FIGURA 3.23
Tamaño de los cristales del carbonato de sodio

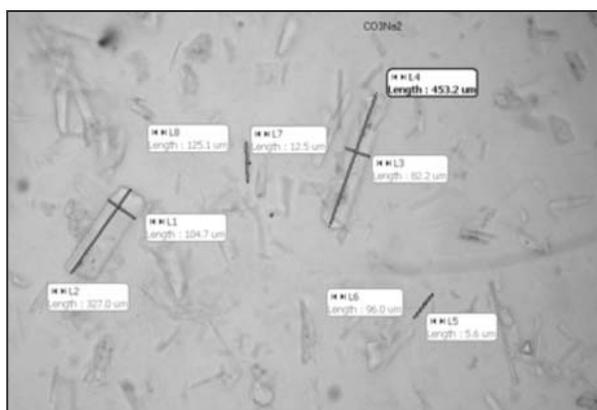
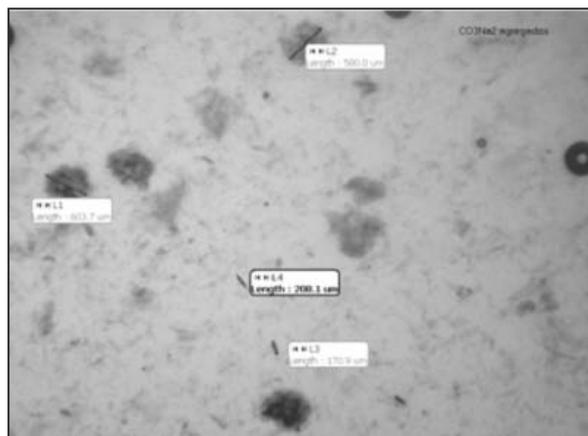


FIGURA 3.24
Tamaño de los aglomerados del carbonato de sodio

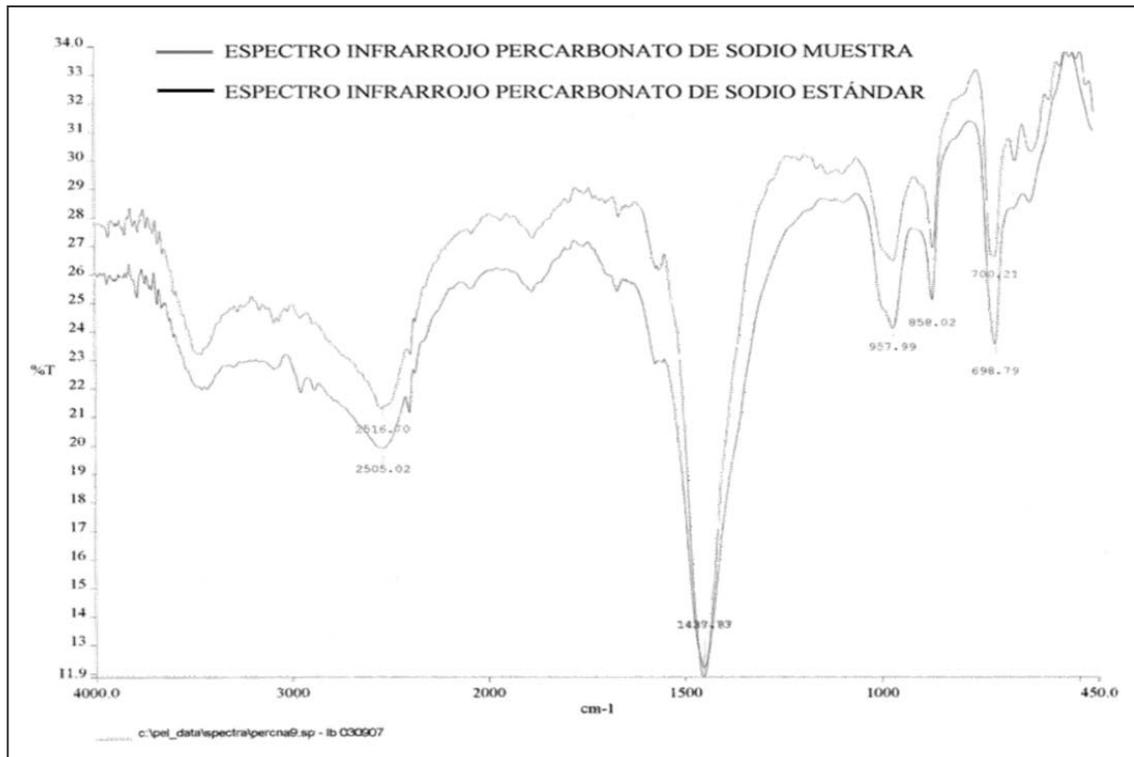


Espectro infrarrojo

El análisis del espectro infrarrojo del producto obtenido se realiza en el laboratorio de química instrumental de la Universidad EAFIT, y se compara con el percarbonato de sodio comercial.

En la gráfica de transmitancia del producto obtenido (anexo 3) se puede observar que el pico más representativo se encuentra en 1437.87 cm^{-1} , lo que indica que en el producto hay presencia del grupo carbonato. Esta gráfica se compara con la gráfica de transmitancia del percarbonato de sodio comercial, en la cual se observa que el pico más representativo se encuentra en 1439.73 cm^{-1} . Esto indica que el espectro infrarrojo del producto obtenido en el laboratorio es muy similar al del percarbonato de sodio comercial (Gráfica 3.6).

GRÁFICA 3.6. Espectros infrarrojo del percarbonato de sodio comercial y del producto obtenido en el laboratorio



3.5.2 Características finales del Producto

En la Tabla 3.20 se presenta la información del percarbonato de sodio obtenido en el laboratorio. En la tabla 3.21 se presenta el resumen de los parámetros de calidad del producto (columna 2) los cuales se comparan con los parámetros de calidad del percarbonato de sodio comercial (columna 3). La correlación entre estos valores respalda la calidad del producto obtenido.

TABLA 3.20. Información del producto

	INFORMACIÓN DEL PRODUCTO
NOMBRE QUÍMICO	Percarbonato de sodio
FÓRMULA MOLECULAR	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}_2$
PESO MOLECULAR	314.02 (aprox)

TABLA 3.21. Comparación de los parámetros de calidad del percarbonato de sodio

CALIDAD DEL PRODUCTO	Percarbonato de Sodio obtenido en el laboratorio	Percarbonato de sodio* (importado)
DENSIDAD (g/cm ³)	0.7591	0.9 - 1.15
pH	10.26	10 - 10.5
HUMEDAD (%)	1.83	Máximo 2
OXÍGENO ACTIVO (ml)	95.73	-
SOLUBILIDAD (23°C, 100 gr de agua) (g/Lt)	189	150
* Datos tomados de ficha técnica de las empresas: Shangyu Jiehua Chemical Co. Ltd y S.A.E.Q.S.A (Sociedad Aragonesa Especialidades Químicas S.A)		

3.6 EVALUACIÓN DEL PROCESO

La producción del percarbonato de sodio se realiza mediante un proceso discontinuo, en el cual inicialmente se alimentan al reactor el carbonato de sodio y el agua, con el fin de disolver el carbonato de sodio y formar una solución saturada. En esta etapa, se debe manejar un tiempo de agitación de 5 minutos a 10 rpm. Una vez que se tiene la solución, se introduce al reactor el peróxido de hidrógeno, que reacciona con las dos primeras materias primas para formar el percarbonato de sodio, que precipita de la solución.

La reacción que ocurre en esta etapa del proceso es:



La mezcla resultante de la reacción se pasa por un filtro donde se recupera una fracción de la solución madre, que se recircula y se lleva de nuevo al reactor. El producto sólido que se obtiene del filtro es el percarbonato de sodio húmedo. Por esta razón, se lleva a un secador, que no debe exceder los 60°C porque, a partir de esta temperatura, comienza la descomposición del peróxido de hidrógeno presente en el producto. El producto debe permanecer en el secador máximo 30 minutos, para luego ser almacenado.

Para este proceso se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Humedad del entorno:** tanto el carbonato de sodio como el producto deben mantenerse en un lugar seco y cerrado con el fin de evitar que entren en contacto con la humedad del ambiente y se hidraten, perdiendo sus propiedades que son necesarias para llevar a cabo el proceso.
- **Temperatura de operación del horno:** si se sobrepasa los 60° C puede ocurrir la descomposición del producto.
- **Saturación de la solución de carbonato de sodio y agua:** la solución debe ser saturada, para mejor aprovechamiento de las materias primas.
- **Tiempo de agitación:** un tiempo exagerado de agitación puede causar que los cristales de percarbonato de sodio formados se diluyan nuevamente.

3.6.1 Diseño del Proceso

Criterios de diseño

Los datos de balance de masa se obtienen en el laboratorio y se escalan a planta piloto, para una

Diagrama de bloques de proceso BFD

En la figura 3.27 se presenta el diagrama de bloques del proceso de obtención del percarbonato de sodio

FIGURA 3.27. Diagrama de bloques de proceso BFD

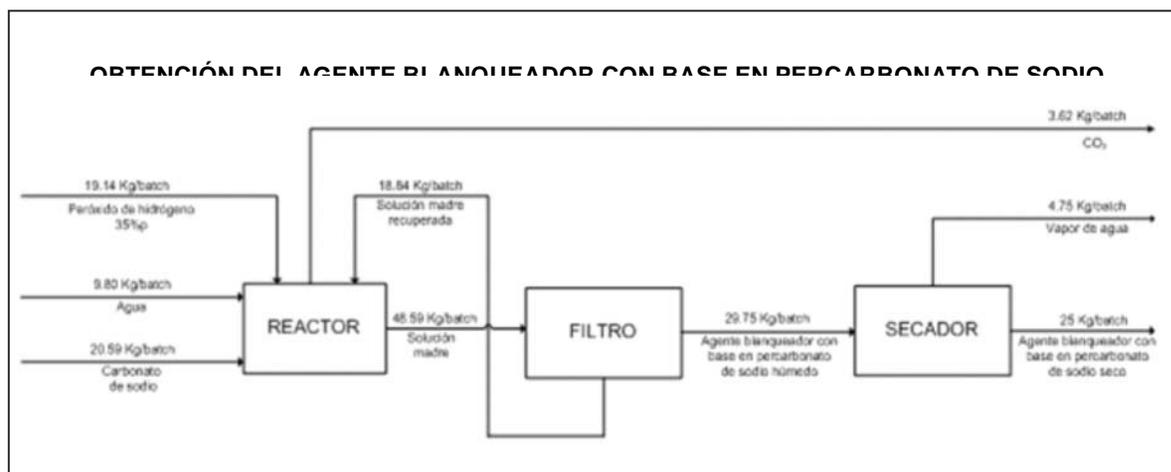


Diagrama de bloques de proceso BFD

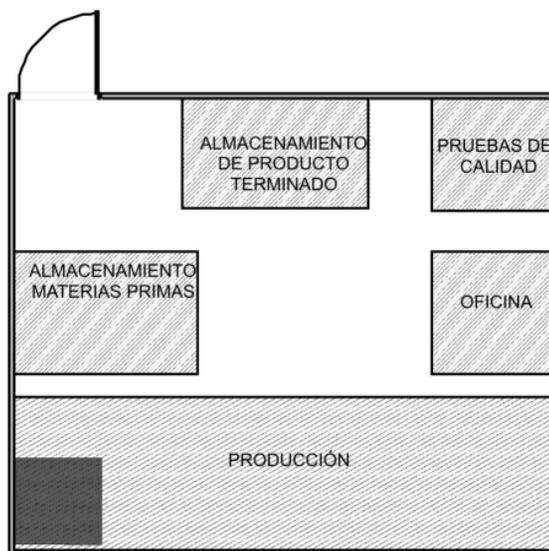
En el anexo 3 se presenta el diagrama de flujo del proceso de obtención del percarbonato de sodio, de acuerdo con el proceso desarrollado en este proyecto.

Plot plant y restricciones para el layout

Para el layout de la planta, la cual cuenta con un área total de 100 m² (Figura 3.28), se cuenta con 5 áreas definidas, las cuales cumplen una función específica. El área de materias primas es el lugar de cargue y descargue del carbonato de sodio y del peróxido de hidrógeno. En el área de producción se ubican el reactor, el filtro y el secador y por último, en la parte de almacenamiento del producto terminado, se sitúa el agente blanqueador con base en percarbonato de sodio, previamente revisado y aprobado por calidad. Adicionalmente, se cuenta con una oficina administrativa y un laboratorio para las pruebas de calidad.

FIGURA 3.28

Layout planta piloto para la producción de percarbonato de sodio



Caracterización de los equipos

Para el proceso de producción del percarbonato de sodio, es necesario contar con los siguientes equipos dentro de la planta piloto:

- Reactor agitado
- Filtro
- Secador
- Bomba
- Tolva de alimentación
- Tanque de almacenamiento

Capacidad de producción

Para la planta piloto se establece una capacidad de producción de 12,000 Kg/año de percarbonato de sodio. Esta capacidad se define teniendo en cuenta la capacidad del mercado de acuerdo con el estudio realizado, el cual muestra como resultado una demanda de agentes blanqueadores hasta de 120,000 Kg/año, lo cual significa que, con la producción establecida, se podrá cubrir cerca del 10% del mercado nacional.

Para establecer el lote de producción diario se supone que la planta trabaja 20 días al mes para un total de 240 días al año, como se muestra a continuación:

Para esta producción se cuenta con un reactor que trabaja 2 cochadas por día, lo que da una producción de 25 Kg/día*cochada, como se muestra a continuación:

$$\frac{12000 \text{ Kg}}{1 \text{ Año}} \times \frac{1 \text{ Año}}{240 \text{ Días}} = 50 \text{ Kg / día}$$

Equipos

A continuación se describen los equipos necesarios para el proceso de producción de percarbonato de sodio.

Reactor R-101

Para el diseño del reactor se escoge como material de construcción el acero inoxidable, recomendado para el manejo de ácidos y agentes oxidantes.

La capacidad de diseño del reactor es de 30 Kg, siguiendo las recomendaciones de sobrediseñar estos equipos un 20%. Según la heurística, la proporción óptima para un reactor CSTR (continuous stirred tank reactor) es que el nivel del líquido sea igual al diámetro del tanque. (Turton, 2002).

El volumen del tanque está dado por la siguiente ecuación:

$$V = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 L$$

Donde:

D: Diámetro del tanque

L: Altura del tanque

Siguiendo la heurística, se tiene que:

$$L_{ocupada} = D_{tanque}$$

Al remplazar la expresión anterior en la ecuación del volumen del tanque y teniendo en cuenta el sobredimensionamiento del equipo, se tiene que:

$$V = \pi \frac{D^3}{4} (1+0.2)$$

Con el valor del volumen necesario para el reactor se despeja D de esta última ecuación, de donde se obtiene:

$$V = 0.0329m^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{1.2\pi}}$$

$$D = 0.3268 \text{ m} \quad L = 0.3922 \text{ m}$$

El equipo no se presuriza porque como se muestra en el Diseño de Experimentos de mezclas el proceso no lo requiere. Sin embargo, debido a la producción de gases (CO_2 y O_2) es necesario acondicionar en el tanque una válvula de alivio de presión con el fin de evitar la presurización del tanque.

El costo de este reactor, al igual que el de los demás equipos, se especifica en el Anexo 4 que corresponde al análisis financiero. En la Tabla 3.22 se presenta un resumen de las características necesarias para el reactor.

TABLA 3.22
Características del reactor R-101

CONDICIONES DE DISEÑO	
Presión	Atmosférica
Volumen total (m3)	0.0329
Altura (m)	0.3922
Diámetro (m)	0.3268
Material de construcción	Acero inoxidable
Accesorios	Presencia de agitador

Filtro F-101

Al igual que en el reactor, el material de construcción para el filtro es de acero inoxidable. El tipo de filtro que se selecciona es el filtro de hoja porque su forma, es la que mejor se adapta al proceso. Además, su costo es menor en comparación con otro tipo de filtros, como el filtro de tambor. En la Tabla 3.23 se muestran las principales

características de diseño para este filtro.

TABLA 3.23
Características del filtro F-101

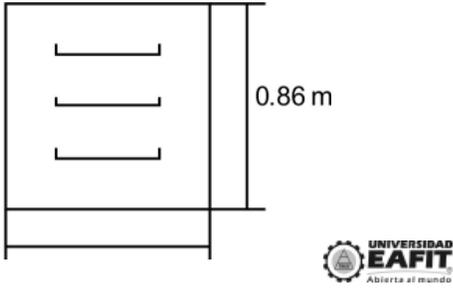
CONDICIONES DE DISEÑO	
Presión	Atmosférica
Área nominal (m2)	0.74
Longitud (m)	1.32
Tipo de filtro	De hoja
Filtración	Por gravedad
Material de construcción	Acero inoxidable

Secador S-101

El aspecto más importante que se debe tener en cuenta para el secador es el intervalo de temperatura en el cual se debe operar este equipo porque, como se explica en la descripción del proceso, a temperaturas mayores de 60° C, se descompone el percarbonato de sodio. Por esta razón, se establece un intervalo de temperaturas entre 30 y 50° C. Se usa un secador de bandejas.

Al igual que los equipos anteriores, el material de construcción para el secador es acero inoxidable. En la tabla 3.24 se muestran sus principales características de diseño.

TABLA 3.24
Características del secador S-101

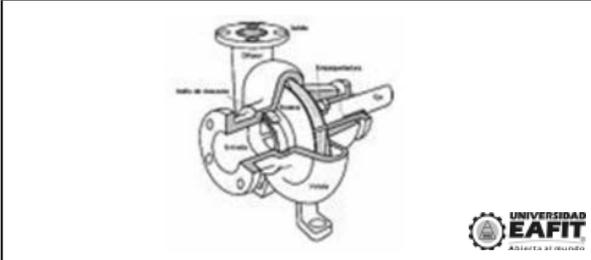
CONDICIONES DE DISEÑO	
Presión	Atmosférica
Área Nominal (m ²)	0.74
Longitud (m)	0.86
Temperatura de operación (°C)	30 °C – 50°C
Material de construcción	Acero inoxidable
	

Bomba

Para el proceso de producción del percarbonato de sodio se selecciona una bomba centrífuga, recomendable para el manejo de fluidos químicos livianos. Adicionalmente, este tipo de bombas tiene la ventaja de necesitar poco espacio para su instalación, tener un bajo costo de inversión, bajo costo de mantenimiento y un buen desempeño en el manejo de flujos pequeños. El material de construcción recomendado es acero inoxidable.

En la Tabla 3.25 se muestran las principales características de diseño para la bomba.

TABLA 3.25
Características de la bomba P-101

CONDICIONES DE DISEÑO	
Tipo de bomba	Centrífuga
Diámetro de descarga (inch)	2
Material de construcción	Acero inoxidable
	

Tolva de almacenamiento para el carbonato de sodio

Debido a la alta higroscopicidad del carbonato de sodio, se selecciona una tolva de almacenamiento hermética (Tabla 3.26), con el fin de evitar que la materia prima se humedezca. La capacidad para la tolva se define de manera que se pueda abastecer la producción del agente blanqueador para 1 mes, es decir una capacidad de almacenamiento de 989 Kg, sobredimensionada en un 20%. (Turton, 2002).

Tabla 3.26
Características de la tolva de almacenamiento para el carbonato de sodio

CONDICIONES DE DISEÑO	
Presión	Atmosférica
Capacidad (Kg)	989
Material de construcción	Acero inoxidable
Accesorios	Tapa superior
	

Tanque de almacenamiento para el peróxido de hidrógeno

Para almacenar el peróxido de hidrógeno se debe tener en cuenta su condición de agente oxidante, por lo tanto se debe escoger un material resistente a la corrosión. Como se ha explicado anteriormente, el acero inoxidable es el material recomendado para este tipo de sustancias.

Teniendo en cuenta la heurística, la capacidad del tanque se establece en 0.816 m³, dejando materia prima disponible para un mes de producción. Técnicamente se recomienda una orientación vertical para tanques de almacenamiento con capacidad menor a 1000 galones por lo tanto, el tanque para almacenar el peróxido de hidrógeno tendrá este tipo de orientación. (Turton, 2002).

Para establecer las dimensiones del equipo, se tiene en cuenta la relación óptima de diseño de L/D=3 (Turton, 2002).

El volumen del tanque está dado por la siguiente ecuación:

$$V = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 L$$

Donde:

D: Diámetro del tanque

L: Altura del tanque

Teniendo en cuenta la relación especificada (L/D=3), se reemplaza en la ecuación anterior:

$$V = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 3D$$

Con el valor del volumen necesario para el tanque de almacenamiento, se despeja el diámetro de la ecuación anterior

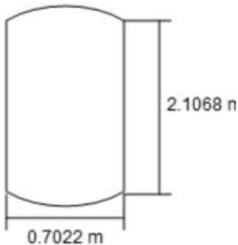
$$V = 0.816 \text{ m}^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{3\pi}}$$

$$D = 0.7022 \text{ m} \quad L = 2.1068 \text{ m}$$

En la Tabla 3.27 se muestran las principales características de diseño para el tanque de almacenamiento del peróxido de hidrógeno.

