

**EVALUACIÓN A ESCALA DE PLANTA PILOTO
DEL PROCESO INDUSTRIAL
PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL
DE CARDAMOMO, BAJO LA FILOSOFÍA
“CERO EMISIONES”**

Investigadores:
EDISON GIL PAVAS Y
ALEX SÁEZ VEGA

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN PROCESOS AMBIENTALES Y BIOTECNOLÓGICOS.
-GIPAB-
Reconocido por COLCIENCIAS
UNIVERSIDAD EAFIT**

Comentarios: Favor dirigirlos a egil@eafit.edu.co

Está autorizada la reproducción total o parcial de este material siempre y cuando se cite la fuente.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
AUTOR	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	4
GENERALIDADES	4
LOCALIZACIÓN EN LA PLANTA	4
COMPOSICIÓN QUÍMICA	4
FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA COMPOSICIÓN Y RENDIMIENTO	5
MONOTERPENOIDES	6
CLASIFICACIÓN	6
APLICACIONES	6
OBTENCIÓN	7
PROPIEDADES	10
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS	11
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES	11
MÉTODOS DE SEPARACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES	11
SEMILLA DE CARDAMOMO	11
USOS Y PROPIEDADES	12
ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO	12
IMPORTANCIA CIENTÍFICA, TÉCNICA, ECONÓMICA Y SOCIAL	13
DISEÑO DEL EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES	13
DISEÑO Y MONTAJE	13
ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	14
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	14
ANÁLISIS DE MERCADO	15
DESARROLLO SOSTENIBLE	29
APLICACIONES DE LA METODOLOGÍA ZERI	30
ANÁLISIS ECONÓMICO	32
CONCLUSIONES	34
BIBLIOGRAFÍA	34
AGRADECIMIENTOS	35

RESUMEN

El presente estudio describe un método simple y económico para la extracción de aceites esenciales bajo la filosofía “Cero Emisiones”. Se presenta el diseño y funcionamiento del equipo. Los resultados mostraron la posibilidad de obtener un rendimiento de aceite esencial de cardamomo del 5%, dato que concuerda con el reportado por la literatura.

PALABRAS CLAVE

Destilación por arrastre con vapor, aceites esenciales, semillas de cardamomo.

ABSTRACT

This study describes a simple and economic method for the extraction of essential oils under zero emissions philosophy. The design and operation of the equipment is presented. The results showed the possibility of get a 5% yield of the essential oil of cardamom seeds, which is in agreement with the bibliography.

KEY WORDS

Steam distillation, essential oils, elletaria cardamomum.

AUTORES

EDISON GIL PAVAS

M.Sc En Ingeniería Química

Ingeniero Químico de la Universidad de Antioquia, Magíster en Ingeniería Química de la Universidad Nacional, Sede Bogotá.

Director del Grupo de Investigación en Procesos Ambientales y Biotecnológicos (GIPAB) de la Universidad EAFIT. Reconocido por COLCIENCIAS.

Docente Investigador, Departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT, además ha sido profesor de la Universidad de Antioquia en el departamento de Ingeniería Química y en la Escuela de Ingeniería de Antioquia.

Área de desempeño: Procesos Avanzados de Oxidación.

Asignaturas que imparte: Transferencia de Calor y Transferencia de masa.

ALEX A. SÁEZ VEGA M.Sc en Biotecnología

Químico de la Universidad de Antioquia, Magíster en Biotecnología de la Universidad Nacional, Sede Medellín.

Coordinador de la línea de Investigación en Biotecnología del GIPAB.

Docente Investigador, Departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT.

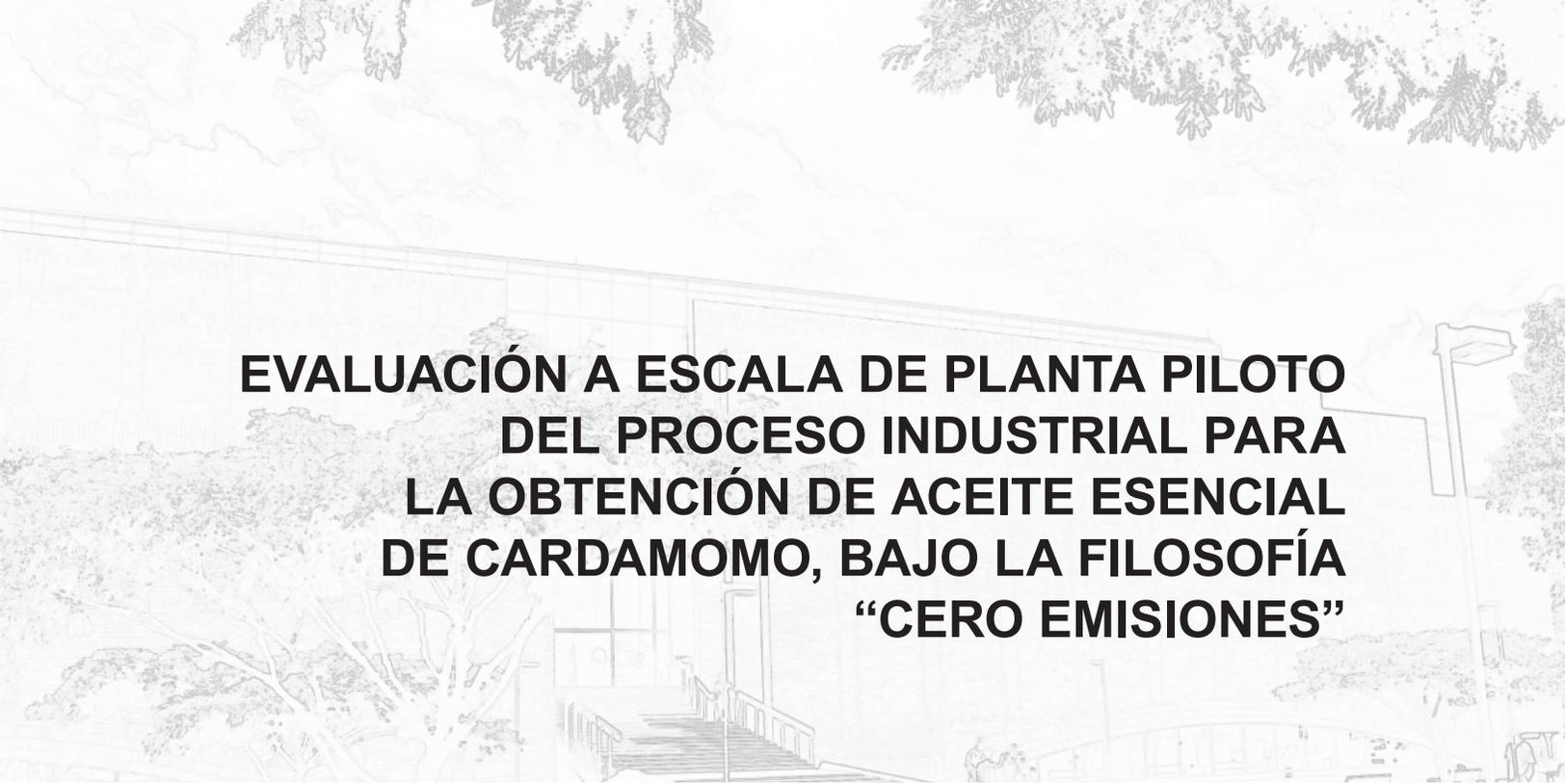
Área de desempeño: FERMENTACIONES en cultivo sumergido de Hongos.

Asignaturas que imparte: Procesos Celulares y Química orgánica.

Las hojas de vida y la del grupo se pueden consultar en la siguiente dirección de COLCIENCIAS:

<http://pamplonita.colciencias.gov.co:8081/scienti/html/index.html>.

e-mail: egil@eafit.edu.co, asaez@eafit.edu.co



EVALUACIÓN A ESCALA DE PLANTA PILOTO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO, BAJO LA FILOSOFÍA “CERO EMISIONES”

INTRODUCCIÓN

Los aceites esenciales son una mezcla de componentes volátiles, producto del metabolismo secundario de las plantas. Las esencias son mezclas más o menos complejas en cuya composición entra una porción de hidrocarburos de la serie polimetilénica del grupo de los terpenos que responden la fórmula $(C_5H_8)_n$ (monoterpenos, $n=2$; sesquiterpenos, $n=3$; diterpenos, $n=4$; etc.) junto con otros compuestos casi siempre oxigenados (alcoholes, éteres, ésteres, aldehídos y compuestos fenólicos) que son los que transmiten a los aceites esenciales el aroma que las caracteriza.

Se les llama aceites por su apariencia física y consistencia que es bastante parecida a los aceites grasos, pero se distinguen de ellos, porque al dejar caer unas gotas de esencia sobre el papel, éstas se volatilizan fácilmente sin dejar ninguna huella ni mancha grasosa.

Los aceites esenciales se encuentran muy difundidos en el reino vegetal, especialmente en las Fanerógamas, en las cuales se hallan repartidas en unas sesenta familias (Compuestas, Labiadas, Laureáceas, Mirtáceas, Rosáceas, Rutáceas, Umbelíferas, etc.). Se pueden encontrar localizados en

diferentes partes de la planta, por ejemplo: en las hojas (albahaca, mejorana, menta, romero, salvia, etc.), en las raíces (cálamo, valeriana, vetíver, etc.), en la corteza (canela, cedro, sándalo, etc.), en las flores (jazmín, rosa, ylang-ylang, etc.), en la cáscara del fruto (limón, mandarina, naranja, etc.), en los frutos (anís, cardamomo, eneldo, hinojo, etc.).

En ocasiones las diferentes partes de la misma planta suministran esencias distintas en su composición como, por ejemplo, los aceites extraídos de la raíz, el tallo y las hojas del hinojo. La canela de Ceilán encierra en la corteza una esencia rica en el aldehído cinámico, mientras que en sus hojas y en las raíces predominan el eugenol y el alcanfor, respectivamente. La cantidad y composición del aceite varía de una especie a otra, y dentro de los mismos géneros de la planta. [1, 2, 3]

El desarrollo del proyecto permitió profundizar en áreas de estudio como son la química orgánica, termodinámica, procesos químicos, optimización de procesos productivos, diseño y construcción de equipos, y desarrollar alternativas de uso y destino para los desechos. También estimuló la investigación por parte de los estudiantes de pregrado en el proyecto, en los cuales se aplica la filosofía cero emisiones.

