

**EFFECTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA SOBRE EL RENDIMIENTO Y
LA COMPOSICIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG**

MIGUEL ANTONIO LEYVA RICARDO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2008

**EFFECTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA SOBRE EL RENDIMIENTO Y
LA COMPOSICIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG**

MIGUEL ANTONIO LEYVA RICARDO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Químico**

Directora:

**ELENA E. STASHENKO,
Química, Ph. D.**

Co-director:

**RAMIRO MARTÍNEZ REY,
Ing. Químico, Ph. D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2008

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. CONCEPTOS TEÓRICOS	3
1.1. VARIABILIDAD CLIMÁTICA	3
1.2. ACEITES ESENCIALES	4
1.3. APLICACIONES DE LOS ACEITES ESENCIALES	4
1.4. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES	5
1.5. EL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG	6
1.6. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE GC-MS AL ESTUDIO DE ACEITES ESENCIALES	7
2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	8
2.1. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS	8
2.1.1. Temperatura	9
2.1.2. Precipitación	9
2.2. EVALUACIÓN ANUAL DEL RENDIMIENTO Y LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE	10
2.3. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	11
2.4. EVALUACIÓN AMBIENTAL	12
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	13
3.1. ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO Y CUANTIFICACIÓN DEL ACEITE	13
3.1.1. Análisis cromatográfico	13
3.1.2. Identificación y cuantificación	14
3.2. VARIACIÓN ANUAL DEL RENDIMIENTO Y LA	

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE	15
3.2.1. Composición química de la esencia	16
3.2.2. Variación anual del rendimiento y la composición química del aceite de ylang-ylang	17
3.3. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	19
3.3.1. Balance de masa	19
3.3.2. Balance de energía	20
3.4. EVALUACIÓN AMBIENTAL	22
CONCLUSIONES	23
RECOMENDACIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	25

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: DESTILADOR DE ACEITES ESENCIALES A ESCALA SEMI-INDUSTRIAL.

ANEXO 2: DESTILADOR MÓVIL DE ACEITES ESENCIALES A ESCALA SEMI-INDUSTRIAL.

ANEXO 3: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA LA ESPECIE DE YLANG-YLANG USANDO LAS BASES DE DATOS.

ANEXO 4: BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO

ANEXO 5: ÍNDICE OCEÁNICO DE EL NIÑO (ONI)

ANEXO 6: COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LA PRECIPITACIÓN

ANEXO 7: DATOS DE TEMPERATURAS MÁXIMA (MAX), MÍNIMA (MIN) Y PROMEDIO POR MES.

ANEXO 8: DATOS DE DÍAS Y HORAS DE LLUVIA, ACUMULADO (MM/MES) Y PROMEDIO MES (MM/DÍA).

ANEXO 9: ESQUEMA BÁSICO DEL PROCESO

ANEXO 10: PERFIL CROMATOGRÁFICO TÍPICO DEL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG. COLUMNA HP-5MS-(60 m).

ANEXO 11: PERFIL CROMATOGRÁFICO TÍPICO DEL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG. COLUMNA DB-WAX-(60 m).

ANEXO 12: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG E ÍNDICES DE KOVÀTS.

ANEXO 13: FÓRMULAS ESTRUCTURALES DE LOS COMPONENTES OXIGENADOS MAYORITARIOS IDENTIFICADOS EN EL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG.

ANEXO 14: VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE DE YLANG-YLANG.

ANEXO 15: PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS ÁREAS RELATIVAS DE LOS COMPONENTES DEL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG.

ANEXO 16: RESULTADOS TOTALES DE LAS ÁREAS RELATIVAS DE LOS COMPONENTES DEL ACEITE PARA EL AÑO 2005 Y 2006.

ANEXO 17: CONTINUACIÓN DEL ANÁLISIS ESTACIONAL DE LA COMPOSICIÓN DEL ACEITE DE YLANG-YLANG.

ANEXO 18: DIAGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO

ANEXO 19: EVALUACIÓN AMBIENTAL: EMISIONES Y EFLUENTES

ANEXO 20: TRABAJO PARCIALMENTE PUBLICADO EN EL *INTERNATIONAL CONGRESS ON ANALYTICAL SCIENCE*, MOSCÚ, RUSIA, 2006.

ANEXO 21: TRABAJO GANADOR, EN LA CATEGORÍA MEJOR PONENCIA ORAL, EN EL *IX CONGRESO COLOMBIANO DE FITOQUÍMICA, PRODUCTOS NATURALES: CIENCIA, TECNOLOGÍA E INDUSTRIA*, PEREIRA, COLOMBIA, 2007.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Destiladores de aceite esencial a escala piloto.

Figura 2. Árbol de ylang-ylang cultivado en el Complejo Agroindustrial CENIVAM.

Figura 3. Cromatógrafo de gases acoplado a un detector selectivo de masas.

Figura 4. Variación de los compuestos oxigenados mayoritarios (número de pico del cromatograma mostrado en el **ANEXO 10**), durante las épocas de lluvias altas y bajas (2005 y 2006).

Figura 5. Variación de los compuestos oxigenados minoritarios (número de pico del cromatograma mostrado en el **ANEXO 10**) presentes en el aceite, durante las épocas de lluvias altas y bajas (2005 y 2006).

RESUMEN

1. TÍTULO*

EFFECTO DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA COMPOSICIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG.

2. AUTOR**

Miguel Antonio Leyva Ricardo

3. PALABRAS CLAVE

Variación anual, factores climáticos, aceite esencial, ylang-ylang, destilación, balance de masa y energía.

4. DESCRIPCIÓN

Actualmente, es un hecho científico que el clima global está siendo alterado significativamente y, aunque existe un acuerdo general sobre sus efectos, hay una gran incertidumbre con respecto a magnitudes y tasas de estos cambios a escalas regionales. En este trabajo se determinó y comparó la influencia de los factores climáticos a escala regional sobre la variación del rendimiento y la composición química del aceite esencial, el cual es obtenido a partir de flores de Ylang-ylang (*Cananga odorata*), árbol cultivado en la región Nororiental de Colombia. Las flores fueron colectadas durante los meses de marzo a diciembre del 2005, y de enero a septiembre del 2006. El aceite fue obtenido por hidrodestilación y analizado por cromatografía de gases-detector de masas; 72 compuestos fueron identificados por comparación de sus espectros de masas e índices de retención de Kovàts. Los componentes mayoritarios presentes en el aceite fueron el linalool, acetato de bencilo, benzoato de bencilo, *p*-metilanol y benzoato de metilo. Se encontró que el rendimiento y la cantidad relativa de los constituyentes del aceite volátil cambiaron entre las épocas de lluvia alta y baja, influyendo de esta manera sobre la calidad del producto. Las variaciones del rendimiento y composición del aceite de ylang-ylang fueron relacionadas con las condiciones climáticas de la temperatura y precipitación de acuerdo al registro histórico climático de la CDMB y el IDEAM. Los hidrocarburos sesquiterpénicos (HS) y análogos oxigenados (SO) presentaron un porcentaje alto en la época de lluvias bajas. El mayor rendimiento del aceite volátil fue presentado en los meses de lluvias altas (0.5%) y el menor porcentaje se presentó durante las lluvias bajas (0.3%).

En este trabajo también se realizó un balance de masa y energía del proceso de extracción del aceite de ylang-ylang, teniendo en cuenta los periodos de llenado y obtención durante la operación.

* Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico,
Facultad de Ingenierías Físicoquímicas – Escuela de Ingeniería Química.

**Director de proyecto: Elena E. Stashenko, Ph. D.
Co-director de proyecto: Ramiro Martínez Rey, Ph. D.

ABSTRACT

1. TITLE*

EFFECTS OF CLIMATE VARIABILITY ON THE YIELD AND COMPOSITION OF YLANG-YLANG ESSENTIAL OIL

2. AUTHOR**

Miguel Antonio Leyva Ricardo

3. KEYWORDS

Seasonal variation, climate variability, essential oil, ylang-ylang, distillation, mass and energy balance.

4. DESCRIPTION

Currently, it is a scientific fact that the global climate is being altered significantly, and although there is general agreement about its effects, there is great uncertainty regarding rates and magnitude of these changes at regional scales. In this work, the influence of regional variation of climatic factors on the yield and chemical composition of ylang-ylang essential oil was determined and compared. The oil was obtained by hydrodistillation from *Cananga odorata* flowers collected during the months of March to December, 2005 and January-September, 2006. Analysis with gas chromatography-mass spectrometry permitted the identification of 72 compounds, based on their mass spectra and Kovàts retention indices. The main components present in the oil were linalool, benzyl acetate, benzyl benzoate, p-methylanisole and methyl benzoate. The yield and the relative amount of the oil constituents changed between periods of high and low rainfall, thus impacting on product quality. Changes in yield and composition of ylang-ylang oil were related to climatic conditions of temperature and precipitation according to the historical record of climate of CDMB and IDEAM. Sesquiterpene hydrocarbons (HS) and oxygenated sesquiterpenes (SO) had a high percentage in the low rainy season. The highest yield of volatile oil was obtained in the months of high rainfall (0.5%) and the lowest percentage was presented during the low rainy season (0.3%).

A mass and energy balance for the ylang-ylang oil extraction process, took into account filling and collection periods during the operation.

* Degree project to qualify for certification as Chemical Engineer

** Faculty of Physicochemical Engineering - School of Chemical Engineering

**Director: Elena E. Stashenko, Ph. D.

Co-director: Ramiro Martínez Rey, Ph. D.

DEDICATORIA

*A mi familia por el todo el apoyo que me ha brindado,
especialmente a mi madre Consuelo Ricardo
y a mi abuela Paulina Guerra, quienes me enseñaron
a soñar y a luchar por el alcance de mis metas.
A la Doctora Elena Stashenko por su apoyo incondicional
y sus enseñanzas brindadas para mi crecimiento
personal y profesional.*

AGRADECIMIENTOS

A la Doctora Elena Stashenko, Directora del proyecto

Al Doctor Jairo René Martínez

Al Doctor Ramiro Martínez Rey, Co-director del proyecto

A Colciencias

Al Centro de Investigaciones CENIVAM

Al Laboratorio de Cromatografía del Centro de Investigaciones CIBIMOL

A la Escuela de Química e Ingeniería Química

A las estudiantes de doctorado: Deyanira Caballero y Geovanna Tafurt

A mis padres, familiares y amigos.

INTRODUCCIÓN

En la región Andina se han manifestado las alteraciones en el clima a causa del calentamiento global, se han presentado cambios abruptos e impredecibles en la estabilidad del clima de la región. Estos cambios aumentan el grado de incertidumbre sobre la estabilidad de la calidad de un producto, que varía con las épocas del año. Esto ha generado la necesidad de monitorear los cambios en la composición química de los aceites esenciales durante diferentes periodos de tiempo, a lo largo del año.

En Colombia, existe un gran potencial en el mercado internacional de las plantas aromáticas y aceites esenciales. Esta ventaja, prácticamente no se ha repercutido en el desarrollo económico, entre otras cosas, porque no han realizado investigaciones técnicas y de mercado, que identifiquen las oportunidades de negocios concretas, que permitan adelantar el aprovechamiento sostenible y rentable de nuestra biodiversidad. Por ser altamente aromáticos, los aceites esenciales de ciertas especies se han utilizado como materia prima para la elaboración de saborizantes y perfumes, en la preparación de productos alimenticios, preparaciones médicas y farmacéuticas, así como en productos de higiene personal y doméstica. El aceite de ylang-ylang se usa ampliamente en la industria de saborizantes y perfumes, por ser un aceite con un aroma fino y agradable.

En general, estas especies aromáticas son sensibles a los cambios climáticos, particularmente a las variables de temperatura y precipitación. Así que, la calidad del aceite esencial puede presentar variaciones durante las diferentes épocas del año.

En este trabajo se estudió la variación anual del rendimiento y la composición química del aceite esencial de ylang-ylang, en el área metropolitana de

Bucaramanga, estableciendo una comparación entre éstas variaciones y los factores climáticos de precipitación y temperatura.

Los resultados adquiridos en el presente trabajo, son de gran interés para la naciente industria de los aceites esenciales en Colombia, ya que se ofrece una herramienta valiosa para la producción del aceite de ylang-ylang con una composición predecible durante el año, brindando a la agroindustria una oportunidad más para la adaptación al cambio climático global. Los resultados de la variación estacional sobre el rendimiento y la composición del aceite de ylang-ylang soportan un alto grado de confianza en los productores a escala industrial, debido a que permiten predecir la calidad del aceite con la época del año y las condiciones climáticas en las cuales se cosecha y se destila el producto.

El presente trabajo, hace parte de la línea de investigación sobre aceites esenciales del Centro de Investigación de Excelencia, CENIVAM (Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas y Medicinales Tropicales) y el Laboratorio de Cromatografía del Centro de Investigación en Biomoléculas, CIBIMOL, de la Universidad Industrial de Santander, donde se han venido estudiando diversas plantas aromáticas con posible potencial para la extracción y comercialización de los aceites esenciales en Colombia, a escala industrial.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo han sido parcialmente publicados en modalidad de póster en el *International Congress on Analytical Science*, ICAS-2006, realizado en Moscú, Rusia, 2006; y ha sido ganador del primer puesto en la modalidad de ponencia oral durante el *IX Congreso Colombiano de Fitoquímica, Productos Naturales: Ciencia, Tecnología e Industria*, realizado en Pereira, 2007.

1. CONCEPTOS TEÓRICOS

1.1. VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Debido a la inestabilidad del clima durante las últimas décadas y a su impredecible cambio a escala regional, ha surgido la necesidad de realizar investigaciones sobre los productos agroindustriales sensibles a estos cambios climáticos. A causa de las diferencias que existen de un año a otro, el desarrollo de una planta puede variar. Por ejemplo, temperaturas menores a las habituales o menos días de insolación, pueden retardar la floración de un cultivo. La composición química de la planta también puede variar debido a la precipitación, temperatura y radiación solar que recibe la planta [1].

El calentamiento global está generando variaciones en el clima, por lo que dificulta establecer una relación directa entre la composición química de los metabolitos de la planta y los meses del año. Esto se convierte en una dificultad para mantener la estabilidad de la calidad de un producto en el mercado. Esta variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante períodos de tiempo relativamente cortos. En diferentes años, los valores de las variables climatológicas fluctúan por encima o por debajo de lo normal. La secuencia de estas variaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías.

En el análisis de la variabilidad climática, es importante tener en cuenta la gráfica del balance hídrico climático para el territorio nacional. Esta gráfica permite conocer datos como la disponibilidad media de agua a lo largo del año. También es importante conocer el comportamiento histórico de la precipitación, conformada por una serie de mapas con distribución nacional

de la precipitación mensual. Y por último, el Índice Oceánico de El Niño (ONI), el cual se basa en las principales mediciones de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región, este índice muestra las anomalías presentadas en la variabilidad climática de la región [2]. El Niño nace en las aguas tropicales del Océano Pacífico y la intensidad que alcanza en su madurez puede afectar el clima mundial. En su etapa inicial El Niño puede modificar el comportamiento normal de los períodos lluviosos y secos de los países cercanos al ecuador geográfico.

1.2. ACEITES ESENCIALES

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, junto con otros compuestos casi siempre oxigenados, como por ejemplo los alcoholes, éteres, ésteres, aldehídos y compuestos fenólicos, que son los que transmiten a los aceites esenciales el aroma que los caracteriza [7].

La composición química y el contenido de los aceites esenciales son sensible a muchas variables, entre las cuales se encuentran el tipo de material vegetal, el método de extracción y las condiciones geobotánicas y climáticas en las cuales se desarrollan las plantas.

1.3. APLICACIONES DE LOS ACEITES ESENCIALES

Actualmente se han obtenido más de tres mil aceites esenciales de un gran número de especies botánicas. Sin embargo, no más de trescientos aceites tienen un alto valor comercial y se utilizan ampliamente en diferentes ramas

de la industria. Las esencias naturales se emplean como aromatizantes y/o saborizantes, como ingredientes de algunos preparados farmacéuticos o base de perfumes y productos cosméticos finos, desodorantes, lociones, jabones líquidos, pastas dentífricas, entre otros. [6].

1.4. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

La destilación es el procedimiento más antiguo y difundido para la obtención de aceites esenciales debido a su bajo costo y simplicidad de equipo. En la **Figura 1** se muestran dos destiladores del Complejo Agroindustrial, CENIVAM, uno de cobre con quemador de gas y el otro de acero inoxidable con resistencia eléctrica para el calentamiento.