TABLA 3.27
Características del tanque de almacenamiento para el peróxido de hidrógeno

CONDICIONES DE DISEÑO	
Presión	Atmosférica
Volumen total (m ³)	0.8160
Longitud (m)	2.1068
Diámetro (m)	0.7022
Orientación	Vertical
Material de construcción	Acero inoxidable
	

3.6.2 Evaluación Técnica del Proceso

Evaluación ambiental

Para la evaluación ambiental del proyecto se consideran los daños que pueden darse sobre la salud humana, los ecosistemas y los recursos naturales, por diferentes medios, tales como el aire, el agua y el suelo.

Como se aprecia en el diagrama de flujo del proceso (Anexo 4), la única descarga que se realiza es aérea (334.8 Kg/mes), en la cual hay presencia de dióxido de carbono y vapor de agua, con una composición de 43.25%p y 56.75%p, respectivamente (Tabla 3.28). Tanto el vapor de agua como el dióxido de carbono son gases de efecto invernadero, los cuales contribuyen al calentamiento global, por eso es necesario tomar medidas que prevengan o disminuyan la emisión de estos agentes contaminantes, es decir, implementar técnicas a final de tubo (end of pipe technology) o producción más limpia (PML).

El percarbonato de sodio no es un producto contaminante para los ecosistemas y los recursos

naturales, porque cuando se descompone genera oxígeno, agua y carbonato de sodio, sustancias que no afectan al ambiente.

Seguridad industrial

Durante el proceso de producción del percarbonato de sodio es necesario contar con un equipo de seguridad personal que conste de guantes, gafas, delantal de plástico y máscara con filtros de carbono con el fin de evitar la irritación al tener contacto con la piel, los ojos y las vías respiratorias.

El producto, como agente fuertemente oxidante, se debe almacenar a temperaturas inferiores de 50° C, en un lugar seco, limpio y con ventilación, alejado de fuentes de calor y productos reactivos. Debe estar en un recipiente herméticamente cerrado con el fin de evitar el contacto con la humedad del ambiente. No debe entrar en contacto con materiales oxidables. Se deben tener presentes las precauciones normales para cualquier producto oxidante que puede irritar la piel o puede causar problemas respiratorios por una exposición prolongada.

TABLA 3.28. Condiciones del proceso e indicadores ambientales

CONDICIONES DEL PROCESO	Nombre del proceso	OBTENCIÓN DE PERCARBONATO DE SODIO, A ESCALA PILOTO		
	Producción (Ton/año)	12		
	PReactor (atm)	0.98		
	TReactor (°C)	23		
	Catalizador	N.A		
	Rendimiento reacción (%)	50.65%		
INDICADORES AMBIENTALES		INDICADOR (Kg/mes)	COMPOSICIÓN DESCARGA AÉREA (%p)	
	Descargas aéreas	334.80	Agua	56.75%
	Descargas líquidas	0	CO ₂	43.25%

3.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Como ejercicio académico se hace el análisis completo de la rentabilidad del proyecto con el concepto de TIR (tasa interna de retorno) y VPN (valor presente neto), teniendo en cuenta el flujo de inversiones, los costos de operación, el flujo de producción y el flujo de efectivo neto, estableciendo a su vez una vida útil de 10 años. Para este proyecto se obtiene una tasa interna de retorno del 45.80%, siendo mayor que el costo promedio ponderado de capital (WACC), que tiene un valor de 28.50%. Lo anterior significa que el proyecto es viable financieramente.

En la Tabla 3.29 se muestra un resumen de algunos datos financieros importantes. Como se puede observar, el VPN es mucho mayor que cero, por lo tanto el proyecto puede ser interesante para los inversionistas.

TABLA 3.29
TIR, VPN para el proyecto y
VPN para el inversionista

TIR (Proyecto) (%)	45.80
TIR (Inversionista) (%)	55.93
VPN (Proyecto)	\$160,951.592
VPN (Inversionista)	\$ 41,595.497

3.7.1 Factores económicos del Proceso

Proyecciones financieras

Según las necesidades económicas, se identifican y clasifican los costos en los que se debe incurrir para llevar a cabo el proyecto de producción del percarbonato de sodio. Estos costos se presentan individualmente en la Tabla 3.30.

Como procedimiento para hallar el precio, se consolida en un valor único el total de los costos discriminados para que, por medio de la producción medida en Kg por año, se halle una tasa unitaria del costo presupuestado. Con la relación anterior y utilizando un porcentaje bruto de ganancia del 50%, se halla el precio del producto para el primer año. En la Tabla 3.31 se observan los costos totales de estas proyecciones y el precio de venta del percarbonato de sodio, por kilogramo.

Cabe resaltar que el precio resultante de este procedimiento es bastante competitivo con respecto a lo encontrado normalmente en el mercado, porque aunque una libra de percarbonato de sodio en el exterior tiene un costo aproximado de 2.86 US\$, éste se aumenta considerablemente por los costos adicionales de transporte y seguros, llegando a valer hasta 120 US\$/lb por encima de su precio original, cuando se importa al país.

TABLA 3.30. Definición de costos para el proyecto

DEFINICIÓN DE COSTOS			
COSTOS VARIABLES			
CONCEPTO			VALOR ANUAL
Carbonato de sodio			\$ 50,348,050
Peróxido de Hidrógeno al 35% por peso			\$ 85,500,000
TOTAL COSTOS VARIABLES			\$ 135,848,050
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN VARIABLES			
CONCEPTO	MENSUAL		VALOR ANUAL
Acueducto y Alcantarillado	\$ 150,000		\$ 1,800,000
Luz y Teléfono	\$ 200,000		\$ 2,400,000
TOTAL CIF VARIABLES			\$ 4,200,000
COSTOS FIJOS			
CONCEPTO	MENSUAL	FAC. PRESTACIONAL	VALOR ANUAL
Salario Operador Laboratorio	\$ 700,000	1.5281	\$ 12,836,040
TOTAL COSTOS FIJOS			\$ 12,836,040
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN FIJOS			
CONCEPTO			VALOR ANUAL
Gafas			\$ 20,000
Guantes			\$ 60,000
Batas			\$ 30,000
Máscaras de gas			\$ 70,000
Arrendamiento del local			\$ 12,000,000
TOTAL CIF FIJOS			\$ 12,180,000

TABLA 3.31 Costos totales de proyecciones

COSTO TOTAL (\$)	165,064,090
PRODUCCIÓN (Kg/año)	12,000
COSTO UNITARIO (\$)	13,755
MARGEN BRUTO GANANCIA (%)	50
PRECIO (\$/Kg)	20,633

El único gasto fijo que se tiene en cuenta es el salario del ingeniero de procesos que se encargará de la dirección administrativa y comercial del negocio, el cual se presenta en la Tabla 3.32. Por el momento no se tiene en cuenta ninguna otra variable que pueda afectar este tipo de rubro.

TABLA 3.32. Gastos fijos del proyecto

GASTOS FIJOS			
CONCEPTO	MENSUAL	FAC. PRESTACIONAL	VALOR ANUAL
Salario Ingeniero de Procesos	\$ 1,400,000	1.5281	\$ 25,672,080
TOTAL GASTOS FIJOS			\$ 25,672,080

En los activos fijos necesarios para el proyecto, y luego de realizar un diseño conceptual del proceso, se estima que son necesarios los siguientes equipos los cuales se deprecian completamente por el método de línea recta a 10 años. Lo anterior representa un gasto por valor de \$9,475.628 en términos anuales.

Los costos de cada uno de los equipos, tanto en dólares como en pesos colombianos, se presentan en la Tabla 3.33 y, las depreciaciones anuales de los mismos, están diferidos en la Tabla 3.34.

TABLA 3.33. Costos maquinaria y equipo

MAQUINARIA Y EQUIPO			
CONCEPTO	VALOR U\$	TASA DE CAMBIO	VALOR TOTAL
Reactor	\$ 18,500	\$ 1,833	\$ 33,906,985
Filtro	\$ 10,900	\$ 1,833	\$ 19,977,629
Horno	\$ 10,000	\$ 1,833	\$ 18,328,100
Bomba	\$ 8,000	\$ 1,833	\$ 14,662,480
Tolva	\$ 2,800	\$ 1,833	\$ 5,131,868
Tanque	\$ 1,500	\$ 1,833	\$ 2,749,215
TOTAL ACTIVOS			\$ 94,756,277

TABLA 3.34. Depreciación y amortización

AÑOS	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Depreciación período	\$9,475,628	\$9,475,628	\$9,475,628	\$9,475,628	\$9,475,628	\$9,475,628	\$9,475,628	\$9,475,628	\$9,475,628	\$9,475,628
Depreciación acumulada	\$9,475,628	\$18,951,255	\$28,426,883	\$37,902,511	\$47,378,139	\$56,853,766	\$66,329,394	\$75,805,022	\$85,280,649	\$94,756,277
Valor en libros	\$85,280,649	\$75,805,022	\$66,329,394	\$56,853,766	\$47,378,139	\$37,902,511	\$28,426,883	\$18,951,255	\$9,475,628	\$0

Con el objetivo de proyectar los flujos de caja del proyecto, se estima el crecimiento real de las variables más significativas (precio, volumen, costos indirectos de fabricación CIF, costos fijos, costos variables de producción, gastos administrativos financieros GAF), los cuales se especifican en la Tabla 3.35.

TABLA 3.35. Crecimiento real del proyecto

CRECIMIENTO REAL									
AÑO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
PRECIO	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
VOLUMEN	30%	25%	20%	15%	10%	5%	5%	5%	5%
CIF Y COSTOS FIJOS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
COSTOS VARIABLES PRODUCCIÓN	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
GAF	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Partiendo de las metas de inflación establecidas por el Banco de la República de Colombia, se estiman las tasas presentadas en la Tabla 3.36, con el fin de llevar el crecimiento real mencionado a términos nominales y con esto, poder proyectar las variables tenidas en cuenta.

TABLA 3.36. Tasas de inflación para el crecimiento real del proyecto

INFLACIÓN	5.220%	5.069%	4.922%	4.779%	4.640%	4.506%	4.375%	4.248%	4.125%
-----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Haciendo uso de la ecuación $i_n = (1+i_r)^*(1+\pi)$, se hallan las tasas de crecimiento nominal para luego realizar las proyecciones unitarias del proyecto. Esta información se presenta en la Tabla 3.37 y 3.38, respectivamente.

TABLA 3.37 Crecimiento nominal del proyecto

CRECIMIENTO NOMINAL									
AÑO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
PRECIO	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	9%	9%
VOLUMEN	30%	25%	20%	15%	10%	5%	5%	5%	5%
CIF Y COSTOS FIJOS	5%	5%	5%	5%	5%	5%	4%	4%	4%
COSTOS VARIABLES PRODUCCIÓN	7%	7%	7%	7%	7%	7%	6%	6%	6%
GAF	5%	5%	5%	5%	5%	5%	4%	4%	4%

TABLA 3.38 Proyecciones unitarias del proyecto

PROYECCIONES UNITARIAS										
AÑO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
PRECIO	\$20,633.01	\$22,795.56	\$25,148.53	\$27,705.56	\$30,481.06	\$33,490.25	\$36,749.19	\$40,274.85	\$44,085.1	\$48,198.79
VOLUMEN UNIDADES	\$12,000.	\$15,600.	\$19,500.	\$23,400.	\$26,910.	\$29,601.	\$31,081.05	\$32,635.1	\$34,266.86	\$35,980.2
COSTOS Y CIF FIJOS	\$25016,040.	\$26321,877.29	\$27656,033.22	\$29017,160.86	\$30403,862.76	\$31814,697.63	\$33248,186.92	\$34702,821.31	\$36177,067.1	\$37669,372.45
	\$9475,627.7	\$9475,627.7	\$9475,627.7	\$9475,627.7	\$9475,627.7	\$9475,627.7	\$9475,627.7	\$9475,627.7	\$9475,627.7	\$9475,627.7
COSTO MATERIA PRIMA	\$11,320.67	\$12,149.84	\$13,020.98	\$13,935.07	\$14,893.03	\$15,895.8	\$16,944.26	\$18,039.3	\$19,181.75	\$20,372.46
CIF VARIABLE	\$,350.	\$,375.64	\$,402.57	\$,430.83	\$,460.45	\$,491.45	\$,523.86	\$,557.72	\$,593.04	\$,629.85
CPV PRO VAR COST	\$11,670.67	\$12,525.48	\$13,423.55	\$14,365.9	\$15,353.48	\$16,387.24	\$17,468.12	\$18,597.02	\$19,774.79	\$21,002.32
COSTO TOTAL	\$13,755.34	\$14,212.78	\$14,841.81	\$15,605.94	\$16,483.31	\$17,462.03	\$18,537.85	\$19,660.37	\$20,830.54	\$22,049.26
GASTOS ADMON FIJOS	\$25672,080.	\$27012,162.58	\$28381,306.45	\$29778,129.35	\$31201,197.19	\$32649,030.89	\$34120,113.11	\$35612,894.96	\$37125,802.51	\$38657,243.24

3.7.2 Resultados económicos

Con el fin de identificar el flujo de caja del proyecto, se realiza la proyección del estado de pérdidas y ganancias sin tener en cuenta aspectos como la financiación, ya que esto se evaluará posteriormente.

Flujo de caja libre operativo

En el Anexo 5 se presenta el estado de pérdidas y ganancias para los 10 años presupuestados. La nomenclatura empleada es la siguiente:

- C.M.V: Costos de la mercancía vendida (variable).
- M.B: Margen bruto.
- M.C: Margen de contribución.
- U.O: Utilidad operacional.

- U.O.D.I: Utilidad operacional después de impuestos.
- FC operativo: Flujo de caja operativo.
- U.A.I: Utilidad antes de impuestos.
- U.N: Utilidad neta.

Flujo de caja de inversión

Para el flujo de caja de inversión es necesario recopilar los activos fijos y el capital de trabajo necesario para que la compañía no sufra inconvenientes de iliquidez momentánea. Esto puede ser peligroso al tratarse de empresa que se encuentra en etapa de creación. En la tabla 3.39 se muestran las inversiones necesarias para maquinaria y equipos. La tasa de cambio corresponde al día 27 de junio de 2008. (Banco de la República, 2008).

TABLA 3.39. Inversiones maquinaria y equipo

MAQUINARIA Y EQUIPO			
CONCEPTO	VALOR U\$	TASA DE CAMBIO	VALOR TOTAL
Reactor	\$ 18,500	\$ 1,833	\$ 33,906,985
Filtro	\$ 10,900	\$ 1,833	\$ 19,977,629
Horno	\$ 10,000	\$ 1,833	\$ 18,328,100
Bomba	\$ 8,000	\$ 1,833	\$ 14,662,480
Tolva	\$ 2,800	\$ 1,833	\$ 5,131,868
Tanque	\$ 1,500	\$ 1,833	\$ 2,749,215
TOTAL ACTIVOS			\$ 94,756,277

Para el cálculo del capital de trabajo se toma como base, las rotaciones de efectivo presentadas en la Tabla 3.40, con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ciclo de caja} = \text{Rotación inventario} + \text{Rotación cuentas por cobrar}$$

$$\text{Rotación Efectivo} = 360/\text{Ciclo de caja}$$

TABLA 3.40
Rotación de efectivo

CICLO DE CAJA (días)	60
ROTACIÓN INVENTARIO M.P (días)	30
ROTACIÓN CUENTAS POR COBRAR (días)	30
ROTACIÓN EFECTIVO (días)	6

En la Tabla 3.41 se presenta el desembolso operativo (costos y gastos) que se realiza anualmente para garantizar el correcto funcionamiento del negocio. Estos valores, dividido la rotación de efectivo, arroja como resultado la cantidad de dinero que se necesita invertir en la cuenta de efectivo para el año siguiente. Estos resultados se presentan en la tabla 3.42.

TABLA 3.41
Desembolso operativo

AÑO	DESEMBOLSOS OPERACIONALES
2008	
2009	\$ 190,736,170
2010	\$ 248,731,488.05
2011	\$ 317,796,627.64
2012	\$ 394,957,234.88
2013	\$ 474,767,092.93
2014	\$ 549,542,533.74
2015	\$ 610,295,922.15
2016	\$ 677,231,210.32
2017	\$ 750,922,949.66
2018	\$ 831,994,156.38

TABLA 3.42
Inversiones anuales del proyecto

AÑO	EFECTIVO
2008	\$ 31,789,362
2009	\$ 41,455,248
2010	\$ 52,966,105
2011	\$ 65,826,206
2012	\$ 79,127,849
2013	\$ 91,590,422
2014	\$ 101,715,987
2015	\$ 112,871,868
2016	\$ 125,153,825
2017	\$ 138,665,693
2018	\$ -

Es importante resaltar que la valoración de este proyecto está sujeta al tiempo de vida finito de 10 años. El siguiente paso para evaluar la inversión necesaria de materia prima (Tabla 3.43) se realiza aplicando la siguiente formulación:

$$\text{Unidades necesarias} = \text{Volumen producción} \\ * \text{Rotación}/360$$

$$\text{Inversión en \$ en materia prima} \\ = \text{Unidades necesaria} * \text{Costo}$$

TABLA 3.43. Inversiones de materia prima

AÑO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CAPITAL DE TRABAJO EN UNIDADES DE INVENTARIO											
INVENTARIO MP	1,000	1,300	1,625	1,950	2,243	2,467	2,590	2,720	2,856	2,998	0
CAPITAL DE TRABAJO EN PESOS DE INVENTARIO											
INVENTARIO MP	11,320,671	15,794,795	21,159,100	27,173,379	33,397,619	39,210,953	43,887,115	49,059,523	54,774,871	61,083,774	0

De igual manera se evalúa la necesidad de inversión en cuentas por cobrar (ver tabla 3.44).

TABLA 3.44. Inversión en cuentas por cobrar

AÑO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
CAPITAL DE TRABAJO EN UNIDADES DE CUENTAS POR COBRAR											
CUENTAS POR COBRAR	1,000	1,300	1,625	1,950	2,243	2,467	2,590	2,720	2,856	2,998	0
CAPITAL DE TRABAJO EN PESOS DE CUENTAS POR COBRAR											
CUENTAS POR COBRAR	13,755,341	18,476,610	24,117,943	30,431,592	36,963,825	43,074,459	48,014,651	53,468,193	59,483,096	66,111,409	0

Finalmente, al realizar la sumatoria de los valores de los necesarios invertir en capital de trabajo operativo (KWOP), se hallan los datos presentados en la Tabla 3.45

TABLA 3.45. Inversiones totales en capital de trabajo operativo

AÑO	CAPITAL DE TRABAJO TOTAL INVERSIÓN	CAPITAL DE TRABAJO INCREMENTAL
2008	\$ 56,865,373	\$ 56,865,373
2009	\$ 75,726,653	\$ 18,861,280
2010	\$ 98,243,148	\$ 41,377,775
2011	\$ 123,431,177	\$ 66,565,803
2012	\$ 149,489,292	\$ 92,623,919
2013	\$ 173,875,834	\$ 117,010,460
2014	\$ 193,617,753	\$ 136,752,380
2015	\$ 215,399,584	\$ 158,534,211
2016	\$ 239,411,792	\$ 182,546,418
2017	\$ 265,860,877	\$ 208,995,503
2018	\$ -	\$ -

La información referente con la inversión incremental es la que se tiene en cuenta para el cálculo del flujo de caja que es necesario invertir en el proyecto. Sin embargo, por la concepción de vida del proyecto (10 años), al final de este período se deben liquidar los activos (Tabla 3.46) de la siguiente manera:

TABLA 3.46. Liquidación de activos

LIQUIDACIÓN DE ACTIVOS AÑO 2018		
	MAQUINARIA	FLUJO DE CAJA TOTAL
COSTO	\$ 94,756,277	
DEP ACUM	\$ 94,756,277	
VR LIBROS	\$ -	
VALOR VENTA	40%	
VENTA	\$ 37,902,511	
UTILIDAD O PÉRDIDA EN VENTA	\$ 37,902,511	
IMPUESTOS (33%)	\$ 12,507,829	
FLUJO DE CAJA	\$ 25,394,682	

Con la combinación de los diferentes cálculos de los flujos de caja de inversión en KWOP y la liquidación de activos en el último año, se obtienen los valores que hay que invertir a principio de cada año en el proyecto (Tabla 3.47).

TABLA 3.47
Inversiones totales

AÑO	FLUJO DE CAJA INVERSIÓN
2008	\$ -151,621,650
2009	\$ -18,861,280
2010	\$ -41,377,775
2011	\$ -66,565,803
2012	\$ -92,623,919
2013	\$ -117,010,460
2014	\$ -136,752,380
2015	\$ -158,534,211
2016	\$ -182,546,418
2017	\$ -208,995,503
2018	\$ 25,394,682.24

Flujo de caja del proyecto

Para la evaluación del proyecto se realizan valoraciones independientes, porque, inicialmente,

se analiza la rentabilidad del proyecto como tal y luego se examina la viabilidad de éste para el inversionista.

