

**UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**ESCUELA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**TITULO: Obtención de aceites esenciales de Cedròn (*Aloysia Triphylla*),  
Sunfo (*Clinopodium nubigenum* (Kunth) Kuntze) y Hierba luisa  
(*Cymbopogon Citratus*), en un alambique tipo cachimbo por  
Cohobaciòn**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**AUTORES: Aldemar Plutarco Salazar Mora  
Segundo Ibàn Mayanquer Chuga**

**DIRECTOR DE TESIS: Dr. Alfredo Noboa**

**Ibarra – Ecuador**

**2009.**



## 1.1 INTRODUCCION

- Ecuador posee una gran biodiversidad de plantas aromáticas y medicinales, en todo su territorio y en especial en la región andina. Es así que en la Sierra norte del país, los gobiernos locales poco han hecho en desarrollar tecnología, para la obtención de aceites esenciales de estas plantas, debido al desconocimiento de procedimientos técnicos y viables para la extracción de dichos principios activos.
- En la mayoría de los casos estas plantas aromáticas por su agradable aroma y sabor son utilizadas en forma de té o para curar enfermedades, más no son aprovechadas en la obtención de aceites esenciales. Además en el caso del cedrón se la encuentra en poca cantidad ya que no se cultiva a gran escala. En el caso del sunfo no se lo protege del avance de la ampliación de la frontera agrícola, causada por los cultivos transitorios y por el sobre pastoreo de ganado vacuno y caballar.
- Actualmente el país en gran parte importa aceites esenciales para las diferentes industrias que las requieren, las cuales en su gran mayoría utilizan aceites esenciales sintéticos mas no los naturales, ya que son difíciles de encontrar en el mercado, tomando en cuenta que los naturales son de mejor calidad que los sintéticos y se caracterizan por su pureza y concentración.
- Por lo tanto se debe fomentar la producción de cultivos de plantas aromáticas y medicinales de la zona e industrializarlas para abastecer de aceites a los mercados nacionales y extranjeros.



## 1.2 JUSTIFICACION

- Existen varios aceites esenciales que destilados son utilizados como insumos en la elaboración de productos agroindustriales tales como: licores, confites, desinfectantes, etc. En tal sentido es importante promover la extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas del medio para su aprovechamiento, como por ejemplo: para aromatización de panela.
- Hay que mencionar que en el mercado nacional, los aceites esenciales de cedrón y sunfo son difíciles de encontrar por el uso limitado de técnicas de extracción y desconocimiento del beneficio de los mismos.
- Los resultados obtenidos en esta investigación son un aporte técnico y científico, para futuros estudios en el campo de los aceites esenciales.
- La obtención de aceites esenciales de plantas aromáticas y medicinales mediante el uso del alambique tipo cachimbo por cohobación, es una técnica que esta al alcance del pequeño productor ya que no es muy costosa y es de fácil manejo, hay que tomar en cuenta que en el alambique cachimbo, se obtiene mejor rendimiento que en la alquitara (destilador antiguo), debido a que separa las dos fases de evaporación y condensación. Por lo tanto será una opción productiva lo que fomentará la agroindustria y así contribuir al desarrollo económico del país.

## 1.3 OBJETIVOS.

### 1.3.1 Objetivo general

- **Obtener aceites esenciales de cedròn, sunfo y hierba luisa, en un alambique tipo cachimbo por cohobaciòn.**

### 1.3.2 Objetivos específicos

- **Determinar el rendimiento de los aceites esenciales del cedròn , sunfo y hierba luisa en fresco y deshidratado.**
- **Evaluar las características fisicoquímicas como: Densidad, Índice de Refracción, Residuo no volátil, Pico de absorbancia máxima, Viscosidad del aceite esencial obtenido de cada tratamiento y repetición.**
- **Realizar un análisis de costos de producción del mejor tratamiento.**
- **Determinar el tiempo de extracción más eficiente en la destilación para la obtención de aceites esenciales.**
- **Elaborar un manual de uso del alambique tipo cachimbo.**

## 1.4 HIPOTESIS.

- **El estado fresco y deshidratado de las plantas de cedròn, sunfo y hierba luisa, si influyen en el rendimiento y las características fisicoquímicas de los aceites esenciales de las mismas.**