La hidrodestilación asistida por la radiación de microondas (MWHM), es otra técnica de obtención de aceites esenciales, la cual consiste en una fuente de radiación microondas que se usa como agente extractor de productos naturales. Si el calentamiento aplicado es del modo tradicional, utilizando una manta eléctrica, el proceso es lento.



Figura 1. Destiladores de aceite esencial a escala piloto.

En los **ANEXO 1 y 2** se pueden observar dos destiladores a escala semi-industrial, con capacidad para 50 kg de carga de materia prima. [3].

1.5. EL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG

Esta especie se aprovecha a escala industrial para la producción de su aceite en Madagascar, principalmente. El aceite esencial de ylang-ylang se obtiene de las flores del árbol *Cananga odorata* (Hook Fil. Et Thomson), *forma genuina*, que pertenece a la familia Annonaceae, probablemente, es nativo de Filipinas, se encuentra también en las islas del Océano Índico, Islas Comoro, en la Costa Oriental de África y en Madagascar. Fue introducido a Colombia en 1935, inicialmente en el Valle del Cauca [6].

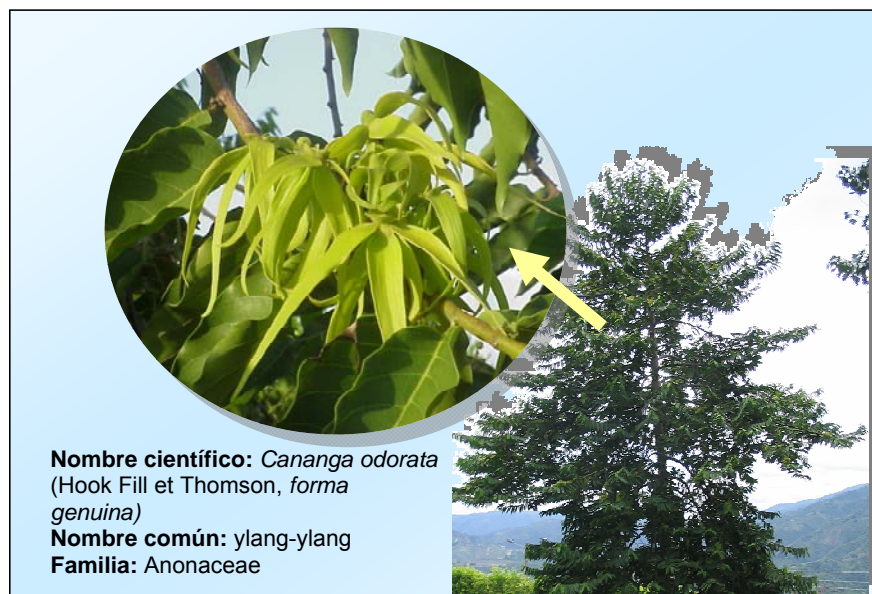


Figura 2. Árbol de ylang-ylang cultivado en el Complejo Agroindustrial CENIVAM.

El aceite esencial de ylang-ylang es un líquido amarillo con fuerte, dulce y agradable aroma floral; se obtiene principalmente por destilación con vapor de las flores totalmente desarrolladas, las cuales en plena madurez contienen la máxima cantidad de aceite de la más alta calidad.

Comercialmente el aceite esencial de ylang-ylang se clasifica en diferentes categorías: Extra, Primera, Segunda y Tercera, según su calidad; el contenido alto de compuestos oxigenados aumenta el valor comercial del aceite, siendo mucho más caro el de calidad Extra. En la actualidad, el aceite de ylang-ylang es muy apreciado en perfumería, especialmente, en la francesa, para introducir una nota floral. También tiene aplicación en la fabricación de champú, cremas, lociones y saborizantes de alimentos, entre otros. Es importante señalar, que la aplicación industrial del aceite depende de su calidad. En aromaterapia el aceite de ylang-ylang se utiliza porque su acción en el sistema nervioso es eufórica, sedante e hipertensora, por lo que se recomienda en estados de ansiedad, en la tensión nerviosa e hipertensión arterial [10-12].

En el **ANEXO 3** se encuentra un análisis cuantitativo de la especie de ylang-ylang, se reportan las publicaciones realizadas y las patentes por área, año, entre otros parámetros de búsqueda en las bases de datos *SCOPUS & WEB OF SCIENCE*.

1.6. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE GC-MS AL ESTUDIO DE ACEITES ESENCIALES

Para el estudio de la composición química de los aceites esenciales, se ha demostrado, que el mejor método es la técnica instrumental de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). La combinación de un cromatógrafo de gases (GC) con un espectrómetro de masas (MS), es hoy en día una herramienta excepcionalmente útil y versátil para la identificación y la cuantificación de los componentes presentes en las mezclas orgánicas; un significativo progreso en el desarrollo de este método se logró debido al uso de las columnas capilares de alta eficiencia, a la aplicación de diferentes técnicas de ionización y la utilización de software especializados, incorporados en un sistema de datos [4].

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los datos de temperatura y precipitación del Área Metropolitana de Bucaramanga, correspondientes a los años 2005 y 2006, fueron suministrados por la CDMB (Corporación por la Defensa de la Meseta de Bucaramanga). Los datos fueron obtenidos por medio de una estación meteorológica cercana al cultivo de ylang-ylang, a 100 m aprox. del Complejo Agroindustrial CENIVAM. Los datos suministrados por el IDEAM [2], correspondientes al balance hídrico climático, el comportamiento histórico de la precipitación mensual y el ONI, fueron tenidos en cuenta para el análisis de los resultados de la variación estacional del aceite de ylang-ylang.

En el **ANEXO 4** se muestra el balance hídrico promedio estimado para Bucaramanga, se observa un almacenamiento hídrico a finales de febrero hasta mediados de mayo, igualmente para los meses de septiembre, octubre y mediados de noviembre. Se presenta un ligero exceso hídrico entre los meses de octubre y noviembre. El déficit se presenta en los meses no mencionados anteriormente.

En el **ANEXO 5** se presenta el comportamiento histórico de la precipitación para todos los meses de monitoreo del aceite esencial de ylang-ylang. Los meses secos reportados, según fuentes del IDEAM, corresponde a marzo y diciembre del 2005, enero y febrero del 2006. El comportamiento de la precipitación se puede seguir analizando en las gráficas anexadas.

En el **ANEXO 6** se muestra el ONI para las ciudades de Cúcuta y Barrancabermeja, se puede estimar un promedio del ONI para Bucaramanga

por la similitud de los resultados. Es importante resaltar que los datos del ONI muestran el comportamiento de las variables climáticas que pueden presentar anomalías en la precipitación, durante el tiempo de monitoreo del aceite de ylang-ylang, como es el fenómeno de El Niño.

2.1.1. Temperatura

En el **ANEXO 7**, se presentan los valores de las temperaturas máxima, mínima y promedio correspondientes a cada mes bajo estudio. La temperatura está dada en grados Celsius ($^{\circ}$ C). En esta tabla, se muestra un aumento de la temperatura del mes de marzo a mayo del 2005, y una disminución de la misma de octubre a diciembre. Para el año 2006, hay un aumento que permanece constante durante los meses de febrero a septiembre, no varía más de $0,36^{\circ}$ C.

2.1.2. Precipitación

En el **ANEXO 8**, se encuentran los días de lluvia por meses, las horas de lluvia, los acumulados (en mm/mes) y el promedio por mes (en mm/día), este último corresponde a la precipitación. Se puede observar también una alta precipitación durante los meses de marzo y abril del año 2005, disminuyendo entre los meses de mayo a junio, con un incremento en el mes de julio del mismo año; siguiendo con los meses de agosto y septiembre con disminución ($2,06$ mm/día para agosto y $5,40$ mm/día para septiembre). Octubre y diciembre presentaron altos valores de precipitación y con una disminución en el mes de noviembre. Para el año 2006, se observaron altas precipitaciones durante los meses de febrero y abril, mientras que permaneció bajo el valor de la precipitación para los meses de enero, marzo, y de mayo hasta septiembre.

2.2. EVALUACIÓN ANUAL DEL RENDIMIENTO Y LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE

Para el estudio de la variación estacional del aceite de ylang-ylang, se realizó la extracción de la esencia mes a mes, a partir de las flores amarillas y maduras, colectadas durante los meses de marzo a diciembre del 2005, y de enero hasta septiembre del 2006; el aceite se obtuvo por medio de la MWHD. El aceite destilado fue analizado por GC-MS, determinando así el contenido de los compuestos presentes en el aceite. Las flores amarillas y maduras fueron colectadas durante los primeros diez días del mes a monitorear, entre las 6:30 y 7:30 de la mañana. El material vegetal colectado fue pesado (c.a. 100 g). Todas las determinaciones másicas realizadas en el desarrollo del estudio se llevaron a cabo en una balanza analítica METTLER TOLEDO AG 285 (Suiza).

Los metabolitos se aislaron aplicando la técnica MWHD, de acuerdo al procedimiento descrito en [13]. El material vegetal se sometió a extracción de un equipo de destilación tipo *Clevenger* con reservorio de destilación *Dean-Stark* y adaptación para calentamiento por radiación de microondas a través de un horno doméstico marca *LG-Interlowave* con potencia del horno (720 W). El tiempo total de extracción fue de 30 min. Finalmente, el aceite se separó por decantación, y se secó adicionando a la mezcla sulfato de sodio anhidro. Del aceite, ya deshidratado, se tomaron 50 μL , y se depositaron en un tubo de reacción al cual se le añadieron 4 μL de *Istd* (*n*-tetradecano); la mezcla se aforó a 1 mL con diclorometano. La extracción del aceite esencial se realizó para cada uno de los dieciocho meses del estudio. El aceite aislado fue pesado, y el rendimiento de la extracción se determinó con base en el peso inicial del material vegetal fresco, los valores determinados para las diferentes épocas se promediaron, y la variación en el contenido de aceite entre las épocas de lluvia alta y baja se presenta como la variación estándar.

Con el propósito de realizar una completa caracterización química de los aceites esenciales extraídos, las muestras se sometieron a un proceso de separación cromatográfica, usando dos columnas de diferente polaridad, columna polar y apolar.

2.3. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

El proceso se realiza en modo semi-continuo. La carga de la materia prima se hace por lotes. El flujo del vapor de agua, seco o saturado, es continuo. La decantación es continua.

Para la realización del modelo matemático para el balance de masa y el cálculo del flujo de energía, se tuvieron en cuenta los dos periodos que existen durante la operación:

Llenado (t_{ll}): desde que se inicia la inyección del vapor al hidrodestilador hasta que se obtiene la primera gota de aceite en el recipiente Florentino (separador agua-aceite).

- El tiempo, t_{ll} , fue de 25 min, se determinó usando el destilador a escala piloto mostrado en la **Figura 1**, se realizó una destilación por un tiempo de 3 h, y una relación agua:material vegetal de 15 L agua:2 kg de flores de ylang-ylang.

Obtención (t_{ob}): desde que termina el llenado hasta que el volumen del aceite esencial recogido en el recipiente Florentino no varía con el tiempo. Se divide en dos periodos:

- A. No estacionario (t_{ne}): desde que termina el llenado hasta que se alcanzan los equilibrios térmico e hidrodinámico. Depende de la

hidrodinámica del vapor en el lecho, del transporte de calor y de las condiciones técnicas del vapor. No suele estimarse, solo medirse, porque es determinante en el proceso, porque equivale al 50-70% del tiempo de obtención y durante el cual, se logra obtener entre el 60-75% del aceite total.

- Este tiempo se prolongó por 90 min, durante la hidrodestilación.

B. Estacionario (t_e): Desde que se alcanza el equilibrio térmico e hidrodinámico hasta que el volumen del aceite recogido no varía.

- Este tiempo correspondió entonces, al tiempo restante: 65 min.

Es importante resaltar que la reducción de tamaño de las flores de ylang-ylang no es beneficiosa para la calidad del aceite obtenido porque la fricción mecánica puede degradarlo térmicamente, antes de ser hidrodestilado [12].

2.4. EVALUACIÓN AMBIENTAL

Se trata de tener en cuenta, en forma explícita, los efectos que el proceso de obtención del producto genera sobre el medio ambiente. Se busca, entonces, identificar, proveer, mitigar o controlar los efectos nocivos generados durante el proceso de obtención del aceite esencial [4]. Se analizaron las emisiones a la atmósfera y efluentes líquidas generadas por el proceso.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO Y CUANTIFICACIÓN DEL ACEITE

3.1.1. Análisis cromatográfico

La composición química del aceite fue determinada en un cromatógrafo de gases *Agilent Technologies 6890 Plus* (HP, Palo Alto, California, USA), acoplado a un detector selectivo de masas (MSD) *Agilent Technologies 5973 Plus*. Los índices de Kovàts fueron determinados en una columna capilar DB-5MS 60 m x 0.25 mm x 0.25 μm con fase estacionaria de 5% de poli(metilsiloxano), y en una columna DB-WAX 60 m x 0.25 mm x 0.25 μm , con fase estacionaria entrecruzada e inmovilizada de poli(etilenglicol). La temperatura del horno fue programada de 45° C (5 min) hasta 250° C @ 5° C min^{-1} para la columna apolar, HP-5; y para la columna DB-WAX, la temperatura del horno fue de 45° C (10 min) hasta 220° C @ 3° C min^{-1} . El gas de arrastre fue Helio (99.9995%, *Aga-Fano S.A*), con una presión de entrada en la cabeza de la columna de 113.3 kPa y una velocidad lineal de 26 cm s^{-1} . El volumen de inyección del aceite de ylang-ylang en diclorometano fue de 2 μL .

El MSD fue usado con un sistema de datos HP-MS ChemStation para la identificación de los componentes del aceite. Los espectros de masas fueron obtenidos por impacto de electrones con energía de 70 eV. Para la separación de los compuestos por la columna DB-5MS, las temperaturas de la cámara de ionización y de la línea de transferencia se mantuvieron a 230 y 285° C, respectivamente. Por la columna DB-WAX, las temperaturas fueron de 230 y 250° C, para la cámara de ionización y la línea de transferencia. Los espectros de masas y las corrientes electrónicas

reconstituidas (TIC) se obtuvieron en un cuadrupolo, por medio de barrido automático de frecuencia (*full scan*): de 10 a 30 min, con rango de masas de m/z 30-250 a.m.u. (6.10 scan s^{-1}); de 30 a 50 min, con rango de masas de m/z 40-350 a.m.u. (4.51 scan s^{-1}); y luego de 50 min, con rango de masas de m/z 40-500 a.m.u. (3.15 scan s^{-1}). La homogeneidad de cada pico cromatográfico fue revisada, obteniendo fragmentogramas de masas, basados en iones característicos de cada compuesto.

3.1.2. Identificación y cuantificación

Los componentes de los aceites fueron identificados por comparación de sus índices de Kovàts en dos columnas, determinados en relación a una serie homóloga de n -alcanos, con los índices reportados en la literatura [3]. La comparación de los patrones de fragmentación en el espectro de masas con los almacenados en las bases de datos del GC-MS (Wiley 138, NIST 98, QuadLib 1607) y los reportados en la literatura [3].

La cuantificación de los componentes identificados en el aceite se realizó mediante estandarización interna, empleando n -tetradecano, *Istd*, según la siguiente ecuación:

$$C_x = \frac{C_{Istd} * A_x}{A_{Istd}}$$

Donde:

C_x : Concentración del analito en la muestra;

C_{Istd} : Concentración de *Istd*;

A_x : Área del pico cromatográfico del analito;

A_{Istd} : Área del pico cromatográfico del *Istd*.

En **figura 3** se muestra un cromatógrafo de gases *Agilent Technologies 6890 Plus Series GC System* acoplado a un detector selectivo de masas *Agilent*

Technologies 6890 Network, equipado con un puerto de inyección *split/splitless* y un inyector automático *Agilent 7863*.



Figura 3. Cromatógrafo de gases acoplado a un detector selectivo de masas.

Se aplicaron los parámetros estadísticos (promedio y D.S.) sobre las áreas relativas de los compuestos del aceite de ylang-ylang de los meses correspondientes a épocas de lluvias altas y bajas a diferentes tiempos del año.

3.2. VARIACIÓN ANUAL DEL RENDIMIENTO Y LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE

En los **ANEXOS 10 al 16**, se registran los perfiles cromatográficos y las tablas de rendimiento y composición química del aceite esencial de ylang-ylang. En el **ANEXO 17** continúa el análisis de los resultados obtenidos en el estudio, variación anual de la composición química de la esencia floral.