Para la primera etapa de la valoración del proyecto, se une el flujo de caja operacional con el capital que es necesario invertir en KWOP obteniendo como resultado, el flujo de caja del proyecto, el cual se evalúa por medio de herramientas financieras, tales como: tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN) y TIRM (tasa interna de retorno modificada). Este análisis se presenta en la tabla 3.49.

Los criterios de aceptación de la TIR y TIRM se comparan con el costo promedio ponderado de capital (WACC por sus siglas en inglés) que se tiene al utilizar diversas fuentes de financiación y que muestra su cálculo en la Tabla 3.48. Éste debe ser inferior a la TIR o TIRM que arrojen las herramientas financieras para el cálculo de rentabilidad. Para el concepto del VPN se tiene en cuenta si éste es mayor que cero, porque si esto ocurre, se puede concluir que el proyecto agrega valor.

TABLA 3.48. Flujos de caja operacional, de inversión y del proyecto

AÑO	FC OPERACIONAL	FC INVERSIÓN	FC PROYECTO
2008		-\$ 151,621,650.33	-\$ 151,621,650.33
2009	\$ 41,223,133.69	-\$ 18,861,279.79	\$ 22,361,853.90
2010	\$ 74,736,023.57	-\$ 41,377,775.00	\$ 33,358,248.57
2011	\$ 118,768,711.36	-\$ 66,565,803.48	\$ 52,202,907.88
2012	\$ 172,873,313.45	-\$ 92,623,918.85	\$ 80,249,394.60
2013	\$ 234,597,304.30	-\$ 117,010,460.35	\$ 117,586,843.95
2014	\$ 299,134,472.03	-\$ 136,752,379.59	\$ 162,382,092.44
2015	\$ 359,505,051.16	-\$ 158,534,211.01	\$ 200,970,840.14
2016	\$ 430,012,527.29	-\$ 182,546,418.23	\$ 247,466,109.05
2017	\$ 512,149,267.09	-\$ 208,995,503.20	\$ 303,153,763.89
2018	\$ 607,606,280.84	\$ 25,394,682.24	\$ 633,000,963.08

Como se puede observar, por los tres criterios de evaluación se debe aceptar el proyecto, teniendo en cuenta que agrega valor y brinda mayor rentabilidad a la exigida por la tasa WACC (Tabla 3.49).

TABLA 3.49 Criterios de aceptación del proyecto

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL PROYECTO				
TIR				
TIR PROYECTO	45.80%	Vs	WACC	28,50%
¿INVERTIR?	ACEPTO			
VPN				
VP	\$ 312,573,242	Vs	INVER. INICIAL	\$ 151,621.650
INVERSIÓN INICIAL	\$ 151,621.650			
VPN	\$ 160,951,592	Vs	VPN	\$ -
¿INVERTIR?	ACEPTO			
RCV O TIRM O VTR				
VF	\$ 3,837,408,806			
RCV	38,14%	Vs	WACC	28,50%
¿INVERTIR?	ACEPTO			

Flujo de caja de financiación

En la sección anterior, para el primer año, es necesario invertir \$151,621.650 (Tabla 3.48), sin embargo, según criterios de evaluación de riesgo, rentabilidad y liquidez, se ve la necesidad de financiar el 50% de este costo a través de la apertura de un microcrédito con el banco BBVA. Las características de este crédito están descritas en la tabla 3.50.

TABLA 3.50 Características del préstamo de financiación

PRÉSTAMO	\$ 75,810,825
INTERÉS	20% EA
FORMA DE AMORTIZACIÓN	CUOTAS IGUALES SEMESTRALES
PLAZO	10 SEMESTRES
APERTURA CUENTA DE AHORROS	\$ 100,000

Según el análisis y depuración de esta información se concluye que es necesario hacer un préstamo por \$100,000 adicionales en el mismo crédito para la apertura de la cuenta de ahorros y se calcula la serie uniforme en términos semestrales (Tabla 3.51), con la tasa ya expresada en estas mismas unidades. De la misma manera, en la Tabla 3.52, se presenta el cálculo de las amortizaciones para el proyecto.

TABLA 3.51. Características préstamo de financiación final

PRÉSTAMO A PEDIR	\$ 75,910,825
TASA INTERÉS APLICADA	9.54% Efectivo semestral
CUOTAS	\$ 11,113,435

En la Tabla 3.53 se muestran los resultados de los beneficios tributarios y del flujo de caja en términos anuales. Con este análisis y asumiendo la exigencia por parte de los inversionistas de una tasa mínima de rendimiento requerida del 50% efectiva anual, se calcula el costo promedio ponderado de capital, como se muestra en la Tabla 3.54.

TABLA 3.52. Amortizaciones

PERÍODOS	CUOTAS	INTERESES	ABONO DE CAPITAL	SALDO	F.C BRUTO	APER. CTA AHORROS
2008	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 0.00	\$ 75,910,825.17	-\$ 75,910,825.17	\$ 100,000.00
2009_1	\$ 12,113,435.48	\$ 7,245,317.44	\$ 4,868,118.04	\$ 71,042,707.13	\$ 12,113,435.48	
2009_2	\$ 12,113,435.48	\$ 6,780,679.35	\$ 5,332,756.12	\$ 65,709,951.00	\$ 12,113,435.48	
2010_1	\$ 12,113,435.48	\$ 6,271,693.83	\$ 5,841,741.65	\$ 59,868,209.36	\$ 12,113,435.48	
2010_2	\$ 12,113,435.48	\$ 5,714,128.13	\$ 6,399,307.35	\$ 53,468,902.01	\$ 12,113,435.48	
2011_1	\$ 12,113,435.48	\$ 5,103,345.50	\$ 7,010,089.97	\$ 46,458,812.03	\$ 12,113,435.48	
2011_2	\$ 12,113,435.48	\$ 4,434,266.66	\$ 7,679,168.82	\$ 38,779,643.22	\$ 12,113,435.48	
2012_1	\$ 12,113,435.48	\$ 3,701,327.51	\$ 8,412,107.97	\$ 30,367,535.25	\$ 12,113,435.48	
2012_2	\$ 12,113,435.48	\$ 2,898,432.89	\$ 9,215,002.58	\$ 21,152,532.66	\$ 12,113,435.48	
2013_1	\$ 12,113,435.48	\$ 2,018,905.91	\$ 10,094,529.56	\$ 11,058,003.10	\$ 12,113,435.48	
2013_2	\$ 12,113,435.48	\$ 1,055,432.38	\$ 11,058,003.10	\$ 0.00	\$ 12,113,435.48	

TABLA 3.53. Beneficios tributarios

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
BEN TRIBUTARIO		\$ -4,661,579	\$ -3,955,321	\$ -3,147,412	\$ -2,177,921	\$ -1,014,532
FC FINANCIACIÓN	\$ 75,810,825	\$ -19,565,292	\$ -20,271,550	\$ -21,079,459	\$ -22,048,950	\$ -23,212,339
CEADIMP	12.003%					

TABLA 3.54. Costo de capital del proyecto

COSTO DE CAPITAL DEL PROYECTO			
FUENTE DE FONDEO	MONTO	PART	CEADI
PRÉSTAMO	\$ 75,810,825	50.00%	12%
APORTES DE K	\$ 75,810,825	50.00%	45%
TOTAL	\$ 151,621,650	100%	
		WACC	28,50%

Flujo de caja del inversionista

Esta es la segunda etapa de evaluación, en donde se analiza el flujo de caja que finalmente le queda al inversionista luego de suplir el servicio de la deuda (Tabla 3.55).

TABLA 3.55. Diferencial flujos de caja del proyecto y de la financiación

PERÍODOS	FC PROYECTO	FC FINANCIACIÓN	TOTAL
2008	-\$ 151,621,650.33	\$ 75,810,825.17	-\$ 75,810,825.17
2009	\$ 22,361,853.90	-\$ 19,565,292.01	\$ 2,796,561.89
2010	\$ 33,358,248.57	-\$ 20,271,549.71	\$ 13,086,698.86
2011	\$ 52,202,907.88	-\$ 21,079,458.94	\$ 31,123,448.94
2012	\$ 80,249,394.60	-\$ 22,048,950.02	\$ 58,200,444.57
2013	\$ 117,586,843.95	-\$ 23,212,339.32	\$ 94,374,504.63
2014	\$ 162,382,092.44	\$ 0.00	\$ 162,382,092.44
2015	\$ 200,970,840.14	\$ 0.00	\$ 200,970,840.14
2016	\$ 247,466,109.05	\$ 0.00	\$ 247,466,109.05
2017	\$ 303,153,763.89	\$ 0.00	\$ 303,153,763.89
2018	\$ 633,000,963.08	\$ 0.00	\$ 633,000,963.08

En la Tabla 3.56 se puede observar que, para este caso, el uso de los criterios de aceptación de la TIR y TIRM, se comparan con la tasa mínima de rendimiento requerida del inversionista (TMRR) y no con el costo promedio ponderado de capital ya que se está evaluando el proyecto para el inversionista que utiliza la fuente de financiación del 50% de la inversión requerida. La TIR o TIRM que arrojan las herramientas financieras para el cálculo de rentabilidades deben ser superiores o iguales a la tasa exigida por el inversionista.

Para el concepto de VPN se tiene en cuenta el mismo criterio, es decir, el resultado debe ser superior a cero para asegurar que el proyecto agregue valor.

TABLA 3.56. Criterios de aceptación del inversionista

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL INVERSIONISTA				
TIR				
TIR PROYECTO	55.93%	Vs	TMRR INVER	45.00%
¿INVIERTIR?	ACEPTO			
VPN				
VP	\$ 117,406,322	Vs	INVER. INICIAL	\$ 75,810,825
INVERSIÓN INICIAL	\$ 75,810,825			
VPN	\$ 41,595,497	Vs	VPN	\$ -
¿INVIERTIR?	ACEPTO			
RCV O TIRM O VTR				
VF	\$ 4,823,602,452			
RCV	51.48%	Vs	TMRR INVER	45.00%
¿INVIERTIR?	ACEPTO			

Balance general inicial

Cumpliendo con los requisitos financieros de contar con información contable que posibilite un mayor control del dinero y movimiento económico del proyecto, se comienza la operación del negocio con el balance general presentado en la tabla 3.57.

TABLA 3.57. Balance general del proyecto en el momento 0

BALANCE GENERAL			
Dic. 31 de 2008			
ACTIVOS		PASIVOS	
CORRIENTES	\$ 56,865,373	CORRIENTES	\$ 0
Efectivo	\$ 56,865,373		
FIJOS	\$ 94,756,277	LARGO PLAZO	\$ 75,810,825
Reactor	\$ 33,906,985	Ob. Bancaria LP	\$ 75,810,825
Filtro	\$ 19,977,629		
Horno	\$ 18,328,100	TOTAL PASIVO	\$ 75,810,825
Bomba	\$ 14,662,480		
Tolva	\$ 5,131,868	PATRIMONIO	\$ 75,810,825
Tanque	\$ 2,749,215	Capital suscrito y pagado	\$ 75,810,825
TOTAL ACTIVOS	\$ 151,621,650	TOTAL PAS. Y PAT.	\$ 151,621,650

3.8 CONCLUSIONES

El estudio de mercado permite establecer las principales características del percarbonato de sodio que cumpla con las exigencias de los clientes. Estas características son la calidad y pureza del producto, además de su bajo precio e impacto ambiental.

Con base en el resultado de la encuesta realizada, se puede decir que el 50% de las empresas participantes podrían no emplear el percarbonato de sodio debido al desconocimiento de este producto.

A apoyado en la información de la literatura para la obtención del percarbonato de sodio es posible seleccionar la alternativa para el flujo del proceso, los equipos necesarios y determinar las condiciones de operación, con ayuda de la experimentación y de un Diseño de Experimentos de Mezclas, con sus respectivas restricciones según las propiedades de las materias primas empleadas y las exigencias del proceso.

Se encuentra que la variable más importante en el proceso de obtención del percarbonato de sodio es la relación entre los componentes que participan en la reacción, y no existe influencia significativa de la temperatura y ni del pH.

Del análisis de varianza del Diseño de Experimentos de Mezclas se encuentra que el modelo cuadrático es el que mejor se ajusta al proceso. Se establece la ecuación predictiva necesaria para determinar el rendimiento de la reacción según las proporciones en las cuales participan los componentes en la mezcla. La mezcla óptima con la cual se obtiene el mayor rendimiento de la reacción (52.065%) es 41.546%p de carbonato de sodio, 13.521%p de peróxido de hidrógeno y 44.933%p de agua.

La calidad del producto se determina por diferentes pruebas: prueba de blanqueo, densidad, pH,

oxígeno activo, humedad, solubilidad, basados en los factores de calidad derivados del estudio de mercado. Los resultados se comparan con uno de los productos que se ofrecen en el mercado actualmente.

La estructura cristalina del producto obtenido es acicular, en forma de agujas, delgadas y largas; con un tamaño promedio de los cristales de 124.500 μm , y un tamaño promedio de las partículas de los aglomerados de 406.917 μm .

Se seleccionan los equipos para el proceso de producción del percarbonato de sodio en una planta piloto: un reactor agitado, un filtro, un secador, una bomba, una tolva de alimentación del carbonato de sodio y un tanque de almacenamiento del peróxido de hidrógeno.

Para la planta piloto se establece una capacidad de producción de 12,000 Kg/año (aproximadamente 1000 Kg/mes) del agente blanqueador con base en percarbonato de sodio, produciendo 25 Kg/batch, 2 batch por día, trabajando 20 días al mes.

La producción del percarbonato de sodio genera dióxido de carbono y vapor de agua, lo cuales participan en el efecto invernadero. Es necesario implementar una tecnología que permita atrapar el CO_2 y evitar que se incorpore a la atmósfera.

El proyecto para la obtención del percarbonato de sodio es viable financieramente porque se obtiene una tasa interna de retorno del 45.80%, siendo mayor que el costo promedio ponderado de capital (WACC), el cual tiene un valor de 28.5%.

El precio de oferta del percarbonato de sodio es 20,633 \$/kilogramo, valor que es competitivo en el mercado porque aunque una libra de percarbonato de sodio en el exterior tiene un precio aproximado de US\$ 2.86, éste se aumenta considerablemente por los costos adicionales de importación, llegando a valer hasta US\$120 por encima de su precio original.

3.9 RECOMENDACIONES

Con el fin de profundizar en el análisis de esta oportunidad de negocio se formulan algunas recomendaciones, producto de la experiencia adquirida en el desarrollo de este proyecto:

- Evaluar otras variables del proceso, tales como: presión, velocidad y tipo de agitación, concentración del peróxido de hidrógeno y tamaño de grano del carbonato de sodio, con el fin de tratar de aumentar el rendimiento de la reacción.
- Realizar un manejo adecuado de las materias primas, teniendo en cuenta factores críticos como la higroscopicidad del carbonato de sodio y la temperatura de descomposición del peróxido de hidrógeno.
- Hacer un análisis de estabilidad del producto para evaluar si es necesario el uso de agentes estabilizadores en su proceso o se puede emplear un recubrimiento.
- Evaluar la variación de las propiedades y la calidad del producto si se hace un recubrimiento de las partículas del percarbonato de sodio.
- En la etapa de secado, se recomienda evaluar diferentes temperaturas y tiempos de operación de la estufa para encontrar los valores óptimos para estas variables.
- Evaluar la relación costo/beneficio con el uso de centrifugación para la separación del líquido y el sólido de interés, que en este proyecto se hace por filtrado.

4.

ACEITE DE AGUACATE TIPO GOURMET

4.1 ANTECEDENTES

El aguacate es un fruto originario de México y Centroamérica, de donde se ha llevado al resto del mundo. La etimología de su nombre proviene del Náhuatl *ahuacatl*. (Camarena, 2007). No se puede decir que el aguacate sea una fruta propiamente dicha, ya que no tiene apenas dulzor y se suele comer en ensaladas, como hortaliza. Por su riqueza en grasa es definida como “mantequilla vegetal” (Rivero, 2003). Presenta una variada posibilidad de usos como productos industrializados entre otros: pulpas como base para productos untables, tanto frescas como refrigeradas o congeladas, y obtención de aceite, adicionalmente para fines cosméticos, pero en estos últimos tiempos se ha incrementado la producción de aceite extra virgen para fines culinarios, teniendo un gran potencial en el futuro por sus propiedades. El aguacate es un producto de gran importancia en el territorio mexicano y desde hace poco de gran atención en la mayor parte del mundo para ser consumido.

Existen aproximadamente 400 especies de aguacate, originario de América central (México y Guatemala), donde ya se cultivaba antes de la llegada de los españoles y era muy apreciada entre los pueblos Mayas y aztecas. Entre sus muchas variedades se tiene la Hass donde su mayor producción se encuentra en la zona mexicana.

El aguacate es el fruto del aguacatero (*Persea americana*), un árbol de la familia de las Lauráceas, a la que pertenecen especies tan conocidas como el laurel (*Laurus nobilis*) o el alcanforero (*Laurus caphora*). Este fruto es una drupa en forma de pera de color verde oliva y superficie rugosa con una pulpa verde amarillenta y un hueso central muy grande. El consumo habitual de esta fruta resulta muy interesante debido a su peculiar sabor y textura (Camarena, 2007). Considerando que la comercialización y exportación del aguacate se ha incrementado en el mundo y que este fruto tiene un alto potencial como alimento funcional por su efecto benéfico en la salud humana, reduciendo la formación del colesterol y prevención de la arteriosclerosis por su contenido en lecitina.

Colombia aporta aproximadamente el 5% del aguacate que se produce en el mundo. Se calcula que hay más de 500 variedades de este fruto, pero características como su vida útil y contenido graso han limitado su exportación a un pequeño número de variedades.

En Colombia se encuentra la variedad del Hass, la más comercializada en el mundo. Por su exquisito sabor, quienes lo han probado prefieren decirle aguacate mantequilla, y este nombre no es gratuito, pues el 13% de su pulpa es grasa, y de buena calidad. Contrario a lo dañino que algunos imaginan

que puede ser, el aguacate Hass contiene ácidos grasos benéficos para el organismo. También es rico en calorías, proteínas, carbohidratos, fibra, calcio, fósforo, hierro y agua. (Unimedios, 2004).

A partir del patentamiento de la variedad Hass en 1935, año tras año se fue diseminando y plantando en las zonas aptas para su cultivo alrededor del mundo. La demanda de esta variedad en particular fue creciendo, y se ganó rápidamente espacio en los mercados internacionales, desplazando a las variedades que la precedieron, gracias a los atributos encontrados y revelados por su descubridor como: (Velásquez, 2006).

- Tamaño de fruta mediano
- Pulpa cremosa sin fibras
- Exquisita palatabilidad
- Contiene un corozo pequeño
- Su piel madura de color negro
- Permanencia duradera en el árbol
- Resistencia al transporte
- Dura meses en cadena de frío
- Acepta la maduración con etileno
- Contiene más potasio que el banano
- Ayuda a bajar el colesterol

FIGURA 4.1
Aguacate variedad Hass



Por sus propiedades nutritivas, el aceite de oliva ha sido por siglos el rey de la comida saludable. Sin

embargo, su corona comenzó a tambalear hace unos cinco años con el lanzamiento al mercado del aceite de aguacate, que está ganando rápidamente terreno en la cocina de los restaurantes gourmet y de las familias que cuidan su salud (Prieto, 2007). No en vano los aztecas y mayas lo consideraban como el “fruto de los reyes y el fruto de la fertilidad” por sus propiedades nutritivas y afrodisíacas, reservando siempre la primera cosecha del aguacate a la mesa de la realeza y los grandes eventos.

Ya en épocas más contemporáneas, su aceite se comenzó a utilizar en la industria de la cosmetología por sus propiedades hidratantes, pero en 2000 Nueva Zelanda (uno de los países de más producción de aguacate tipo Hass en el mundo) tuvo la idea de crear una nueva tecnología para extraer “en frío” el aceite de aguacate extra virgen.

Entre sus cualidades se cuenta su aroma, sabor, resistencia a las altas temperaturas de cocción y contenido de antioxidantes (Prieto, 2007).

México y Chile —los dos países latinoamericanos con elevada producción de aguacate tipo Hass— se dieron también a la faena de elaborar sus propios aceites.

Ricardo Razeto, fundador de una compañía chilena que lanzó hace dos años al mercado un aceite extra virgen de palta, explica que en el producto extraído del fruto quedan concentradas todas las propiedades benéficas del aguacate, tanto para la cocción como para la salud (Prieto, 2007).

“Por su elevada resistencia a las altas temperaturas (hasta 225°C), el aceite de aguacate está compitiendo con el de oliva en la cocina de los restaurantes gourmet”, asegura Razeto. “Los chefs lo están usando para sellar carnes y cocinar mariscos sin tener la preocupación de que quede un sabor de alimento quemado” (Prieto, 2007).

Su suave sabor también lo puso en la categoría de los aceites finos de mesa para aderezar ensaladas

y vegetales, y para ser un ingrediente clave en la preparación de vinagretas y salsas acompañantes (Prieto, 2007).