De acuerdo con el diseño, al desarrollar este proceso de extracción de aceites esenciales de plantas nativas se plantea la posible diversificación de cultivos e incremento de la mano de obra en el campo. Además puede ofrecer un modelo de desarrollo autosostenible al aprovechar en su totalidad todos los desechos generados [4,5]. Se demuestra que la extracción de aceites esenciales, además de ser un proceso con tecnologías limpias, brinda la posibilidad de utilizar el 100% de los desechos generados en el proceso contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar a nivel de planta piloto el proceso industrial para la obtención del aceite esencial de cardamomo, bajo la filosofía de "cero emisiones", mediante la normalización del proceso productivo y la proposición de alternativas de aprovechamiento de los subproductos generados, en investigaciones posteriores se podrá extrapolar los resultados obtenidos a un gran número de plantas que posee el país que tienen este potencial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar, construir y operar una planta piloto para realizar extracciones del aceite esencial.
- Realizar extracciones a diferentes condiciones de proceso con el fin de analizar los datos de rendimiento en el aceite esencial.
- Evaluar la calidad y componentes del aceite esencial obtenido contra patrones reportados.
- Proponer alternativas para la utilización de los subproductos en los campos de cultivo de champiñones, biofertilizantes, abono orgánico, alimento para animales, aromaterapia, etc.

GENERALIDADES

LOCALIZACIÓN EN LA PLANTA

Los aceites esenciales se encuentran muy difundidos en el reino vegetal, especialmente en las Fanerógamas, en las cuales se hallan repartidas en unas sesenta familias (Compuestas, Labiadas, Laureáceas, Mirtáceas, Rosáceas, Rutáceas, Umbelíferas, etc.). Se pueden encontrar localizados en diferentes partes de la planta, por ejemplo: en las hojas (albahaca, mejorana, menta, romero, salvia, etc.), en las raíces (cálamo, valeriana, vetíver, etc.), en la corteza (canela, cedro, sándalo, etc.), en las flores (jazmín, rosa, ylang-ylang, etc.), en la cáscara del fruto (limón, mandarina, naranja, etc.), en los frutos (anís, cardamomo, eneldo, hinojo, etc.).

En ocasiones las diferentes partes de la misma planta suministran esencias distintas en su composición como, por ejemplo, los aceites extraídos de la raíz, el tallo y las hojas del hinojo. La canela de Ceilán encierra en la corteza una esencia rica en el aldehído cinámico, mientras que en sus hojas y en las raíces predominan el eugenol y el alcanfor, respectivamente. La cantidad y composición del aceite varía de una especie a otra, y dentro de los mismos géneros de la planta. [1]

COMPOSICIÓN QUÍMICA

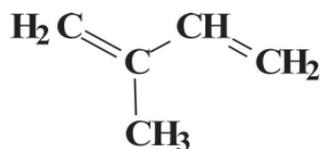
Actualmente se conocen más de doscientos aceites esenciales de apreciado valor comercial en los cuales se han identificado alrededor de cuatrocientos componentes químicos. Junto con los terpenos, se encuentran compuestos oxigenados como alcoholes libres (borneol, geraniol, linalol, nerol, mentol, terpineol, etc.) o en forma de ésteres, aldehídos (cinámico, benzaldehído, neral (citral, geranial), citronelal, salicílico, etc.), cetonas (alcanfor, carvona, fenchona, mentona, tuyona, etc.), fenoles (carvacrol, eugenol, isoeugenol, timol, etc.), ácidos libres (acético, benzoico, cianhídrico, cinámico, propiónico, valerianico, etc.) en pequeñas cantidades o en forma de ésteres o éteres. [1, 2]

FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA COMPOSICIÓN Y EL RENDIMIENTO DEL ACEITE ESENCIAL EN LA PLANTA

Muchos factores influyen sobre la composición del aceite esencial, entre ellos figuran:

- CONDICIONES GEOBOTANICAS DEL MEDIO (Clima, altitud, tipo de suelo, cantidad de lluvias, etc.).
- MÉTODO DE CULTIVO (Uso de fertilizantes, abono, pesticidas, otros químicos, etc.).
- ÉPOCA DE RECOLECCIÓN Y PARTE DE LA PLANTA (Raíz, tallo, hojas, semillas, etc.).
- MODO DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO DEL MATERIAL VEGETAL (Fresco, seco, fermentado, etc.).
- MÉTODO DE OBTENCIÓN DEL ACEITE (Destilación, maceración, prensado, extracción con solventes, extracción con fluidos supercriticos, etc.)
- EDAD DE LA PLANTA Y ESTADO FENOLÓGICO

Entre los compuestos mayoritarios de los aceites esenciales figuran los terpenoides. Estos compuestos son las sustancias más abundantes en el mundo de los productos naturales y están formados por varias unidades isoprénicas, cuyo número sirve como criterio para la clasificación de los terpenos:



ISOPRENO
(2-metilbutan-1,3-dieno, C_5H_8)

TABLA 1
CLASIFICACIÓN DE LOS TERPENOS

Nombre	Unidades isoprénicas	No. de átomos de carbono
Monoterpenos	2	C_{10}
Sesquiterpenos	3	C_{15}
Diterpenos	4	C_{20}
Sesterterpenos	5	C_{25}
Triterpenos	6	C_{30}
Carotenoides	8	C_{40}
Resinoides	n	$(\text{C}_5)_n$

Durante los últimos 60 años los terpenoides han sido objeto de intensa investigación, por ejemplo en el área de química orgánica: estudio de mecanismos de reacciones (carbocationes y sus reordenamientos); en el establecimiento de relaciones tipo “estructura molecular - color”, “estructura molecular - olor”; en el estudio de reactividad de sistemas cíclicos y en el análisis conformacional. En cuanto a su aplicación y comercialización los terpenoides han sido productos tradicionales en la industria perfumería, en la elaboración de cosméticos, jabones, fragancias, aromatizantes de alimentos, colorantes naturales y otros productos utilizados como desinfectantes, detergentes, preparaciones farmacéuticas y suplementos vitamínicos. Aunque algunos terpenoides se aíslan de las plantas, muchos de ellos se sintetizan industrialmente a gran escala.

Los terpenoides presentes en las plantas y otros organismos vivos que los metabolizan están involucrados en numerosos procesos bioquímicos cumpliendo diversas funciones como hormonas sexuales, feromonas de insectos, sustancias reguladoras de crecimiento, insecticidas naturales, pigmentos, receptores en el proceso de visión en los animales. La distribución de terpenoides puede servir como base de la identificación taxonómica de plantas y microorganismos. Su implicación directa en interacciones “planta - insecto” y “planta - planta” yace en el fundamento de la naciente ciencia “Química ecológica”. [1, 2, 3]

En los últimos años un gran número de terpenoides (más de 15000) que se encuentran en la naturaleza han sido aislados y caracterizados. Existen por lo menos 38 tipos diferentes de esqueletos de mono-terpenoides, alrededor de 200 de sesquiterpenoides y han sido descubiertas cerca de 500 moléculas individuales de iridoides, uno de los grupos de mono-terpenoides.

MONOTERPENOIDES

Los compuestos monoterpénicos forman parte de la mayoría de los aceites esenciales que se extraen de las flores, hojas y tallos de plantas aromáticas. Comúnmente se presentan como mezclas isoméricas muy complejas y de difícil separación. Solamente el alcanfor puede ser aislado en forma bastante pura a través de un proceso de cristalización de la esencia que lo contenga. [1, 2]

Los monoterpenoides de acuerdo con su estructura pueden ser divididos en los siguientes grupos:

- Monoterpenoides acíclicos
- Monoterpenoides monocíclicos
- Monoterpenoides bicíclicos

CLASIFICACIÓN

Los aceites esenciales se clasifican con base en diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza de los compuestos mayoritarios, entre otros.

De acuerdo con su consistencia las esencias se dividen en: fluidas, bálsamos y oleorresinas. **Esencias fluidas** son líquidos muy volátiles a temperatura ambiente. **Bálsamos** principalmente contienen sesquiterpenoides y su consistencia es más viscosa, son poco volátiles y propensos a polimerizarse (bálsamo de Copaiba, bálsamo de Perú, etc.). **Oleorresinas** tienen el aroma característico de las plantas y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (caucho, guttapercha, oleorresinas de páprika, de pimienta negra, de clavel, etc.) (Tabla 2).

Por su origen las esencias se clasifican como naturales, artificiales y sintéticas. **Las esencias naturales** se obtienen directamente de la planta y no se someten posteriormente a ninguna modificación físico-química o química, son costosas y variables en su composición. **Las esencias artificiales** se obtienen a través de los procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno de sus componentes, o son las mezclas de varias esencias naturales extraídas de distintas plantas, por ejemplo, la mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín enriquecida en linalol, o la esencia de anís enriquecida en anetol.

Las **esencias sintéticas** son mezclas de diversos productos obtenidos por medio de procesos químicos. Se utilizan ampliamente en la preparación de sustancias aromatizantes y saborizantes (esencias de vainilla, limón, fresa, etc.) (Tabla 2). [1]

Según la estructura química de los componentes mayoritarios que determinan el olor particular de los aceites, éstos se dividen en tres grupos principales:

APLICACIONES

Actualmente se han analizado más de tres mil aceites esenciales de un gran número de especies botánicas. Más de doscientos aceites tienen un alto valor comercial y se utilizan ampliamente en diferentes ramas de la industria (alimentos, jabones, ambientadores, perfumes, cosméticos, licores, insecticidas, fármacos, etc.).