3.2.1. Composición química de la esencia

En el **ANEXO 10** se encuentra el perfil cromatográfico típico, obtenido en la columna DB-5MS (60 m), de los metabolitos secundarios volátiles, aislados por MWHD de las flores de ylang-ylang, recolectadas durante el mes de mayo del 2005. Con base en los tiempos de retención, para cada pico cromatográfico, se determinaron los respectivos índices de Kovàts. Con base en éstos, los reportados en la literatura y en los espectros de masas, se identificaron los compuestos presentes en el aceite de ylang-ylang. Los componentes aparecen reportados según su orden de elución en la columna apolar. En la **ANEXO 11** se muestra el perfil cromatográfico típico, en la columna polar DB-WAX (60 m), de los componentes del aceite aislados de las flores recolectadas en mayo de 2005. También se determinaron los índices de Kovàts y con base en éstos se confirmó la identificación de los componentes del aceite esencial de ylang-ylang.

El aceite esencial obtenido por MWHD de las flores de *Cananga odorata*, fue analizado tanto cualitativa-, como cuantitativamente, para cada mes. En el **ANEXO 12** se registran alrededor de 70 compuestos identificados en el aceite de ylang-ylang de flores recolectadas, en las diferentes épocas del año.

Los componentes mayoritarios fueron *p*-metilanol, benzoato de metilo, linalool, acetato de bencilo y benzoato de bencilo (> 10%). Se determinó la presencia de compuestos nitrogenados en el aceite esencial, tales como 2-fenilnitroetano y el indol. Los componentes identificados en el aceite, según su naturaleza química fueron los compuestos oxigenados (~ 60%), seguidos de los monoterpenos oxigenados (~ 20%), sesquiterpenos oxigenados e hidrocarburos sesquiterpénicos (~ 10%). En pequeñas proporciones se encontraron los hidrocarburos monoterpénicos y los compuestos nitrogenados (~ 2%).

3.2.2. Variación anual del rendimiento y la composición química del aceite de ylang-ylang

El aceite de ylang-ylang presentó altos rendimiento durante los meses de lluvias altas, marzo a julio del 2005, con un valor máximo de 0,5%. Para los meses de agosto y septiembre del 2005 y de junio a septiembre del 2006, el rendimiento del aceite esencial de ylang-ylang fue bajo, cercano al 0,3%. Para los últimos meses del año 2005 y primeros del 2006, el rendimiento del aceite esencial se mantuvo alrededor de 0,4%.

En el **ANEXO 15**, se reportan las cantidades relativas de los componentes del aceite de ylang-ylang, obtenido durante diferentes épocas del año. Los compuestos que se encuentran en proporciones mayores que 10%, por su funcionalidad son muy deseados en el aroma del aceite esencial de ylang-ylang, haciendo que éste posea una calidad más alta, que los aceites con alto contenido de sesquiterpenos. La desviación estándar, D.S., hace referencia al análisis estadístico de las cantidades relativas de los componentes de cada aceite obtenido durante la variación anual para una época específica de lluvia, alta o baja, y todos los meses correspondientes a dicha época.

En la **Figura 4**, se muestra la variación estacional de los compuestos oxigenados mayoritarios (cantidades relativas > 4,6%) en el aceite, éstos son: **12-** (Nº de pico del cromatograma presentado en el **ANEXO 10**) *p*-Metilanol; **19-** Benzoato de metilo; **22-** Acetato de bencilo; **40-** Acetato de cinamilo; **60-** Benzoato de bencilo. Los compuestos oxigenados con número de pico 12, 19 y 22, presentaron la tendencia de su aumento en épocas de lluvia y la disminución durante las épocas de lluvias bajas. Pero los compuestos 40 y 60, mostraron una tendencia opuesta a los otros compuestos oxigenados antes mencionados.

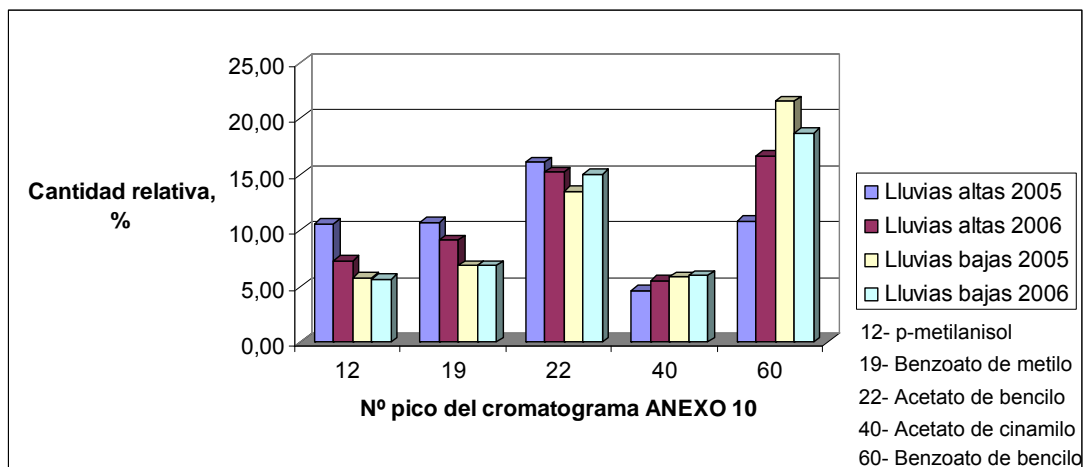


Figura 4. Variación de los compuestos oxigenados mayoritarios (número de pico del cromatograma mostrado en el **ANEXO 10**), durante las épocas de lluvias altas y bajas (2005 y 2006).

En la **Figura 5**, se muestra la variación estacional de los compuestos oxigenados minoritarios (cantidades relativas < 0,8%) presentes en el aceite: **2-** Acetato de 3-metil-3-buten-1-ilo; **3-** Acetato de 3-metil-2-buten-1-ilo; **9-** Acetato de 3-hexenilo; **10-** Acetato de hexilo; **18-** *p*-Cresol; **27-** 2,3-Dimetoxitolueno. Se puede observar un aumento de los compuestos oxigenados para las épocas de lluvias altas y una ligera disminución para las épocas de lluvias bajas.

Los porcentajes de los compuestos oxigenados mayoritarios no se mantuvieron constantes a lo largo del año, mostrando variaciones representativas en las épocas de lluvias altas (abril) y lluvias bajas (julio y octubre), como es el caso del *p*-Metilanisol, cuyo mayor porcentaje se obtuvo durante la época de lluvias altas en el 2005 (10,61%), disminuyendo a valores bajos (3,32%) en época de lluvias bajas del mismo año; éste último periodo se caracterizó por un bajo porcentaje de estos compuestos, aunque el benzoato de bencilo mantuvo un alto porcentaje en la época de lluvia.

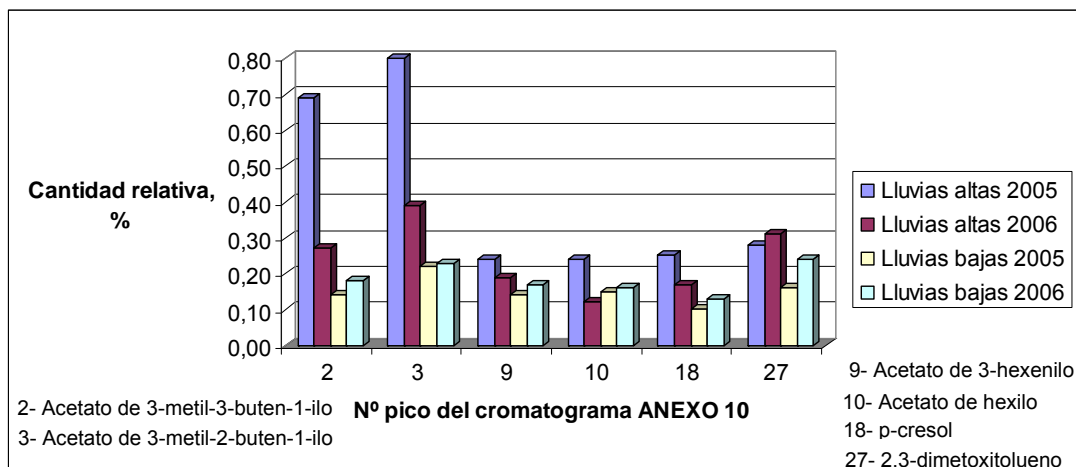


Figura 5. Variación de los compuestos oxigenados minoritarios (número de pico del cromatograma mostrado en el **ANEXO 10**) presentes en el aceite, durante las épocas de lluvias altas y bajas (2005 y 2006).

3.3. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

3.3.1. Balance de masa: El condensador trabaja en modo continuo, por lo que el balance de masa está sobre-entendido. El recipiente Florentino depende del flujo generado por el destilador, pero al trabajar en modo continuo, su balance está también sobre-entendido. El equipo crítico es el hidrodestilador.

Convención de las corrientes del equipo:

Nº de la Corriente	Flujo
1	Entrada al hidrodestilador
2	Salida del hidrodestilador
3	Flujo a contracorriente, debido a la condensación del vapor afluente

Existen dos casos, a saber:

El primer caso se trata cuando no hay reciclo del agua floral al generador de vapor (caldera), entonces la entrada de aceite esencial al hidrodestilador es

igual a cero ($F_1^{aceite}=0$). El segundo caso ocurre cuando hay reciclaje del agua de vapor al generador de vapor (hervidor).

- o En el periodo de llenado: $0 < t < 25$ (min).

$$F_1^{aceite} - \frac{dF_3^{aceite}}{dt} = \frac{dF^{aceite}}{dt} \quad (\text{Ec. 1})$$

En la Ecuación 1, el término derecho de la ecuación corresponde a la acumulación de aceite esencial en el hidroddestilador.

- o En el periodo no estacionario: $25 < t < 115$ (min).

$$F_1^{aceite} - \frac{dF_2^{aceite}}{dt} - \frac{dF_3^{aceite}}{dt} = \frac{dF^{aceite}}{dt} \quad (\text{Ec. 2})$$

Se considerará que el material vegetal no absorbe, ni retiene agua condensada durante este periodo; aunque en la realidad sí lo hace, pero en una cantidad difícilmente calculable o conocida.

- o En el periodo estacionario: $115 < t < 180$ (min).

$$F_1^{aceite} - F_2^{aceite} - F_3^{aceite} = \frac{dF^{aceite}}{dt} \quad (\text{Ec. 3})$$

Con la ecuación 3 se puede determinar la acumulación del aceite esencial en el hidroddestilador en un tiempo determinado, de esta manera, con la aplicación de esta ecuación, se puede conocer el comportamiento del rendimiento de la materia prima en el equipo de destilación. Para realizar el cálculo de la acumulación del aceite en el destilador y aplicación de la ecuación 3, se requiere de experimentos adicionales los cuales no hacen parte del alcance de este proyecto.

3.3.2. Balance de energía: Realizando un balance global al hidroddestilador mostrado en el **ANEXO 1**, con capacidad de procesar 100 kg de material vegetal, donde el flujo de energía necesario (Q_n) para realizar una operación está compuesto por cuatro términos:

- a) Energía para el calentamiento del hidroddestilador (Q_1):**

$$Q_1 = M^{hidroddestilador} C_p^{hidroddestilador} (T_b - T_\infty) \quad (\text{Ec. 4})$$

El hidroddestilador, tomado como base para el balance de energía (Equipo mostrado en el **ANEXO 1**), fue elaborado en acero inoxidable de la serie 300, particularmente el acero AISI 304 (designación UNS S30400) [8], este es un acero austenítico Cr-Ni, presenta una mejor resistencia a la corrosión que el 302, aceptable ductilidad y capacidad de formado [8].

La masa estimada del equipo es de 230,02 kg; $\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$;

La capacidad calorífica del acero AISI 304 es de 400 J/kgK;

$$Q_1 = 3.680,32 \text{ kJ}$$

$$Q_1 = 36,80 \text{ kJ / kg}$$

b) Energía para el calentamiento del material vegetal (Q_2):

$$Q_2 = M^{\text{material vegetal}} C_p^{\text{material vegetal}} (T_b - T_{\infty}) \quad \text{(Ec. 5)}$$

$$Q_2 = 90,1 \text{ kJ / kg}$$

La capacidad calorífica de las flores de ylang-ylang fue calculada por la expresión de Siebel (1982) [9].

c) Energía para vaporizar el aceite esencial, considerado como un líquido en la película superficial (Q_3):

$$Q_3(T) = M^{\text{aceite}} \Delta H_{\text{vap}}^{\text{aceite}}(T) \quad \text{(Ec. 6)}$$

$$\Delta H_{\text{vap}}^{\text{aceite}}(T) = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i \Delta H_{\text{vap},i}(T)}{\sum_{i=1}^{10} x_i MW_i} \quad \text{(Ec. 7)}$$

Los componentes ($i=1$, hasta $i=10$) mayoritarios son: linalool ($x_1=0,17$); acetato de bencilo ($x_2=0,16$); benzoato de bencilo ($x_3=0,11$); benzoato de metilo ($x_4=0,11$); *p*-metilanol ($x_5=0,11$); germacreno D + *trans*-metil isoeugenol ($x_6=0,06$); acetato (*E*) de cinamilo ($x_7=0,05$); acetato de geranilo ($x_8=0,03$); α -pineno ($x_9=0,02$); y 1,8 cineol + alcohol bencílico ($x_{10}=0,02$).

Las entalpías de vaporización se calculan usando la ecuación de Antoine a la temperatura de operación. La masa de aceite es el promedio de las cantidades obtenidas experimentalmente, entonces:

$$Q_3 = 5,1 \text{ kJ} / \text{kg}$$

d) Flujo de calor perdido al exterior debido a la convección natural (Q_4):

$$Q_4(T) = hA_{\text{hidrodestilador}}(T - T_{\infty}) \quad \text{(Ec. 8)}$$

$$h = 6,4735 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \Delta T = 30 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$Q_4 = 1,05 \text{ kJ} / \text{kg}$$

Donde h fue calculado por la expresión de Churchill and Chu (1975) [5]. $A_{\text{hidrodestilador}}$ depende de la geometría del destilador. Para el caso industrial, se considera un remolque con forma de un cilindro, y su área se calcula así:

$$A_{\text{hidrodestilador}} = 2\pi RL \quad \text{(Ec. 9)}$$

$$\text{Donde } R = 0,3526 \text{ m y } L = 0,8 \text{ m}$$

$$A_{\text{hidrodest}} = 1,7715 \text{ m}^2$$

El flujo de energía necesario es calculado como una suma de las energías anteriores, con respecto a un periodo de tiempo, y el flujo de calor perdido:

$$Q_n = \left(\frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{\Delta t} \right) + \dot{Q}_4(T) \quad \text{(Ec. 10)}$$

$$Q_n = 133,05 \text{ kJ} / \text{kg}$$

Comparando los flujos de energía 1, 2, 3 y 4, se identifica que la mayor parte de la energía es requerida para calentar la materia prima y el hidrodestilador, Q_1 y Q_2 . Siendo mayor el flujo de energía para el calentamiento de la materia prima que para el hidrodestilador, esto se debe al alto contenido de agua presente en la materia prima.

3.4. EVALUACIÓN AMBIENTAL

Esta evaluación determina los efluentes que ocasiona un impacto ambiental sobre el proceso de producción del aceite esencial de ylang-ylang y propone soluciones para su tratamiento. En el **ANEXO 19** se profundiza en la evaluación ambiental del proyecto.

CONCLUSIONES

- La composición del aceite de ylang-ylang presenta variaciones durante el año, dependiendo de la época de lluvia, alta o baja; las variaciones climáticas no permiten asegurar una estabilidad de la calidad de un producto sensible a cambios, por lo que se requiere de una operación unitaria adicional al proceso, *i.e.* la destilación fraccionada.
- El rendimiento del aceite esencial de ylang-ylang aumenta durante la época de lluvias, durante los meses que presentaron lluvias altas se logró un rendimiento hasta del 0,5% (% p/p) de acuerdo con los resultados experimentales durante los 18 meses de estudio. En las épocas de lluvias bajas se registraron los rendimientos más bajos, cercanos a 0,3% (% p/p).
- La calidad del aceite esencial de ylang-ylang se determina principalmente con base en el contenido de sus compuestos oxigenados. Los componentes oxigenados se aumentaron durante las épocas de lluvias altas, caso contrario ocurrió con el benzoato de bencilo, compuesto oxigenado de peso molecular más alto, el cual registró mayor concentración en el aceite durante las épocas de lluvias bajas.
- La comparación de los diferentes flujos de energía involucrados en el proceso de la destilación, mostró que la mayor parte de energía es consumida en el calentamiento de la materia prima, seguido por el consumo energético requerido para el calentamiento del equipo de hidrodestilación.