4.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL PRODUCTO

El producto que se espera obtener es un aceite gourmet con las características nutricionales reportadas en la literatura.

Para la conceptualización del producto se llevó a cabo un sondeo de mercado en almacenes de cadena, restaurantes, tiendas gourmet de la ciudad de Medellín, hallándose escaso conocimiento del producto, pero gran intención de compra por sus valiosas propiedades, similares a las del aceite de oliva. El mercado potencial se presenta en Francia y Estados Unidos. De la encuesta se puede concluir:

- La mayoría de las personas entrevistadas se mostraron interesadas en el producto, no sólo por ser innovador, sino porque proporciona innumerables beneficios para la salud.
- La mayoría de las personas compraría el producto, si presentara ventajas competitivas no sólo a nivel de precios, sino también en cuanto a propiedades organolépticas (textura, aroma, color, etc.).
- Se hace necesaria una muestra física del producto para entregarla en demostración.

La encuesta realizada se anexa a este trabajo.

El Aguacate tiene cualidades muy importantes como:

- su aroma, sabor, resistencia a las altas temperaturas de cocción.
- Contiene un elevado índice de ácidos grasos omega 3, 6 y 9.

- Ayuda al sistema circulatorio, por su rico contenido de ácido oleico.
- Ayuda al aparato digestivo, por su contenido de grasas mono saturadas.
- Ayuda al sentido de la vista, por su contenido de vitamina A y luteína.
- Ayuda al sistema óseo, por la vitamina A y D.
- En algunos Spas lo untan en el abdomen, el cual al ser absorbido por el cuerpo, disuelve grasas. Favorece a la generación de colágeno, piel más elástica.
- Disminuye la resequedad del cabello.
- El aceite de aguacate previene la aparición de enfermedades cardiovasculares
- Posee un alto contenido de esteroides como B-sitosterol que junto con la alta proporción de ácidos grasos monoinsaturados, ayudan a disminuir los LDL o colesterol malo.
- Por su contenido de vitamina E que le da una acción antioxidante equilibrando las grasas saturadas causantes de los coágulos en las arterias, también retarda el envejecimiento.
- Alivia la Flebitis.
- Ayuda a la desaparición de varices y colagenosis.
- Favorece a la recuperación de un ataque cardíaco.
- Asociado al aceite de oliva como protección solar.
- Muy a menudo se encuentra en cremas anti-arrugas y productos para la piel seca.
- Elevado punto de quemado, 250° C a diferencia del aceite de oliva que es de 180° C), que lo hace un excelente producto para fines culinarios, ya que no se quema al cocinarlo y tampoco libera ácidos grasos dañinos para la salud.

4.2.1 Tendencias del Mercado (Velásquez, 2006)

4.2.1.1 Exportaciones

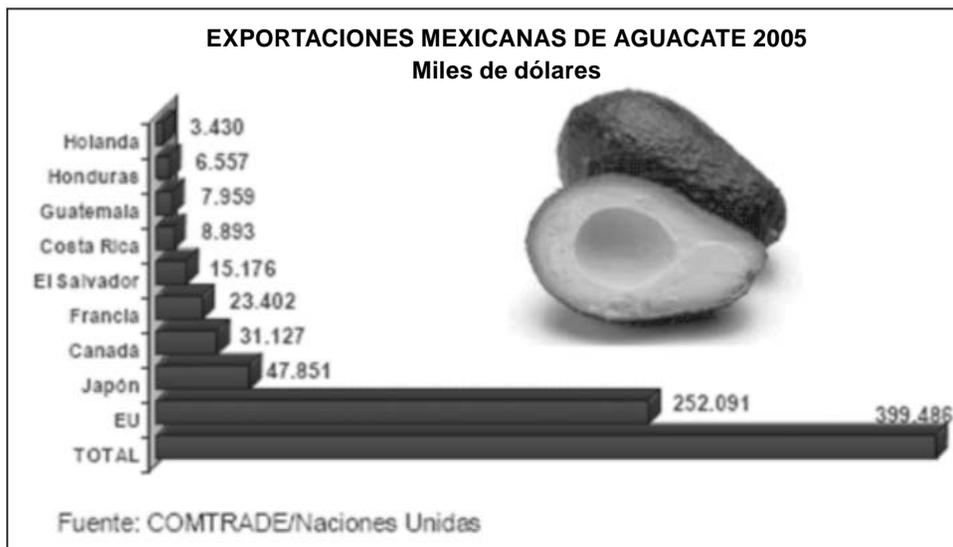
GRÁFICA 4.1. Productores mundiales de aguacate



GRÁFICA 4.2. Exportadores Mundiales de Aguacate



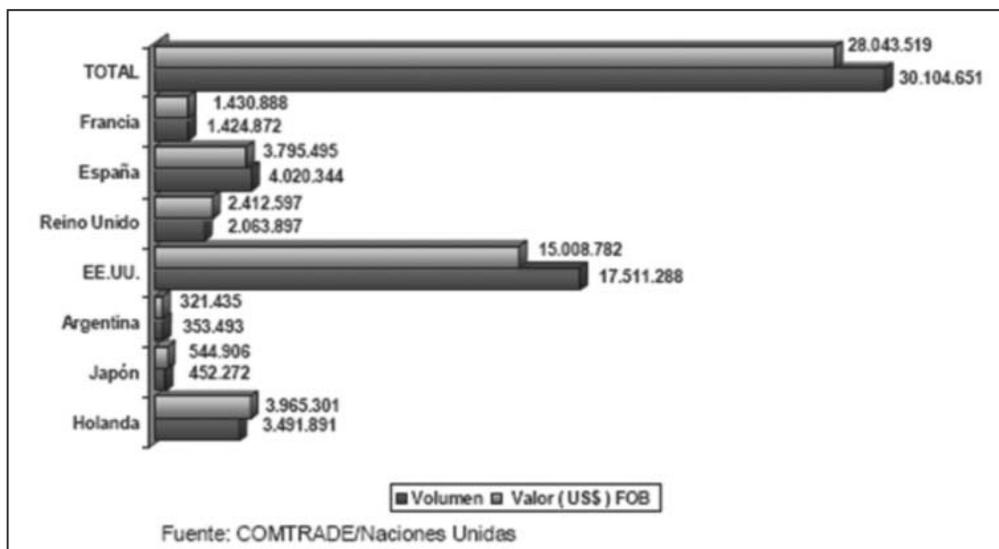
GRÁFICA 4.3. Exportaciones mejicanas de Aguacate



Las exportaciones mexicanas ascendieron a US\$ 399,5 millones en el año 2005, correspondiéndole como destino a los Estados Unidos la mayor parte con 252 millones de dólares, el 63,1% del total. Japón surge como el segundo mercado en importancia con 47,8 millones de dólares, seguido por Canadá y Francia con 31,1 y 23,4 millones de dólares respectivamente. Curiosamente aparecen después de los anteriores cuatro países centroamericanos (El Salvador, Costa Rica, Guatemala y Honduras), para cerrar esta lista de compradores Holanda con 3,4 millones de dólares.

Reflexionando sobre las posibilidades de mercados externos para el aguacate colombiano, y teniendo como base los destinos del mayor exportador mundial, se debe decir que todos ellos son mercados potenciales para Colombia, incluyendo los países centroamericanos. La mayor dificultad sin lugar a dudas se encuentra en el mercado de los Estados Unidos, no obstante la posibilidad existente de que se ratifique finalmente el Tratado de Libre Comercio con ese país. (Velásquez, 2006).

GRÁFICA 4.4. Exportaciones de Aguacate desde Chile



Chile fue el segundo más importante exportador mundial en el año 2005 con un total de 166 millones de dólares, con Estados Unidos a la cabeza entre los mercados de destino con US\$ 141 millones equivalentes, 84,9% del total de las ventas chilenas. Luego siguen cuatro países europeos (Reino Unido, España, Holanda y Francia) aunque con volúmenes de compras relativamente

pequeños que van desde 8 millones de dólares el primero hasta 3 millones el cuarto. Argentina y Japón cierran el cuadro de clientes con un millón de dólares cada uno, siendo Japón hoy objetivo importante en las metas de crecimiento que se han propuesto los chilenos en la exportación de aguacates.

4.2.1.2 Importaciones

GRÁFICA 4.5. Importadores Mundiales en 2005



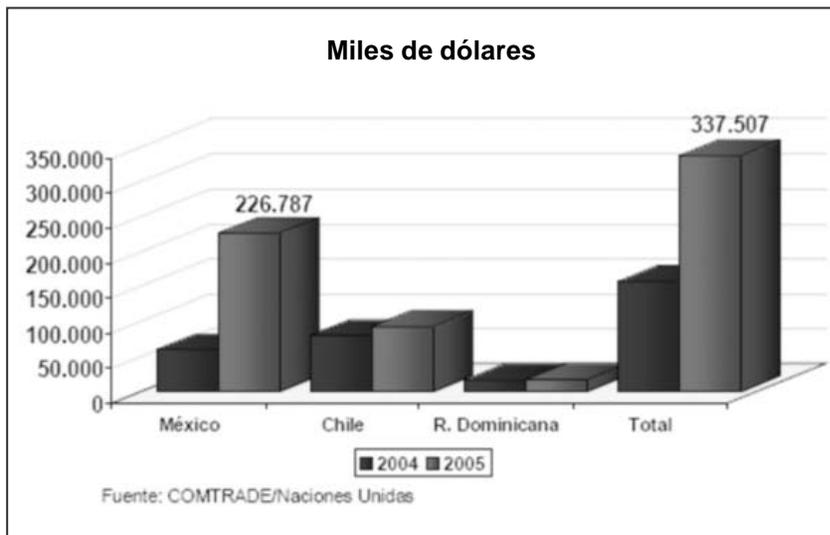
Todos los anteriores mercados son posibles para las futuras exportaciones de aguacate desde Colombia, considerándose de manera especial a Estados Unidos por las razones ya expuestas. También se pueden encontrar opciones comerciales en los siguientes países que siguen en la lista de mayores compradores, donde se encuentran varios centroamericanos que son atendidos desde México, y lamentablemente, también a Colombia.

Colombia tiene varias opciones si quiere exportar aguacates. Una es explorar mercados menos exigentes como el de los Estados Unidos, y con variedades distintas al Hass, única posible de exportarse hacia ese país. En tal caso los países europeos, Rusia y Japón, podrían estar dentro de

las opciones como mercados objetivos; también puede considerarse la opción, aunque con mayor dificultad por la presencia de los mexicanos, de los vecinos centroamericanos. Sin embargo, la verdad es que el mejor y más importante mercado para Colombia y para cualquier país productor en el mundo es Estados Unidos, donde el consumo de esta fruta crece vertiginosamente, con la certeza de que en un futuro no muy lejano tendrá niveles similares a los de otras frutas más tradicionales como el banano y la manzana.

En cuanto al mercado del aceite de aguacate Estados Unidos y Francia son los países en los que existe una mayor cultura en su consumo.

GRÁFICA 4.6. Principales proveedores de Estados Unidos



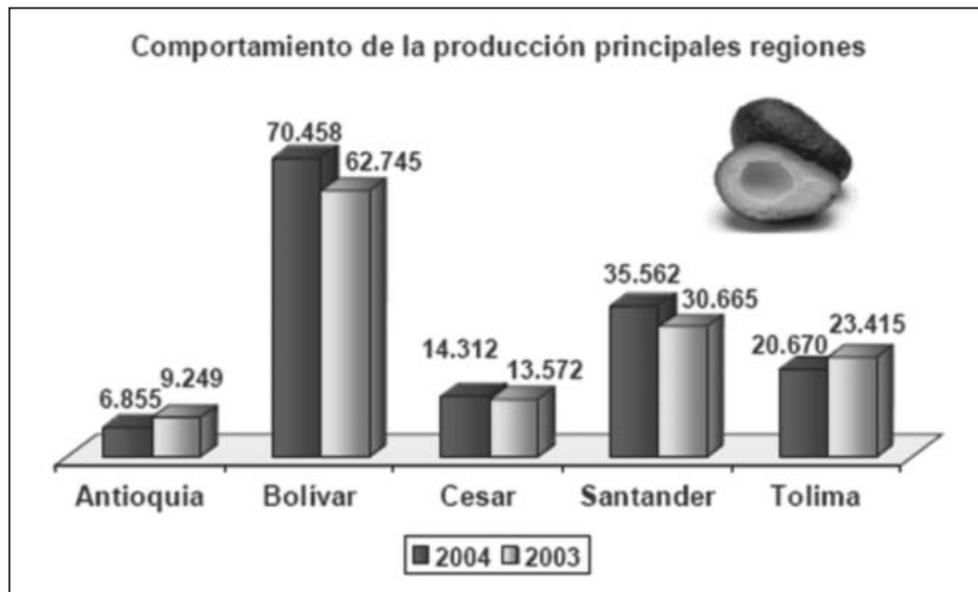
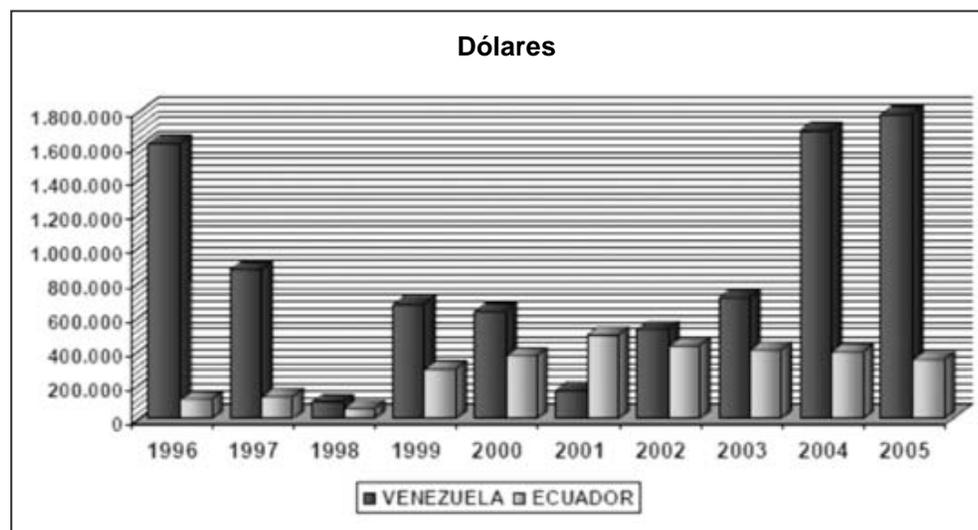
4.2.1.3 Producción de Aguacate en Colombia

GRÁFICA 4.7. Producción de aguacate en Colombia año 2004



Las proyecciones gubernamentales sobre el cultivo del aguacate son en realidad optimistas, según se puede observar en el siguiente cuadro de Planeación Nacional.

Para el año 2010 se espera lograr una producción de 238 mil toneladas procedentes de 20 mil hectáreas dedicadas al cultivo de la fruta, lo que arrojaría para entonces un rendimiento de 12,7 ton/ha.

GRÁFICA 4.8. Comportamiento de la producción de aguacate de las principales regiones**GRÁFICA 4.9. Competidores extranjeros en el Mercado Nacional**

Conclusiones del Estudio de Mercado

Las observaciones sobre los mercados del aguacate en el último decenio llevan a la conclusión de que este producto es relativamente dinámico. La producción se ha acelerado en los principales países productores, sobre todo en los países en desarrollo. El consumo también ha crecido

rápido, particularmente en los principales países desarrollados.

El aguacate es un fruto abundante en nuestro país, no obstante anualmente se pierden grandes cantidades debido a la presencia de microorganismos, oscurecimiento de la pulpa, la pérdida de textura y otros defectos de origen

natural como forma y tamaño (de las 143.508 toneladas producidas al año, el 30% se pierde). Aunque algunos de estos problemas se controlan durante el proceso de desarrollo y almacenamiento, los frutos remanentes de calibres menores son comercializados en mercados domésticos a precios inferiores o son desechados. Existe la necesidad de utilizar la totalidad de las cosechas mediante la generación de productos de valor agregado como el aceite de aguacate, aprovechando este valioso fruto de manera integral.

Sin duda, es lamentable que a pesar de la importancia mundial de Colombia como productor y siendo el segundo país en rendimiento en la producción de aguacates, no tenga ninguna presencia en el mercado externo, ni siquiera en los países vecinos, a los cuales, por el contrario, les compró aguacates en 2005 por valor superior a dos millones de dólares.

El aguacate colombiano no es admisible en el mercado de los Estados Unidos por razones fitosanitarias. Es urgente definir un trabajo conjunto en dólares, encaminado a un enfoque de sistemas como trabajo multidisciplinario entre los dos gobiernos.

Si el mercado objetivo para Colombia es Estados Unidos, la única variedad posible es la Hass. Fuerte, Pinkerton y Hass son las opciones para el mercado europeo.

A pesar que Colombia no es un país exportador del fruto, la cadena del aguacate (Asocate) está orientando todos sus esfuerzos en producir mayores cantidades de Aguacate tipo Hass, que es el preferido por los mercados norteamericanos y Europeos. Esto abre grandes posibilidades a este proyecto, en cuanto al abastecimiento sostenible de materia prima.

4.2.2 Identificación de los factores de calidad

El aceite de aguacate obtenido se debe ajustar a los lineamientos establecidos en la norma NTC

241: “Grasas y aceites comestibles vegetales y animales” y la norma del codex para aceites vegetales especificados codex stan 210-1999. La ficha técnica del producto que se obtiene en este trabajo debe ser comparable a la de otros productos similares que se ofrecen en el mercado.

4.3 SELECCIÓN DE INGREDIENTES Y MICROESTRUCTURA

Los componentes utilizados en los ensayos preliminares para obtener aceite de aguacate son enzimas hidrolíticas tipo Pectinex Ultra, que son empleadas para romper la pared celular y dejar que las moléculas del aceite salgan con mayor facilidad. En este proceso se emplea ácido ascórbico (7.7%) y ácido fosfórico (42.5%) que son utilizados para llevar el pH de 7 a 5 y poder agregar las enzimas para que estas tengan efectividad. Se emplea cal para neutralizar y a la vez para blanquear el aceite retirándole impurezas y clorofila.

4.3.1 Selección de la Ruta Química

En el proceso elegido de maceración y centrifugación, se emplea también ácido ascórbico, sal y agua. El agua salada rompe la emulsión del aceite dentro de la pulpa, que es el estado natural en el que se encuentra.

4.3.2 Características deseadas del producto

TABLA 4.1
Características organolépticas

Textura	Oleosa y agradable al paladar
Color	Verde esmeralda
Sabor	Característico de aceite virgen con nota a fruta madura
Duración	18 meses almacenado en el envase original, temperatura ambiente y protegido de la luz.

TABLA 4.2. Características Fisicoquímicas

Análisis	Unidad	Especificación
Gravedad Específica	(25°C)	0,915 - 0,918
Índice de Refracción	(25°C)	1,4690 - 1,4700
Índice de Yodo	(Wijs)(gl2/100g)	82 - 84
Ácidos Grasos Libres	(%)	0,4 máx.
Índice de Peróxido	(meq O ₂ /kg)	10 máx.
Humedad y Volátiles	(%)	0,2 máx.

TABLA 4.3. Composición de Ácidos Grasos

Ácidos Grasos		Unidad	Especificación
C16:0	Ácido Palmítico	(%)	12,0 - 15,0
C16:1	Ácido Palmitoléico	(%)	4,0 - 5,0
C18:0	Ácido Esteárico	(%)	0,5 - 1,0
C18:1	Ácido Oleico	(%)	68,0 - 74,0
C18:2	Ácido Linoléico	(%)	9,0 - 10,0
C18:3	Ácido Linolénico	(%)	0,5 - 1,0

Como se puede observar en la tabla anterior, el aceite de aguacate tiene un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados, su acidez es 0.5 % máximo y 10 meqv/kg O₂ como valor de peróxido.

4.4 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESO

En general el proceso de extracción de aceite de aguacate es muy similar en proceso al aceite de oliva. Se obtiene de la pulpa del fruto del árbol del aguacate (*Persea americana*) por extracción mecánica, prensado y centrifugación.

Para la refinación del aceite crudo se centrifuga y se pasa a un proceso de blanqueo mediante la aplicación de arcilla o carbón, de esta forma se eliminan los minerales como el hierro, cobre y otras sustancias que el aceite contiene (González, 2005).

Por último, el aceite perfumado pasa a un proceso de enfriamiento para eliminar todas las ceras y

evitar que el aceite se ponga turbio y mantenga su brillantez a bajas temperaturas. Como resultado se obtiene un aceite refinado de primera calidad, en general se tiene especial cuidado con la variedad de la fruta, la manera de cosecharla, el proceso de extracción del aceite, transporte y almacenaje (González, 2005).