## **CAPITULO II. REVISION DE LA LITERATURA.**

### **2.1. ANTECEDENTES.**

### **2.2. DEFINICION DE LOS ACEITES ESENCIALES**

### **2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES**

### **2.4. EXTRACCION DE LOS ACEITES ESENCIALES**

#### **2.4.1. Métodos de extracción de aceites esenciales de plantas aromáticas**

### **2.5. APROVECHAMIENTO DE LOS ACEITES ESENCIALES**

### **2.6. TOXICIDAD DE LOS ACEITES ESENCIALES**

### **2.7. COMPOSICION QUÍMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES**

### **2.8. ALAMBIQUES**

#### **2.8.1. Alambique Cachimbo por Cohobación**

#### **2.8.2. Cohobación**

#### **2.8.3. Tipos de alambiques**

#### **2.8.4. Medidas de los Alambiques**

#### **2.8.5. Alquitara**

### **2.9. MATERIA PRIMA**

## **2.9.1. Cedròn**

### **2.9.1.1. Taxonomia del Cedròn**

## **2.9.2. Sunfo**

### **2.9.2.1 Taxonomia del Sunfo**

## **2.9.3. Hierba luisa**

### **2.9.3.1. Taxonomia de la Hierba luisa**

## **2.10. DESHIDRATACION**

### **2.10.1. Secado de plantas aromáticas y medicinales**

### **2.10.2. Secado mecánico**

### **2.10.3. Secadero de cabina, bandejas o compartimentos**

### **2.10.4. Temperatura de secado**

### **2.10.5. Influencia del secado en el producto**

## **CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS**

### **3.1 LOCALIZACION**

- **Ubicación del trabajo de campo:**

**La recolección del Cedròn se realizó en la provincia del Carchi, específicamente en la ciudad de El Angel y Mira.**

**En el caso de la Hierba luisa, se la recolectó en el Cantón Mira sector Mascarilla y el Sunfo en el páramo de la ciudad de El Angel, sector El Consuelo.**

- **Condiciones metereològicas.**

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| <b>Altitud:</b>             | <b>3644 msnm</b>    |
| <b>Temp. Promedio:</b>      | <b>7-10 °C</b>      |
| <b>Precipitación anual:</b> | <b>1000-2000 mm</b> |

**Fuente: Plan de desarrollo del Canton Espejo, 2005.**



- **Ubicación del trabajo de laboratorio:**

**El proceso de secado y destilación, se realizó en el laboratorio de las unidades productivas de la FICAYA, de la UTN, ubicado en el Sector del Camal, Parroquia El Sagrario, Canton Ibarra, Provincia de Imbabura.**

**Los análisis fisicoquímicos se realizo en el laboratorio de usos múltiples de la FICAYA, de la Universidad Técnica del Norte.**

- **Condiciones Metereològicas:**

|                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| <b>Altitud:</b>                   | <b>2228 msnm</b> |
| <b>Temp. Promedio:</b>            | <b>18 °C</b>     |
| <b>Humedad Relativa Promedio:</b> | <b>73 %</b>      |

**Fuente: Ilustre Municipio de Ibarra, 2007.**





## 3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

### 3.2.1. Material experimental

Hojas de Cedròn, (*Alloysia Triphylla*), hojas y tallos de Sunfo, (*Clinopodium nubigenum*), Y Hierba luisa, (*Cymbopogon Citratus*).



Cedròn



Sunfo



Hierba luisa

### **3.2.2. Materiales de campo**

- **Fundas plásticas**
- **Sacas**
- **Tijeras y piola**
- **Machete**

### **3.2.3. Equipos de laboratorio**

- **Secador de bandejas**
- **Alambique tipo Cachimbo por Cohobaciòn**
- **Refractómetro ABBE**
- **Espectrofotómetro**
- **Desecador de cristal.**
- **Balanza gramera**
- **Balanza analítica**
- **Termómetro**
- **Cronometro**
- **Cámara digital**
- **Estufa**
- **Mufla**
- **Computador**

### 3.2.4. Materiales y reactivos de laboratorio

- Picnómetro de 1 ml
- Viscosímetro de Ostwald
- Probeta de 1 litro
- Bureta de 50 ml
- Pipeta de 1 y 5 ml
- Vaso erlenmeyer
- Micropipeta
- Vasos de precipitación
- Tubos de ensayo
- Crisoles
- Cuchillo
- Pinzas
- Utería: mandil, gorra, guantes, fundas plásticas, servilletas, libreta de apuntes