Las esencias naturales son empleadas como aromatizantes (anís, cardamomo, clavo, menta, tomillo, naranja, etc.) y/o saborizantes (anís, eneldo, hinojo, limón, naranja, etc.), como ingredientes de algunos preparados farmacéuticos (caléndula, eucalipto, manzanilla, menta, salvia, etc.) o son base de perfumes y productos cosméticos finos (albahaca, geranio, jazmín, salvia, rosa, ylang-ylang, etc.), desodorantes, lociones, jabones líquidos (orégano, salvia, yerbabuena, etc.), pastas dentífricas (anís, eucalipto, menta, orégano, tomillo, etc.). Algunos

TABLA 2
CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	EJEMPLOS
CONSISTENCIA	FLUIDOS	Líquidos muy volátiles a temperatura ambiente: esencias de menta, salvia, limón, albahaca, etc.
	BÁLSAMOS	De consistencia espesa, poco volátiles y propensos a polimerizarse: bálsamo de copaiba, bálsamo de Perú, etc.
	OLEORRESINAS	Líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas: caucho, gutapercha, oleorresina de páprica, etc.
ORIGEN	NATURALES	Se obtienen directamente de la planta y no se someten posteriormente a ninguna modificación física o química: esencias de plantas aromáticas y flores.
	ARTIFICIALES	Se obtienen a través de los procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno de sus componentes principales, o son la mezcla de varias esencias naturales, por ejemplo, esencia de anís enriquecida con anetol.
	SINTÉTICAS	Mezclas de diversos productos químicos obtenidos sintéticamente.
NATURALEZA QUÍMICA DE LOS COMPONENTES MAYORITARIOS	MONOTERPENOIDES	Esencias de albahaca, salvia, menta, etc.
	SESQUITERPENOIDES	Esencias de ciprés, copaiba, jengibre, etc.
	COMPUESTOS OXIGENADOS	Esencias de geranio, jazmín, lavanda, ylang-ylang, etc.

de los aceites esenciales poseen propiedades insecticidas y fungicidas (ajenjo, citronella, ciprés, enebros, eucalipto, pino, etc.) y se utilizan en los preparados especiales.

El valor comercial y el uso del aceite esencial dependen básicamente de su composición química, la cual a su vez está condicionada por diversos factores de tipo botánico y agrícola. La composición

final del aceite depende fuertemente del método de extracción. [1]

OBTENCIÓN

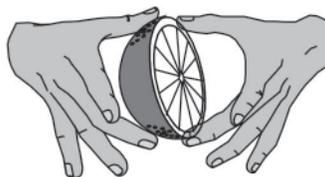
Para la obtención de esencias se emplean diferentes técnicas de extracción, cuya descripción comparativa aparece en la Tabla 3.

TABLA 3
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE
ACEITES ESENCIALES

MÉTODO DE EXTRACCIÓN	VENTAJAS	LIMITACIONES
DESTILACIÓN CON VAPOR	Método industrial y de laboratorio. Buenos rendimientos en aceite extraído. Obtención del aceite puro, libre de solvente. Bajo costo; tecnología no sofisticada.	Procesos colaterales como polimerización y resinificación de los terpenos; hidrólisis de ésteres; destrucción térmica de algunos componentes; no es aplicable a flores.
EXTRACCIÓN CON SOLVENTES VOLATILES (Éter de petróleo, pentano, hexano, etc.)	Uso de temperaturas bajas. No provoca termodestrucción ni alteración química de los componentes del aceite. Posibilidad de separación de componentes individuales.	Costoso, contaminante del ambiente, riesgo de incendio y explosión. Difícil separar completamente el solvente sin alterar la composición el aceite. Coextracción de ácidos grasos, ceras, pigmentos.
EXTRACCIÓN CON CO₂ SUPERCRITICO	Alto rendimiento. Ecológicamente limpio. Fácil retiro y reciclaje del solvente. Bajas temperaturas de extracción. No hay alteración química del aceite. Cambiando parámetros operacionales se puede variar la composición del aceite.	Ácidos grasos, pigmentos y ceras también pueden ser extraídos junto con el aceite esencial. ALTA INVERSIÓN INICIAL
MACERACIÓN CON SOLVENTES NO VOLATILES Y ENFLEURAGE	Uso de bajas temperaturas. Ausencia de destrucción térmica y deterioro químico de los componentes del aceite. Extracción de esencias de flores delicadas (rosa, jazmín, azahar, etc.)	Operación costosa, demorada. Poco rendimiento del aceite. Difícil separación del solvente (aceites vegetales)

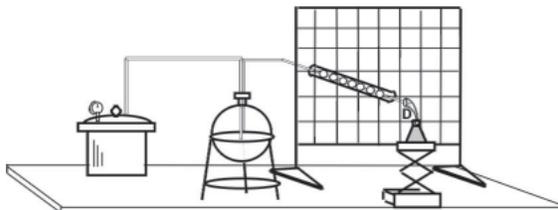
MÉTODOS DIRECTOS

- Compresión de cáscara
- Raspado de cáscara
- Lesiones mecánicas de la corteza



DESTILACIÓN

- Destilación con agua (hidrodestilación)
- Destilación con agua y vapor
- Destilación con vapor seco
- Destilación-extracción con solvente simultánea



EXTRACCIÓN (MACERACIÓN)

- Con solventes volátiles
- Con solventes no volátiles
- (aceites vegetales)**
- Con fluidos supercríticos



ENFLEURAGE

Adsorción sólido-líquido y/o sólido - gas.

Los métodos directos se aplican principalmente a los cítricos. La técnica de enfleurage se utiliza para extracción de sustancias volátiles de flores delicadas (jazmín, rosa), que a veces siguen metabolizando el aceite varios días después de su recolección.

Por su sencillez, bajo costo y altos rendimientos, el arrastre con vapor es la técnica más usada en la industria de aceites esenciales. Varias Farmacopeas la recomiendan como el método óptimo de obtención de esencias. Durante la extracción por arrastre con vapor pueden ocurrir procesos colaterales, tales como polimerización y resinificación de los terpenos, hidrólisis de ésteres y formación de algunas sustancias artefactos debido al empleo de temperaturas elevadas.

La técnica de extracción con solventes (éter de petróleo, pentano, éter etílico, etc.) permite obviar estos inconvenientes, al trabajar a temperaturas bajas sin alterar la composición "original" del aceite. Sin embargo, esta técnica es costosa, contaminante, presenta dificultades en aislamiento completo del solvente y además algunas sustancias como ácidos grasos, ceras, pigmentos y otros pueden ser coextraídos con el aceite. Frecuentemente la maceración con solventes orgánicos se usa particularmente para la obtención de los componentes individuales, y más a menudo, como etapa previa a la de arrastre con vapor.

El creciente interés por las extracciones utilizando fluidos supercríticos se desprende de diversas ventajas tanto económicas, como operacionales que esta técnica presenta sobre los métodos de extracción convencionales.

El método de extracción con fluidos supercríticos presenta múltiples ventajas (alto rendimiento, ecológicamente limpio, fácil retiro y reciclaje del solvente, bajas temperaturas de extracción, sin alteración química del aceite).

El método se basa en que los aceites esenciales son completamente miscibles con el CO₂ líquido y su solubilidad es variable dentro de la región supercrítica. La extracción con fluidos supercríticos presenta muchas opciones para lograr y controlar la selectividad deseada, la cual es bastante sensible a variaciones en la presión, la temperatura y el tipo de solvente (CO₂, Propano). El extracto queda prácticamente libre de solvente, pudiéndose recuperar éste con pérdidas mínimas por el calentamiento isobárico o descomposición isotérmica. La extracción de aceites con fluidos supercríticos ha cobrado especial interés durante la última década. Entre las "limitaciones" de esta técnica figura el alto costo en la inversión inicial. [1, 2, 3]

Un equipo de extracción para este método consta básicamente de un sistema de compresión, una cámara de extracción en donde se pone en contacto

a una temperatura controlada el material vegetal y el gas comprimido, una cámara de expansión donde el gas se separa para volver a la etapa inicial, dejando un extracto libre de solvente. Esta última característica cobra más importancia a medida que se hacen más exigentes las normas internacionales con respecto a la presencia de trazas de solventes orgánicos en artículos para el consumo humano. Por su disponibilidad y bajo costo, el CO₂ es el gas más empleado para este tipo de extracciones, las cuales encuentran creciente aplicación a nivel industrial, como lo atestigua el gran número de patentes otorgadas.

Como se mencionó anteriormente, la gran versatilidad de esta técnica surge de la solubilidad de una sustancia orgánica en un solvente, y está relacionada con la densidad de este último, que en el caso de los fluidos supercríticos esta puede variarse continuamente sobre un amplio rango a través de la temperatura y la presión. Esto permite “sintonizar” el solvente al problema en cuestión y llevar a cabo extracciones selectivas. Otras ventajas sobre las técnicas de extracción convencionales son bajo riesgo de incendio y la baja contaminación ambiental.

Dentro de las desventajas figuran el alto costo de la inversión inicial y la extracción preferencial de sustancias oxigenadas. Tal como en las otras técnicas de extracción es preciso optimizar las variables operacionales a fin de lograr mejores resultados, pero el número de variables es mayor (temperatura, presión, tiempo de contacto), así como su intervalo de valores. Para el caso del CO₂ las temperaturas y presiones de interés están por encima de 32°C y 82 atms, respectivamente.

En general, para describir más completamente la composición de los metabolitos secundarios volátiles y semivolátiles de plantas, es menester combinar varias técnicas de aislamiento. Así, los métodos de arrastre con vapor y destilación-extracción simultánea con solventes recuperan con mayor eficiencia monoterpenos y sus derivados oxigenados. La

extracción con solventes, asistida por la radiación de microondas y la extracción con fluidos supercríticos “enfocan” el aislamiento de metabolitos secundarios hacia productos más pesados: sesquiterpenoides, hidrocarburos mayores de C₂₀ y diterpenos, como se observa en la Salvia negra (*Lepechinia schiedeana*)

PROPIEDADES

Las esencias son generalmente líquidos a la temperatura ambiente, incoloros cuando se encuentran puras y poseen el aroma peculiar de las plantas de las cuales se extraen. Las esencias de ajeno y manzanilla presentan un color azul, debido a que contienen el hidrocarburo sesquiterpénico, chamazuleno.