Tratamiento con microondas. La pasta de aguacate se extiende en un plato giratorio de un horno de microondas (Samsung, Co), formando una capa uniforme de 5 mm de espesor. Se calcula la potencia del horno por el método de Buffler 1992. Una vez calentada la muestra, el aceite se extrae por expresión o empleando hexano. Un diseño central compuesto (Design Expert 6.0) puede utilizarse para determinar el efecto de la cantidad de muestra y el tiempo de calentamiento en el rendimiento de extracción. Se calcula la concentración energética aplicada a las muestras con la ecuación $E = W t/m$, donde W es la potencia calculada del horno, t es el tiempo de exposición a las microondas y m es la masa de la pasta de aguacate (Ortiz, 2003).

Extracción en Soxhlet. Esta técnica de extracción de compuestos químicos se basa en la solubilidad de un compuesto en un determinado solvente. La cámara de extracción garantiza minimizar la cantidad de solvente utilizado para la extracción. Los solventes más usados son el hexano y la acetona.

Extracción en Soxhlet con hexano. El aceite se extrae de acuerdo al método [A. O. A. C. 963.15] que consiste en secar previamente la pasta de aguacate durante 4 horas a 105^a C y posteriormente se muele. Se lleva a la cámara Soxhlet y se adiciona el hexano. La extracción debe hacerse por un tiempo de 8 a 24 horas a temperatura de ebullición del solvente (evaporación), y luego el producto obtenido se lleva a un proceso de destilación al vacío con el objetivo de separar el solvente y obtener el aceite concentrado. La ventaja de esta técnica es que se logra la máxima extracción de aceite de la muestra, sin embargo los costos del proceso son altos, se debe utilizar un solvente inflamable y las altas temperaturas requeridas pueden afectar la calidad nutricional del producto (Arenas 2003).

Extracción en Soxhlet con acetona. El aceite de la pasta de aguacate se extrae empleando acetona como disolvente de acuerdo al procedimiento descrito por Curiel, en 1985 (Ortiz, 2003).

Extracción combinada de Microondas con hexano. La pasta de aguacate se calienta con microondas de acuerdo a las mejores condiciones obtenidas mediante el diseño de superficie de respuesta en cuanto a rendimiento de extracción del aceite. Una vez calentada la muestra se procede a su extracción con hexano, empleando el método de reflujo (Ortiz, 2003).

Extracción con enzimas hidrolíticas. El aceite de la pasta de aguacate se extrae empleando enzimas hidrolíticas durante un proceso de calentamiento y agitación. (Ortiz, 2003). Posteriormente se centrifuga para separar el aceite del agua, y se somete a un proceso de refinación.

Extracción por maceración. Esta técnica consiste en sumergir la muestra en un solvente con agitación continua durante 24 horas para permitir que los compuestos se solubilicen en el aceite, posteriormente se procede a filtrar y concentrar los productos. Sin embargo, la filtración se hace muy difícil, ya que bien sea en un filtro prensa, o en una prensa hidráulica, la pasta atraviesa el material filtrante (Arenas 2003).

Extracción por maceración y centrifugado. (Mejoramiento del proceso anterior). Se adiciona agua salada a la pulpa del aguacate, con el objetivo de romper la emulsión del aceite dentro de la pulpa, estado natural en el que se encuentra, con agitación (90-100 rpm) constante, se calienta durante una hora a 65^a C y se lleva a centrifugación, obteniéndose aceite en la parte superior de los recipientes (Arenas 2003).

4.4.1 Ensayos Preliminares

Se emprendieron los ensayos con extracción con enzimas hidrolíticas, debido a que las otras técnicas, exceptuando la maceración y centrifugación, presentan mayores desventajas desde el punto de vista técnico y económico, como se observó en la descripción de cada método.

El proceso de extracción del aceite fue el siguiente (Schwartz, 2007):

1. Se seleccionan aguacates en buen estado. (la fruta no puede estar demasiado verde ni demasiado madura, el mayor porcentaje de aceite se obtiene cuando el fruto está “de consumir”).
2. Se les extrae la pulpa.
3. Se macera en un mortero.
4. Se pesa la pasta resultante.
5. El pH de la pasta es de 7. Para que las enzimas puedan cumplir su función (romper la pared celular donde está contenida el aceite) se deben llevar a un pH de 5. Para esto de

adiciona ácido ascórbico al 7.7% y ácido fosfórico al 42.5%. Estos ácidos previenen la oxidación del aceite.

6. Se pone la pasta en un beaker de vidrio y se calienta en una plancha con agitación a una temperatura de 40°C (temperatura óptima para la activación de las enzimas).
7. Se adicionan las enzimas en una concentración de 0.06% p/p.
8. Se dejan en constante agitación (no más de 60 rpm) durante 1 hora.
9. Se prensa con tela muselina manualmente, dando como resultado una mezcla de aceite, agua y otros compuestos. Se lograron 3 fases: una verde aceitosa en la parte de arriba, seguida de una capa café clara mezclada con una beige. Estas fases se pueden observar en un embudo de separación.
10. El líquido se lleva a la centrifuga durante 10-15 minutos, mínimo a 4.000 rpm.

Con este método se obtuvo un aceite color verde aceituna, de olor característico a aceite vegetal. Sin embargo, el proceso de centrifugación es medianamente efectivo, ya que requiere un proceso posterior de filtración que se hace engorroso y poco efectivo.

Refinación del Aceite

Los altos niveles de clorofila en aceite de aguacate pueden tener efectos adversos en la estabilidad oxidativa del aceite cuando se almacena bajo la luz. Esto causa rápida formación de productos de oxidación a través del proceso de fotosíntesis en contacto con el oxígeno. Es por esto que se recomienda la refinación con cal y tonsil para la eliminación de la clorofila presente en el aceite.

Proceso sugerido por (Pérez y Uribe, 2008):

FIGURA 4.2

Pulpa de aguacate antes de la centrifugación



Se emplea Hidróxido de calcio al 1% en frío con agitación, con el fin de neutralizar y a la vez clarificar el aceite (Zapata y Uribe, 2008). El pH pasa de 5 a 7. Se lleva a la centrifuga por 10 minutos a 4.000 rpm y se obtiene un aceite de un tono verde amarilloso más traslúcido.

FIGURA 4.3

Aceite de aguacate tipo Gourmet



Con el fin de retirarle todo el pigmento verde (clorofila), se emplea TONSIL (arcilla diatomácea) al 1% a una temperatura de 40°C por 20 minutos. Se lleva posteriormente a la centrifuga por 10 minutos a 4.000 rpm, y se obtiene un aceite de color amarillo claro, tal como se muestra en la imagen.

Resultados de los ensayos preliminares

Se obtuvo un rendimiento de 7.63%, frente a un rendimiento de extracción del aceite del orden de un 8.0% (Schwartz, 2007), debido probablemente a

que las enzimas no se adicionaron a 40°C sino a 25°C, y no se dejaron por el tiempo suficiente en contacto con la pasta.

Adicionalmente el prensado manual resulta ser poco efectivo, pues la pasta queda húmeda.

El pH de la pasta es de 7, pero para que las enzimas hidrolíticas puedan activarse, es necesario llevarlo hasta 5.

La temperatura no debe sobrepasar los 40° C, debido a que a mayores temperaturas las enzimas hidrolíticas se ven afectadas y no desempeñarían el papel de romper la pared celular y extraer el aceite.

El proceso de prensado para obtener la torta de filtración y el aceite crudo más una solución acuosa, es el principal limitante porque no se cuenta con

un equipo apropiado, ya que los disponibles se adaptan a productos sólidos, no a pastas como en el caso del aguacate.

A pesar de que los resultados obtenidos son susceptibles de ser mejorados, se realizó un ensayo con el método de maceración con agua salada y centrifugación, el cual arrojó un rendimiento de extracción de 7.24%, que comparado con el proceso enzimático en el cual se obtuvo un rendimiento de 7.63%, resulta ser más atractivo desde el punto de vista económico.

Con base en la metodología descrita en las alternativas de proceso (maceración y centrifugado) y en el trabajo realizado por (Arenas, 2003), se planteó el siguiente diseño de experimentos factorial para determinar las mejores condiciones de operación para la obtención del aceite:

4.4.2 Diseño de Experimentos

TABLA 4.4. Factores y dominio experimental

FACTORES	DOMINIO EXPERIMENTAL	
	NIVEL(-)	Nivel (+)
X1: Concentración de sal	2%	4%
X2: Relación agua/pulpa	1 :1	2:1
X: tiempo de extracción	2 horas	3 horas

Variable de respuesta: La variable de respuesta elegida el rendimiento de la extracción, que está dado por la siguiente relación: gr de aceite obtenido/ x 100 gr de pulpa inicial

Unidad experimental: 169.8 gr de pulpa de aguacate Hass. para cada ensayo (1 aguacate).

Número de réplicas para cada ensayo: dos (2).

Nivel de significación (p): 0.05

Hipótesis:

Hipótesis nula (H_0); $\mu_A = \mu_B = \mu_C$ (Todas las medias son iguales, es decir no hay efecto del factor bajo estudio).

Hipótesis alterna (H_a); existe al menos una media diferente.

Las siguientes condiciones del proceso se dejaron fijas:

- Temperatura: 60°C; debido a que mayores temperaturas pueden causar pérdida de calidad del aceite.

- Velocidad de agitación: 100 rpm
- Velocidad de centrifugación: 4.000 rpm.

Procedimiento

Se toma la pulpa de aguacate y se le adiciona agua salada (ésta tiene como objeto romper la emulsión del aceite dentro de la pulpa, que es el estado natural en el que se encuentra), con agitación constante, se calienta durante un tiempo determinado y posteriormente se somete a un proceso de centrifugado, obteniéndose el aceite en la parte superior de los recipientes instalados en la centrifuga.

Esta técnica en nuestra opinión es la que presenta mayor factibilidad técnico económico en la obtención de aceites puesto que los insumos empleados son económicos y el producto no se somete a condiciones extremas.

Los parámetros del proceso deben ser ajustados (concentración de sal, relación agua pulpa, tiempo de calentamiento, velocidad de agitación, velocidad y tiempo de centrifugado). Para esto se realizó un diseño de experimentos tipo factorial escogiendo los parámetros más importantes para aumentar la eficiencia en la extracción del aceite que en este proyecto es lo más importante, y así no tener que realizar muchos ensayos innecesarios.

TABLA 4.5. Plan de Experimentación para el Diseño de Experimentos

Matriz de experimentos				Plan de experimentación			Respuesta (Rendimiento de extracción (%))	
	X1	X2	X3	Concentración de sal	Relación agua/pulpa	tiempo de extracción	Y1	Y2
1	-	--	-	2	1:1	2	14,6231	12,4794
2	+	-	-	4	1:1	2	14,2167	13,6985
3	-	+	-	2	2:1	2	13,7633	12,3439
4	+	+	-	4	2:1	2	13,1507	13,7044
5	-	-	+	2	1:1	3	14,8881	13,6631
6	+	-	+	4	1:1	3	13,9164	14,0989
7	-	+	+	2	2:1	3	12,8916	13,2055
8	+	+	+	4	2:1	3	13,0742	12,8933

Como se puede observar en la tabla 4.5 el mayor rendimiento de extracción se obtuvo con el tratamiento 5: concentración de sal: 2%, relación agua/pulpa, 1:1; y tiempo de extracción: 3 horas.

4.4.3 Análisis de Resultados

Análisis de Varianza

Se ingresan los datos a R:

Y>c(14.6231,14.2167,13.7633,13.1507,14.8881,13.9164,12.8916,13.0742, 12.4794,13.6985,12.3439,13.7044,13.6631,14.0989,13.2055,12.8433)

> A<-c(-1,1,-1,1,-1,1,-1,1,-1,1,-1,1)

> B<-c(-1,-1,1,1,-1,-1,1,1,-1,-1,1,1)

> C<-c(-1,-1,-1,-1,1,1,1,1,-1,-1,-1,1,1,1)

Donde:

A= concentración de sal. El mínimo valor de A (-1) es 2% con respecto al peso y el máximo valor (+1) es 4% respecto al peso.

B= relación agua- pulpa. El mínimo valor de B (-1) es una relación de 1-1 y el máximo valor (+1) es 2-1.

C= tiempo de agitación. El mínimo valor de C (-1) es 2 horas y el máximo valor (+1) es 3 horas.

Y1= porcentaje de eficiencia del aceite obtenido

Se realiza la regresión lineal

> reg<-lm(Y1~A+B+C)

Basados en esta regresión lineal se hace el análisis de varianza con la tabla ANOVA

> Anova(reg)

Analysis of Variance Table

Response: Y

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
A	1	0.0446	0.0446	0.1037	0.75297
B	1	2.7285	2.7285	6.3390	0.02702 *
C	1	0.0226	0.0226	0.0525	0.82269
Residuals	12	5.1652	0.4304		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

De la Anova se puede concluir que la variable que tiene mayor significancia en el modelo escogido es el B, lo que nos dice que la relación entre agua y pulpa es la variable que más se debe tener en cuenta y de la cual dependerá la eficiencia en la extracción del aceite. Las variables A y C no tienen influencia sobre el resultado de la eficiencia, lo que indica que pueden ser despreciables en el diseño de experimentos.

> summary(reg)

Call:

lm(formula = Y ~ A + B + C)

Residuals:

Min 1Q Median 3Q Max
-1.37824 -0.26600 -0.05434 0.33183 0.95532

Coefficients:

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 13.53507 0.16402 82.521 <2e-16 ***

A 0.05282 0.16402 0.322 0.753

B -0.41296 0.16402 -2.518 0.027 *

C 0.03757 0.16402 0.229 0.823

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.6561 on 12 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.3512, Adjusted R-squared: 0.189

F-statistic: 2.165 on 3 and 12 DF, p-value: 0.1452

De la regresión simultánea es posible confirmar lo que se había dicho con respecto a la Anova. También podemos sacar los valores de los B de la ecuación. Si nos fijamos en el R² podemos ver que es bastante bajo, lo que nos indica que el modelo que estamos utilizando como diseño de experimentos no es el más adecuado, esto también no lo confirma p ya que es mayor de 0.05.

La ecuación obtenida es

$$Y = B_0 + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3$$

$$Y = 13.53507 + 0.05282X - 0.41296X^2 + 0.03757X^3$$

Modelos Anidados

El modelo anidado que se obtiene del modelo principal es: $Y = B_0 + B_2X^2$

Esto surge ya que de la Tabla Anova es posible concluir que tanto el factor A y C no tienen significancia, entonces estas variables las podemos omitir de nuestro modelo para reducir costos de los ensayos.

Interacciones entre factores

> reg1<-lm(Y1~A*B*C)

> summary(reg1)

Call:

lm(formula = Y ~ A * B * C)

Residuals:

Min 1Q Median 3Q Max
 -1.072e+00 -2.635e-01 6.245e-17 2.635e-01
 1.072e+00

Coefficients:

Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
 (Intercept) 13.53507 0.18615 72.710 1.43e-12 ***
 A 0.05282 0.18615 0.284 0.7838
 B -0.41296 0.18615 -2.218 0.0573
 C 0.03757 0.18615 0.202 0.8451
 A:B 0.01822 0.18615 0.098 0.9244
 A:C -0.14226 0.18615 -0.764 0.4667
 B:C -0.15603 0.18615 -0.838 0.4263
 A:B:C 0.02632 0.18615 0.141 0.8911

Signif. Codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.342 on 8 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9171, Adjusted R-squared: 0.8445

F-statistic: 12.64 on 7 and 8 DF, p-value: 0.0009353

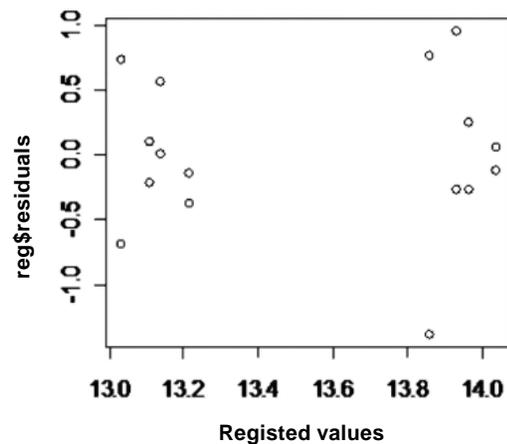
Residual standard error: 0.7446 on 8 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4428, Adjusted R-squared: -0.04467

F-statistic: 0.9084 on 7 and 8 DF, p-value: 0.5439

El resultado obtenido entre las interacciones de los factores es el esperado ya que si las variables A y C no tienen significancia alguna, tampoco la tendrán sus interacciones. Acá también podemos confirmar que la única variable que tiene importancia es la B.

GRÁFICA 4.9
Gráfica de Residuales



Para que se le pueda dar validez al análisis de varianza (ANOVA) se debe cumplir con lo siguiente supuestos:

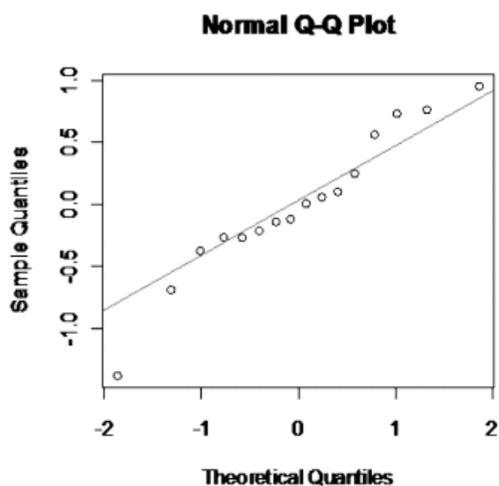
- 1) Normalidad
- 2) Igualdad de varianza de los tratamientos
- 3) Independencia

La gráfica 4.9 de los residuales es importante porque por medio de ésta se puede ver si los anteriores supuestos se cumplen para el modelo que estamos estudiando. Si estos supuestos se cumplen en el gráfico se puede ver que la distribución de los residuales está en forma aleatoria como se presenta en este caso, y no con una distribución de tendencia.

Gráfica de los cuantiles

En esta gráfica 4.10 se puede ver que los datos no se alejan mucho de la línea recta, lo que indica que tienen un comportamiento normal, y el análisis que se ha venido haciendo del Anova es el correcto ya que sus supuestos se están cumpliendo.

GRÁFICA 4.10
Representación de los cuantiles de la muestra vs teóricos



GRÁFICA 4.12
Histograma de datos del Aguacate

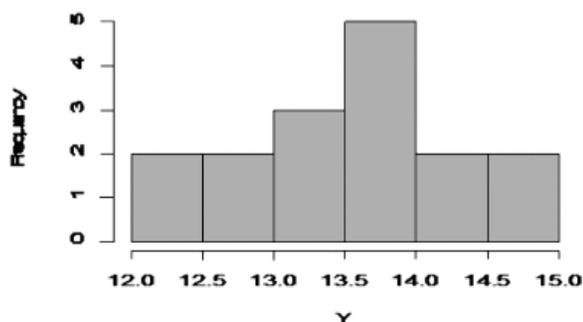
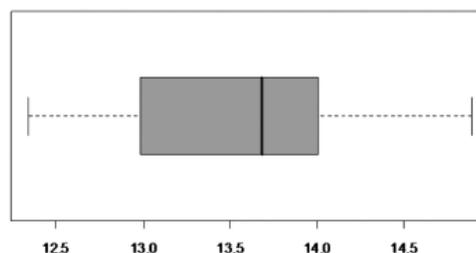


Diagrama de la Caja

GRÁFICA 4.13
Eficiencia del aceite de Aguacate

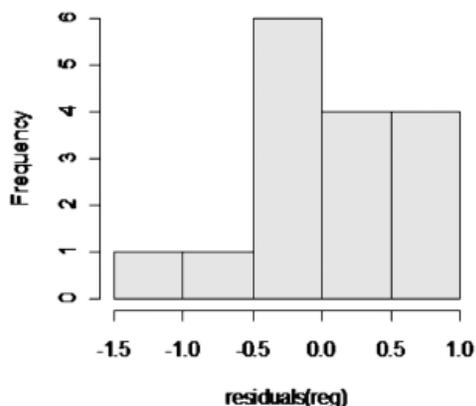
BOXPLOT DE DATOS DE EFICIENCIA DEL ACEITE DE AGUACATE



Histograma

Histograma de los residuales

GRÁFICA 4.11
Histograma de los Residuales



Histograma de los datos

De los histogramas (Gráficas 4.11 y 4.12) se puede concluir que la mayoría de los datos de eficiencia de la extracción del aceite de aguacate se encuentran entre un 13.5 y 14%, lo que da a entender que durante todo el experimento esta fue la eficiencia que más perduró seguida de un 13 y 13.5%.

En este diagrama, gráfica 4.13, se confirma lo que se concluyó del histograma, ya que la línea oscura que aparece en este grafico tiende a ubicarse entre los 13.5 y 14 %, el cual es el intervalo dentro del cual se movió la eficiencia de los ensayos.

4.5 EVALUACIÓN DEL PRODUCTO

El producto obtenido fue evaluado bajo los siguientes métodos analíticos:

- Índices físicos y químicos.
- Análisis de ácidos grasos.
- Análisis de compuestos volátiles.