#### Reactivos

- Silica gel
- Agua destilada
- Etanol
- Acido sulfúrico
- Bicromato de potasio

### **3.3. MÉTODOS**

#### **3.3.1. Factores en estudio**

**Los parámetros en estudio son: Plantas aromáticas, Humedades y Tiempos de extracción.**

#### **PLANTAS AROMÁTICAS**

**A1: CEDRÒN**

**A2: SUNFO**

**A3: HIERBA LUISA**

#### **HUMEDADES DE LAS PLANTAS AROMATICAS**

**B1: FRESCO**

**B2: DESHIDRATADO**

#### **TIEMPOS DE EXTRACCION**

**C1: 45 MINUTOS**

**C2: 90 MINUTOS**

### 3.3.2. Tratamientos

Se evaluaron 12 tratamientos producto de la combinación de plantas, humedades y tiempos de extracción.

**Cuadro N° 1 Descripción de las plantas, humedades y tiempos de extracción.**

| Tratam | Plantas<br>A | Humedades<br>B | Tiempos<br>C | Combinaciones |
|--------|--------------|----------------|--------------|---------------|
| T1     | Cedròn       | Fresco         | 45 min       | A1B1C1        |
| T2     | Cedròn       | Fresco         | 90 min       | A1B1C2        |
| T3     | Cedròn       | Deshidratado   | 45 min       | A1B2C1        |
| T4     | Cedròn       | Deshidratado   | 90 min       | A1B2C2        |
| T5     | Sunfo        | Fresco         | 45 min       | A2B1C1        |
| T6     | Sunfo        | Fresco         | 90 min       | A2B1C2        |
| T7     | Sunfo        | Deshidratado   | 45 min       | A2B2C1        |
| T8     | Sunfo        | Deshidratado   | 90 min       | A2B2C2        |
| T9     | Hierba Luisa | Fresco         | 45 min       | A3B1C1        |
| T10    | Hierba Luisa | Fresco         | 90 min       | A3B1C2        |
| T11    | Hierba Luisa | Deshidratado   | 45 min       | A3B2C1        |
| T12    | Hierba Luisa | Deshidratado   | 90 min       | A3B2C2        |

### **3.3.3. Diseño Experimental**

**Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), con 12 tratamientos y 3 Repeticiones. Y factorial AxBxC**

### **3.3.4. Características del experimento**

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| <b>Tratamientos :</b>            | <b>12</b> |
| <b>Repeticiones :</b>            | <b>3</b>  |
| <b>Unidades experimentales :</b> | <b>36</b> |

### **3.3.5. Características de la unidad experimental**

**La materia prima que se usó en cada unidad experimental fue de 1 kg de planta. En el caso del Cedròn y Hierba luisa se empleó sus hojas, mientras que en el Sunfo se utilizó toda la plantas debido a que posee un tallo herbáceo y sus hojas son muy Numerosas.**

### 3.3.6. Esquema del análisis estadístico

**Cuadro N° 2 Esquema del análisis estadístico.**

| Fuente de variación | Grados de libertad |
|---------------------|--------------------|
| Total               | 35                 |
| Tratamientos        | 11                 |
| Factor A            | 2                  |
| Factor B            | 1                  |
| Factor C            | 1                  |
| Interacción (AxB)   | 2                  |
| Interacción (AxC)   | 2                  |
| Interacción (BxC)   | 1                  |
| Interacción (AxBxC) | 2                  |
| Error Experimental  | 24                 |

### **3.3.7. Análisis funcional**

**Coefficiente de variación (%)**

**Prueba de Tukey al 5%, para tratamientos y DMS para factores.**

### **3.3.8. Variables Evaluadas**

- **Rendimiento de los aceites esenciales de cada planta**
- **Densidad relativa de los aceites esenciales**
- **Índice de refracción de los aceites esenciales**
- **Residuo no volátil en los aceites esenciales**
- **Pico de absorbancia máxima (uv – vis)**
- **Viscosidad de los aceites esenciales.**