Por exposición al aire los aceites esenciales se tornan espesos y se colorean intensamente. El olor de las esencias es extraordinariamente variable y constituye su característica más definida; son muy poco solubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos (acetona, éter, pentano, alcohol etílico concentrado, etc.). [1, 2]

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Historicamente, antes del uso de las técnicas modernas del análisis químico instrumental (GC/MS, RMN-H¹, RMN-C¹³, FT-IR, Cromatografía multidimensional, análisis “headspace”, etc.) la caracterización de aceites esenciales se limitaba a las siguientes determinaciones de propiedades “macroscópicas”:

- Solubilidad en varios solventes
- Punto (rango) de ebullición
- Gravedad específica
- Rotación óptica
- Índice de acidez
- Número de éter
- Contenido de alcoholes y cetonas, y otros.

La evaluación de estas constantes fisicoquímicas se realiza como un estudio preliminar con el

fin de descubrir adulteraciones de los aceites volátiles, sobre todo para los que poseen alto valor comercial.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES

Anteriormente, la identificación de los componentes individuales del aceite se convertía en una larga y “tiempo-consumible” operación, que incluía el aislamiento y purificación de éstos (Cromatografía de capa delgada, cromatografía en columna, destilación fraccionada, etc.) para su posterior determinación estructural por métodos químicos tradicionales (Obtención de derivados, reacciones de coloración, pruebas de grupos funcionales, etc.)

El estudio de diferentes variables (Cultivo, condiciones geobotánicas, métodos de extracción, época de recolección y partes de la planta, métodos de almacenamiento y manejo del material vegetal, edad, actividad biológica, propiedades organolépticas, etc.) que condicionan la CALIDAD y la APLICABILIDAD del aceite esencial y, por ende, su precio y aceptabilidad en el mercado, se realiza a través del establecimiento de la composición química del aceite.

MÉTODOS DE SEPARACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ACEITES ESENCIALES

- Métodos químicos de separación (Obtención de derivados)
- Destilación fraccionada
- Cromatografía de capa fina
- Cromatografía preparativa
- Cromatografía en columna
- Cromatografía líquida de alta eficiencia (Obtención de fracciones)
- Cromatografía de gases (Columnas capilares de alta eficiencia)

Los métodos modernos de análisis de aceites esenciales están fundamentados básicamente en la

cromatografía de gases capilar usando detectores convencionales, principalmente, de ionización en llama (FID) y selectivo de masas (MSD). [1]

SEMILLAS DE CARDAMOMO

El Cardamomo es originario de la India y de Sri Lanka, introducido a Centroamérica en 1910 donde se inicio la explotación comercial desde 1978. El nombre científico es “*Elletaria Cardamomum*” y su nombre común cardamomo.

El cardamomo pertenece a la familia de las Zingiberaceas, es planta perenne con raíces hasta 1.5 metros de largo y tallos de 2 a 4 metros de altura provenientes de rizomas de los que nacen los tallos florales con longitud aproximada de 90 cm., las flores aparecen en los nudos de los tallos, el fruto es una cápsula oblonga, terminado en un ápice corto, mide desde 0.5 a 2.5 cm. De largo, en su interior se encuentran las semillas que son pequeñas, piramidales de aproximadamente 4 mm. De largo por 3 mm de ancho, de color negro y cubiertas por un arilo delgado, dentro de cada cápsula se encuentran de 15 a 26 semillas. [2]

El contenido nutricional del cardamomo en 100 gramos de producto seco molido está en la Tabla 4.

El cultivo del cardamomo requiere de buena sombra para enriquecer el suelo, la flora y la fauna. Para ello se recurre a árboles propicios como, el nogal, cedro, guayacán, cámbulo, pizamo, pisquín, leucaena, higuera, guandúl y matarratón, de los cuales se aprovecha el recurso maderable. La altura a la cual se debe realizar el cultivo oscila entre los 1200 y 1800 metros, con precipitaciones ideales por encima de los 2000 mm-año, lo que equivale a bosque húmedo. Como fertilizante se emplea el humus de lombricultura y para combatir las plagas se emplean controladores biológicos que no producen contaminación, al final se obtiene un producto de buena calidad y sana, que es lo que demanda el mercado internacional.

TABLA 4
INFORMACION NUTRICIONAL
DEL CARDAMOMO

Proteína	10.8 g
Kilocalorías	311
Agua	8.3 g
Grasa total	6.7 g
Ácidos grasos saturados	0.88 g
Ácidos grasos monosaturados	0.87 g
Polinsaturados	0.43 g
Colesterol	0.0 g
Carbohidratos	52.5 g
Fibra cruda	11.3 g
Cenizas	5.5 g
Calcio	0.383 g
Fosforo (P)	0.178 g
Hierro (Fe)	0.014 g
Sodio (Na)	0.018 g
Potasio (K)	1.119 g
Magnesio (Mg)	0.229 g

El cardamomo se produce durante todo el año, para su recolección se realizan cortes cada dos meses. Un cultivo nuevo empieza a dar cosecha entre dos y tres años después de la siembra, con una vida productiva hasta de 12 años.

USOS Y PROPIEDADES

El cardamomo tiene varios usos, pero se utiliza de manera especial como aromatizante y condimento. Del fruto seco se extrae la esencia, los Arabes lo mezclan con café, azafrán, clavo y azúcar para preparar una bebida denominada Gahwa. En alimentación se usa para preparación de carnes, sopas, arroz y confitería, como conservador suave. El aceite de cardamomo se utiliza en la industria para aromatizar salsas, licores y cigarrillos. También en la industria cosmética se utiliza, en la preparación de perfumes. En la farmacéutica, como olorizante de drogas y en medicamentos que estimulan las funciones gastrointestinales. Al cardamomo se le atribuyen propiedades diuréticas, digestivas, estimulantes y afrodisiacas. [2, 3]

ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO

El aceite esencial de cardamomo se obtiene de la semilla empleando diferentes métodos, por extracción con fluidos supercríticos (CO₂), por extracción con solventes (hexano) o por arrastre con vapor. El método más simple y económico es por arrastre con vapor. En la siguiente tabla se muestran las composiciones de los diferentes constituyentes empleando los tres métodos, sin embargo es de anotar que la composición del aceite varía de acuerdo a la procedencia de la semilla: [4]

TABLA 5
CONSTITUYENTES DEL ACEITE DE CARDAMOMO

Constituyente %	MÉTODO DE EXTRACCIÓN		
	CO ₂	HEXANO	ARRASTRE
1,8 cineol	29.8	16.9	23.3
Sabineno	4.3	2.5	4.9
Limoneno	2.6	2.3	2.1
Alfa terpinil acetato	38.9	57.7	28.6
Alfa terpineol	4.7	5.3	2.7
Terpinen-4-ol	1.3	2.6	14
Linalool	2.5	2.2	3.8
Beta pineno	2.7	1.9	2.9
Linalil acetato	1.5	1.7	2.3

IMPORTANCIA CIENTÍFICA, TÉCNICA, ECONÓMICA Y SOCIAL

La Universidad EAFIT en su función de formar personas integrales cumple también una función social, mediante el apoyo a proyectos que contribuyan a la comunidad en un mejoramiento cultural, económico y social, es por esto que con éste proyecto se pretende mostrar la aplicación de la filosofía Cero Emisiones en la industria de los aceites esenciales, la cual tiene un desarrollo potencial en Colombia, porque se cuenta con excelentes condiciones para el cultivo de algunas especies, los conocimientos y la cultura agrícola necesaria para la producción en forma masiva de plantas destinadas a la obtención de aceites esenciales, especialmente de cardamomo aceite de gran valor comercial. [5, 6, 7]

El desarrollo del proyecto permitió profundizar en áreas de estudio como son la química orgánica, termodinámica, procesos químicos, optimización de procesos productivos, diseño y construcción de equipos, y desarrollar alternativas de uso para los desechos. También estimuló la investigación por parte de los estudiantes de pregrado en el proyecto, en los cuales se pueda aplicar la filosofía cero emisiones.

Los equipos y recursos utilizados en este proyecto pasarán posteriormente a servir de apoyo académico a los estudiantes de Ingeniería de Procesos.

De acuerdo con el diseño, al desarrollar este proceso de extracción de aceites esenciales de plantas nativas se plantea la posible diversificación de cultivos e incremento de la mano de obra en el campo. Además puede ofrecer un modelo de desarrollo autosostenible de “cero emisiones” al aprovechar en su totalidad todos los desechos generados. [8, 9] Se pretende demostrar que la extracción de aceite esencial además de ser un proceso con tecnologías limpias, brinda la posibilidad de utilizar el 100% de los desechos generados en el proceso contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

DISEÑO DEL EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES A ESCALA PILOTO

DISEÑO Y MONTAJE

Los aceites esenciales se pueden obtener básicamente por cuatro métodos, a saber:

- a. Destilación con vapor o arrastre con vapor.
- b. Extracción con solventes.
- c. Extracción con fluidos supercríticos.
- d. Extracción en forma mecánica.

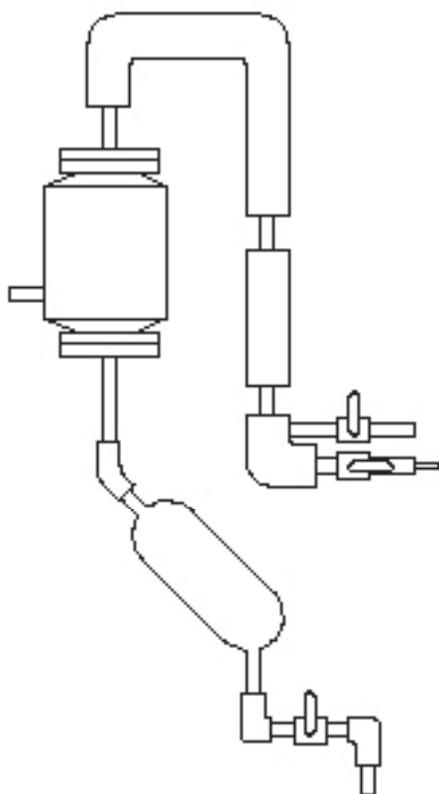
El método elegido en este trabajo fue el de arrastre con vapor, debido a que es una práctica simple, económica y versátil. Para tal decisión nos apoyamos en ensayos preliminares realizados a escala de laboratorio y de trabajos relacionados encontrados en la literatura. [10]

Para el diseño se simuló cada una de las variables termodinámicas involucradas en el proceso, como son: temperatura, presión, composición, flujos y tiempo de extracción. En la figura 1. Se muestra el equipo, el cual consiste de una cámara, parte superior del esquema, donde se deposita el material vegetal, la cámara está recubierta por un material aislante, para evitar pérdidas térmicas y por razones de seguridad. Por la tubería de la parte inferior de la cámara entra el vapor saturado y por la parte superior sale el aceite esencial en su estado de vapor, el cual ingresa a un intercambiador de calor de tubos y coraza, donde es refrigerado con agua y pasa del estado de vapor al estado líquido. El aceite esencial líquido es recogido en un recipiente y posteriormente sometido a un proceso de separación, el cual se efectúa en un embudo de separación, luego el aceite es filtrado, con el fin de eliminar las partículas en suspensión y secado, empleando algún agente secante para eliminar la humedad que aún prevalece en el aceite. Finalmente se envasa el aceite. Es muy importante tener las siguientes precauciones antes de almacenar un aceite esencial:

- a. El aceite debe ser clarificado y completamente seco.
- b. El aceite debe ser almacenado en recipientes de vidrio protegidos de la luz y del aire.

Teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores, el aceite se almacenó en recipientes de vidrio color ámbar y se refrigeró. [11]

FIGURA 1
EQUIPO DE EXTRACCIÓN DE
ACEITES ESENCIALES



ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Para el aseguramiento del equipo se procedió de acuerdo a las normas que se rigen dentro de la universidad y del centro de laboratorios. El aseguramiento de calidad y de funcionamiento se puede ver en el anexo 1.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

De acuerdo al diseño del equipo para la obtención de aceites esenciales, ensayos preliminares realizados en el mismo y considerando factores de degradación térmica, se seleccionaron las condiciones de operación, temperatura, presión, flujos y tiempo de duración del proceso de extracción.

El material empleado para la extracción del aceite fueron semillas de cardamomo, las que previamente se molían, con el fin de incrementar el área superficial del material y por ende la transferencia de masa, posteriormente éste material se deposita en talegas de tela porosa, las cuales se colocan en la cámara de extracción. La cámara se sella por la parte superior y se procede a realizar la extracción. Las condiciones de operación fueron las siguientes:

- Presión: 12 psig
- Temperatura: 114.89 °C
- Tiempo de extracción: 60 minutos
- Flujo de agua de refrigeración: 0.4437 m³/hr
- Flujo de vapor: 0.040 m³/hr
- Flujo de ACPM: 6 galones/hr
- Cantidad de semillas de cardamomo: 5 kg

El suministro de vapor es realizado con una caldera tipo pirotubular de 20 BHP de potencia, con una capacidad de 690 libras de vapor/hr.

RESULTADOS

Al aceite obtenido se le evaluaron las propiedades fisicoquímicas y su composición se determinó por cromatografía. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Rendimiento de la extracción: 5%.
- Gravedad específica: 0.9251
- Rotación óptica: + 61.85°
- Índice de refracción: 1.4632
- Punto de ebullición: 36°C.
- Número de acidez: 0.58905
- Color: Amarillo claro

- Insoluble en agua.
- Soluble en etanol

El análisis cromatográfico fue realizado en un cromatografo tipo GC-MS Perkin Elmer Autosystem-Qmass 910, con las siguientes condiciones de operación: [1]

- Gas de arrastre: Helio.
- Flujo de helio: 45.5 ml/min
- Tipo de inyección: Split.
- Rampa de calentamiento:
 - Temperatura inicial: 50 °C (permanece ahí durante 5 minutos)
 - Se calienta a 10 °C/min. hasta 150 °C.
 - En 150 °C permanece 0 minutos.
 - Se calienta a 15 °C/min. hasta 220 °C.
 - En 220 °C permanece durante 5 minutos y finaliza la corrida.
- Temperatura del inyector: 220°C.
- Temperatura del detector: 220°C.
- Presión: 16 psi.
- Columna capilar carbowax

Los resultados se muestran en la tabla 6.

TABLA 6
COMPOSICIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE
CARDAMOMO OBTENIDO

COMPONENTE	COMPOSICIÓN
α -Pino	$2.234 \cdot 10^{-3}$
β - Felandreno	0.0144
β - Pino	$2.49 \cdot 10^{-3}$
Eucaliptol	0.2492
3-Careno	0.08
α - Terpenil acetato	0.6409
2,6 Octadienal, 3,7 dimetil	$8.8 \cdot 10^{-3}$
1 Benzociclohepteno	$2.1 \cdot 10^{-3}$

El cromatograma se puede ver en el anexo 2.

ANÁLISIS DEL MERCADO

MERCADO AMERICANO

Según las importaciones registradas en el periodo del año 1991 a 1995 se observa un aumento en el consumo de aceites esenciales en América, esto como consecuencia del cambio de patrones en el consumo debido a la tendencia de los productos naturales. En cuanto a los precios por kilogramo, si se observan fluctuaciones drásticas de un periodo a otro debido a la dependencia en las cosechas de las plantas como materia prima y el aumento en el precio del petróleo, ya que gran parte de sus productores son pequeños agricultores de países en desarrollo, los cuales pretenden mantener mediante el aumento de precios el valor real de sus productos frente a la inflación en general. Otros inconvenientes que se deben tener en cuenta son: las irregularidades en las entregas, esto debido a la falta de atención de los productores en los procedimientos comerciales y documentales; variación en la calidad, en este aspecto se debe suministrar muestras representativas tanto en calidad como en características a los posibles compradores, a fin de evitar diferencias con el cliente que posteriormente debe cambiar la formula de sus productos con un elevado costo.

Todas estas complicaciones han generado que los productores de mezclas obliguen a sus técnicos a disminuir la utilización de aceites esenciales, sustituyéndolos por productos de origen sintético y con un valor menor. [12,13]

MERCADO COLOMBIANO

En las tablas siguientes se muestran las importaciones y exportaciones colombianas desde 1992 a 1995, por tipo de aceite, país de origen, valor (en miles de dólares) y cantidad (en Kilogramos).

En cuanto a las exportaciones se ven comportamientos discontinuos, lo que significa que en un año se hicieron importaciones y al siguiente no. Otra característica que se observa es que independientemente de la discontinuidad de las importaciones, la cantidad importada es constante.

Los aceites que presentaron importaciones en este periodo son de mayor a menor influencia:

- Los demás aceites 97%
- Aceites excepto los agrios 1.93%
- Aceite esencial de bergamota..... 0.54%
- Aceite esencial de limón 0.18%
- Aceite de menta piperita 0.17%
- Aceite de las demás mentas..... 0.076%
- Los demás aceites esenciales de agrios 0.064%

Los países principales para las importaciones son:

- Ecuador 76%
- Panamá 7.3%
- República Dominicana..... 6.17%

Con un total en el periodo (1992-1995) en valor de US \$ 1'193.000.

Por otra parte las importaciones representan un comportamiento continuo y estable, presentándose

pequeñas variaciones entre algunos periodos pero con una tendencia general al aumento.

Analizando las cifras anteriores se ve la viabilidad de producción de aceites esenciales en Colombia en primera instancia para la satisfacción del mercado local y posteriormente, por que no para la satisfacción del mercado internacional. [14, 15, 16]

Como prospectiva el productor debe tener en cuenta:

Producción:

- Las materias primas.
- Condiciones técnicas para su procesamiento.
- Las variedades de mayor potencial.
- Reducir al mínimo las variaciones en las características de los productos.

Para su comercialización:

- Cumplimiento en las entregas.
- Comunicación constante en la cadena de comercialización, sobre las cifras previstas en los suministros con el fin de facilitar que puedan amortiguarse las inevitables fluctuaciones de la oferta.
- No retener producto con el fin de hacer aumentar los precios, por que con esto se consigue un resultado negativo al perder el mercado.

Todas las tablas de importaciones y exportaciones de aceites esenciales tienen valores de miles de dólares y cantidad en kilogramos.

TABLA 7
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE BERGAMOTA					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	297	778	695	776
	VALOR	7	20	26	22
AUSTRALIA	CANTIDAD	73	13	50	14
	VALOR	2	1	2	1
ESPAÑA	CANTIDAD	6875		1090	1912
	VALOR	15		2	3
FRANCIA	CANTIDAD	20	70		27
	VALOR	0	3		1
UNS	CANTIDAD			546	813
	VALOR			13	36
PANAMÁ	CANTIDAD	3			
	VALOR	0			
CHE	CANTIDAD		7	1	7
	VALOR		1	1	0
TOTALES	CANTIDAD	7268	868	2382	3553
	VALOR	24	25	44	63

TABLA 8
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE LIMA O LIMETA					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	25		33	17
	VALOR	1		1	0
ESPAÑA	CANTIDAD	23			27
	VALOR	0			1
USA	CANTIDAD	309	401	10525	1227
	VALOR	28	27	30	74
FRANCIA	CANTIDAD				26
	VALOR				1
MÉXICO	CANTIDAD	25		100	110
	VALOR	1		3	4
UNS	CANTIDAD				120
	VALOR				4
CHE	CANTIDAD	25			8
	VALOR	0			1
TOTALES	CANTIDAD	407	401	10658	1535
	VALOR	30	27	34	85

TABLA 9
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE NARANJA					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	32	1590	12646	8509
	VALOR	1	6	7	7
AUSTRALIA	CANTIDAD				2
	VALOR				0
BRASIL	CANTIDAD	39077	52741	61507	28821
	VALOR	68	87	104	125
KOR	CANTIDAD				1614
	VALOR				1
ESPAÑA	CANTIDAD	2		10015	283
	VALOR	0		31	4
USA	CANTIDAD	5133	11443	39527	42757
	VALOR	31	42	73	172
FRANCIA	CANTIDAD	598	930	605	396
	VALOR	3	6	10	4
ITALIA	CANTIDAD				4
	VALOR				1
JAPÓN	CANTIDAD			5800	
	VALOR			3	
MEXICO	CANTIDAD				11
	VALOR				0
UNS	CANTIDAD			65	1741
	VALOR			1	12
NLD	CANTIDAD				15
	VALOR				0
CHE	CANTIDAD	2909	9435	3156	4536
	VALOR	71	110	133	172
VENEZUELA	CANTIDAD	161			
	VALOR	0			
TOTALES	CANTIDAD	47912	76139	133321	88689
	VALOR	174	251	362	498