4.5.1 Descripción del Producto obtenido

El aceite obtenido es un aceite de aguacate color amarillo claro, de color y olor parecido al aceite de oliva, libre de materias extrañas, rancidez, olores y sabores objetables.

Métodos Analíticos

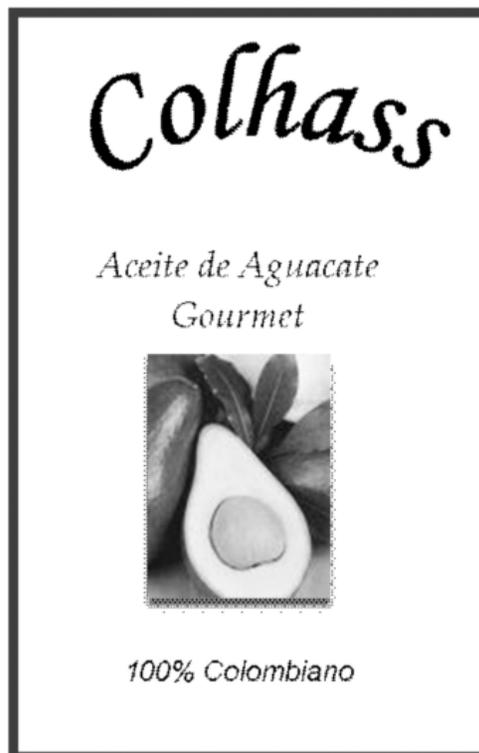
Índices Físicos y Químicos.

El aceite obtenido con el método de maceración centrifugación fue caracterizado mediante los siguientes índices [A. O. C. S. 1983]: peso específico (Cc 10a-25), cenizas (Ca 11-46), índice de refracción (Cc7-25), Índice de yodo (Cd 1-25), Índice de saponificación (Cd 3-25), Índice de acidez (Cd 3a-63), Índice de peróxidos (Cd8-53), Punto de humo (Cc 9b-52), Punto de congelación (Cc 14-59), viscosidad por el método indicado en el reómetro Brookfield y color (método visual).

Análisis de ácidos grasos

(A.O.C.S. Ce 1-62). Se utilizó un cromatógrafo de gases equipado con un detector de ionización de flama para separar los ácidos grasos metilados mediante una columna capilar, BPX 70, (60 m x 0.25 mm x 0.25 mm). Las temperaturas del inyector y del detector fueron 230 y 250°C, respectivamente. Se empleó un programa de temperatura de 120 a 240°C con una rampa de 4°C /min. El gas acarreador fue hidrógeno fluyendo a 10 mL /minuto y un split de 20:1. La identificación y cuantificación de enantiómeros cis o trans fue hecha por comparación con estándares de referencia.

Etiqueta del Producto



Análisis de compuestos volátiles. [Jelen y col., 2000]

Los compuestos volátiles del aceite obtenido, fueron extraídos usando una fibra con el siguiente procedimiento: 3 g de aceite fueron colocados en un vial de 10 mL y almacenados 24 h a 20 + °C la fibra fue colocada en el headspace y expuesto el aceite 30 minutos a 40°C. La fibra fue retractada con una aguja e inmediatamente colocada en el cromatógrafo de gases, acoplado a un espectrómetro de masas. La fibra fue desorbida durante 5 minutos en el puerto de inyección del cromatógrafo. Los compuestos volátiles fueron separados utilizando una columna, mediante un programa de temperatura de 50 a 250°C con un gradiente de 5°C / min. La temperatura del detector y del inyector fue de 250 y 200°C, respectivamente. El gas acarreador fue helio con un flujo de 1 mL / min. Una identificación tentativa se realizó utilizando una librería de espectrofotometría de masas.

4.5.2 Características finales del Producto

Tabla 4.6. Características organolépticas

Textura	Oleosa
Color	Amarillo claro
Sabor	Característico de aceite

**Tabla 4.7
Características Fisicoquímicas**

Análisis	Unidad	Especificación
Gravedad Específica	(25 ° C)	0.914
Índice de Refracción	(25 ° C)	1.452
Índice de Yodo	(Wijs) (gl2/100g)	-
Ácidos Grasos Libres	(%)	-
Índice de Peróxido	(meq O2/kg)	-
Humedad y Volátiles	(%)	-

Algunos datos fisicoquímicos y de la composición del ácido grasos están pendientes, y se espera

que el Laboratorio los entregue antes de finalizar el año para incluir los en este informe.

4.6 EVALUACIÓN DEL PROCESO

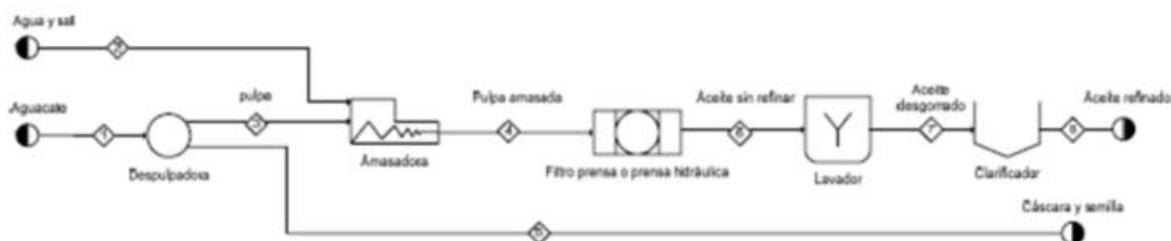
4.6.1 Diseño del Proceso

El proceso para obtener el aceite de aguacate tipo gourmet se inicia con la etapa de despulpado de la pepa del aguacate, para separar la pulpa de la semilla y la cáscara. Esta pulpa junto con agua y sal se agrega a la amasadora de la cual sale la pulpa amasada, que se hace pasar por un filtro prensa o una prensa hidráulica para obtener el aceite sin refinar. Este aceite se lava para quitarle la goma y se pasa al clarificador de donde se saca el aceite refinado.

La semilla del aguacate se puede usar para obtener un colorante café que sirve para teñir prendas textiles (Zuluaga, J. A. 2004). También se puede usar para fabricar un material aglomerado que puede sustituir la madera y otros aglomerados en diferentes aplicaciones (Zapata y Montoya, 2005).

Es posible que de la cáscara del aguacate se pueda obtener celulosa y otros materiales, lo cual representa una oportunidad de investigación.

**GRÁFICA 4.14
Diagrama de Flujo del Proceso para obtener Aceite de Aguacate tipo Gourmet**



4.6.2 Evaluación Técnica del Proceso

La aplicación de las enzimas como tecnología emergente para obtener el aceite de la pulpa de aguacate resultó ser poco exitosa, sin embargo es susceptible de ser mejorada, mediante una mejor aplicación de las enzimas.

El proceso para la producción de aceite de aguacate mediante maceración y centrifugación sigue pasos muy sencillos, pero muy precisos. En la primera etapa de la extracción, se cuida la calidad del aguacate fresco que llega. Después continúa con un proceso de selección, pelado y descorsado, continuando con un proceso de trituración para obtener la pulpa la cual se pone en agitación y calentamiento.

Para continuar con el proceso de producción de aceite de aguacate se debe pasar a un proceso de prensado para obtener la torta de filtración y el aceite crudo más una solución acuosa. Es aquí donde el proceso presenta la principal limitante porque no se cuenta con un equipo apropiado, ya que los disponibles se adaptan a productos sólidos, no a pastas como en el caso del aguacate.

Para la refinación del aceite se procede a la centrifugación el cual se encarga de extraer el aceite crudo separándolo de la solución acuosa en la que se encontraba, después se refina y se pasa a un proceso de blanqueo. Por último, el aceite perfumado pasa a un proceso de invernado para eliminar todas las ceras y que el aceite no se ponga turbio y mantenga su brillantez a bajas temperaturas. Como resultado se tiene un aceite refinado de primera calidad por que se tiene un especial cuidado con la variedad de la fruta y proceso de extracción del aceite.

4.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR

El análisis económico consiste en la estimación de los costos de fabricación a escala de laboratorio del aceite de aguacate, con el fin de conocer si es competitiva su producción desde este punto de vista.

4.7.1 Factores económicos del Proceso

TABLA 4.8. Costos de los insumos para 250 mL de aceite

Materia prima	Cantidad (gr)	Costo (Kg)	Costo (gr)	Costo	Proveedor
Aguacate (pulpa)	1760	1000	1	1760	Aguacates de Colombia
Sal	52	800	0,8	41,6	Éxito
Ácido ascórbico	135	5500	5,5	742,5	Bellchem
Agua	1760		0	0	
Total				2544,1	
Precio público (Costo materia prima X 3.5)*				8904,35	

* El factor 3.5 incluye costo de envase, etiqueta, costos de producción, mano de obra, y la utilidad (hasta del 60%).

Este factor ya está estandarizado para hallar el precio al público de los productos en general.

El costo de producción directo para producir 250 mL aceite de aguacate tipo gourmet es de \$8.900 aproximadamente.

4.7.2 Resultados económicos

La siguiente tabla (Table 4.9) muestra precios de diferentes aceites de oliva (competencia indirecta) y aguacate (competencia directa) disponibles en el mercado.

TABLA 4.9
Precios de marcas de aceites de oliva

Marca	Presentación	Precio (\$)
Marca ÉXITO	1L	19.700
Venturi	1L	17.980
Familia Zucardi	500 mL	21.900
Familia Zucardi	250 mL	12.900
Sublime	1L	31.150
Sublime	500 mL	18.670
Sublime	250 mL	9.780
G. Sensat	750 mL	30.250
G. Sensat	500 mL	21.500
Hacienda	1 L	16.900
Hacienda	500 mL	9.900
Hacienda	250 mL	7.100
Olivetto	500 mL	20.070
Olivetto	250 mL	16.700

Como se puede apreciar en la tabla 4.9, los precios de otros aceites de oliva en presentación de 250 mL tienen un valor que varía entre \$7100 y \$16.700, lo que indica que el precio del producto de este trabajo puede ser competitivo desde este punto de vista.

Marca	Presentación	Precio (\$)	Proveedor
Paltita	375 mL	28.900	Falabella
Casta Palta	250 mL	23.200	Pomona

Al comparar los costos de los aceites disponibles en el mercado con el aceite de aguacate, se observa

que este último podría llegar a ser competitiva, ya que los clientes estarán dispuestos a pagar un costo más elevado por el aceite de aguacate por sus beneficios de consumo y como complemento de una dieta baja en grasas saturadas.

4.8 CONCLUSIONES

De la encuesta realizada a 20 personas pertenecientes a almacenes de cadena, restaurantes y tiendas gourmet de la ciudad de Medellín, se puede concluir:

- La mayoría de las personas entrevistadas se mostraron interesadas en el producto, no sólo por ser innovador, sino porque proporciona innumerables beneficios para la salud.
- La mayoría de las personas compraría el producto, si presentara ventajas competitivas no sólo a nivel de precios, sino también en cuanto a propiedades organolépticas (textura, aroma, color, etc.).
- Se hace necesaria una muestra física del producto para entregarla en demostración.

El aceite de aguacate puede ser un excelente producto para incursionar en el mercado alimenticio de Colombia ya que el ofrecido en el mercado es importado de México o Chile a unos precios altos.

En Colombia todavía falta mucho por hacer en el tema de mercadeo del producto, puesto que el consumidor tiene que conocer la existencia de este aceite, todas sus cualidades y además, tiene que habituarse a consumirlo con regularidad.

Se logró un producto que conserva el aroma exquisito del aguacate. El color es entre amarillo y verde brillante, traslúcido, sin presencia de impurezas.

Las mejores condiciones para la extracción de aceite de aguacate mediante el proceso de maceración y centrifugación son: concentración

de sal: 2%, relación agua/pulpa:1:1; y tiempo de extracción: 3 horas. Con estas condiciones se obtiene un rendimiento de extracción de 14.27%.

Si la pulpa del aceite se deja lista (con la cantidad de agua y sal adecuada) durante 2 días al realizar la centrifugación, se obtiene mayor cantidad de aceite separado que si se realizara este procedimiento el mismo día, es decir, en cuanto mayor sea el tiempo de maceración, mayor será el rendimiento de la extracción.

Para obtener 250 mL de aceite de aguacate se necesitan 1.760 gr de pulpa de aguacate, eso sería más o menos 10 aguacates tipo Hass.

El proceso de prensado para obtener la torta y el aceite crudo más una solución acuosa es el principal limitante porque no se cuenta con un equipo apropiado, ya que los disponibles se adaptan a productos sólidos, no a pastas como en el caso del aguacate. Se recomienda realizar un proceso de deshidratación previo de la pasta de aguacate antes de llevarla al prensado, para evitar filtraciones de la misma por los poros de la tela filtrante. La tela filtrante recomendada es una tela filtrante No. 5005 de poliamida con diámetro de poro de 8 mm (Schwartz, 2007).

El precio aproximado del aceite es de \$8.900, el cual es un precio asequible y competitivo a nivel nacional, inclusive a nivel internacional. Este precio es el reflejo de un buen rendimiento del proceso desarrollado.

5.

BIBLIOGRAFÍA

Alimentatec. 2008. *Alimentatec: colorantes naturales*. AZTI-Tecnalia-Centro de Investigación Marina y Alimentaria.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47961999000300003&lng=es&nrm=iso ISSN 1028-4796 (18/04/2008)

<http://www.alimentatec.com/datos/documentos/2008110Tabla%201-Colorantes%20naturales.pdf> (10/05/2008)

Arango, C. 2004. *Diseño del proceso de extracción de colorante a partir del maíz morado (Zea mays L): Trabajo de Grado*. Medellín: Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Procesos.

Arenas, H. A., 2003. Implementación de técnicas destinadas al beneficio agroindustrial de la cosecha de Aguacate. Grupo interdisciplinario de estudios moleculares-GIEM-Universidad de Antioquia.

Beyra, Á., & León, M. 2004. *Estudios etnobotánicos de plantas en la Provincia de Camagüey (Cuba)*. Vol 61. No.2. . Madrid: Anales del Jardín Botánico de Madrid.

Bossoutrot, J. M., Garcia, F. 2002. Sodium percarbonate and process for producing it. US

Patent 6,340,452.

Brown, T. L., LeMay H.E., Bursten, B. 2004. *Química: La Ciencia Central*. México: Prentice Hall pp 885

Cáceres J., Jiménez J. Castañeda M. et al. 2004. *Estudio del mercado nacional de tintes, colorantes y pigmentos naturales. Programa biocomercio sostenible. Cali*. http://www.humboldt.org.co/obio/simbio/layoutBio.jsp?accion=CATEGORÍAsProducto¶metrosJsp=idCATEGORÍA=4*nombreCATEGORÍA=Colorantes%20naturales (10/03/2008)

Camarena Barrera, E. A. Jiménez García, S. N.; Sánchez Pérez, T. ; Villagómez Torres, A. F. 2007. Caracterización Sensorial y Físicoquímica de la Pulpa de Aguacate Variedad Hass. IX Congreso de ciencia de los alimentos y v foro de ciencia y tecnología de alimentos. Documento Web disponible en: www.respyn.uanl.mx/especiales/2007/ee-12-2007/documentos/CNCA-2007-51.pdf

Cooper, R. G. et al. 2004. *Winning at New Products: Accelerating the Process from Idea to Launch*. . Cambridge, Mass: Perseus Pub.

Correa, C. 2006. Prácticas no estructuradas: Desarrollo de competencias con una novedosa experiencia andragógica universitaria. En: Retos

en la Formación del Ingeniero para el año 2020. Bogotá: Acofi, Septiembre.

Cussler, E. L. y G. D. Moggride. 2001. Chemical Product Design. Cambridge: Cambridge University Press

Devia, P., J. E. 2007. Desarrollo de Nuevos Productos (DNP). Cuadernos de Investigación No. 59. Medellín: Universidad EAFIT.

Devia P., J. E. 2003. Planta Piloto para obtener colorante de la semilla del Achiote (*Bixa orellana*). Revista Universidad EAFIT, No. 131, pp 8-22.

Doetsch, W. et al. 2001. Method for producing Sodium Percarbonate, US Patent N° 6, 248, 707.

Echeverry, J., & Salazar, D. 2003. *Adaptación Tecnológica de un Proceso en escala planta piloto para obtener el colorante de la jagua (Genipa Americana): Trabajo de Grado*. Medellín: Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Procesos.

Elers, B., Hawkins, S y otros. 1989. Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5a. Ed. Vol 24 New York: Editorial VCH.

Fálder Rivero, Á., 2003. Enciclopedia de los Alimentos. Revista Distribución y Consumo. <http://www.mercasa.es/es/publicaciones/Dyc/sum70/pdf/enciclopedia.pdf> (15/07/2008)

Felder, R. M. 1996. Matters of Style. ASEE Prism, 6(4). pp. 18-23

Freund, J. E., Miller, I. y Miller, M. 2000. Estadística matemática con aplicaciones. México: Editorial Pearson Educación.

González, J., 2005. "Aceite de aguacate" [artículo Internet]. http://www.farmaciaserra.com/Revista/Articulo_Pr.asp?i=6s4df6a4129&Cl=5002&C=5002 17/07/ 2008

Gutiérrez, H.; De la Vara R. 2008. Análisis y Diseño de Experimentos. Editorial McGraw Hill. Segunda Edición. 2008 pp 482-500

Hill, W.y Kolb, K. (2000). Química para el nuevo milenio. 8ª. Ed. México: Prentice Hall. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962006000100008&Ing=es&nrm=iso ISSN 1028-4796 (20/02/2008).

INVIMA, 2008. Legislación alimentos. www.invima.gov.co (11/03/2008).

Jakob, H. et al 2007. Process for the preparation of coated granular sodium percarbonate, and product obtainable by the process. US Patent N°. 7, 241, 433.

Jakob, H. et al. 2005. Process for improving the internal stability of sodium percarbonate. US Patent N°. 6, 942, 845.

James, A. P. et al. 2001. Process for Producing Sodium Percarbonate. US Patent N° 6, 231, 828.

James, A. P. et al. 2002. Sodium percarbonate and process for producing sodium percarbonate. US Patent N° 6, 482, 385.

Jiménez, A. 2008. "Desarrollo de un Proceso, a escala de laboratorio, para la extracción de colorante a partir de la Flor del árbol de Majagua (*Hibiscus elatus*)" Trabajo de Grado de Ingeniería de Procesos. Medellín: Universidad EAFIT

Laitinen, A., Harris, E. 1982. Análisis químico: Texto avanzado y de referencia. México: Editorial Reverté 115 p.

Lopera, S. 2003. Proceso de extracción de colorante natural a partir del repollo morado (*Brassica Oleracea* var. *Rubra*). Trabajo de Grado de Ingeniería de Procesos. Medellín: Universidad EAFIT.

- López O. 2006. Influencia del uso de aditivos sobre el rendimiento del proceso de secado por aspersión de extracto acuoso de *Calendula officinalis* L. *Rev Cubana Plant Med.* [Online]. ene-abr 2006, vol.11, no. 1.
- Lugo, E. D. 2003. *Colorantes naturales, usos y perspectivas.* ÉNFASIS ALIMENTARIO No. 2. Abril-Mayo http://www.enfasispackaging.com/bofinal/fotos/Pdf_24.pdf (11/03/2008)
- Márquez, I., & Cuellar, A. 1999. Estudio fitoquímico de la especie *Hibiscus elatus* sw. Vol 33 No: 2. *Revista Cubana de Farmacia* . (Mayo-Agosto).
- Mathes, M. et al. 2001. Process for the production of Sodium Percarbonate. US Patent No. 6,228,342
- McKillop, S. 1995. Sodium perborate and sodium percarbonate: Cheap, safe and versatile oxidising agents for organic synthesis. [Science Direct Base de datos] *Tetrahedron*. Vol. 51; pp 6145-6166
- Milanés, R., Rodríguez, A., & González, D. 1999. *Farmacognosia de la droga «Flores de Majagua» (Hibiscus Elatus sw., Familia Malvaceae).* Farmacogeografía, farmacoetimología, farmacoeología y farmacotecnología. *Rev Cubana Plant Med.* [online]. sep.-dic. 1999, vol.4, no.3 p. 98-101.
- Mincomex 2008. Base de datos de productores. http://200.75.48.202/cgi-bin/pronal_cgi.sh/pnaweb86.html (10/04/2008)
- Norma del CODEX para aceites vegetales especificados codex stan 210-1999.
- Norma: NTC 241: "Grasas y aceites comestibles vegetales y animales". Norma Técnica Colombiana. Sexta actualización. 2002.
- Ortiz Moreno, A.; Dorantes Álvarez, L.; Galindez, J., Cutberto J., 2003. Desarrollo de un proceso para la obtención de aceite de aguacate de alta calidad empleando una tecnología emergente" Instituto Politécnico Nacional. http://www.pncta.com.mx/pages/pncta_investigaciones_03c.asp
- Pérez Muñoz, N. y Uribe Morón, J., 2008. Determinación de las condiciones óptimas para la producción de biodiesel a partir de aceite de higuera (ricinus communis) y aceite de palma mil pesos (oenocarpus bataua). Trabajo de grado (Ingeniero de Procesos). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Ingeniería de Procesos.
- Plata, L. G. 2007. "Colombia busca tener Tratados de Libre Comercio (TLC) con 54 naciones, antes del 2010", EL TIEMPO, Agosto 22
- Prieto, Patricia, 2007. Un nuevo aceite gourmet. *Revista la Opinión digital.* <http://www.laopinion.com/comida/?rkey=00071106190309968002> (10/07/2008)
- Proexport 2008. *Plan estratégico exportador a la unión europea.* www.proexport.gov.co/intellexport (11/03/2008)
- Revista Chapingo, 1999. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 7-18
- Schwartz, J.A. Olaeta, P. Undurraga y V. Costa, 2007. Mejoramiento del rendimiento de extracción del aceite de palta (aguacate). *Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate)* Viña Del Mar, Chile. ISBN No 978-956-17-0413-8.
- Seider, W. D., Seader, J. D. y Lewin, D. R. (2004). *Product and Process Design Principles: Synthesis, analysis and evaluation.* Nueva York: John Wiley & Sons
- Sharapin, N. 2000. *Fundamentos de tecnología de los productos fitoterapéuticos.* Bogotá: Programa Iberoamericano de ciencia y tecnología para el desarrollo.
- Sittig, M. 1968. *Inorganic Chemical and Metallurgical Process Encyclopedia.* Ann Arbor: Universidad de Michigan, pp 698.
- Swift, T. Kevin. 1999. "Where is the chemical industry going? *Business Economics*, Oct.; 34 (4), p. 32.