### 3.4. Manejo específico del experimento

#### 3.4.1. Proceso de obtención de aceites esenciales de planta fresca

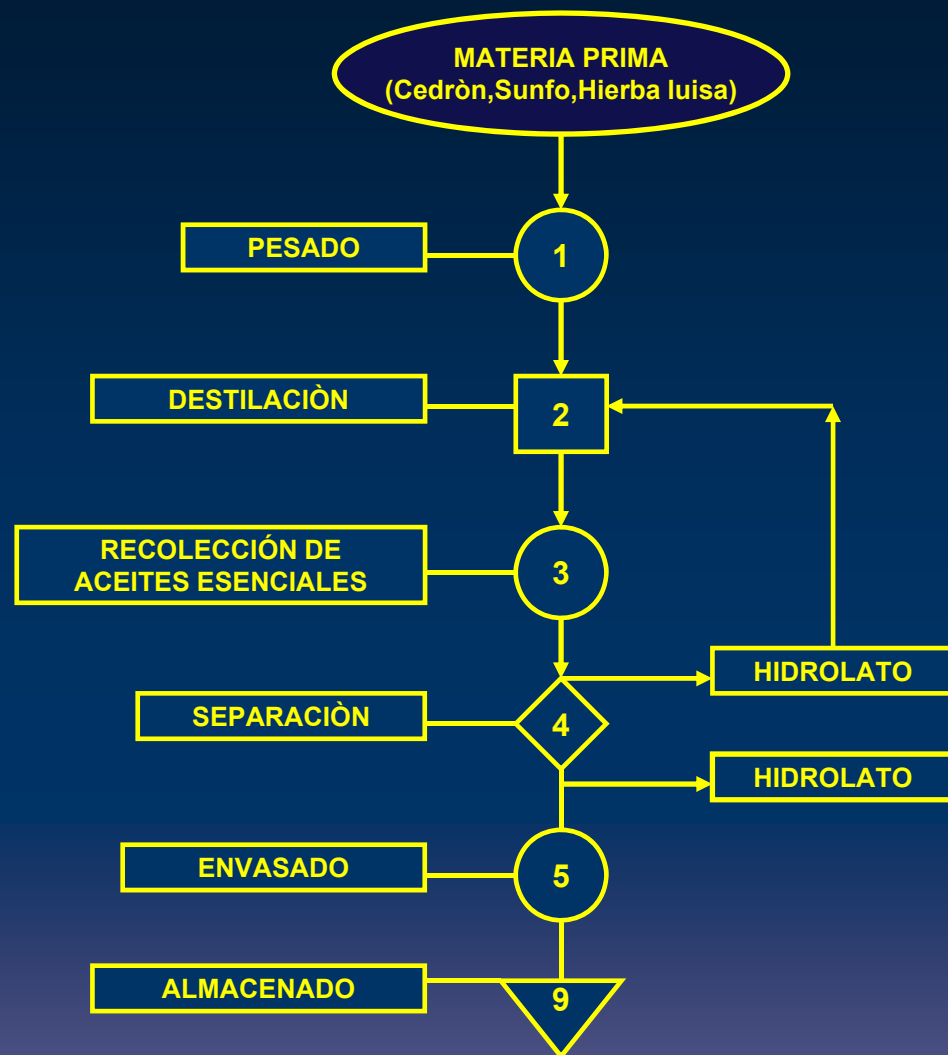


Figura 9. Diagrama de flujo de la extracción de aceites esenciales de materia prima fresca.

### 3.4.2. Descripción de las operaciones de extracción de aceites esenciales de planta fresca.

- a) **Recolección de la materia prima.-** La recolección del sunfo se realizó en las primeras horas de la mañana, en el sector del Consuelo de la Ciudad de El Angel. En el caso del Cedròn y Hierba luisa en las ciudades de El Angel y Mira, sector de Mascarilla. En primer lugar a la materia prima se le retiro impurezas y partes dañadas de la misma.
- b) **Pesado.-** Con la ayuda de una balanza gramera se procedió a pesar 1 kg de materia prima fresca.



- c) Destilación.- Luego del pesado se procedió a destilar la materia prima. Primeramente se lleno el caldero con 2,5 litros de agua, se colocó la rejilla agujereada incorporando paja de manera uniforme para evitar que se quemen las hojas por el contacto con las paredes del caldero. Luego se adicionó la materia prima dentro del caldero, en el cual se conectó la columna de acero inoxidable de 60 cm de alto con el capitel o trompa de elefante el que a su vez se acopló al tanque con serpentín donde recircula agua fría como refrigerante para facilitar la condensación del vapor. El destilado se recoge en la bureta, mientras que el hidrolato nuevamente ingresa al caldero para que exista una recirculación o cohobación.



- d) **Recolección.-** Transcurrido 5 minutos, en lo cual el aceite esencial decantado en la bureta, se recolectó en un envase de vidrio oscuro y se calculo el rendimiento en volumen.