RECOMENDACIONES

- Es interesante estudiar la producción y la calidad del aceite esencial de ylang-ylang obtenido en diferentes regiones de Colombia. De esta manera, se podrá corroborar la influencia de las precipitaciones sobre la calidad y la cantidad del aceite obtenido teniendo en cuenta el clima de cada región.
- Se recomienda desarrollar y ampliar los cultivos de ylang-ylang en zonas que no presenten grandes rangos de variación en la precipitación, pues se ha estudiado, que estas variables climáticas influyen en la calidad del aceite.
- En el Complejo Agroindustrial CENIVAM, se encuentra en desarrollo el montaje de una torre de rectificación de aceites esenciales, con el fin de ofrecerles a los productores de aceites esenciales una herramienta que mejora la calidad del producto final. Se recomienda producir el aceite de ylang-ylang, posteriormente enviarlo al Complejo Agroindustrial CENIVAM para su rectificación, logrando así, un aceite de calidad constante durante las diferentes épocas del año.

BIBLIOGRAFÍA

1. <http://www.greenfacts.org/>. [Citada el 5 de noviembre de 2007]
2. <http://www.ideam.gov.co> [Citada el 3 de mayo de 2008]
3. ADAMS, Identification of Essential Oil Component by Gas Chromatograph. /Quadrupole Mass Spectroscopy. Allured: Carol Stream, IL, 2001.
4. CERPA CHÁVEZ, M. G. Hidrodestilación de aceites esenciales. Universidad de Valladolid. Ingeniería Química. Tesis (Postgrado). 2007.
5. CHURCHILL, S., *et al.*, Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a vertical plate. Int. J. Heat Mass Transfer. 1975, p.1323-1329.
6. GAYDOU, E. M., *et al.*, Multidimensional data analysis of essential oils: application to ylang-ylang (*Cananga odorata*) grades classification, J. Agric. Food Chem., Vol. 36. 1988, p. 574-579.
7. GÜENTHER., E. The essential oils. Volumen I: History - origin in plants production – Analysis, Litton Educational, New York, 1948, p. 241-244.
8. LIZARAZO, H.A. & FONTECHA, R.D. Diseño y construcción de un equipo de destilación para la extracción de aceites esenciales. Universidad Industrial de Santander. Ingeniería Mecánica. Tesis (pregrado). 2007.
9. SIEBEL, J. Specific heat of various products. 1982, p. 256-257. Anexos.
10. STASHENKO, E.E., *et al.*, HRGC and GC-MS analysis of essential oil from Colombian ylang-ylang J. High Resol. Chromatogr., Vol 16. 1993, p. 441-444.
11. STASHENKO, E.E., QUIROZ, N. & MARTÍNEZ, J.R., HRGC/FID/NPD and HRGC/MSD study of Colombian ylang-ylang oils obtained by different extraction techniques. J. High Resol. Chromatogr., Vol. 19. 1996b, p. 353-358.
12. STASHENKO, E.E., *et al.*, A Study of the compositional variation of the essential oil of ylang-ylang (*Cananga odorata*) during flower development. J. High Resol. Chromatogr., Vol. 18,1995, p. 101-104.
13. STASHENKO, E.E., *et al.*, Comparison of different extraction methods for the analysis of volatile secondary metabolites of *Lippia alba*, and evaluation of its *in vitro* antioxidant activity. J. Chromatogr. A., Vol. 1025. 2004, 91-103.

ANEXO 1: DESTILADOR DE ACEITES ESENCIALES A ESCALA SEMI-INDUSTRIAL.



Equipo de destilación diseñado y construido por el CENIVAM y la UIS, el cual consta de un alambique que logra realizar extracciones con los métodos: hidrodestilación, destilación agua/vapor y destilación por arrastre con vapor, este es un equipo del tipo cartucho desmontable con capacidad para 50 kg de material vegetal. El condensador es un intercambiador de calor de casco y tubos que consiste básicamente en un cuerpo y carcaza, el cual envuelve un grupo de tubos rectos y paralelos en su interior [13].

ANEXO 2: DESTILADOR MÓVIL DE ACEITES ESENCIALES A ESCALA SEMI-INDUSTRIAL.



Equipo de destilación diseñado y construido por el CENIVAM y la UIS, el cual consiste en un sistema móvil para la extracción de aceites esenciales por los métodos de hidrodestilación y agua vapor con capacidad para procesar 50 kg de material vegetal. El condensador de vapor, enfriado por aire, cuenta con un ventilador que induce una corriente de aire que circula a través de los tubos aleteados del dispositivo, generando calor y logrando que el vapor sea condensado y posteriormente subenfriado.

**ANEXO 3: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA ESPECIE YLANG-YLANG
USANDO LAS BASES DE DATOS**

- Análisis de la especie *Cananga odorata* desde 1986-2006, fecha de consulta 3 de mayo del 2006 en la base de datos SCOPUS.

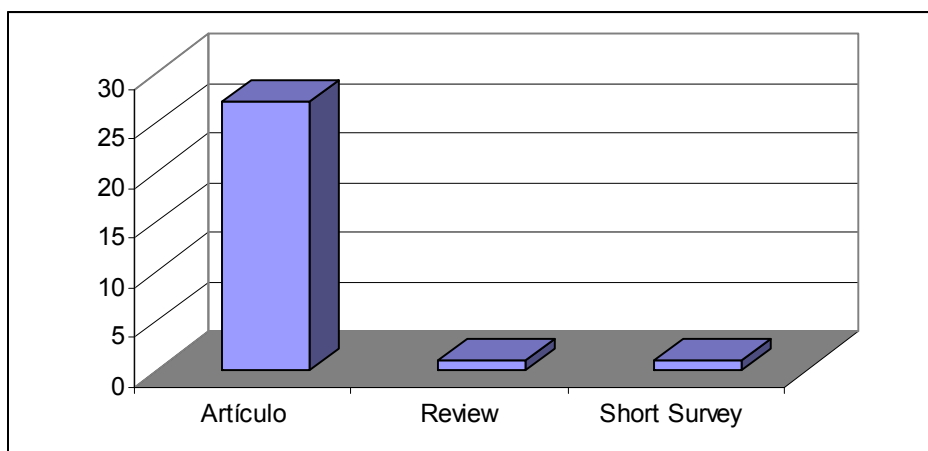
Número de publicaciones sobre *Cananga odorata* en diferentes revistas científicas:

Nombre de revistas científicas	Nº
Journal of Natural Products	3
Flavour and Fragrance Journal	3
Journal of Agricultural and Food Chemistry	3
Journal of High Resolution Chromatography	3
Fitoterapia	2
Journal of Essential Oil Research	2
Planta Medica	1
Phytotherapy Research	1
Parasitology Research	1
Journal of the Chinese Chemical Society	1
Journal of Stored Products Research	1
International Journal of Aromatherapy	1
Food Chemistry	1
European Journal of Pharmacology	1
Cutis	1
Contact Dermatitis	1
Chinese Pharmaceutical Journal	1
Canadian Journal of Botany	1
Biochemical Pharmacology	1
Annals of the New York Academy of Sciences	1

Publicaciones realizadas sobre la especie *Cananga odorata* durante el período de 1986-2006:

AÑO	Nº
2006	2
2005	3
2004	2
2003	2
2002	3
2001	2
2000	1
1999	1
1998	3
1997	2
1996	2
1995	3
1993	1
1988	1
1986	2

Tipo de publicación sobre la especie *Cananga odorata*:



Publicaciones realizadas en diferentes áreas de investigación:

ÁREAS	Nº
Agricultural and Biological Sciences	16
Chemistry	14
Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	11
Chemical Engineering	3
Medicine	3
Immunology and Microbiology	2
Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	1
Neuroscience	1

Autores con mayor número de publicaciones sobre *Cananga odorata*:

Stashenko, E.E. (3)

Wu, Y.C. (3)

Chang, F.R. (3)

Lamaty, G. (2)

Kluza, J. (2)

Hsieh, T.J. (2)

Menut, C. (2)

Gaydou, E.M. (2)

Clark, A.M. (2)

Bailly, C. (2)

Bianchini, J.P. (2)

Nº de patentes registradas desde 1986 -2006, sobre aceite de ylang-ylang:

PATENTES	Nº
US Patent Office	66
World Intellectual Property Organization (WIPO)	46
European Patent Office	11
Japanese Patent Office	2

- Base de datos WEB OF SCIENCE

Consulta realizada el 3 de marzo del 2007. Publicaciones realizadas en el período de 2001-2006 sobre *Cananga odorata*, por revistas:

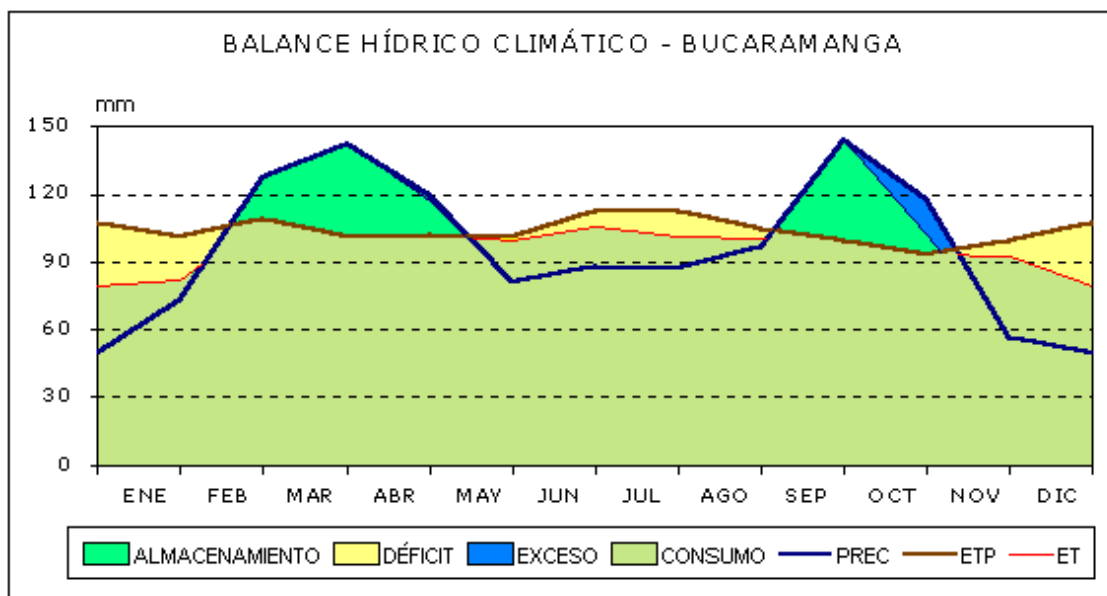
NOMBRE DE LA REVISTA CIENTÍFICA	Nº
Apoptosis: from signaling pathways to therapeutic tools	1
Cutis	1
European Journal of Pharmacology	1
Fitoterapia	1
Flavour and Fragrance Journal	1
Food Chemistry	1
Journal of Agricultural and Food Chemistry	1
Journal of Essential Oil Research	1
Journal of Natural Products	1
Phytotherapy Research	1

Publicaciones realizadas en el período de 2001-2006 sobre *Cananga odorata*, por áreas:

ÁREAS	Nº
Chemistry, Applied	5
Pharmacology & Pharmacy	5
Chemistry, Medicinal	4
Food Science & Technology	4
Plant Sciences	2
Agriculture, Multidisciplinary	1
Dermatology	1
Multidisciplinary Sciences	1
Nutrition & Dietetics	1

ANEXO 4: BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO.

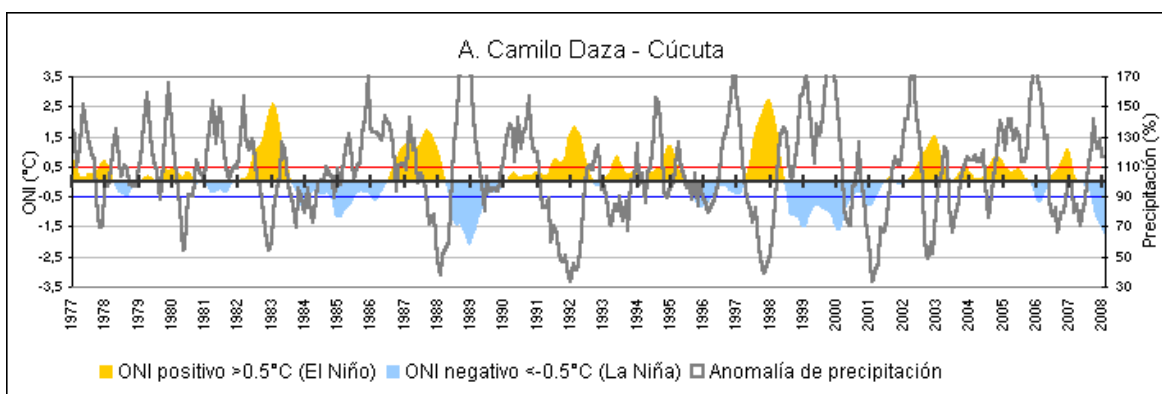
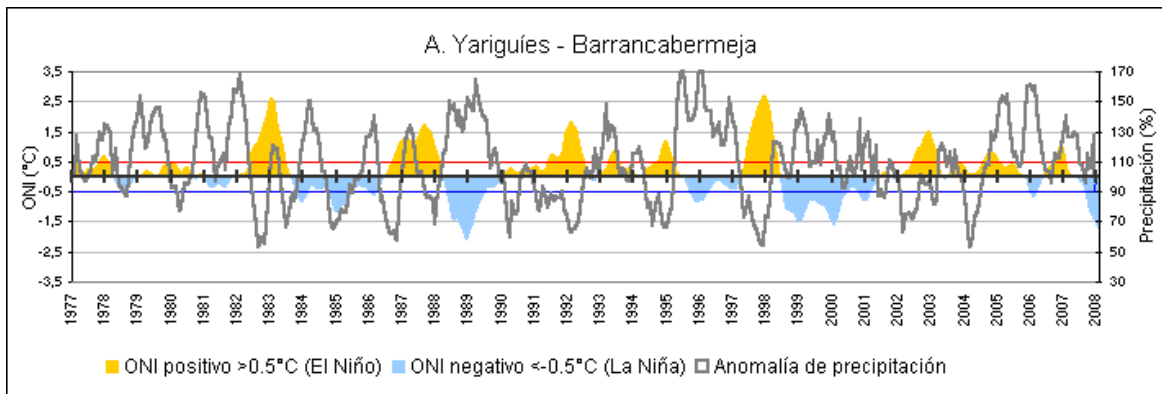
FUENTE: IDEAM



Los efectos climáticos del fenómeno El Niño son más visibles en los departamentos del Caribe y en los de la región Andina, principalmente. Al llegar la temporada seca de bajos volúmenes de lluvia, el déficit acumulado de precipitación de la temporada invernal anterior, se hace mayor, de tal manera que de no haberse previamente tomado las precauciones necesarias los impactos en algunos sectores productivos pueden hacerse mayores por un creciente déficit acumulado de precipitación.

ANEXO 5: ÍNDICE OCEÁNICO DE EL NIÑO (ONI)

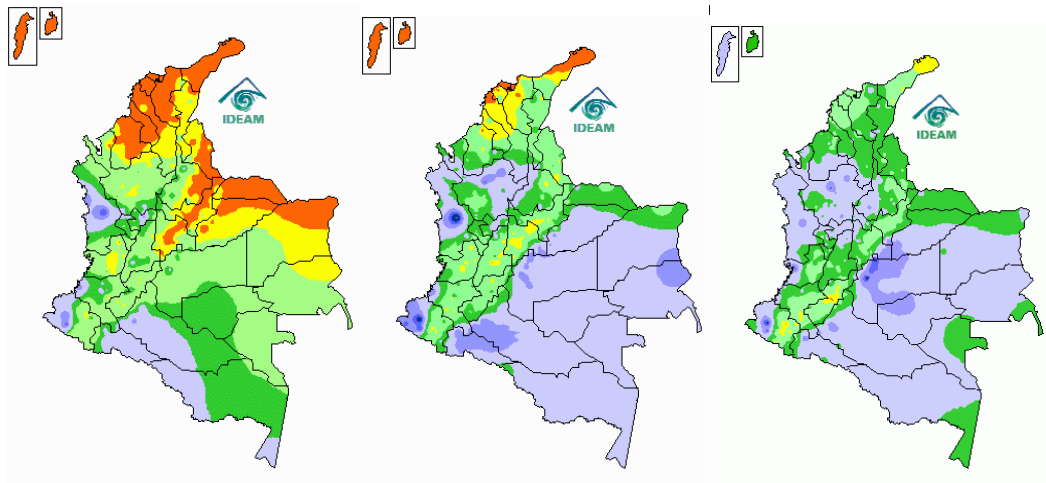
FUENTE: IDEAM



En ambos reportes se observa un elevado pico de anomalía de precipitación para los años 2005 y 2006. Esta elevación en la anomalía no se había presentado desde el año de 1997, para Barrancabermeja, y desde el 2002, para Cúcuta. Esta anomalía es debida al fenómeno de El Niño (ONI positivo > 0,5 °C), se muestra la influencia de este fenómeno con la franja azul en el 2005 y comienzos del 2006. Cabe resaltar que el pico de anomalía presentado en el 2006, a finales, se muestra marcado por el fenómeno de La Niña (ONI negativo < -0,5 °C).