Turton, R., Bailie, R. C., Witing, W. B. and Shaeiwitz, J. A. 2002. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. 2nd Edition. New York: Prentice Hall.

Unimedios, 2004. Aceite virgen de aguacate, excelente sustituto del aceite de oliva. <http://unperiodico.unal.edu.co/ediciones/101/17.html> (23/06/2008).

Velásquez p, J. A. 2006. Identificación del aguacate como un rubro importante de grandes oportunidades comerciales, según los acuerdos de integración, los nuevos tratados comerciales y el comercio mundial globalizado. Secretaría de Productividad y Competitividad. Gobernación de Antioquia. <http://www.gobant.gov.co/organismos/...estudios/elaguacatecomounrubroimportantedegrandeso> (20/07/2008).

Weaber, P., & Francis, J. (sin fecha). *Hibiscus elatus Sw. Mahoe. SO-ITF-SM-14*. . New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 7 p.

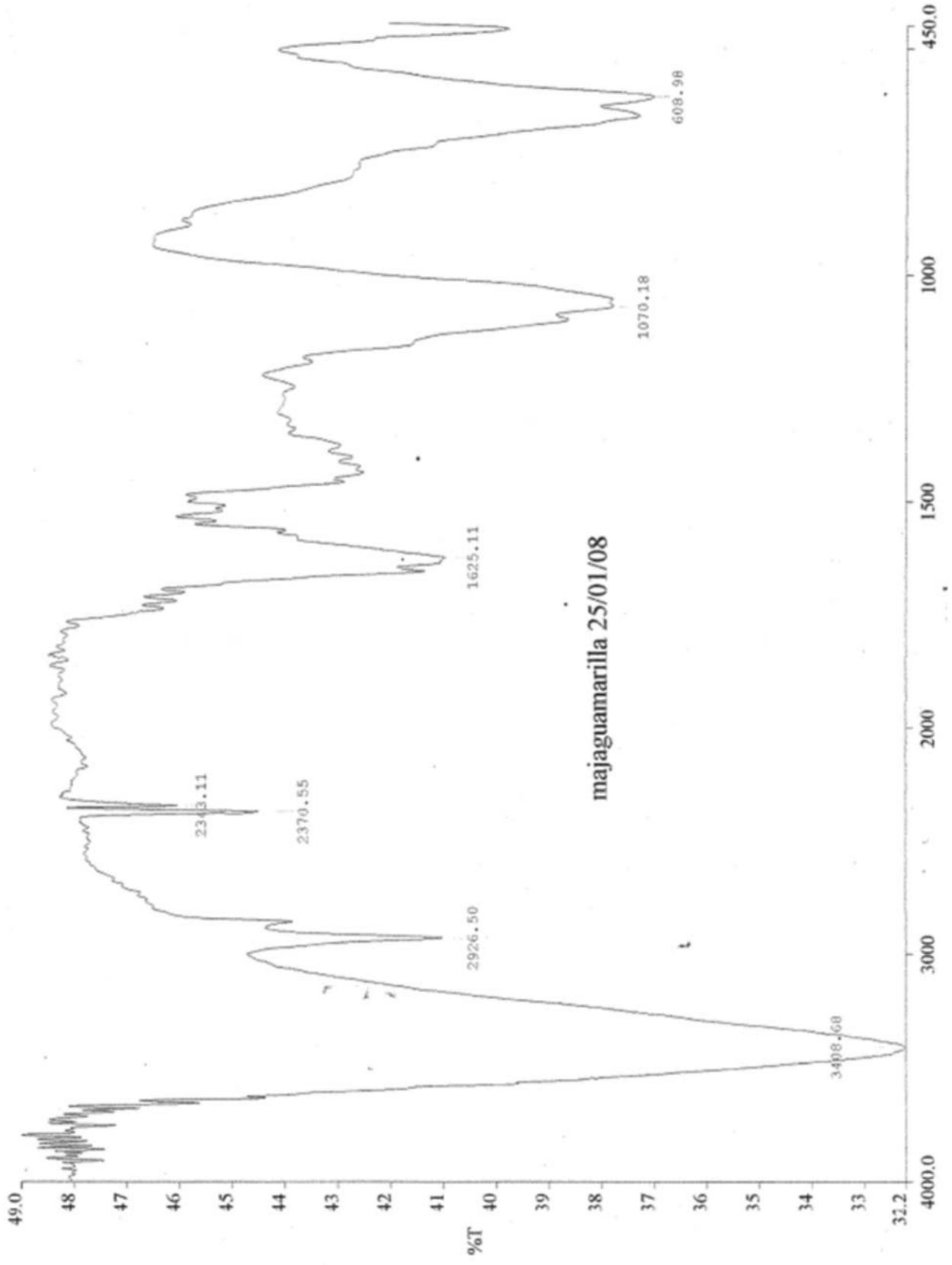
Wibowo, C. y Ng Ka. M. 2002. "Product-Centered Processing: Manufacture of Chemical-Based Consumer Products" AIChE Journal, 48, 6, p.1212

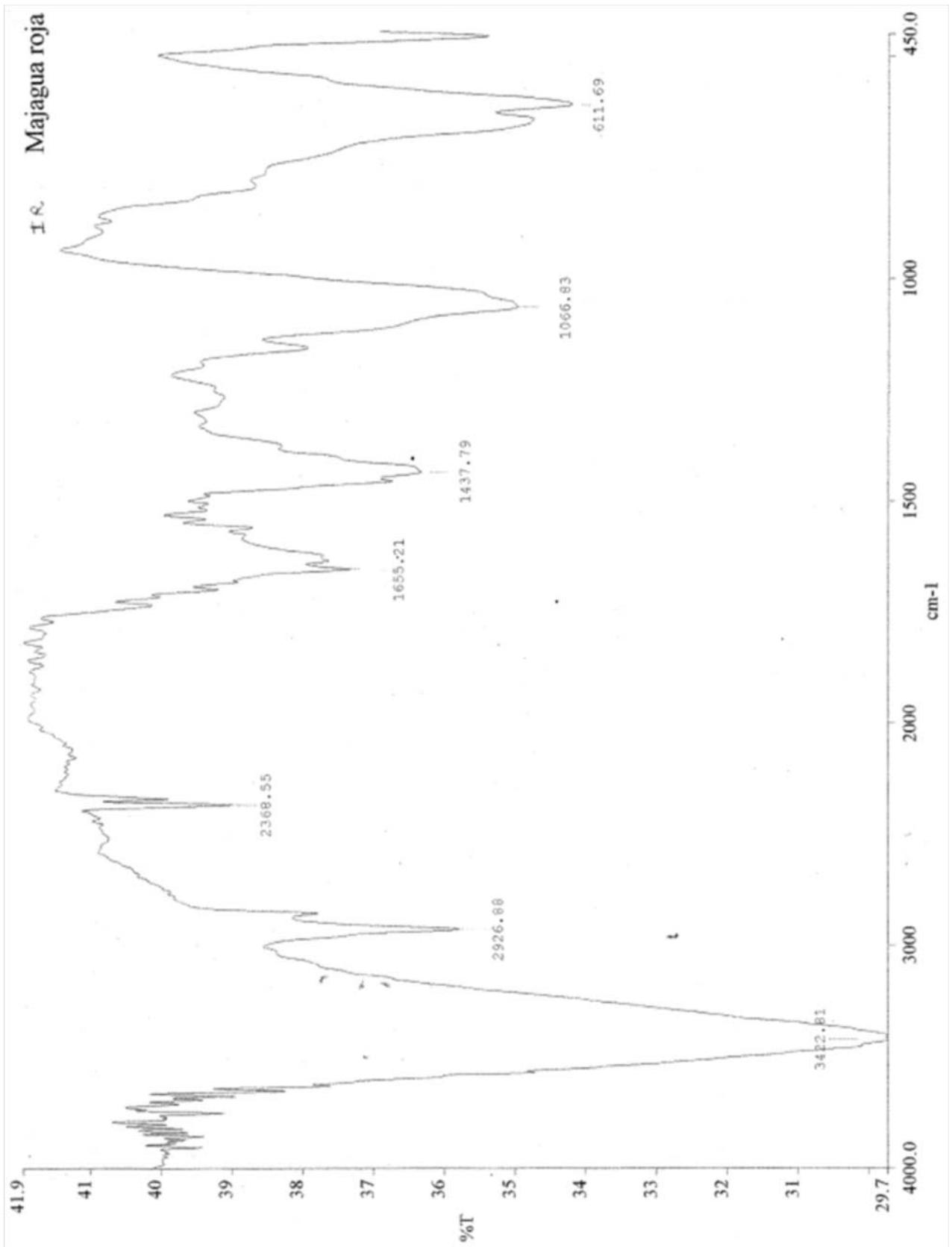
Zuluaga, J. A. 2004. Teñido de sustratos textiles con el colorante de la semilla del Aguacate y de la cáscara del plátano, a escala industrial. Trabajo de Grado. Ingeniería de Procesos. Medellín: Universidad EAFIT.

Zapata, M. P. y Montoya, D. R. 2005. Fabricación de material aglomerado con base en la semilla de Aguacate. Trabajo de Grado. Ingeniería de Procesos. Medellín: Universidad EAFIT.

ANEXO 1.

ESPECTROS INFRARROJOS DEL COLORANTE DE LA FLOR DE LA MAJAGUA

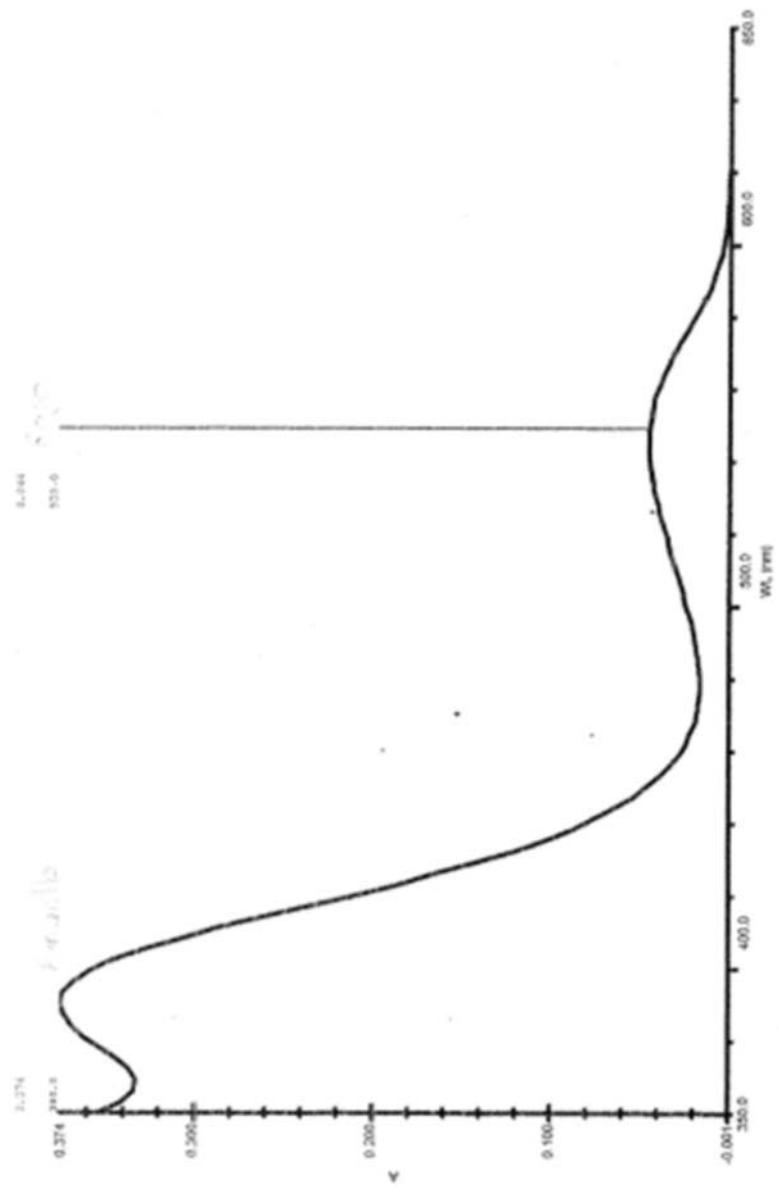




Application: SCANNING
Test Name: default
Data Name: default
Start Wavelength: 350.0
Stop Wavelength: 650.0

Ersoya 2

MAJUNGA ROJA PH=2



ANEXO 2.

TABLAS DE CÁLCULOS ECONÓMICOS RELACIONADOS CON EL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL COLORANTE A PARTIR DE LA FLOR DEL ÁRBOL DE LA MAJAGUA

Flujo de Producción del Proceso de Obtención del Colorante						
	ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
ESTADO DE RESULTADOS						
Ingresos		330.000.000	442.497.000	593.344.227	833.351.967	1.170.442.838
Costos Variables		114.133.500	102.670.370	113.183.816	123.574.091	134.918.192
MARGEN DE CONTRIBUCION		215.866.500	339.826.630	480.160.411	709.777.877	1.035.524.646
Costos Fijos		13.920.000	14.611.200	15.805.363	17.016.187	18.323.757
Gastos Fijos		46.120.000	54.777.938	65.663.976	80.968.866	101.431.265
Gastos Administrativos		169.632.000	178.113.600	187.019.280	205.721.208	226.293.329
Depreciación		3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145
Amortización Diferidos		1.000.000	1.000.000	1.000.000	0	0
UTILIDAD BRUTA		-18.778.645	87.350.747	206.698.647	402.098.471	685.503.149
Gastos de Ventas		33.000.000	44.249.700	59.334.423	83.335.197	117.044.284
UTILIDAD OAI		-51.778.645	43.101.047	147.364.224	318.763.275	568.458.866
Impuesto		-18.122.526	15.085.366	51.577.479	111.567.146	198.960.603
UTILIDAD DI		-33.656.119	28.015.680	95.786.746	207.196.128	369.498.263
Depreciación		3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145
Amortización Diferidos		1.000.000	1.000.000	1.000.000	0	0
Inversiones Fija	77.832.450	0	0	0	0	0
Inversiones Diferidas	30.875.622	8.869.459	12.744.050	20.068.262	28.079.056	0
FLUJO CAJA PROYECTO	108.708.000	-37.552.000	20.245.000	80.692.000	183.090.000	373.471.000

Depreciación

DEPRECIACION						
Maquinaria	3.243.345	3.243.345	3.243.345	3.243.345	3.243.345	3.243.345
Muebles y Enseres	350.000	350.000	350.000	350.000	350.000	350.000
Equipos de computo	379.800	379.800	379.800	379.800	379.800	379.800
TOTAL	3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145
AMORTIZACIÓN DIFERIDOS						
	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
TOTAL DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN	4.973.145	4.973.145	4.973.145	4.973.145	4.973.145	4.973.145

Pago de la deuda

FLUJO DE CAJA DE FINANCIACION						
Inversion inicial	108.708.072					
Financiación	70,00%	\$ 76.095.650				
Recursos Propios	30,00%	\$ 32.612.422				
1. CREDITO SISTEMA FINANCIERO		76.095.650				
Tasa	22,00%	E.A.				
Forma de Pago	Cuotas Anuales Iguales					
Tiempo	5 años					
Monto a Financiar		76.095.650				
Número de Cuotas		5				
Anualidad		26.573.053				
AMORTIZACIÓN CREDITO						
AÑO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5

AMORTIZACIÓN CREDITO						
AÑO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Saldo Inicial	76.095.650	76.095.650	66.263.641	54.268.589	39.634.626	21.781.191
Cuota	-	26.573.053	26.573.053	26.573.053	26.573.053	26.573.053
Intereses	-	16.741.043	14.578.001	11.939.090	8.719.618	4.791.862
Abono a Capital	-	9.832.010	11.995.052	14.633.963	17.853.435	21.781.191
Saldo Final	76.095.650	66.263.641	54.268.589	39.634.626	21.781.191	0
Ahorro Tributario	-	5.859.365	5.102.300	4.178.681	3.051.866	1.677.152
Flujo de Caja	76.095.650	-20.713.688	-21.470.752	-22.394.371	-23.521.187	-24.895.901
Tasa Real Credito	14,30%	E.A.				
FLUJO DE CAJA FINANCIACION						
AÑO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Credito Sist. Fro	76.095.650	-20.713.688	-21.470.752	-22.394.371	-23.521.187	-24.895.901
F.C. Financiacion	76.096.000	-20.714.000	-21.471.000	-22.394.000	-23.521.000	-24.896.000

Flujo de inversión neto

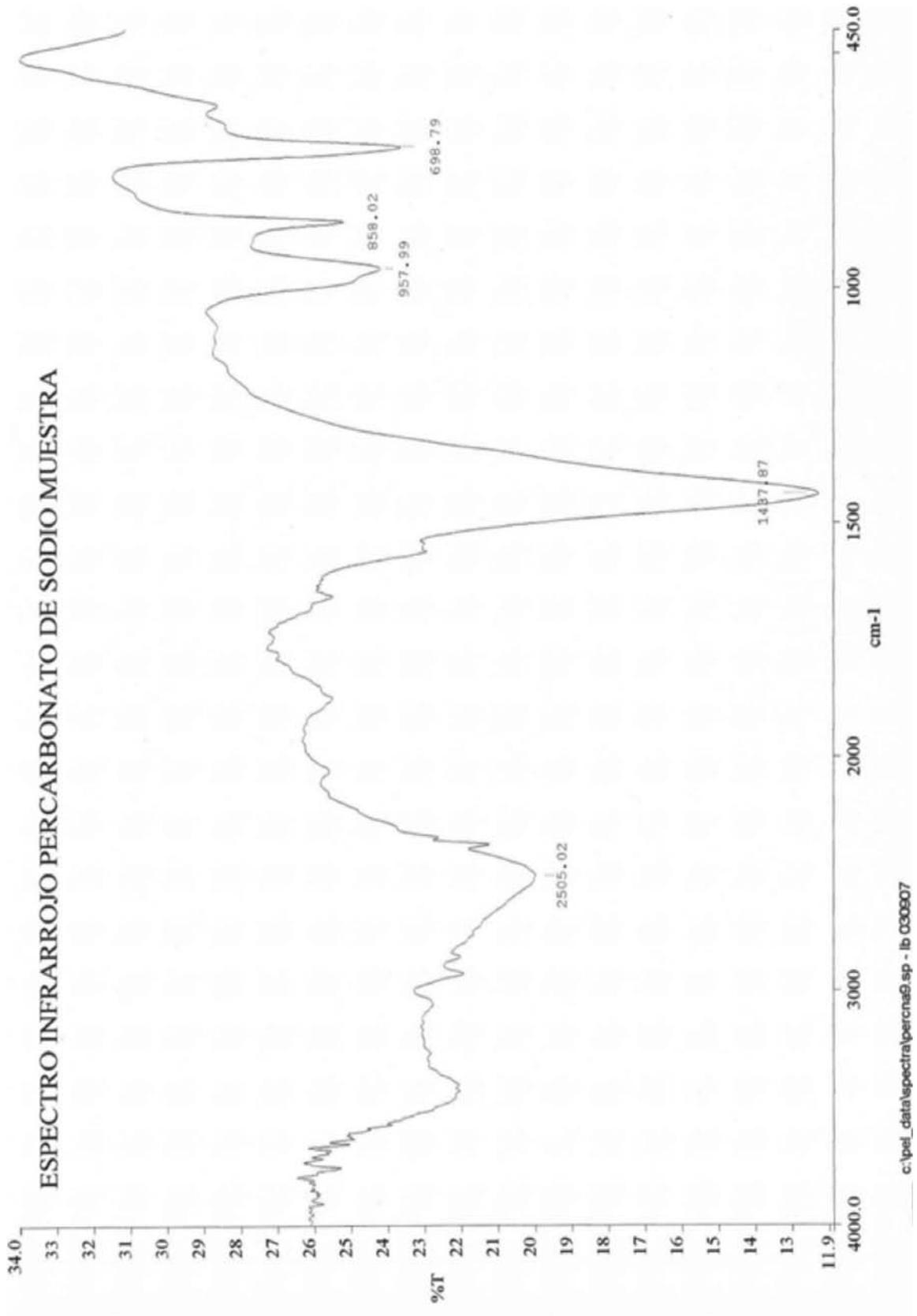
FLUJO DE CAJA DEL INVERSIONISTA						
AÑO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
F.C. Proyecto	-108.708.000	-37.552.000	20.245.000	80.692.000	183.090.000	373.471.000
F.C. Financiación	76.096.000	-20.714.000	-21.471.000	-22.394.000	-23.521.000	-24.896.000
F.C. Inversionista	-32.612.000	-58.266.000	-1.226.000	58.298.000	159.569.000	348.575.000
TIR INVERSIONISTA	61,41%	E.A.				
TMRR						
INVERSIONISTA						
VPN INVERSIONISTA	73.028.000					