- e) **Separación.-** La separación se realizó por decantación del aceite esencial contenido en la bureta.



- d) **Envasado.-** Luego el aceite obtenido fue envasado y etiquetado en frascos de vidrio oscuros para evitar que se deteriore o pierda los principios activos.

- e) **Almacenamiento.-** En el almacenamiento se utilizó un lugar fresco y seco.



### 3.4.3. Proceso de obtención de aceites esenciales de planta deshidratada



Figura 10. Diagrama de flujo de la extracción de aceites esenciales de materia prima deshidratada.

#### 3.4.4. Descripción de las operaciones de extracción de aceites esenciales de planta deshidratada.

- a) **Recolección de materia prima.-** La recolección del Sunfo se realizó en las primeras horas de la mañana, en el sector del Consuelo de la ciudad de El Angel. En el caso del Cedròn y Hierba luisa en las ciudades de El Angel y Mira, en el sector de Mascarilla respectivamente. En primer lugar a la materia prima se limpió
- b) **Pesado.-** Con la ayuda de una balanza gramera, se peso 8 kg de cedròn, sunfo y hierba luisa, respectivamente de material vegetal fresco y luego se procedió a secar para eliminar humedad.



c) **Secado.-** Las hojas de Cedròn y Hierba luisa y toda la planta de sunfo, se sometieron al secado. Se utilizó el secador de bandejas, que se encuentra en el laboratorio de unidades productivas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El secado se realizó por el tiempo de 2,5 horas, con un flujo de aire caliente del 50% y con una temperatura de 35°C. Luego se guardó la materia prima en fundas plásticas las cuales se sellaron para evitar que se pierda humedad.



d) Destilación.- Luego del secado se procedió a destilar 1 kg de materia prima deshidratada. Primeramente se lleno con 2,5 litros de agua el caldero, se colocó la rejilla agujereada para evitar el contacto de las hojas con el agua en ebullición incorporando paja de una manera uniforme. Se adicionó la materia prima dentro del caldero, al cual se conecto a la columna de acero inoxidable de 60 cm y esta a su vez al capitel prolongado en cuello de cisne y al bidón con serpentín en el que recircula agua como refrigerante para que se realice la condensación. En la salida del destilado se colocó una bureta para realizar la recolección del aceite esencial extraído.

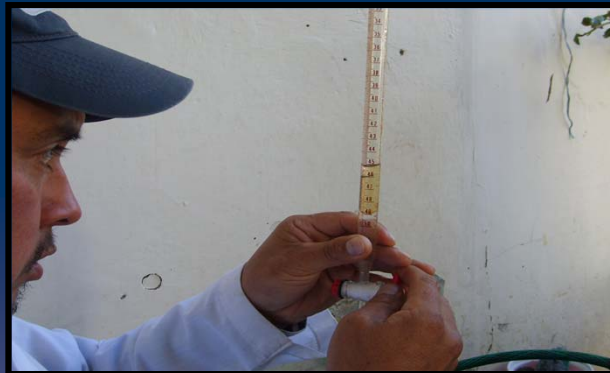




- e) **Recolección del aceite esencial.-** El destilado se lo recogió en la bureta y se dejó decantar por unos 5 minutos luego de terminar el tiempo de destilación.



- f) **Separación.-** Se realizó por decantación del aceite esencial contenido en la bureta, donde se midió el rendimiento.



- g) **Envasado.-** El aceite esencial obtenido se envasó en frascos de vidrio oscuros para evitar que se deteriore o pierda sus principios activos.
- h) **Almacenamiento.-** En el almacenamiento se utilizó un lugar fresco y seco.



### 3.5. Métodos de evaluación de las variables

#### Determinación de la humedad inicial y final.

En primer lugar se determinó la humedad inicial de cada una de las plantas por el método gravimétrico, de la siguiente manera: En un crisol de porcelana previamente tarado, se peso 4 g de muestra en la balanza analítica. El crisol con la muestra es colocado en la estufa a 105 ° C durante dos horas y 30 minutos. Terminado este tiempo se sacó de la estufa el crisol con ayuda de las pinzas, y lo pasamos de inmediato al desecador, manteniéndola durante media hora, luego se procedió a pesar en la balanza analítica. Se colocó la muestra media hora en la estufa, hasta obtener peso constante y se enfrió en el desecador por 10 minutos y se peso. Se Continuo este procedimiento hasta obtener 0.005 g de diferencia.