ANEXO 6: COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LA PRECIPITACIÓN.

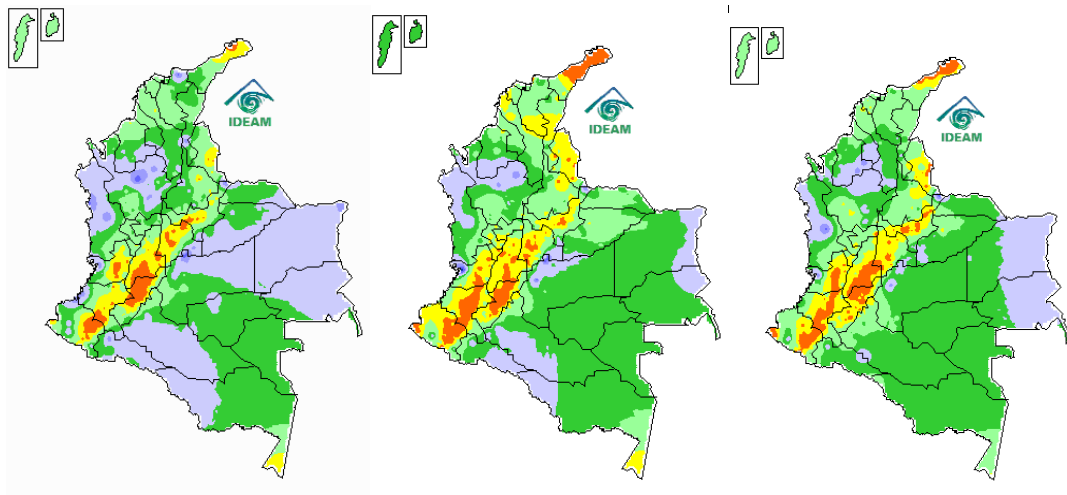
FUENTE: IDEAM



MARZO 2005

ABRIL 2005

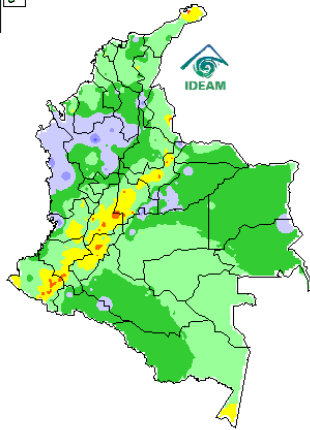
MAYO 2005



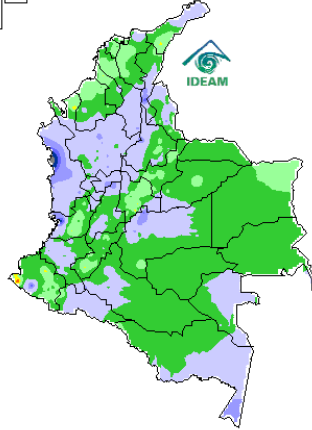
JUNIO 2005

JULIO 2005

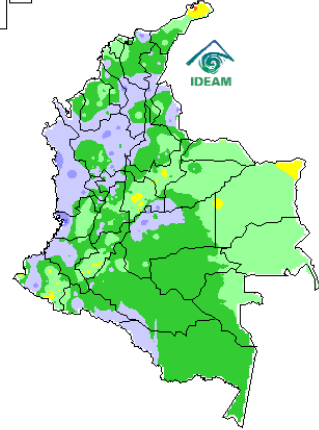
AGOSTO 2005



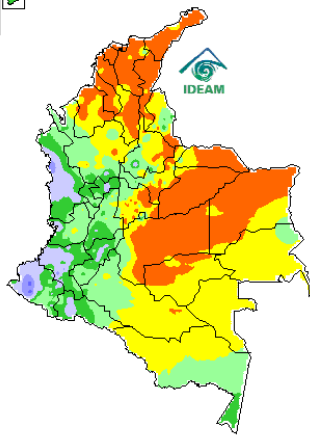
SEPTIEMBRE 2005



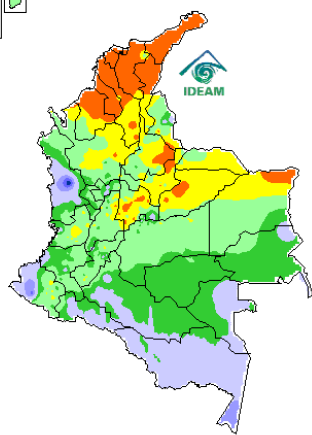
OCTUBRE 2005



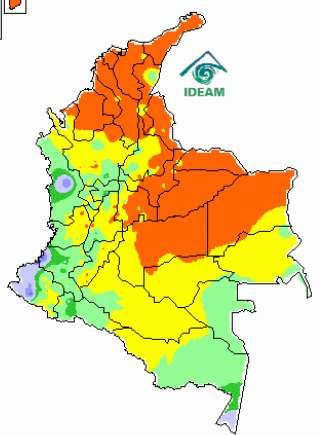
NOVIEMBRE 2005



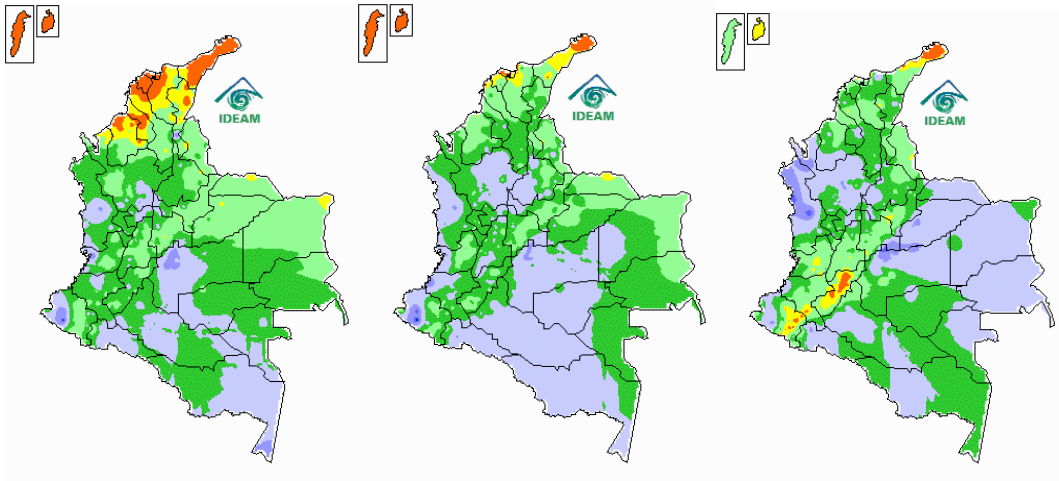
DICIEMBRE 2005



ENERO 2006



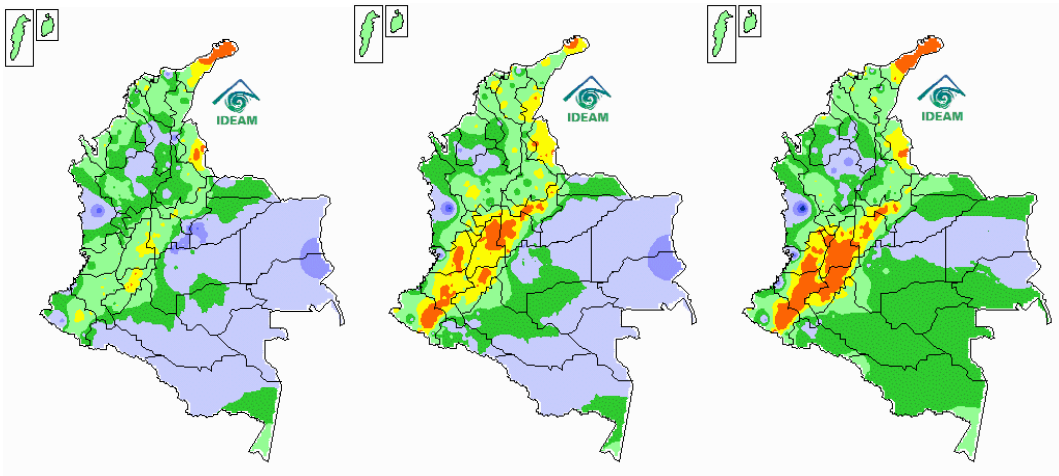
FEBRERO 2006



MARZO 2006

ABRIL 2006

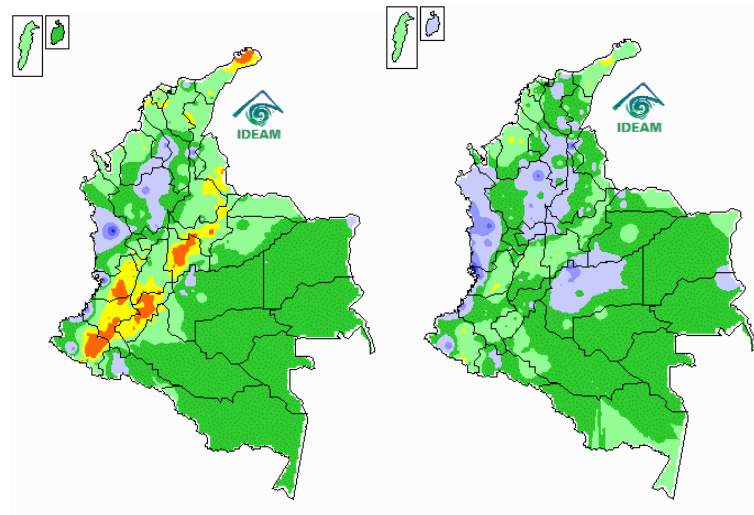
MAYO 2006



JUNIO 2006

JULIO 2006

AGOSTO 2006



SEPTIEMBRE 2006

OCTUBRE 2006

Para analizar el comportamiento histórico de la precipitación en el Área Metropolitana de Bucaramanga, se debe localizar el Departamento de Santander y relacionar los meses junto con los colores indicados en cada mapa. Los colores se pueden interpretar de la siguiente manera, por ejemplo, el rojo indica una baja precipitación, le sigue el amarillo que no es tan seco como el anterior. En la escala continua, en orden creciente (baja a alta precipitación), el verde claro, verde oscuro, azul claro, azul intermedio y azul intenso, respectivamente.

ANEXO 7: DATOS DE TEMPERATURAS MÁXIMA (MAX), MÍNIMA (MIN) Y PROMEDIO POR MES.

AÑO/MES		TEMPERATURA MIN, °C	TEMPERATURA MAX, °C	PROMEDIO MES, °C
2005	MAR	21,30	27,56	24,28
	ABR	21,03	27,33	23,93
	MAY	20,63	27,19	23,62
	JUN	21,79	28,63	24,88
	JUL	21,10	28,48	24,19
	AGO	20,48	27,27	23,31
	SEPT	20,21	27,28	23,18
	OCT	19,76	25,99	22,45
	NOV	19,73	25,73	22,10
	DIC	19,61	25,58	22,33
2006	ENE	19,95	25,79	22,65
	FEB	20,99	27,45	24,04
	MAR	20,79	26,91	23,47
	ABR	20,71	26,46	23,06
	MAY	20,77	27,22	23,58
	JUN	20,73	26,90	23,41
	JUL	21,07	27,37	23,75
	AGO	20,92	27,95	23,94
	SEPT	20,85	28,06	23,99

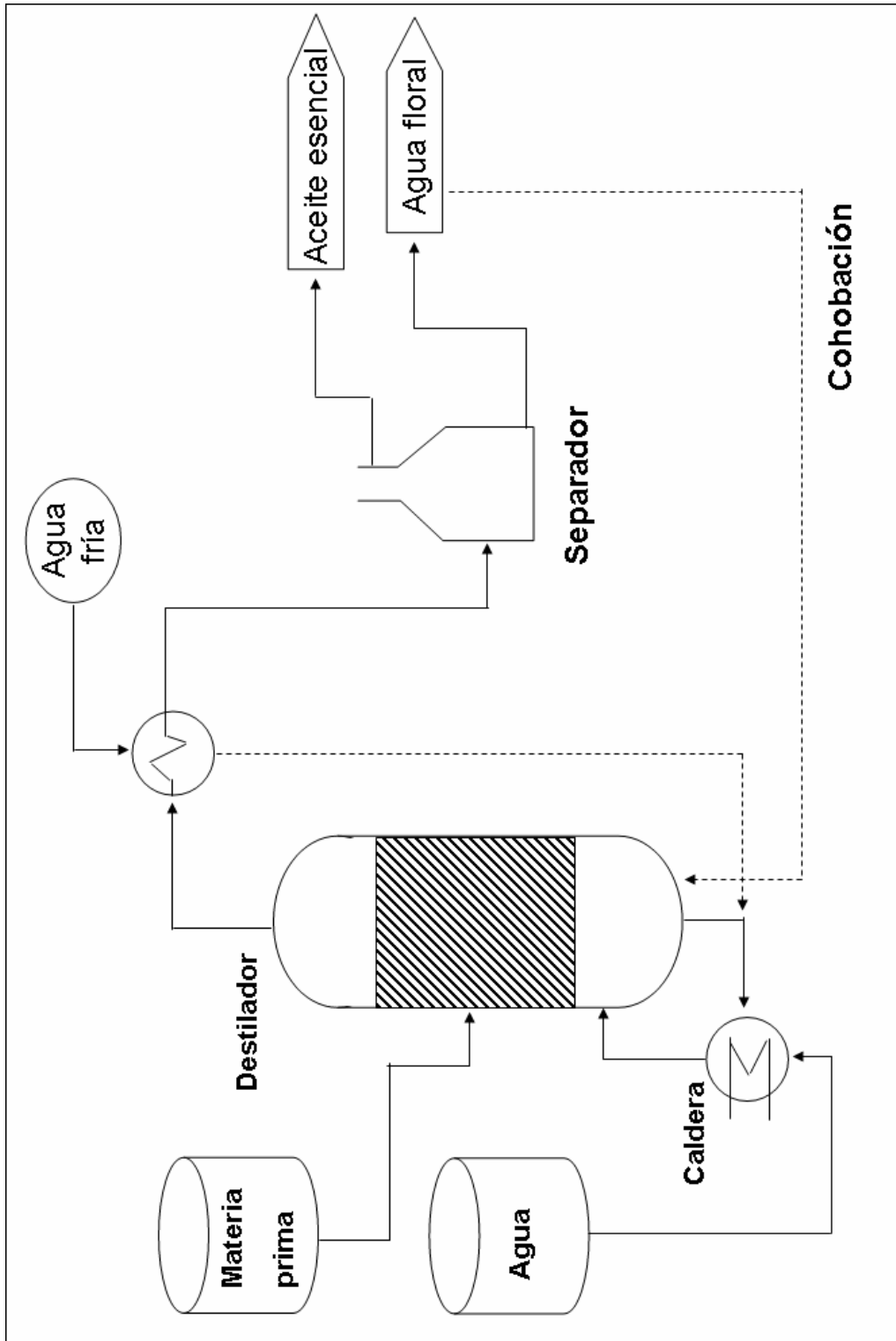
FUENTE: CDMB, Estación Metereológica Ingeniería Química, UIS. Fecha de marzo del 2005 a septiembre del 2006.