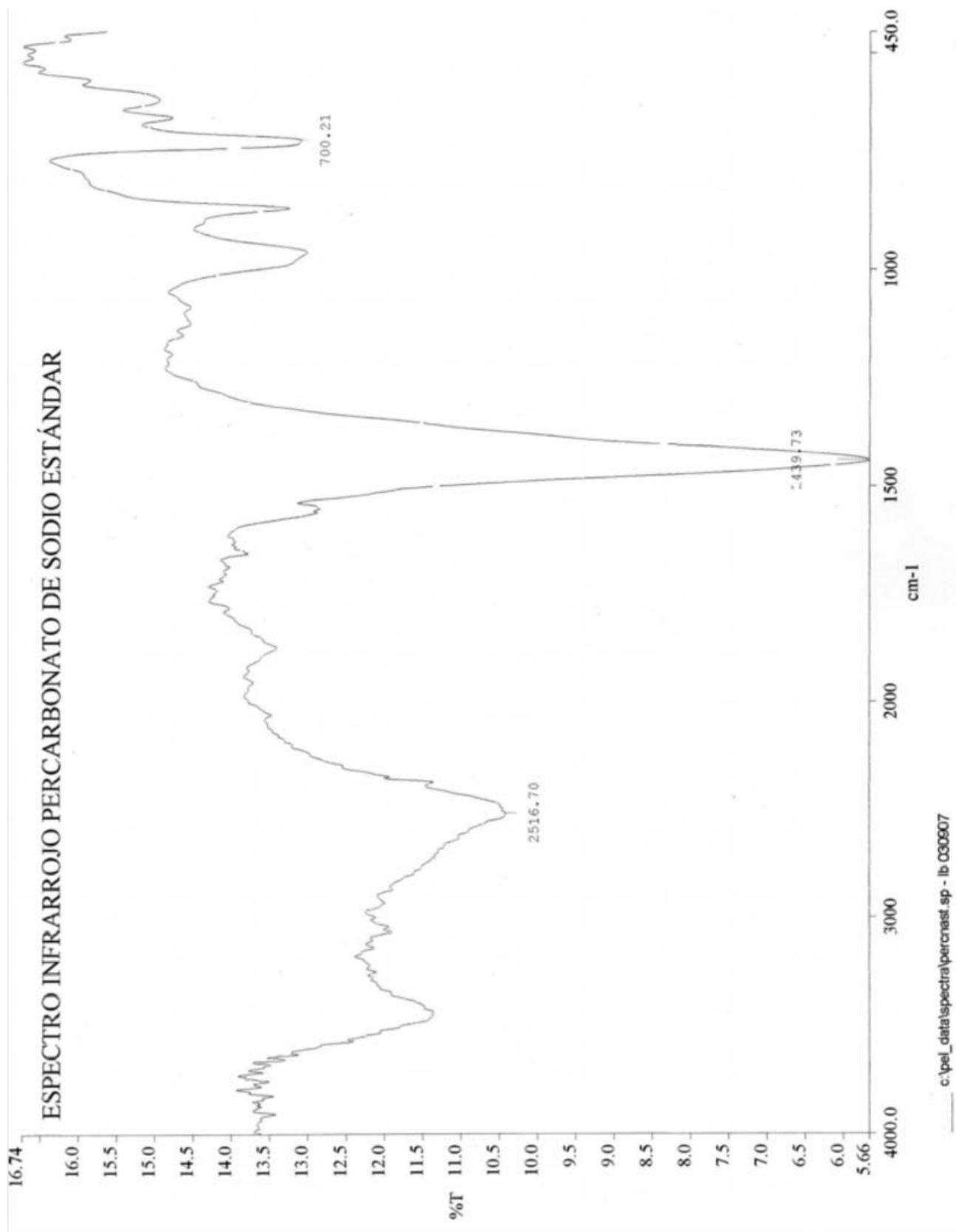
Estado de resultados

ESTADO DE RESULTADOS					
	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
Ingresos	330.000.000	442.497.000	593.344.227	833.351.967	1.170.442.838
Costos Variables	114.133.500	102.670.370	113.183.816	123.574.091	134.918.192
MARGEN DE CONTRIBUCION	215.866.500	339.826.630	480.160.411	709.777.877	1.035.524.646
Costos Fijos	13.920.000	14.611.200	15.805.363	17.016.187	18.323.757
Gastos Fijos	46.120.000	54.777.938	65.663.976	80.968.866	101.431.265
Gastos Administrativos	169.632.000	178.113.600	187.019.280	205.721.208	226.293.329
Depreciación	3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145	3.973.145
Amortización Diferidos	1.000.000	1.000.000	1.000.000	0	0
UTILIDAD BRUTA	-18.778.645	87.350.747	206.698.647	402.098.471	685.503.149

ANEXO 3.

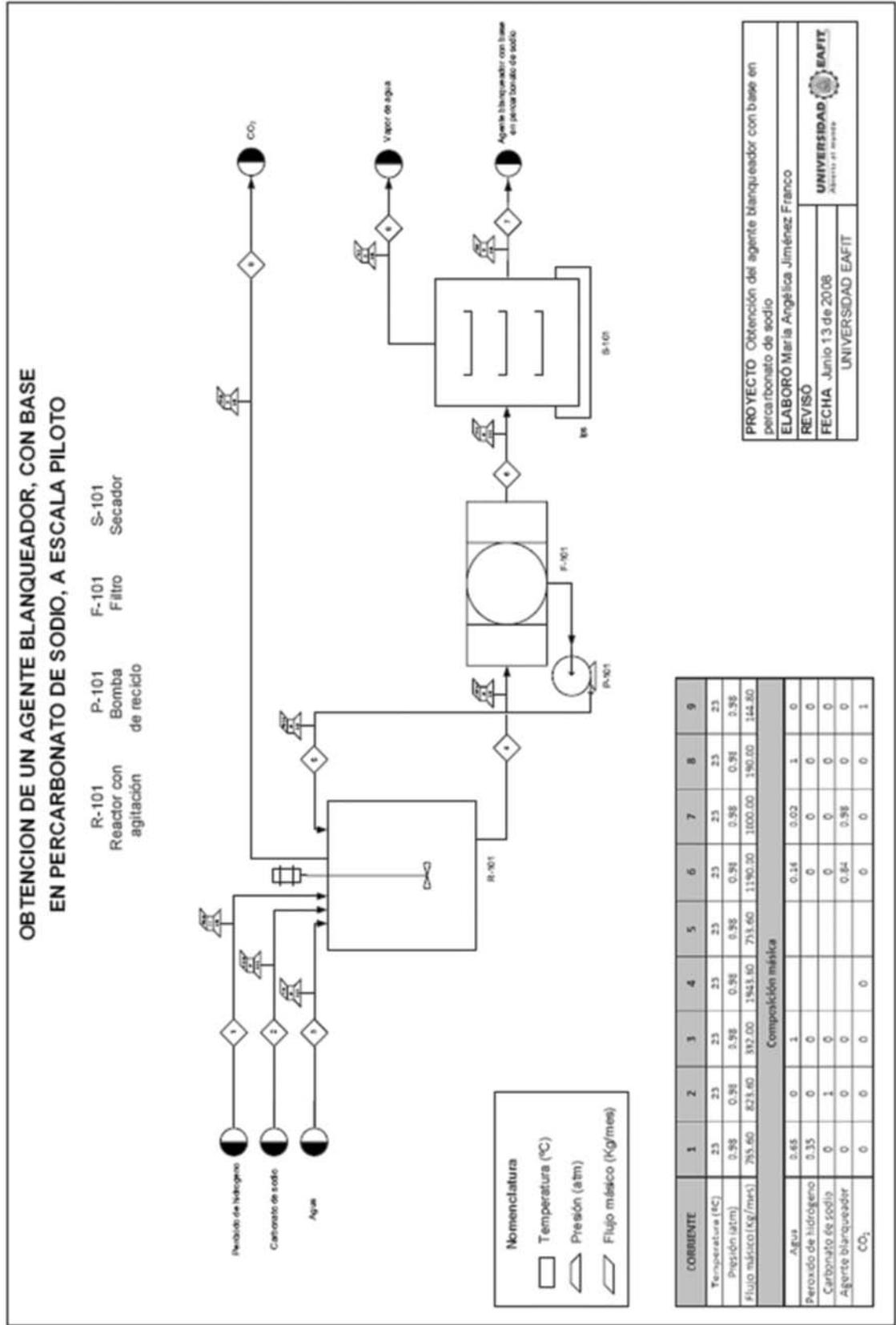
ESPECTROS INFRARROJO DEL PRODUCTO OBTENIDO EN EL LABORATORIO Y DEL PRECARBONATO DE SODIO COMERCIAL





ANEXO 4.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PERCARBONATO DE SODIO



ANEXO 5.

ESTADO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS PARA EL PROCESO DE LA OBTENCIÓN DE PERCARBONATO DE SODIO

ESTADO PERDIDAS Y GANANCIAS										
ANO	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
VENTAS	\$ 247,594,155	\$ 355,610,592	\$ 482,369,261	\$ 646,310,005	\$ 820,245,223	\$ 961,344,765	\$ 1,142,203,525	\$ 1,314,375,852	\$ 1,510,657,741	\$ 1,734,202,102
CMV (V)	\$ 140,048,025	\$ 192,397,445	\$ 261,759,259	\$ 338,191,645	\$ 413,182,033	\$ 483,078,055	\$ 542,027,822	\$ 608,615,494	\$ 677,620,500	\$ 750,697,541
M.B	\$ 107,545,053	\$ 150,212,243	\$ 228,826,973	\$ 312,148,061	\$ 407,033,190	\$ 509,265,690	\$ 596,275,903	\$ 707,435,358	\$ 833,037,661	\$ 975,834,562
M.C	\$ 107,545,053	\$ 150,212,243	\$ 228,826,973	\$ 312,148,061	\$ 407,033,190	\$ 509,265,690	\$ 596,275,903	\$ 707,435,358	\$ 833,037,661	\$ 975,834,562
COSTOS Y GASTOS FIJOS										
COSTOS FIJOS	\$ 25,019,040	\$ 26,321,877	\$ 27,660,033	\$ 29,017,161	\$ 30,403,893	\$ 31,814,668	\$ 33,246,197	\$ 34,702,821	\$ 36,177,007	\$ 37,669,372
GASTOS FIJOS	\$ 25,072,000	\$ 27,072,183	\$ 28,591,306	\$ 29,776,129	\$ 31,201,197	\$ 32,649,031	\$ 34,100,113	\$ 35,552,895	\$ 37,105,003	\$ 38,667,243
DEPRECIACION										
MAQUINARIA	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028
TOTAL DEP	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028	\$ 6,475,028
U.O	\$ 47,364,337	\$ 97,402,979	\$ 163,124,005	\$ 243,877,143	\$ 338,002,992	\$ 432,328,003	\$ 522,451,975	\$ 607,697,014	\$ 700,256,193	\$ 802,732,316
IMP. OPERAT. 33%	\$ 15,658,631	\$ 32,143,180	\$ 51,830,822	\$ 86,479,457	\$ 110,888,626	\$ 142,697,799	\$ 172,420,592	\$ 207,130,116	\$ 247,565,624	\$ 294,001,665
U.O01	\$ 31,747,590	\$ 65,260,398	\$ 109,293,684	\$ 163,397,668	\$ 225,121,677	\$ 289,656,844	\$ 360,029,423	\$ 432,538,920	\$ 502,672,629	\$ 586,130,653
FC OPERATIVO	\$ 41,223,134	\$ 74,736,624	\$ 118,795,711	\$ 172,873,313	\$ 234,597,304	\$ 296,134,472	\$ 365,662,051	\$ 430,071,827	\$ 512,149,297	\$ 607,608,261
INT. Y GTO. FINANCIERO	\$ 14,125,907	\$ 11,685,620	\$ 6,539,790	\$ 3,074,338						
UN	\$ 33,266,341	\$ 66,417,754	\$ 103,588,360	\$ 207,277,363	\$ 302,625,164	\$ 432,328,003	\$ 522,451,975	\$ 607,697,014	\$ 700,256,193	\$ 802,732,316
IMPUESTOS	\$ 10,075,253	\$ 26,187,859	\$ 50,663,510	\$ 78,301,538	\$ 109,686,294	\$ 142,697,799	\$ 172,420,592	\$ 207,130,116	\$ 247,565,624	\$ 294,001,665
UN	\$ 22,281,688	\$ 57,229,855	\$ 102,502,884	\$ 158,975,646	\$ 222,061,870	\$ 285,658,644	\$ 358,079,423	\$ 428,538,940	\$ 502,672,629	\$ 586,130,653

ANEXO 6.

ENCUESTAS PARA RESTAURANTES ACERCA DEL ACEITE DE AGUACATE TIPO GOURMET

FICHA TÉCNICA

ENCUESTA PARA RESTAURANTES ACEITE DE AGUACATE

1. ¿Alguna vez han utilizado aceite de aguacate tipo gourmet en sus comidas?
Si ____
No ____

2. ¿Cuánto sería lo máximo que el restaurante pagaría por 250 ml de aceite de aguacate?
10.000 ____
20.000 ____
30.000 ____
40.000 ____

3. ¿Compraría el aceite de aguacate, para preparar sus comidas en el restaurante?
Si ____
No ____

4. ¿Cree que el aceite de aguacate presenta más beneficios en la salud que el de oliva?
Si ____
No ____

5. ¿Cree que sus clientes les agradecerían la idea de saber que sus comidas están siendo preparadas con el aceite de aguacate en vez del de oliva?
Si ____
No ____
Indiferencia ____

6. ¿Compraría más fácil el aceite de aguacate que el de oliva?
Si ____
No ____

FICHA TÉCNICA

Pectinex® Ultra SP-L

Características del producto:

Clase de enzima Poligalacturonasa

Especificación del producto:

Límite Mínimo Límite Máximo Unidad

Polygalacturonase PGU 9500 /mL

Densidad aproximada (g/ml) 1.16 g/mL

Cuenta Total en Placa 50000 /g

Bacteria coliforme 30 /g

E.coli enteropatogénico Ninguno detectado /25g.

Salmonella Ninguno detectado /25g.

El producto cumple con las especificaciones de pureza recomendadas para enzimas de grado alimenticio

dadas por la Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) y por Food Chemical Codex (FCC).

Color Marrón

El color puede variar de lote a lote, sin que la intensidad del color sea indicativa de la actividad enzimática.

Forma física Líquido

Estabilizador Cloruro de potasio

Glicerol

Conservadores El producto está exento de conservadores.

Olor Ligero olor a fermentación.

Solubilidad El compuesto activo es fácilmente soluble en agua en todas las concentraciones de uso normal. Los compuestos de estandarización pueden causar turbidez en la solución.

Organismo de producción *Aspergillus aculeatus*

Producido mediante fermentación sumergida de un microorganismo. Se separa la proteína enzimática del organismo de producción y se purifica.

Actividad declarada 9500 PGU/ml

FICHA TÉCNICA (Continuación)

Pectinex® Ultra SP-L

Precauciones de seguridad y manejo:

Las enzimas son proteínas. La inhalación de polvo o aerosoles puede provocar sensibilización y causar reacciones alérgicas en personas propensas. Tras un contacto prolongado, algunas enzimas pueden irritar la piel, los ojos y las mucosas.

El producto puede crear aerosoles inhalables si se salpica o si se agita fuertemente.

El producto derramado puede secarse y generar polvo. Cualquier material derramado debe lavarse con agua abundante. Deben evitarse las salpicaduras. El material sobrante puede secarse y generar polvo. Úsense ropa, guantes adecuados y protección para los ojos y la cara según las indicaciones en la etiqueta de advertencia. Lávese toda la ropa manchada o salpicada.

Con todos los productos se suministra una ficha de seguridad.

Revise el Manual de Seguridad para mayor información sobre el manejo seguro del producto.

Envases: Revise la lista de envases estándar para mayor información.

Almacenamiento recomendado:

Utilizar preferentemente antes de Consumir antes de la fecha que aparece en la etiqueta o en el CoA según lo solicitado.

Temperatura de almacenamiento 0-10°C (32°F-50°F)

Condiciones de almacenamiento:

En envase intacto, en lugar seco y protegido de la luz solar. El producto ha sido formulado para mantener una estabilidad óptima.

Puede resultar necesario aumentar la dosificación si la enzima ha experimentado un almacenamiento prolongado o condiciones adversas, incluyendo temperatura o humedad alta.

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

Biocientíficos -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 Trefitz 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***

María Alejandra Calle

Departamento de Negocios Internacionales

Escuela de Administración

Cuaderno 58 – Diciembre 2008

***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

Cuaderno 64- Junio 2008

***PROYECTOS DE GRADO
INGENIERÍA DE SISTEMAS 2006-2007***

Ingeniería de Sistemas

Cuaderno 65- Junio 2008

***APLICACIÓN DE LA ELECTROQUÍMICA EN
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES***

Grupo de investigación en Procesos Ambientales y
Biotecnológicos

Línea de investigación: Procesos avanzados de
Oxidación

Cuaderno 66- Junio 2008

***COMPARATIVE ANALYSES OF POLICIES,
LEGAL BASIS AND REALITY OF SME
FINANCING IN CHINA AND COLOMBIA***

Marleny Cardona A., Isabel Cristina Montes G.,
Carlos Andrés Cano G., Bei Gao

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales –ESYT–
Departamento de Economía

Cuaderno 67- Septiembre 2008

***ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN
EL 2007***

Ingeniería Mecánica

Cuaderno 68- Septiembre 2008

***EL BANCO DE LAS OPORTUNIDADES
DE MEDELLÍN***

Caso de investigación

Ernesto Barrera Duque

Grupo de investigación la Gerencia en Colombia

Cuaderno 69- Noviembre 2008

***LAS DIMENSIONES DEL EMPRENDIMIENTO
EMPRESARIAL: LA EXPERIENCIA DE
LOS PROGRAMAS CULTURA E Y
FONDO EMPRENDER EN MEDELLÍN***

Marleny Cardona A., Luz Dinora Vera A.,
Juliana Tabares Quiroz

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales
–ESYT–

Departamento de Economía

Cuaderno 70- Diciembre 2008

***LA INSERCIÓN DE LA REPÚBLICA POPULAR
CHINA EN EL NORESTE ASIÁTICO DESDE
LOS AÑOS 1970: ¿HACIA UN NUEVO
REGIONALISMO?***

Informe Final Proyecto de investigación

Adriana Roldán Pérez, Melissa Eusse Giraldo,
Luz Elena Hoyos Ramírez y Carolina Duque Tobón

Cuaderno 71 - Marzo 2009
PROYECTOS DE GRADO 2008
Artículos
Escuela de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 72 - Abril 2009
*PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES,
REGISTROS Y EMPRENDIMIENTOS 2008*
Dirección de investigación y Docencia
Universidad EAFIT

Cuaderno 73 - Mayo 2009
EL CASO COCA NASA
*Análisis Jurídico de la política del Estado
Colombiano en materia de comercialización de
alimentos y bebidas derivados de hoja de coca
producidos por comunidades indígenas*
Nicolás Ceballos Bedoya
Grupo de investigación "Justicia y Conflicto"
Escuela de Derecho

Cuaderno 74 - Junio 2009
*ARTÍCULOS DE PROYECTO DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON
EN EL 2008*
Ingeniería Mecánica

Cuaderno 75 - Agosto 2009
*INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO DE
PRODUCTOS*
Jorge E. Devia Pineda, Elizabeth Ocampo C.,
Astrid Eliana Jiménez R., María Angélica Jiménez F.,
Sandra Milena Orrego L., Ana Lucía Orozco G.
Grupo de Investigación Desarrollo y Diseño de
Procesos y Productos -DDP-
Departamento de Ingeniería de Procesos