TABLA 10
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE LIMÓN					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	598	1110	5985	1896
	VALOR	10	21	16	20
ARGENTINA	CANTIDAD	30	370	541	588
	VALOR	10	113	164	169
AUSTRALIA	CANTIDAD				7
	VALOR				0
BRASIL	CANTIDAD				31
	VALOR				1
CMR	CANTIDAD		100		
	VALOR		19		
ESPAÑA	CANTIDAD	259	2465	582	1698
	VALOR	8	19	14	34
USA	CANTIDAD	1687	3744	19930	22402
	VALOR	64	65	133	198
FRANCIA	CANTIDAD	4500	1085	1390	52
	VALOR	83	7	7	1
IRL	CANTIDAD			147	77
	VALOR			12	7
ITALIA	CANTIDAD				23
	VALOR				3
UNS	CANTIDAD			828	1155
	VALOR			13	21
NLD	CANTIDAD				1
	VALOR				0
PER	CANTIDAD		19	1200	
	VALOR		1	1	172
CHE	CANTIDAD	612	2106	1225	2567
	VALOR	97	321	188	483
TOTALES	CANTIDAD	7686	10999	31828	30497
	VALOR	272	566	548	939

TABLA 11
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE LOS DEMÁS ACEITES ESENCIALES DE AGRIOS					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	9	74	105	253
	VALOR	0	2	3	7
ARGENTINA	CANTIDAD			13700	4680
	VALOR			186	61
BRASIL	CANTIDAD	40120	3775	55815	24621
	VALOR	53	3	84	42
ESPAÑA	CANTIDAD	627	361	1302	2778
	VALOR	28	17	15	46
USA	CANTIDAD	1712	45014	2019	7592
	VALOR	36	152	45	157
FRANCIA	CANTIDAD	80	2493	4190	3071
	VALOR	0	15	39	45
GRC	CANTIDAD		156		
	VALOR		4		
ITALIA	CANTIDAD			57	
	VALOR			3	
MEXICO	CANTIDAD				23
	VALOR				1
UNS	CANTIDAD		1297	93	257
	VALOR		3	2	10
NLD	CANTIDAD				73
	VALOR				2
GBR	CANTIDAD	1060	52	330	154
	VALOR	23	4	25	8
CHE	CANTIDAD	224	153	1754	1637
	VALOR	7	8	70	121
TOTALES	CANTIDAD	43832	53375	79365	45139
	VALOR	147	208	472	500
	VALOR	1	2	16	15

TABLA 12
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	5	378	283	256
	VALOR	0	11	9	6
AUSTRALIA	CANTIDAD				1
	VALOR				0
ESPAÑA	CANTIDAD	61	31	32	58
	VALOR	1	1	1	3
USA	CANTIDAD	253	8775	4322	5120
	VALOR	0	29	22	7
FRANCIA	CANTIDAD	520	1873	1640	2419
	VALOR	8	31	28	35
UNS	CANTIDAD			81	30
	VALOR			2	4
CHE	CANTIDAD	2170	2000	3840	1456
	VALOR	42	55	90	30
TOTALES	CANTIDAD	3009	13057	10198	9340
	VALOR	21	127	152	85

TABLA 13
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE MENTA PIPERITA					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	304	438	4736	167
	VALOR	4	5	8	2
CHL	CANTIDAD				220
	VALOR				0
CHN	CANTIDAD		5950		
	VALOR		39		
COG	CANTIDAD		400		
	VALOR		5		
ESPAÑA	CANTIDAD	123	60		79
	VALOR	3	1		1
USA	CANTIDAD	4225	3464	7618	7431
	VALOR	76	63	138	153
FRANCIA	CANTIDAD	5988	9997	4334	14831
	VALOR	135	232	108	355
HKG	CANTIDAD		1750		
	VALOR		21		
IRL	CANTIDAD	25	12	51	48
	VALOR	2	1	2	3
MÉXICO	CANTIDAD			410	
	VALOR			9	
UNS	CANTIDAD			166	193
	VALOR			2	3
GBR	CANTIDAD		1100		656
	VALOR		11		6
CHE	CANTIDAD	5			2448
	VALOR	0			37
TOTALES	CANTIDAD	10670	23171	17315	26073
	VALOR	220	378	267	560

TABLA 14
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE VETIVER					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	15	18	25	6
	VALOR	2	2	3	1
USA	CANTIDAD	5	15		15
	VALOR	0	1		2
FRANCIA	CANTIDAD	25	40		
	VALOR	1	2		
UNS	CANTIDAD			10	42
	VALOR			1	6
CHE	CANTIDAD		21	27	60
	VALOR		3	3	6
TOTALES	CANTIDAD	45	94	62	123
	VALOR	3	8	7	15

TABLA 15
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE LAS DEMÁS MENTAS					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	2733	3736	370	29
	VALOR	20	43	14	1
AUSTRALIA	CANTIDAD				5
	VALOR				0
BRASIL	CANTIDAD				750
	VALOR				26
ESPAÑA	CANTIDAD		10	15	29
	VALOR		1	1	1
USA	CANTIDAD	12187	10086	45747	24150
	VALOR	632	505	984	1063
FRANCIA	CANTIDAD	1800	310	1300	342
	VALOR	18	4	7	5
MEXICO	CANTIDAD	45		900	
	VALOR	3		18	
OTROS	CANTIDAD	301	352	1169	1375
	VALOR	4	5	26	21
TOTALES	CANTIDAD	17066	14494	49501	26680
	VALOR	677	558	1050	1145

TABLA 16
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE BERGAMOTA					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
ANT	CANTIDAD				56
	VALOR				
PANAMÁ	CANTIDAD		1234		538
	VALOR		5		1
PERU	CANTIDAD				216
	VALOR				1
TOTALES	CANTIDAD	0	1234	0	810
	VALOR	0	5	0	2

TABLA 17
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL EXCEPTO LOS AGRIOS					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	7597	6510	4853	4028
	VALOR	126	173	154	151
AUSTRALIA	CANTIDAD				44
	VALOR				1
BRASIL	CANTIDAD		4241	3910	16226
	VALOR		20	21	120
CAN	CANTIDAD			181	
	VALOR			14	
CHL	CANTIDAD		200	28	
	VALOR		3	1	
CHN	CANTIDAD			50	33807
	VALOR			3	311
COG	CANTIDAD		350		
	VALOR		5		
ECUADOR	CANTIDAD		1000		224
	VALOR		5		19
ESPAÑA	CANTIDAD	6967	3385	4688	4836
	VALOR	134	180	250	233
USA	CANTIDAD	206786	386651	53985	98713
	VALOR	370	408	522	409

Continúa Tabla 17...

... continuación Tabla 17

ACEITE ESENCIAL EXCEPTO LOS AGRIOS					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
FRANCIA	CANTIDAD	9569	7873	13968	10969
	VALOR	277	146	220	177
GTM	CANTIDAD				52
	VALOR				0
IDN	CANTIDAD			726	200
	VALOR			10	2
ITALIA	CANTIDAD	2510	25	1925	1209
	VALOR	16	7	16	17
JAPÓN	CANTIDAD			4500	98713
	VALOR			2	
MÉXICO	CANTIDAD	410	14648	727	350
	VALOR	3	92	38	13
UNS	CANTIDAD			2101	3069
	VALOR			96	112
PRY	CANTIDAD				47
	VALOR				0
PER	CANTIDAD		487		
	VALOR		10		
PRT	CANTIDAD	975			
	VALOR	9			
GBR	CANTIDAD	16025	10030	9741	7750
	VALOR	91	71	74	107
CHE	CANTIDAD	6073	12940	26104	41187
	VALOR	108	208	360	409
VENEZUELA	CANTIDAD			1080	
	VALOR			5	
TOTALES	CANTIDAD	256912	448340	128567	321424
	VALOR	1134	1328	1786	2081

TABLA 18
IMPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

LOS DEMÁS ACEITES ESENCIALES, INCLUIDOS LOS CONCRETOS O ABSOLUCIONES					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD	1381	1183	1181	1367
	VALOR	16	18	27	38
ARGENTINA	CANTIDAD				397
	VALOR				3
AUSTRALIA	CANTIDAD		110		
	VALOR		1		
BRASIL	CANTIDAD	2040		9076	4799
	VALOR	15		790	336
CHL	CANTIDAD				9
	VALOR				
CRI	CANTIDAD	38	146	90	
	VALOR	0	2	1	
ESPAÑA	CANTIDAD	447	510		1129
	VALOR	2	2		4
USA	CANTIDAD	2214	1426	5042	9455
	VALOR	45	38	73	53
FRANCIA	CANTIDAD	422	2455	1974	702
	VALOR	3	10	14	7
ITALIA	CANTIDAD			125	
	VALOR			2	
UNS	CANTIDAD			228	355
	VALOR			2	8
GBR	CANTIDAD	168	744		10
	VALOR	0	2		0
CHE	CANTIDAD	130	34	25	3
	VALOR	0	3	10	0
TOTALES	CANTIDAD	6840	6608	17741	18226
	VALOR	677	558	1050	1145

TABLA 19
EXPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE BERGAMOTA					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
ANT	CANTIDAD				56
	VALOR				
PANAMÁ	CANTIDAD		1234		538
	VALOR		5		1
PERÚ	CANTIDAD				216
	VALOR				1
TOTALES	CANTIDAD	0	1234	0	810
	VALOR	0	5	0	2

TABLA 20
EXPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE LIMÓN					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
ESPAÑA	CANTIDAD	126			
	VALOR	4			
PERÚ	CANTIDAD			180	
	VALOR			4	
VENEZUELA	CANTIDAD				368
	VALOR				4
TOTAL	CANTIDAD	126	0	180	368
	VALOR	4	0	4	4