**ANEXO 8: DATOS DE DÍAS Y HORAS DE LLUVIA, ACUMULADO
(MM/MES) Y PROMEDIO MES (MM/DÍA).**

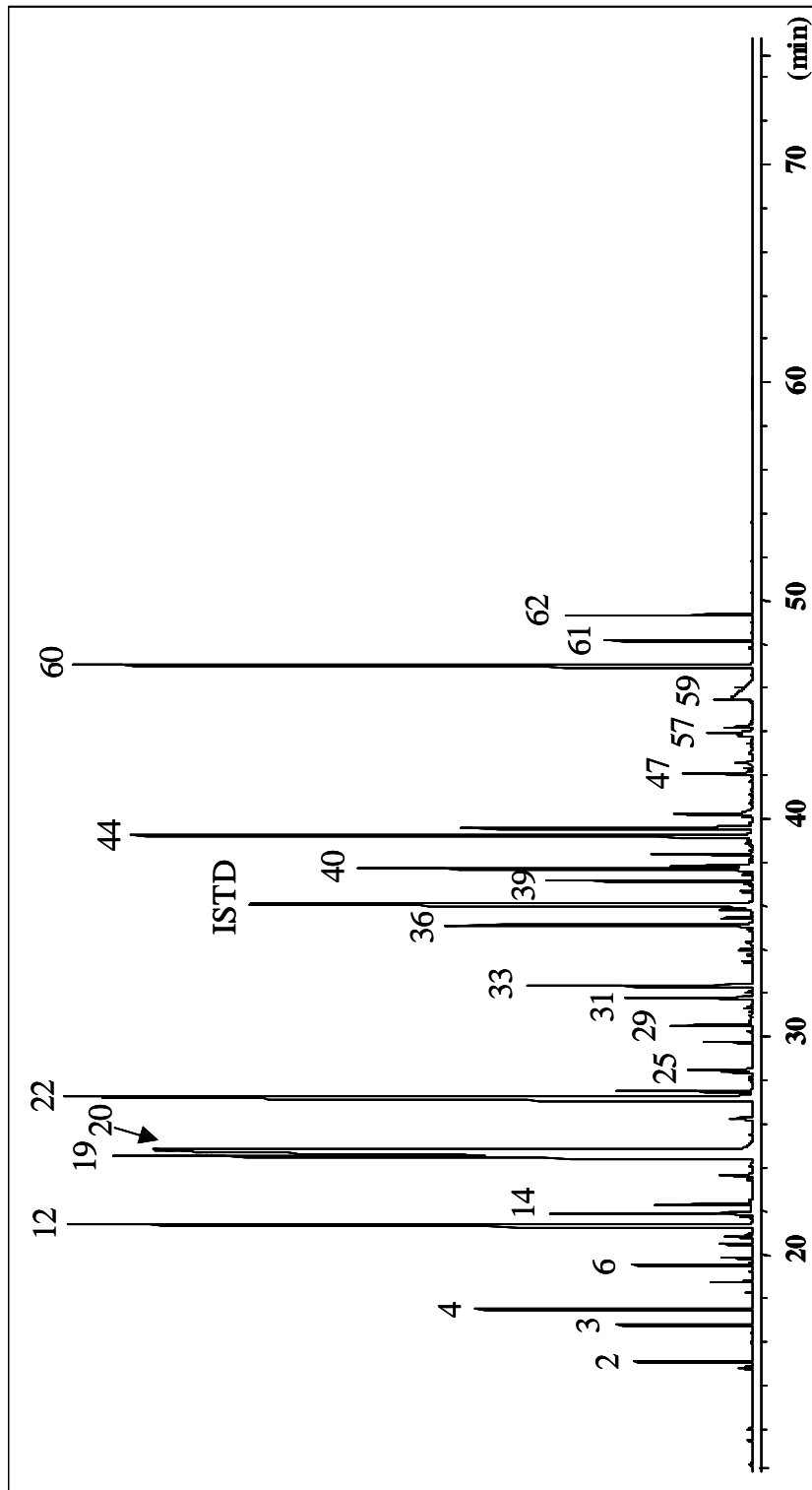
AÑO/MES	DIAS DE LLUVIA	HORAS DE LLUVIA	ACUMULADO MES	PROMEDIO MES	
2005	MAR	15	35	149,80	9,99
	ABR	23	76	192,00	8,35
	MAY	22	86	151,00	6,86
	JUN	21	60	160,40	7,64
	JUL	14	38	127,50	9,11
	AGO	21	63	43,20	2,06
	SEPT	18	82	92,60	5,14
	OCT	20	85	163,20	8,16
	NOV	20	91	136,70	6,84
	DIC	13	35	125,10	9,62
2006	ENE	17	43	103,50	6,09
	FEB	12	41	108,90	9,08
	MAR	23	89	145,80	6,34
	ABR	15	70	163,10	10,87
	MAY	22	101	124,40	5,65
	JUN	20	99	83,00	4,15
	JUL	23	72	71,00	3,09
	AGO	19	73	78,90	4,15
	SEPT	17	78	40,90	2,41

FUENTE: CDMB, Estación Metereológica Ingeniería Química, UIS. Fecha de marzo del 2005 a septiembre del 2006.

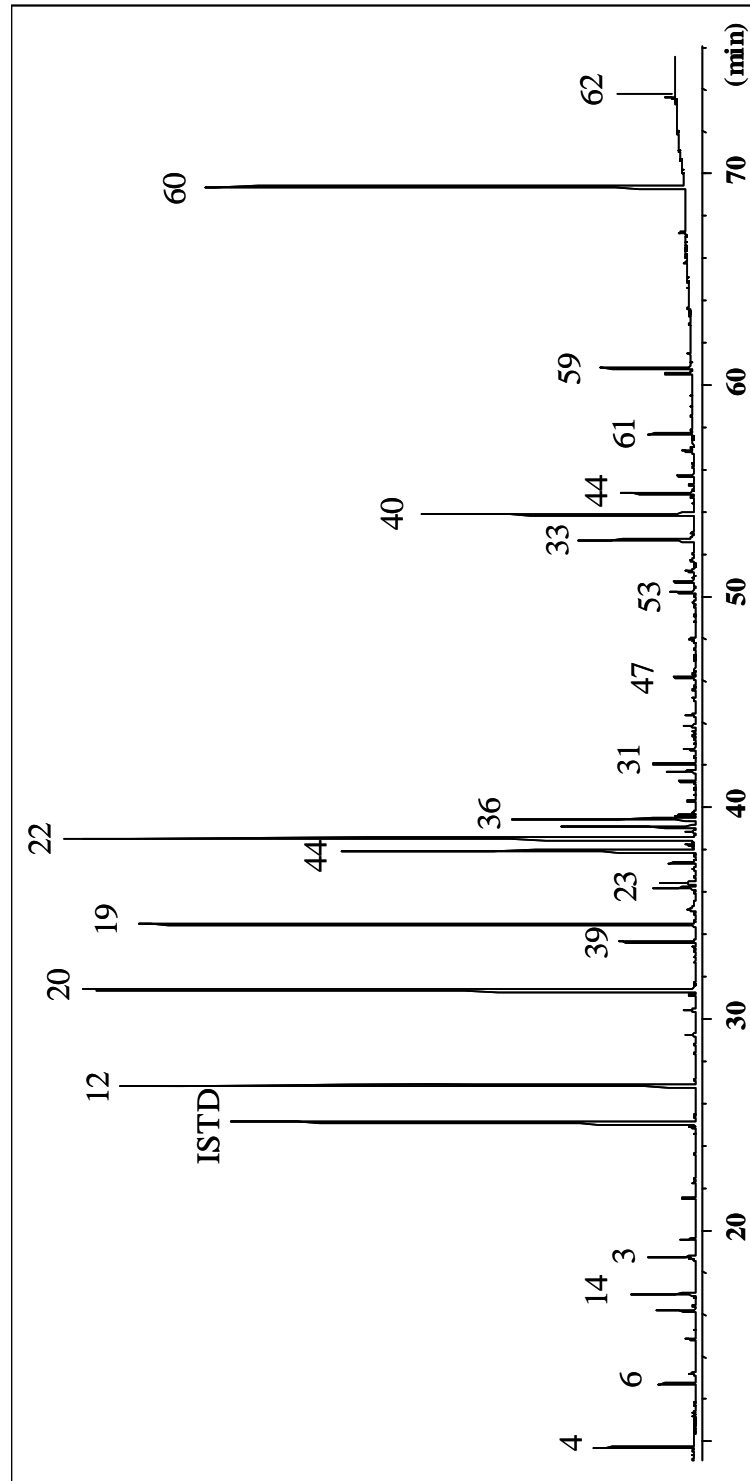
ANEXO 9: ESQUEMA BÁSICO DEL PROCESO



ANEXO 10: PERFIL CROMATOGRÁFICO TÍPICO DEL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG. COLUMNA HP-5MS-(60 m).



ANEXO 11: PERFIL CROMATOGRÁFICO TÍPICO DEL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG. COLUMNA DB-WAX-(60 m).



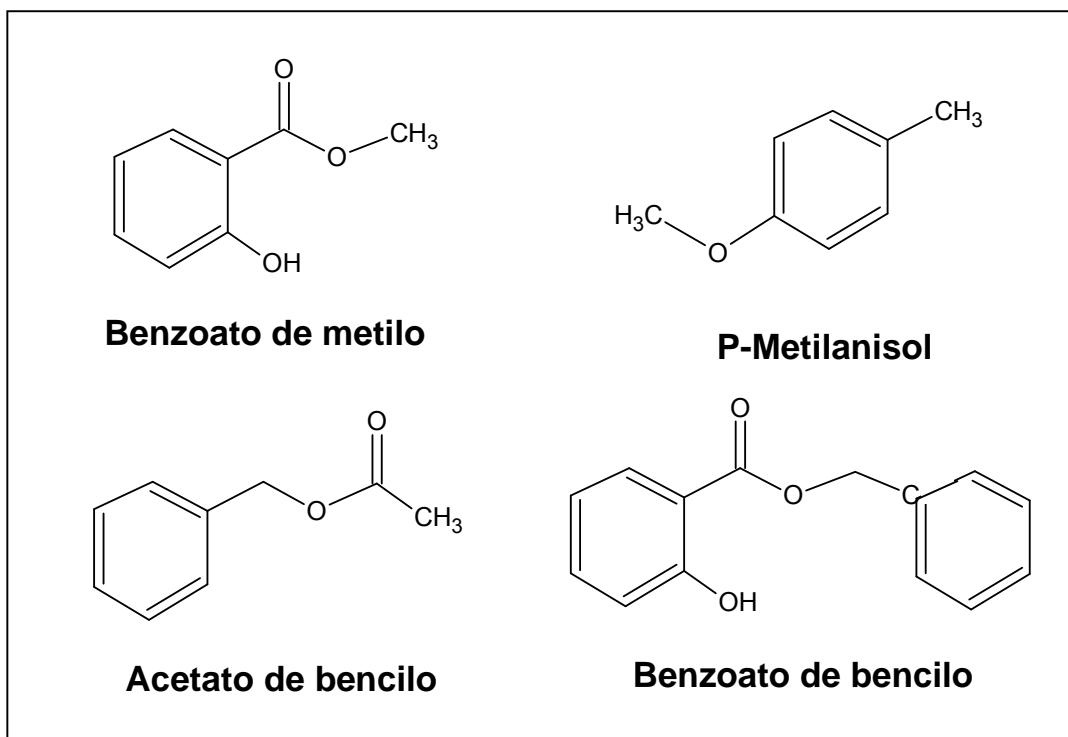
**ANEXO 12.: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE
YLANG-YLANG E ÍNDICES DE KOVÀTS.**

Pico Nº (a)	I _k (b)		Compuesto	Pico Nº	I _k (b)		Compuesto
	DB- 5MS	DB- WAX			DB- 5MS	DB- WAX	
1	856	1124	Acetato de 3-metil-1-butan-1-ilo	35	1375	1950	Acetato de hidrocinaamilo
2	885	1198	Acetato de 3-metil-3-buten-1-ilo	36	1379	1762	Acetato de geranilo
3	904	1256	Acetato de 3-metil-2-buten-1-ilo	37	1387	1500	α-Copaeno
4	933	1019	α-Pineno	38	1398	1547	β-Cubebeno +
5	936	1529	Benzaldehído		1398	1956	trans-Jasmona +
6	974	1112	β-Pineno		1398	nd	Vainillina
7	980	1341	6-Metil-5-hepten-2-ona	ISTD			n-Tetradecano
8	983	1164	β-Mirceno	39	1435	1608	trans-β-Cariofileno
9	1004	1320	Acetato de 3-hexenilo	40	1453	2160	Acetato de cinamilo
10	1012	1275	Acetato de hexilo	41	1457	2356	trans-Isoeugenol
11	1015	1337	Acetato de 2-hexenilo	42	1471	1681	α-Humuleno
12	1025	1435	p-Metilanisol	43	1486	1771	γ-Muuroleno
13	1034	1203	Limoneno	44	1496	1720	Germacreno D +
14	1038	1208	1,8 Cineol +		1496	2187	trans-Metil isoeugenol
	1038	1972	Alcohol bencílico	45	1507	1746	(E,E)-α-Farneseno +
15	1047	1648	Benceno acetaldehído		1507	1752	Biciclogermacreno
16	1048	1254	β-trans-Ocimeno	46	1526	1727	γ-Cadineno
17	1050	1479	Óxido de linalool	47	1529	1767	δ-Amorfenol +
18	1078	2088	p-Cresol		1529	1952	10-epi-Cubebol
19	1100	1630	Benzoato de metilo	48	1537	1793	trans-Cadina-1,4-dieno
20	1107	1552	Linalool	49	1548	1803	α-Cadineno
21	1144	1935	Nitrilo de bencilo +	50	1561	2312	Elemol
	1144	1729	Veratrol	51	1578	3136	Benzoato de hexen-3-ilo
22	1170	1736	Acetato de bencilo	52	1582	1872	Benzoato n-hexilo
23	1177	1675	Benzoato de etilo	53	1591	2062	Germacren-4-ol
24	1192	1963	2-Metoxi-cresol	54	1599	2001	Óxido de cariofileno
25	1201	1706	α-Terpineol	55	1608	2100	Guaiol
26	1203	1785	Salicilato de metilo	56	1642	2080	1-epi-Cadinol
27	1237	1811	2,3-Dimetoxitolueno	57	1656	2182	epi-α-Cadinol +
28	1251	1854	Geraniol		1656	2210	α-Muurorol
29	1257	1824	Acetato de 2-feniletilo	58	1670	2245	α-Cadinol
30	1278	2049	trans-Cinamaldehído	59	1721	2363	(E,E)-Farnesol
31	1292	1834	trans-Anetol	60	1791	nd	Benzoato de bencilo
32	1299	2455	Indol	61	1835	2268	Acetato de farnesilo
33	1307	2127	2-Fenilnitroetano	62	1888	nd	Salicilato de bencilo
34	1347	1878	Butanoato de bencilo +	63	1895	2385	Hexadecanol
	1347	2249	Antranilato de metilo				

(a) Número de pico en el cromatograma del **ANEXO 10**

(b) Índices de Kovàts determinados experimentalmente.

**ANEXO 13: FÓRMULAS ESTRUCTURALES DE LOS COMPONENTES
OXIGENADOS MAYORITARIOS IDENTIFICADOS EN EL ACEITE
ESENCIAL DE YLANG-YLANG.**



En la gráfica anterior se presenta la molécula de los componentes oxigenados mayoritarios presentes en el aceite de ylang-ylang.

ANEXO 14: VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ACEITE DE YLANG-YLANG

MES	RENDIMIENTO (% P/P)
MARZO-05	0,5
ABRIL-05	0,5
MAYO-05	0,5
JUNIO-05	0,5
JULIO-05	0,4
AGOSTO-05	0,3
SEPTIEMBRE-05	0,3
OCTUBRE-05	0,4
NOVIEMBRE-05	0,4
DICIEMBRE-05	0,4
ENERO-06	0,4
FEBRERO-06	0,4
MARZO-06	0,5
ABRIL-06	0,5
JUNIO-06	0,3
AGOSTO-06	0,3
SEPTIEMBRE-06	0,3

El mayor rendimiento de la esencia se presentó en los meses de alta precipitación, marzo a junio del 2005; durante los meses de julio y agosto se disminuyó el rendimiento del aceite al igual que lo hicieron los valores de precipitación. En el **ANEXO 6** se puede observar el comportamiento histórico de la precipitación, y comparar la tendencia con el rendimiento obtenido experimentalmente para cada mes de monitoreo.