TABLA 21
EXPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE LOS DEMAS ACEITES ESENCIALES DE AGRIOS					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
PANAMÁ	CANTIDAD			237	
	VALOR			4	
TOTAL	CANTIDAD			237	
	VALOR			4	

TABLA 22
EXPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE MENTA PIPERITA					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
GTM	CANTIDAD		624		
	VALOR		27		
VENEZUELA	CANTIDAD				20
	VALOR				1
TOTAL	CANTIDAD		624	0	20
	VALOR		27	0	1

TABLA 23
EXPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL DE LAS DEMAS MENTAS					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
ARGENTINA	CANTIDAD				25
	VALOR				1
ECUADOR	CANTIDAD	12	250		
	VALOR	1	4		
TOTAL	CANTIDAD	12	250	0	25
	VALOR	1	4	0	1

TABLA 24
EXPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

ACEITE ESENCIAL EXCEPTO LOS AGRIOS					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
DEU	CANTIDAD		5510		
	VALOR		33		
ECUADOR	CANTIDAD	6	29	50	280
	VALOR		1	3	3
USA	CANTIDAD		312		
	VALOR		4		
PERÚ	CANTIDAD			20	
	VALOR			2	
VENEZUELA	CANTIDAD		200		876
	VALOR		2		9
TOTAL	CANTIDAD	6	6051	70	1156
	VALOR	0	40	5	12

TABLA 25
EXPORTACIONES EN COLOMBIA DE ACEITES ESENCIALES

LOS DEMÁS ACEITES ESENCIALES INCLUIDOS LOS CONCRETOS O ABSOLUCIONES					
PAÍS		1992	1993	1994	1995
ANT	CANTIDAD				6
	VALOR				
ECUADOR	CANTIDAD	12683	130043	129998	14474
	VALOR	38	398	399	59
FRANCIA	CANTIDAD	100	100	70	
	VALOR	6	6	5	
GTM	CANTIDAD			16821	
	VALOR			30	
PANAMÁ	CANTIDAD		11417	16072	
	VALOR		26	30	
PERÚ	CANTIDAD				2242
	VALOR				3
GRB	CANTIDAD				7750
	VALOR				16
DOM	CANTIDAD		21330	1896	
	VALOR		54	7	
VENEZUELA	CANTIDAD	1	10		
	VALOR		1		
ITALIA	CANTIDAD	12784	162900	164857	24472
	VALOR	44	485	471	78

DESARROLLO SOSTENIBLE

El desarrollo sostenible se puede definir como el equilibrio entre el crecimiento económico, la equidad en oportunidades y el uso eficiente de los recursos naturales, es decir, para que el desarrollo tenga permanencia en el tiempo es necesario el equilibrio entre estas tres áreas.

Para implementar la visión del desarrollo sostenible en la acción de las empresas y cuantificar sus resultados se debe promover el uso racional de los recursos naturales por medio de la revisión de

los procesos productivos para minimizar pérdida de materias primas, energía, agua y dispersión de tóxicos ambientales, para buscar mejoras en el reciclaje o uso de recursos renovables, y generar mayor valor agregado a través del mejoramiento de la calidad y rediseño de productos logrando mayor rentabilidad a partir de la transformación de los desechos en productos con mayor valor agregado o materia prima para otro tipo de proceso. Mirándolo económicamente, la gestión ambiental no es un sobre costo para la empresa, siempre y cuando se convierta en una alternativa rentable de inversión, esto es obvio si se considera que los

desechos o subproductos se descargan al ambiente, especialmente el material lignocelulósico que es el mayor desecho a nivel mundial. [5, 17, 18]

APLICACIONES DE LA METODOLOGÍA ZERI

En las extracciones realizadas de Cardamomo y Cáscara de Naranja, se obtuvieron dos subproductos evaluables que fueron el agua condensada y la torta. El agua obtenida no es posible reintegrarla al sistema dado que queda con un contenido mínimo de aceites esenciales y si se vaporizara, sería fuente de contaminación para la caldera, si se utiliza en refrigeración ésta agua se descompone generando materia orgánica, acidez y mala apariencia. Por estas razones se sugiere utilizar el agua que resulta condensada luego de separar el aceite, mezclándola con el agua de lavado de pisos y detergentes.

Las tortas de Cardamomo y Cáscara de Naranja se sometieron a estudios Bromatológicos con los siguientes resultados:

RESULTADOS DE TORTA DE CARDAMOMO	
	%
CENIZAS	1.8
CALCIO	0.065
NITRÓGENO	0.78
FIBRA BRUTA	5.62
FIBRA DETERGENTE ACIDA	12.29
FÓSFORO	0.024

RESULTADOS DE TORTA DE CÁSCARA DE NARANJA	
	%
CENIZAS	0.52
CALCIO	0.228
NITRÓGENO.....	0.013
FIBRA BRUTA.....	10.69
FIBRA DETERGENTE ACIDA.....	7.29
FÓSFORO.....	0.014

Estos análisis se realizaron en la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Los resultados muestran que los niveles de Fibra bruta y Calcio presentes en las muestras las hacen aptas para utilizarse como suplementos alimenticios para Bovinos, complementadas con sales minerales.

En otros ensayos para la utilización de la torta de Cardamomo se estableció una metodología para utilizarla como sustrato lignocelulósico en el cultivo de Hongos comestibles, para este fin se realizó la siembra del Hongo comestible *Pleorotus ostreatus* usando un 80% de torta de cardamomo en mezcla con un 20% de material celulósico (Hierba), según los siguientes pasos.

- 1. Preparación del Sustrato.** La torta de Cardamomo al igual que el material celulósico se esteriliza hierviéndose en agua por 20 minutos. Se deja enfriar y se escurre el agua.
- 2. Inoculación.** Se ubica una cama de la mezcla de torta con hierba en una bolsa de plástico negra y se esparcen granos de trigo que contiene él inóculo del Hongo como se ilustra en la figura 2. (éste inóculo fue suministrado por el profesor Fernando Cardona de la Universidad nacional de Colombia sede Medellín), luego se tapa el inóculo con otra capa del sustrato y se repite la operación hasta que se completa aproximadamente 1.5 Kg. de sustrato.
- 3. Desarrollo.** La Bolsa negra se perfora numerosas veces con una aguja con el fin de permitir la aireación, ya que el hongo es un organismo aeróbico, y se almacena en un lugar oscuro y seco durante quince días, para permitir que el hongo invada toda la superficie del sustrato. A los quince días se constata que el sustrato está totalmente invadido por el hongo y se traslada a un lugar seco donde reciba luz, pero no los rayos directos del sol, ver figura 3. A los pocos días empiezan a aparecer los cuerpos fructíferos como se muestra en la figura 4, y luego crecen hasta un tamaño aproximado de 5 cm de diámetro, listos para ser cosechados.

FIGURA 2
SEMILLAS DE TRIGO INVADIDAS POR EL HONGO



FIGURA 3
SUSTRATO DE HIERBA Y CARDAMOMO, LUEGO DE 15 DÍAS DE INOCULADO



FIGURA 4
SETAS LISTAS PARA LA COSECHA



4. Cosecha

Se obtuvieron dos buenas cosechas del Pleorotus con un total de 860 g. (ver figura 5) La tercera cosecha no fructificó. Los hongos una vez cocinados no presentaron características organolépticas desfavorables ni aromas o sabor a Cardamomo.

A pesar que en nuestro medio no existe la cultura de consumir hongos, consideramos que es una buena alternativa dado que es un alimento barato, altamente nutricional, al *Pleurotus ostreatus* se le atribuyen propiedades como mejoramiento de la digestión y disminuir el nivel de colesterol.

FIGURA 5
SETAS LISTAS PARA LA COSECHA



La torta resultante es utilizable como complemento alimenticio para Bovinos o como abono orgánico fácilmente degradable.) [19, 20]

ANÁLISIS ECONÓMICO

INVERSIONES

ACTIVOS FIJOS

- **DISEÑO E INGENIERÍA**
Los costos de instalación de los diferentes equipos se tienen en cuenta como inversión de este tipo. Se asigna un valor de \$1'500000. Depreciación de 5 años (25% anual).
- **MAQUINARIA Y EQUIPO:** Depreciación 10 años (10% anual)
- **EQUIPO PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE:** \$2'500000.
- **CALDERA:** (100 libras Vapor/hr.) 7'000000.

- **EDIFICIO:** Se toma local en arriendo, depreciación 20 años. (5% anual).
- **OTROS:** En este ítem se tienen en cuenta otros activos fijos, como equipo básico de laboratorio, muebles, equipo de oficina entre otros. Se asigna una inversión de \$2'500000. Depreciación de 10 años. (10% anual).

GASTOS PREVIOS

Los gastos previos están constituidos por:

- **GASTOS PREVIOS A LA PRODUCCIÓN:** Se asigna un valor de \$2'000000 para licencias sanitarias de funcionamiento, registros de productos, cámara de comercio, entre otros.
- **IMPREVISTOS:** Se asigna un valor de \$2'000000.
- **INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO:** Se asigna un valor de \$3'000000.

Para cada una de las inversiones se trabaja con una tasa de mantenimiento y seguro del 2%.

- **CAPITAL INICIAL DE TRABAJO:** Se asigna un valor de \$5'000000.

ESTRUCTURA FINANCIERA

La inversión total es un 20% capital social y un 80% financiado a 4 años, con una tasa efectiva anual de 39%. Se trabaja con periodo de gracia de un año y el primer año de recepción o desembolso. La repartición de dividendos es del 15%.

PRODUCCIÓN/VENTAS

TABLA 26
DATOS BÁSICOS DÍA PRODUCTIVO

ÍTEM	VALOR
Turnos/día	1
Días / año	295

El precio del aceite esencial de cardamomo varia de acuerdo a la cantidad que se vaya a comprar. Si se compra por cantidades superiores a los 100 kilogramos, el precio del aceite es igual a US \$ 264 FOB y para cantidades inferiores a los 100 kilogramos el precio es de US \$ 792 FOB. [21]

CANTIDAD DE ACEITE DE CARDAMOMO:
1.8 kg/día.

CANTIDAD ANUAL:
531 kg/año

VALOR KILOGRAMO:
US \$ 264 FOB o US \$ 792 FOB

La tasa de capacidad de producción, para el primer año es del 50% y del segundo año en adelante del 100%.

CONSUMO DE MATERIA PRIMA E INSUMOS

MATERIA PRIMA

La materia prima para el aceite esencial son las semillas de cardamomo y tiene un valor de \$8000 el kilogramo, el cual es suministrado por Cultivares S.A.

COMBUSTIBLES Y SERVICIOS

TABLA 27
CONSUMO DE SERVICIOS

ITEM	CONSUMO	COSTO
Acueducto y alcantarillado	0.5 m ³ /hr	\$ 1200/m ³
Gas natural	10 m ³ /hr	\$ 217/m ³

MANO DE OBRA

Para el proceso de extracción del aceite esencial se requiere de un operario, una secretaria para el manejo de la oficina y una persona a cargo de las ventas.

Se trabaja con un SMLV \$ 236000.

TABLA 28
COSTO MANO DE OBRA

CARGO	SMLV	COSTO ANUAL
OPERARIO	2	\$ 5'664000
SECRETARIA	2	\$ 5'664000
VENTAS	3.5	\$ 9'912000
TOTAL	7.5	\$21'240000

OTROS GASTOS

- CAPACITACIÓN: Se asigna un valor de \$1'500000.
- ALQUILER: Se asigna un valor de \$1'000000.
- VARIOS: En este ítem se tiene en cuenta los costos de almacenamiento del aceite (botellas, canecas, cajas, etc.) y se estima un valor aproximado de \$5'000000.
- GASTOS DE ADMINISTRACIÓN Y VENTAS: Se asigna un valor de \$2'500000.

RESUMEN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- INVERSIÓN TOTAL: \$25'500000.
- TASA INTERNA DE RETORNO: 65%
- PUNTO DE EQUILIBRIO: 32% de la capacidad
- RAZÓN ENTRE DEUDA Y CAPITAL SOCIAL: 80:20

CONCLUSIONES

- Para Colombia, país agroindustrial la implementación de este sistema de extracción de aceite esencial de cardamomo a escala de pequeños y medianos agricultores se constituye en una buena alternativa para obtener un producto con mayor valor agregado, siempre y cuando se haga un exhaustivo análisis de mercado de este aceite en particular.
- A pesar de la extensa revisión bibliográfica, no se encontró el movimiento del aceite esencial de Cardamomo en Exportaciones e importaciones a nivel Colombiano ni mundial, lo que nos impide asegurar categóricamente el éxito de una empresa dedicada a la obtención de aceite esencial de Cardamomo.
- Se sugiere para la obtención de aceites esenciales de cítricos y plantas como el Eucalipto y el Limoncillo implementar otras técnicas de extracción como Hidrodestilación, por ejemplo, ya que el arrastre con vapor directo que se utilizó presentó con estas especies muy bajo rendimiento y en el caso de los cítricos presentó además contaminación, posiblemente pectinas arrastradas.

CERO EMISIONES

- Se sugiere mezclar el agua condensada (luego de separar el aceite), con detergentes para el lavado de pisos y baños.
- En la utilización de la torta de Cardamomo se sugiere el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, añadiéndole 0.6% de urea para incrementar el nitrógeno en el sustrato a un 1% aproximadamente, y para el cultivo de Champiñones se debe incrementar el nitrógeno hasta un 2%.
- Este proyecto debe continuarse, utilizando sistemas de extracción que se puedan adaptar e implementar fácilmente al equipo como una marmita para realizar Hidrodestilaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. STASHENKO Elena E. "aceites esenciales: Técnicas de extracción y análisis" Universidad industrial de Santander, 1998.
2. El Colombiano, octubre 7 de 1999. Cultivares S.A.
3. www.aqua-oleum.co.uk. Junio de 1999.
4. ZULUAGA, Olga y Velázquez Eliana "Diseño de un proceso industrial para la obtención de aceites esenciales de dos especies nativas Colombianas. Tesis de Grado. Universidad EAFIT 1997.
5. Instituto de Comercio Exterior INCOMEX. Banco de Datos de Comercio Exterior -BACEX. Junio 6 de 1997.
6. CRUZ C, Gabriel. El Cultivo del Cardamomo: Una Alternativa de Producción y Diversificación para Caldas. En: Revista Agronomía. Manizales. Vol. 1, No 2. Pag 34-36. 1987.
7. National Trade Data Bank 1996. Importaciones y exportaciones de aceite de cardamomo. Cámara de Comercio Colombo Americana.
8. PAULI, Gunter. Avances Editorial Universidad EAFIT, Medellín. Colombia. 1996.
9. MEYER-WARNOD B. y colaboradores. "natural essential oil". Technichal and comercial developments in perfumery materials, april-may, 1984.
10. Modernos conocimientos sobre la química de los aceites esenciales.
11. Aceites Esenciales y Oleorresinas, estudio de distintos productores y de mercados importantes. Centro de Comercio Internacional UNCTAC / GATT. Ginebra. 1986.

12. Cabra Rojas Elizabeth. "Los aceites esenciales. Panorama Internacional y del mercado Colombiano". Revista. Tecnología. N° 175. 1995. pp. 5-23.
13. www.incomex.gov.co. Mayo de 1999.
14. www.INTAL.gov.co. Junio de 1999.
15. www.elsalvadortrade.com. Mayo de 1999.
16. "Ecoeficiencia, La nueva estrategia empresarial". Revista Clase empresarial. N° 31. Enero de 1996.
17. MI RIO, Guía ecológica y ambiental. Instituto Mi Río. 2ª edición. Medellín. 1996.
18. PAULI, Gunter. Upsizing "Ciencia generativa" Editorial Universidad de Manizales, Manizales. Colombia. 1997.
19. Humedad y alimentación, la clave del lombricultor. El Colombiano. Sección el campo, Ramiro Velázquez. Medellín. Dom. 26 de Feb.1996.
20. www.herbsusa.com/india-oils-svm.html. Agosto de 1999.
21. MUÑOZ L. Fernando. Plantas Medicinales y Aromáticas: Estudio, cultivo y procesado. Ediciones Mundiprensa. Madrid. 1987. 365 p.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Comité de Investigación de la Universidad EAFIT por el apoyo financiero para la realización de éste trabajo, al personal técnico del laboratorio de Ingeniería de Procesos, a todos los estudiantes que participaron en la investigación.

TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

Cuaderno 1 - Marzo 2002

**SECTOR BANCARIO Y COYUNTURA
ECONÓMICA EL CASO COLOMBIANO 1990
- 2000**

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

Cuaderno 2 - Julio 2002

**CUERPOS Y CONTROLES, FORMAS
DE REGULACIÓN CIVIL. DISCURSOS Y
PRÁCTICAS EN MEDELLÍN 1948 – 1952**

Cruz Elena Espinal Pérez

Cuaderno 3 - Agosto 2002

UNA INTRODUCCIÓN AL USO DE LAPACK

Carlos E. Mejía, Tomás Restrepo y
Christian Trefftz

Cuaderno 4 - Septiembre 2002

**LAS MARCAS PROPIAS DESDE LA
PERSPECTIVA DEL FABRICANTE**

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 5 - Septiembre 2002

**INFERENCIA VISUAL PARA LOS SISTEMAS
DEDUCTIVOS LBPCO, LBPC Y LBPO**

Manuel Sierra Aristizábal

Cuaderno 6 - Noviembre 2002

**LO COLECTIVO EN LA CONSTITUCIÓN DE
1991**

Ana Victoria Vásquez Cárdenas,
Mario Alberto Montoya Brand

Cuaderno 7 - Febrero 2003

**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS
BENEFICIOS DE LAS EMPRESAS
MANUFACTURERAS EN COLOMBIA,
1995 – 2000**

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

Cuaderno 8 - Marzo 2003

**LOS DILEMAS DEL RECTOR:
EL CASO DE LA UNIVERSIDAD EAFIT**

Álvaro Pineda Botero

Cuaderno 9 - Abril 2003

INFORME DE COYUNTURA: ABRIL DE 2003

Grupo de Análisis de Coyuntura Económica

Cuaderno 10 - Mayo 2003

GRUPOS DE INVESTIGACIÓN

Escuela de Administración

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 11 - Junio 2003

**GRUPOS DE INVESTIGACIÓN ESCUELA DE
CIENCIAS Y HUMANIDADES, ESCUELA DE
DERECHO, CENTRO DE IDIOMAS Y
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO
ESTUDIANTIL**

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 12 - Junio 2003

**GRUPOS DE INVESTIGACIÓN - ESCUELA DE
INGENIERÍA**

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 13 - Julio 2003

**PROGRAMA JÓVENES INVESTIGADORES –
COLCIENCIAS: EL ÁREA DE LIBRE COMERCIO
DE LAS AMÉRICAS Y
LAS NEGOCIACIONES DE SERVICIOS**

Grupo de Estudios en Economía y Empresa

Cuaderno 14 - Noviembre 2003

BIBLIOGRAFÍA DE LA NOVELA COLOMBIANA

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

Cuaderno 15 - Febrero 2004

PUBLICACIONES Y PONENCIA 2003

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 16 - Marzo 2004

**LA APLICACIÓN DEL DERECHO
EN LOS SISTEMAS JURÍDICOS
CONSTITUCIONALIZADOS**

Gloria Patricia Lopera Mesa

Cuaderno 17 - Mayo 2004

**PRODUCTOS Y SERVICIOS FINANCIEROS A
GRAN ESCALA PARA LA MICROEMPRESA:
HACIA UN MODELO VIABLE**

Nicolás Ossa Betancur

Cuaderno 18 - Mayo 2004

**ARTÍCULOS RESULTADO DE LOS
PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR
LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE
PRODUCCIÓN QUE SE GRADUARON EN EL
2003**

Departamento de Ingeniería de Producción

Cuaderno 19 - Junio 2004

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON
EN EL AÑO 2003**

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 20 - Junio 2004

**ARTÍCULOS RESULTADO DE LOS
PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS
POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE
PROCESOS QUE SE GRADUARON EN
EL 2003**

Departamento de Ingeniería de Procesos

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

Copias disponibles en:

www.eafit.edu.co/investigacion/cuadernosdeinv.htm