**ANEXO 15: PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LAS ÁREAS RELATIVAS DE
LOS COMPONENTES DEL ACEITE ESENCIAL DE YLANG-YLANG.**

No. PICO	TIPO	LLUVIAS ALTAS							
		2005				2006			
		Promedio	Mínimo	Máximo	D.S.	Promedio	Mínimo	Máximo	D.S.
2	CO	0,69	0,56	0,82	0,11	0,27	0,21	0,35	0,07
3	CO	0,80	0,65	0,97	0,13	0,39	0,25	0,56	0,16
4	MH	1,54	1,44	1,76	0,15	0,59	0,22	0,79	0,32
6	MH	0,64	0,61	0,72	0,05	0,28	0,18	0,34	0,09
8	MH	0,15	0,14	0,17	0,01	0,08	0,06	0,10	0,02
9	CO	0,24	0,22	0,27	0,02	0,19	0,18	0,19	0,01
10	CO	0,24	0,24	0,26	0,01	0,12	0,00	0,18	0,10
12	CO	10,61	9,94	11,41	0,74	7,30	6,35	8,00	0,85
13	MH	0,06	0,06	0,07	0,01	0,04	0,03	0,05	0,01
14	MO	1,53	1,24	1,84	0,29	1,15	0,77	1,46	0,35
15	CO	0,44	0,26	0,65	0,20	0,50	0,25	0,87	0,32
18	CO	0,25	0,17	0,33	0,07	0,17	0,12	0,27	0,08
19	CO	10,74	10,00	11,52	0,72	9,13	7,56	10,63	1,54
20	MO	17,16	15,88	18,69	1,47	15,19	14,26	16,13	9,35
21	CN	0,10	0,03	0,23	0,09	0,10	0,08	0,13	0,02
22	CO	16,13	14,06	19,82	2,53	15,24	13,59	16,89	1,65
23	CO	0,49	0,34	0,83	0,23	0,46	0,11	0,87	0,38
25	MO	0,52	0,42	0,62	0,10	0,50	0,45	0,60	0,09
27	CO	0,28	0,25	0,29	0,02	0,31	0,23	0,43	0,11
29	CO	0,53	0,41	0,63	0,09	0,46	0,44	0,50	0,03
31	CO	0,92	0,82	1,10	0,13	0,88	0,81	0,94	0,07
32	CN	0,04	0,02	0,07	0,02	0,07	0,06	0,10	0,02
33	CN	1,44	0,78	2,33	0,68	1,74	0,89	2,78	0,96
35	CO	0,05	0,05	0,06	0,01	0,06	0,06	0,07	0,01
36	MO	2,74	2,43	3,06	0,29	2,95	2,77	3,06	0,16
37	SH	0,15	0,11	0,21	0,04	0,17	0,15	0,20	0,03
39	SH	1,25	0,95	1,46	0,22	1,23	1,07	1,36	0,15
40	CO	4,66	4,09	5,05	0,46	5,56	5,16	5,88	0,37
41	CO	0,85	0,60	1,04	0,18	0,97	0,68	1,46	0,43
42	SH	0,57	0,42	0,64	0,10	0,57	0,52	0,63	0,06
43	SH	0,05	0,04	0,07	0,01	0,06	0,05	0,06	0,01
44	SH, CO	6,32	5,53	6,68	0,54	7,03	6,99	7,07	0,04
45	SH	1,60	1,12	2,27	0,50	1,88	1,59	2,04	0,25
46	SH	0,05	0,04	0,07	0,01	0,06	0,05	0,07	0,01
50	SO	0,02	0,00	0,05	0,03	0,07	0,06	0,09	0,01
51	CO	0,03	0,02	0,03	0,01	0,04	0,04	0,04	0,00
53	SO	0,50	0,42	0,61	0,08	0,69	0,64	0,77	0,07
54	SO	0,06	0,05	0,07	0,01	0,08	0,06	0,09	0,01
56	SO	0,05	0,04	0,06	0,01	0,07	0,05	0,08	0,01
57	SO	0,67	0,57	0,82	0,12	0,98	0,77	1,25	0,24
58	SO	0,31	0,26	0,38	0,52	0,40	0,37	0,42	0,03
59	SO	1,34	1,02	1,83	0,35	1,66	0,04	2,74	1,43
60	CO	10,85	8,27	12,28	1,78	16,65	14,21	19,43	2,63
61	SO	0,66	0,43	0,80	0,17	0,86	0,67	1,00	0,17
62	CO	0,51	0,00	1,06	0,59	0,01	0,00	0,03	0,02

Continuación de la tabla del ANEXO 15:

No. PICO	TIPO	LLUVIAS BAJAS							
		2005				2006			
		Promedio	Mínimo	Máximo	D.S.	Promedio	Mínimo	Máximo	D.S.
2	CO	0,14	0,05	0,22	0,12	0,18	0,13	0,21	0,04
3	CO	0,22	0,07	0,38	0,22	0,23	0,18	0,25	0,04
4	MH	0,67	0,36	0,98	0,44	0,68	0,60	0,76	0,08
6	MH	0,28	0,14	0,41	0,19	0,21	0,28	0,34	0,03
8	MH	0,07	0,03	0,11	0,06	0,09	0,08	0,10	0,01
9	CO	0,14	0,08	0,20	0,08	0,17	0,15	0,19	0,02
10	CO	0,15	0,09	0,22	0,09	0,16	0,14	0,18	0,02
12	CO	5,76	3,32	8,20	3,45	5,64	4,51	6,35	0,99
13	MH	0,03	0,02	0,05	0,02	0,04	0,04	0,05	0,01
14	MO	0,88	0,61	1,15	0,34	1,31	1,17	1,46	0,14
15	CO	0,43	0,26	0,61	0,25	0,88	0,85	0,91	0,03
18	CO	0,10	0,07	0,14	0,05	0,13	0,10	0,17	0,04
19	CO	6,85	5,20	8,51	2,34	6,85	5,37	7,62	1,28
20	MO	13,76	13,35	14,18	0,59	14,00	13,40	15,18	1,02
21	CN	0,05	0,05	0,05	0,00	0,09	0,08	0,10	0,01
22	CO	13,50	12,88	14,13	0,88	15,05	13,88	16,03	1,08
23	CO	0,55	0,51	0,59	0,06	0,22	0,11	0,41	0,16
25	MO	0,43	0,40	0,47	0,05	0,57	0,52	0,60	0,04
27	CO	0,16	0,16	0,17	0,01	0,24	0,20	0,26	0,03
29	CO	0,68	0,65	0,71	0,04	0,59	0,44	0,66	0,13
31	CO	0,98	0,86	1,11	0,18	0,82	0,75	0,89	0,07
32	CN	0,10	0,10	0,11	0,01	0,14	0,06	0,19	0,07
33	CN	2,80	2,38	3,23	0,60	3,18	2,78	3,76	0,52
35	CO	0,06	0,06	0,07	0,01	0,06	0,05	0,07	0,01
36	MO	2,90	2,77	3,03	0,18	2,93	2,83	3,03	0,10
37	SH	0,15	0,14	0,17	0,02	0,16	0,12	0,20	0,04
39	SH	1,25	1,10	1,41	0,22	1,11	0,93	1,26	0,17
40	CO	5,87	5,22	6,52	0,92	6,00	5,65	6,34	0,34
41	CO	0,48	0,11	0,85	0,52	1,07	0,68	1,54	0,44
42	SH	0,61	0,57	0,66	0,06	0,52	0,46	0,55	0,05
43	SH	0,04	0,04	0,05	0,01	0,05	0,04	0,06	0,01
44	SH, CO	7,40	7,34	7,47	0,09	6,43	5,19	7,07	1,07
45	SH	2,35	2,24	2,46	0,16	1,94	1,86	2,02	0,08
46	SH	0,04	0,04	0,05	0,01	0,06	0,06	0,07	0,01
50	SO	0,09	0,08	0,10	0,01	0,08	0,06	0,10	0,02
51	CO	0,04	0,04	0,05	0,01	0,04	0,04	0,05	0,01
53	SO	1,11	0,95	1,27	0,23	0,76	0,66	0,93	0,15
54	SO	0,14	0,10	0,18	0,06	0,10	0,09	0,10	0,01
56	SO	0,07	0,06	0,08	0,01	0,08	0,07	0,08	0,01
57	SO	0,85	0,70	1,01	0,22	1,17	1,13	1,25	0,07
58	SO	0,42	0,42	0,43	0,01	0,47	0,42	0,51	0,04
59	SO	2,00	0,04	3,97	2,78	2,93	2,21	3,80	0,80
60	CO	21,58	18,42	24,74	4,47	18,73	16,32	22,80	3,54
61	SO	1,35	0,63	2,07	1,02	1,28	0,91	1,59	0,34
62	CO	0,02	0,02	0,03	0,01	tr	tr	tr	tr

MH: Monoterpeno MO: MH oxigenado SH: Sesquiterpeno SO: SH oxigenado CO: Compuesto oxigenado
 CN: Compuesto nitrogenado. ^(a) Los porcentajes fueron calculados de las áreas de los picos, columna DB-
 5MS. ^(b) Trazas. D.S.: Desviación estándar de cantidades relativas para cada época de lluvia.

ANEXO 16: RESULTADOS TOTALES DE LAS ÁREAS RELATIVAS DE LOS COMPONENTES DEL ACEITE PARA EL AÑO 2005 Y 2006.

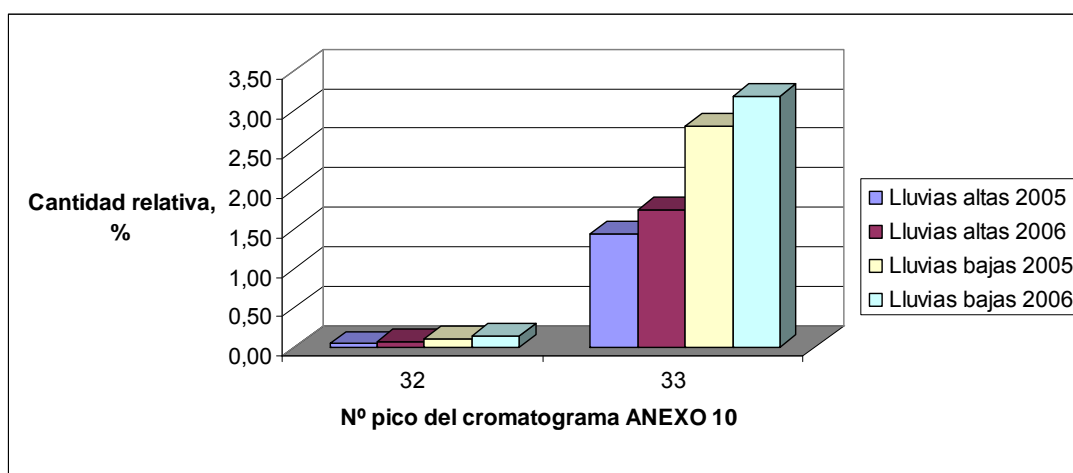
Nº Pico	Tipo	Área relativa, %									
		2005									
		Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2	CO	0,82	0,02	0,69	0,56	0,67	0,22	0,05	tr	0,27	0,04
3	CO	0,97	0,04	0,83	0,65	0,75	0,38	0,07	tr	0,32	0,07
4	MH	1,53	0,76	1,76	1,44	1,45	0,98	0,36	0,07	1,17	0,21
6	MH	0,63	0,34	0,72	0,61	0,61	0,41	0,14	0,02	0,54	0,11
8	MH	0,14	0,08	0,17	0,15	0,14	0,11	0,03	tr	0,13	0,03
9	CO	0,27	0,09	0,25	0,22	0,23	0,20	0,08	tr	0,16	0,05
10	CO	0,26	0,11	0,24	0,24	0,24	0,22	0,09	tr	0,16	0,06
12	CO	11,41	3,75	10,02	9,94	11,07	8,20	3,32	0,52	6,31	2,67
13	MH	0,06	0,04	0,07	0,06	0,06	0,05	0,02	tr	0,06	tr
14	MO	1,24	0,39	1,34	1,84	1,71	1,15	0,61	0,20	1,09	0,33
15	CO	0,26	0,40	0,65	0,58	0,29	0,61	0,26	0,41	0,37	0,28
18	CO	0,17	0,07	0,27	0,22	0,33	0,14	0,07	0,02	0,10	0,04
19	CO	11,52	4,51	10,00	10,27	11,19	8,51	5,20	1,55	6,87	4,28
20	MO	18,15	9,43	18,69	15,88	15,94	14,18	13,35	7,35	12,33	9,30
21	CN	0,08	0,06	0,23	0,06	0,03	0,05	0,05	0,03	0,04	tr
22	CO	14,06	10,35	15,43	15,2	19,82	14,13	12,88	6,57	13,44	9,80
23	CO	0,43	0,29	0,83	0,34	0,35	0,51	0,59	0,25	0,23	0,15
25	MO	0,42	0,25	0,45	0,62	0,59	0,40	0,47	0,33	0,43	0,24
27	CO	0,29	0,12	0,29	0,25	0,28	0,17	0,16	0,11	0,20	0,15
29	CO	0,53	0,52	0,54	0,63	0,41	0,71	0,65	0,45	0,42	0,39
31	CO	1,10	0,71	0,83	0,92	0,82	1,11	0,86	0,60	0,75	0,68
32	CN	0,03	0,30	0,05	0,07	0,02	0,10	0,11	0,11	0,09	0,11
33	CN	1,06	3,18	2,33	1,61	0,78	2,38	3,23	3,33	1,47	1,62
35	CO	0,05	0,07	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06
36	MO	3,06	3,16	2,56	2,91	2,43	2,77	3,03	3,26	3,09	3,19
37	SH	0,12	0,21	0,21	0,15	0,11	0,17	0,14	0,09	0,20	0,09
39	SH	1,35	1,25	1,46	1,23	0,95	1,41	1,10	0,75	1,50	1,00
40	CO	4,48	6,37	4,09	5,03	5,05	5,22	6,52	8,31	5,48	6,08
41	CO	0,88	1,44	0,60	1,04	0,87	0,85	0,11	0,64	1,00	1,46
42	SH	0,63	0,61	0,64	0,59	0,42	0,66	0,57	0,43	0,71	0,53
43	SH	0,04	0,05	0,07	0,06	0,04	0,05	0,04	0,03	0,07	0,04
44	SH, CO	6,42	8,65	6,68	6,67	5,53	7,34	7,47	8,56	8,13	7,76
45	SH	1,12	2,99	2,27	1,68	1,32	2,24	2,46	3,04	2,40	1,73
46	SH	0,05	0,05	0,07	0,06	0,04	0,05	0,04	tr	0,07	tr
50	SO	0,04	0,16	tr	0,05	tr	0,08	0,10	0,05	0,10	0,19
51	CO	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,04	0,05	0,08	0,04	0,06
53	SO	0,61	1,32	0,50	0,46	0,42	0,95	1,27	2,14	0,86	1,32
54	SO	0,06	0,13	0,07	0,05	0,05	0,10	0,18	0,16	0,09	0,10
56	SO	0,05	0,10	0,05	0,06	0,04	0,06	0,08	0,10	0,08	0,09
57	SO	0,71	1,64	0,56	0,82	0,57	0,70	1,01	2,11	1,29	0,66
58	SO	0,31	0,64	0,26	0,38	0,28	0,43	0,42	0,75	0,54	0,71
59	SO	0,02	4,82	1,21	1,83	1,30	0,04	3,97	6,44	3,15	5,52
60	CO	11,72	26,22	8,27	12,28	11,12	18,42	24,74	35,21	20,96	35,42
61	SO	0,43	1,96	0,78	0,80	0,64	0,63	2,07	2,62	1,25	1,65
62	CO	0,97	0,05	1,06	tr	tr	0,02	0,03	0,07	0,05	0,08
ompuestos identificad		98,58	97,75	98,18	98,59	99,03	97,21	98,12	96,82	98,07	98,35
Grupo de compuestos											
MH		2,25	1,15	2,61	2,15	2,16	1,47	0,52	0,09	1,79	0,33
MO		21,77	12,43	21,97	20,18	19,76	17,49	16,54	10,47	15,91	12,32
SH		9,26	12,98	10,87	9,91	8,045	11,28	11,21	12,13	12,29	10,51
SO		2,12	10,12	3,29	4,23	3,17	3,96	8,63	13,50	7,17	9,65
CO		63,47	59,96	58,78	61,87	66,07	63,40	59,88	60,55	61,33	65,57
CN		1,12	3,36	2,49	1,65	0,79	2,40	3,22	3,27	1,50	1,63

Continuación ANEXO 16:

Nº Pico	Tipo	Área relativa, %						
		2006						
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Junio	Agosto	Septiembre
2	CO	0,13	0,19	0,25	0,35	0,21	0,23	0,2
3	CO	0,19	0,24	0,35	0,56	0,25	0,28	0,25
4	MH	0,45	0,82	0,79	0,22	0,76	0,82	0,67
6	MH	0,23	0,34	0,32	0,18	0,34	0,37	0,31
8	MH	0,06	0,08	0,08	0,06	0,1	0,1	0,08
9	CO	0,16	0,20	0,19	0,18	0,19	0,2	0,18
10	CO	0,14	0,18	0,18	0	0,18	0,18	0,17
12	CO	5,59	7,03	7,54	8	6,35	6,63	6,05
13	MH	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04
14	MO	0,84	1,02	1,21	0,77	1,46	1,41	1,31
15	CO	0,39	0,61	0,39	0,25	0,87	1,12	0,85
18	CO	0,08	0,08	0,13	0,27	0,12	0,12	0,17
19	CO	6,40	7,78	9,2	10,63	7,56	8,1	7,62
20	MO	12,89	13,77	14,26	16,13	15,18	14,81	13,41
21	CN	0,04	0,06	0,08	0	0,1	0,1	0,1
22	CO	15,14	13,83	13,59	16,89	15,23	16,94	16,03
23	CO	0,58	0,53	0,87	0,11	0,41	0,15	0,15
25	MO	0,42	0,36	0,45	0,45	0,6	0,58	0,58
27	CO	0,20	0,16	0,23	0,43	0,26	0,27	0,25
29	CO	0,68	0,65	0,50	0,44	0,44	0,61	0,66
31	CO	0,76	0,82	0,81	0,94	0,89	0,81	0,81
32	CN	0,09	0,16	0,10	0	0,06	0,16	0,16
33	CN	1,91	2,54	1,56	0,89	2,78	2,89	2,99
35	CO	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,05
36	MO	2,93	2,65	2,77	3,06	3,03	2,74	2,93
37	SH	0,13	0,13	0,15	0,16	0,2	0,16	0,16
39	SH	0,97	1,05	1,07	1,36	1,26	1,2	1,15
40	CO	5,95	5,06	5,16	5,88	5,65	5,7	6,02
41	CO	1,00	0,88	1,46	0,76	0,68	1,2	0,98
42	SH	0,47	0,51	0,52	0,63	0,55	0,53	0,54
43	SH	0,04	0,03	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05
44	SH, CO	7,05	6,58	6,99	7,04	7,07	7,04	7,04
45	SH	1,77	1,95	2,04	1,59	2,02	1,9	1,93
46	SH	0,04	tr	0,05	0,06	0,07	0,06	0,06
50	SO	0,10	0,10	0,09	0,07	0,06	0,06	0,07
51	CO	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
53	SO	0,83	0,93	0,77	0,64	0,66	0,66	0,68
54	SO	0,83	0,11	0,06	0,09	0,09	0,08	0,11
56	SO	0,07	0,06	0,05	0,07	0,08	0,07	0,08
57	SO	1,19	0,95	0,77	0,93	1,25	0,98	1,13
58	SO	0,50	0,36	0,37	0,41	0,42	0,41	0,48
59	SO	3,44	3,31	2,74	0,04	2,21	2,24	2,78
60	CO	23,04	20,85	19,43	14,21	16,32	15,56	17,06
61	SO	1,00	1,22	1,00	0,67	0,91	0,05	1,34
62	CO	0,04	0,05	0,03	tr	tr	tr	tr
Compuestos identificados		98,89	98,37	98,79	95,61	97,09	97,73	97,72
Grupo de compuestos								
	MH	0,73	1,22	1,16	0,49	1,25	1,34	1,10
	MO	16,17	16,95	17,68	20,41	20,27	19,54	18,23
	SH	9,72	9,76	10,27	10,74	11,03	10,78	10,77
	SO	7,54	6,70	5,54	2,96	5,72	4,59	6,71
	CO	63,70	62,71	63,71	60,12	58,82	58,33	57,72
	CN	1,92	2,63	1,65	0,89	2,94	3,15	3,19

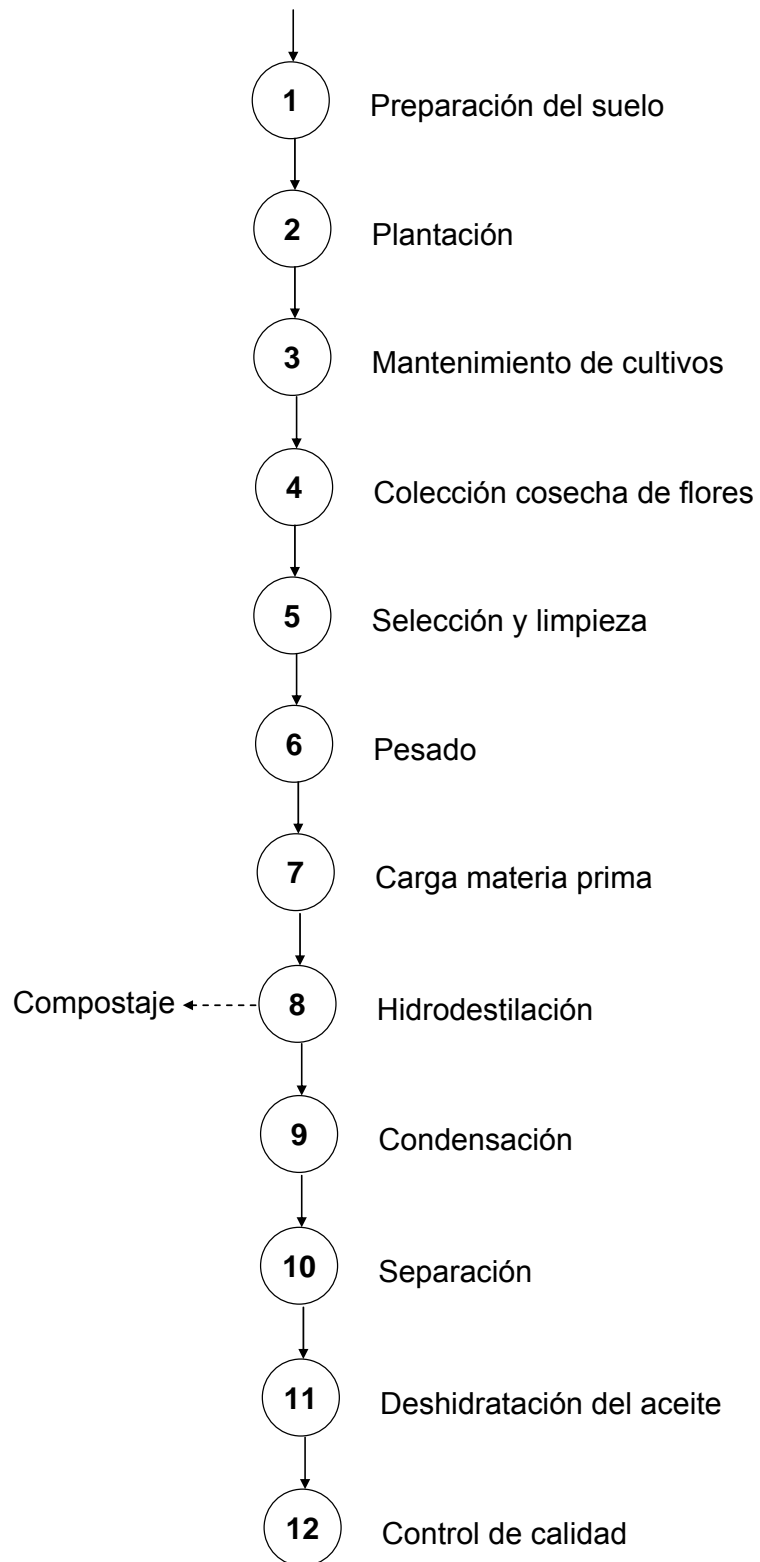
ANEXO 17: CONTINUACIÓN DEL ANÁLISIS ESTACIONAL DE LA COMPOSICIÓN DEL ACEITE DE YLANG-YLANG

Los hidrocarburos sesquiterpénicos mostraron una tendencia proporcional al contenido de sesquiterpenos oxigenados en el aceite, siendo estos últimos sus análogos oxigenados. Otros compuestos que presentaron cantidades relativas (1-10%) durante la mayoría de meses del estudio, fueron: acetato de geranilo, acetato de cinamilo, (*E,E*)-farnesol y acetato de farnesilo. Acetato de geranilo y el acetato de cinamilo mantuvieron sus porcentajes, por el contrario, (*E,E*)-farnesol y acetato de farnesilo variaron significativamente de un mes a otro. Dentro de este rango de porcentajes se encontraron compuestos nitrogenados tales como el 2-fenilnitroetano, cuyo mayor porcentaje registrado fue de 3.2 %, y el menor en época de lluvias altas. El contenido de los compuestos correspondientes a picos co-eluidos en la columna de fase apolar: 1,8 cineol + alcohol bencílico, germacreno D + *trans*-metil isoeugenol, (*E,E*)- α -farneseno + biciclogermacreno, se mantuvieron relativamente constantes en los aceites aislados durante los meses monitoreados.



En la anterior figura se muestra la variación de los compuestos nitrogenados 32 y 33 (número de pico del cromatograma mostrado en el **ANEXO 10**) durante las épocas de lluvias altas y bajas (2005 y 2006).

ANEXO 18: DIAGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO



ANEXO 19: EVALUACIÓN AMBIENTAL: EMISIONES Y EFLUENTES

Emisiones a la atmósfera: proceden del generador del vapor y de la torre de enfriamiento del agua procedente del circuito de refrigeración de los condensadores. Para el caso del generador, existen alternativas en el combustible usando (biogás, gas natural, biomasa) y en el dispositivo de control de los gases efluentes. Dependiendo de las regulaciones aplicables para el nivel de producción, se adapta el generador de vapor para optimizar el control de las emisiones y minimizarlas. Es un agente de emisión controlable y adaptable.

Efluentes líquidos: son los procedentes de las purgas del condensado interno del hidroddestilador, del generador de vapor y de la torre de enfriamiento. Las purgas son agua, por lo que se vierten al alcantarillado directamente. Con una previa recuperación energética, mediante el reuso de los mismos para otras necesidades. El condensado interno lleva disuelto una cantidad desconocida de los compuestos presentes en el aceite esencial y en la planta aromática misma; aunque su tratamiento no resulta rentable ni operativo, ya que la cantidad de efluente es baja, suele verterse con las otras corrientes que tienen un caudal varias veces superior y diluir así la carga orgánica. Esta opción no es una práctica y se debería evitar en lo posible. Una opción es su re-uso, mediante dilución con agua floral, para convertirla en agua de riego para zonas verdes cercanas.

**ANEXO 20: TRABAJO PARCIALMENTE PUBLICADO EN EL
INTERNATIONAL CONGRESS ON ANALYTICAL SCIENCE, ICAS-2006, 25-
30 JUNIO, MOSCÚ, RUSIA, 2006. Book of Abstracts of International
Congress on Analytical Sciences. , 2006.**

**SEASONAL VARIATION OF MONO- AND SESQUITERPENES IN THE ESSENTIAL OIL
FROM COLOMBIAN YLANG-YLANG (*Cananga odorata* HOOK. FIL. ET THOMSON,
FORMA GENUINA)**

M. A. Leyva, J. R. Martínez, E. E. Stashenko*

*Chromatography Laboratory, Research Centre for Biomolecules, CIBIMOL, Centre of
Excellence CENIVAM, Industrial University of Santander. Bucaramanga, Colombia.*

elena@tucan.uis.edu.co

The essential oil of ylang-ylang (*Cananga odorata* Hook Fil. Et Thomson, forma genuina), is one of the most important perfume raw materials. The commercial grade differentiation of the ylang-ylang oils (Extra, First, Second, and Third grades) is established mainly on the basis of their chemical composition. The highest quality oil is obtained from mature yellow flowers [1]. We studied the variation of the composition of ylang-ylang oils obtained from mature flowers collected at one-month intervals between March, 2005 and March, 2006, from a university experimental garden. The oil was obtained in a Clevenger-type apparatus inserted in a domestic microwave oven, in order to perform microwave-assisted hydrodistillation. The oils were analysed on an *Agilent Technologies 6890 Plus* (HP, Palo Alto, California, USA) gas chromatograph, coupled to an *Agilent Technologies 5973* mass selective detector, and on an *Agilent Technologies 6890 Plus* chromatograph with flame ionization detector. Kovàts indices were determined on a DB-5MS 60 m x 0.25 mm x 0.25 µm capillary column with 5% phenyl poly(methylsiloxane) stationary phase, and on a DB-WAX 60 m x 0.25 mm x 0.25 µm capillary column with cross-linked poly(ethyleneglycol) stationary phase. Compound identification was based on Kovàts indices and mass spectra or the comparison with mass spectral databases (Wiley 138, NIST 98, QuadLib 1607). Quantification was based on calibration with standard compounds and the addition of an internal standard (*n*-tetradecane). The correlation between the changes in the concentration of the main oil components (linalool, benzyl acetate, cinnamyl acetate, and benzyl benzoate), and the number of hours of rain per month (hrpm) was examined. The dry season (July, 38 hrpm) was characterised by the highest concentrations of linalool and benzyl acetate. During the rain season (68-85 hrpm), these concentrations decreased by 60%. Benzyl benzoate showed higher concentrations during the rain season, compared to the dry season. The highest oil yield (0.5% w/w) was obtained during May, June and July (dry season).

References

1. E.E. Stashenko, W. Torres and J.R. Martínez, "A Study of Compositional Variation in the Essential Oil of Ylang-Ylang (*Cananga odorata* Hook. Fil. et Thomson, forma genuina) during Flower Development", *Journal of High Resolution Chromatography*, **1995**, *18*(2), 101.

ANEXO 21: TRABAJO GANADOR, EN LA CATEGORÍA MEJOR PONENCIA ORAL, EN EL IX CONGRESO COLOMBIANO DE FITOQUÍMICA, PRODUCTOS NATURALES: CIENCIA, TECNOLOGÍA E INDUSTRIA, PEREIRA, COLOMBIA, 2007.

Scientia et Technica Año X, No x, Mes 200x. UTP. ISSN 0122-1701

VARIACIÓN ANUAL DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE FLORES DE YLANG-YLANG (*Cananga odorata* Hook Fill et Thomson, *forma genuina*)

RESUMEN

El aceite esencial de ylang-ylang de mejor calidad se ha utilizado como producto insustituible de productos cosméticos de fama mundial. El grado de diferenciación comercial del aceite es establecido básicamente con base en los compuestos oxigenados. El aceite fue obtenido por destilación de las flores del árbol de *Cananga odorata*. Se determinó una relación entre la época del año y la composición química del aceite. Las flores fueron colectadas mensualmente durante los años 2005 y 2006. Los hidrocarburos monoterpénicos y sus análogos oxigenados presentaron un mayor contenido durante marzo y mayo. Los sesquiterpenos oxigenados presentaron un alto porcentaje en abril y octubre. El mayor rendimiento del aceite esencial se observó en los meses de mayo, junio y julio (0.5%). El menor porcentaje se presentó en octubre (0.3%).

PALABRAS CLAVES: *Cananga odorata*, aceite esencial, linalool, acetato de bencilo, benzoato de bencilo, MWHD, GC-MS.

ABSTRACT

The essential oil of ylang-ylang of better quality has been used like irreplaceable cosmetic product of world-wide fame. The degree of commercial differentiation of the oil is established basically on oxygenated compounds. The oil was obtained by distillation of the flowers of the tree of Cananga odorata. A relation between the time of the year and the chemical composition of the oil was determined. The flowers were collected monthly during years 2005 and 2006. The monoterpenes hydrocarbons and their oxygenated analogs presented a greater content during March and May. The sesquiterpenes oxygenated presented a high percentage in April and October. The greater yield of the essential oil was observed in the months of May, June and July (0,5%). The smaller percentage appeared in October (0,3%).

KEYWORDS: *Cananga odorata*, essential oil, linalool, benzyl acetate, benzyl benzoate, MWHD, GC-MS.

MIGUEL ANTONIO LEYVA

Estudiante Ingeniería Química
Investigador Auxiliar
Universidad Industrial de Santander
migleyva@gmail.com

CARLOS ALBERTO RUIZ

Estudiante de Química
Investigador Auxiliar
Universidad Industrial de Santander

JAIRO RENÉ MARTÍNEZ

Químico, Ph.D.
Profesor Titular
Universidad Industrial de Santander
jairoren@yahoo.com

ELENA E. STASHENKO

Químico, Ph.D.
Profesor Titular
Universidad Industrial de Santander
elena@tucan.uis.edu.co