$$\text{Humedad inicial} = \frac{(\text{Peso perdido por el calentamiento en gramos})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

En segundo lugar se determinó la humedad final de la planta deshidratada, para lo cual se determinó primero la humedad extraída, se utilizó un secador de bandejas, en el que se colocó 8 kg de materia prima fresca y se mantuvo en este durante 2,5 horas, con un flujo de aire del 50% y a una temperatura de 35 °C. Una vez realizado este proceso se peso en una balanza gramera, y se determinó la humedad extraída en porcentaje con la siguiente fórmula.

$$\text{Humedad extraída} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

El cálculo de la humedad final se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad final (\%)} = \text{Humedad inicial (\%)} - \text{Humedad extraída (\%)}$$

### 3.5.1. Rendimiento de aceite esencial.

Una vez terminada la destilación con la ayuda de una bureta se determino el rendimiento en ml. para cada unidad experimental.

Para calcular el rendimiento en porcentaje, se transforma el volumen del aceite obtenido en peso (g). Este valor se lo divide para 1000 g de la materia prima utilizada en cada destilación.

Hay que aclarar que para realizar el análisis estadístico se utilizo el rendimiento en mililitros que se obtuvo en cada destilación.

El porcentaje de rendimiento se calculo con la siguiente formula:

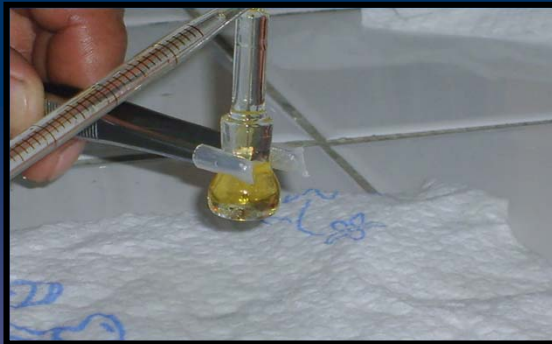
$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{Peso aceite extraído (g)}}{\text{Peso materia prima (g)}} \times 100$$



### 3.5.2. Densidad relativa del aceite esencial

Se utilizó un picnómetro de 1 ml de capacidad. Primeramente se lavó el picnómetro con detergente, se enjuago el mismo con agua destilada y con etanol, luego se seco en la estufa por 60 minutos a 101 °C, la manipulación del picnómetro se hizo con dos pinzas, después se colocó en el desecador por 15 minutos. Se pesó en la balanza electrónica el picnómetro tomando medidas hasta que se obtenga un peso constante el cual se estabilizó en 5,7189 gramos . Una vez tarado el picnómetro se procedió a llenar este con aceite esencial de cada muestra, se tapo cuidadosamente el picnómetro y se limpió el exceso de aceite. Luego se pesó en una balanza electrónica y por diferencia de pesos se determino la densidad relativa del aceite esencial de cada unidad experimental, con la siguiente formula:

$$\text{Densidad } \rho \text{ (g/ml)} = \frac{[(\text{Peso del picnómetro} + \text{muestra}) - (\text{peso del picnómetro})] \text{ (g)}}{\text{Volumen del picnómetro (ml)}}$$



### 3.5.3. Índice de refracción de los aceites esenciales

Se utilizó el refractómetro ABBE, para cada muestra se procedió a limpiar el diafragma del refractómetro con etanol y agua destilada. Con la ayuda de un capilar se tomó dos gotas de aceite esencial y se colocó sobre el diafragma del refractómetro, y se procede a verificar el índice de refracción dado.



### 3.5.4. Residuo no volátil de los aceites esenciales.

Primeramente con un día de anticipación, en un vaso erlenmeyer se pone a hervir los crisoles en una mezcla de ácido sulfúrico 1 N y bicromato de potasio al 1% por 2 horas, luego a los crisoles se los somete en la mufla a 550 °C durante 12 horas, posteriormente con la ayuda de una pinza se colocó en el desecador de cristal, para evitar que absorban humedad. Con un lápiz se marcó los crisoles a ser utilizados y se pesó cada uno, utilizando la micro pipeta se tomó 2 ml de aceite esencial y se depositó en el crisol, la muestra se colocó nuevamente en el desecador, se procedió a desecar en la estufa a 110 grados centígrados durante 24 horas, transcurrido este tiempo se pesó y se determinó el residuo no volátil por diferencia de pesos. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Residuo no volátil (g)} = [(\text{Peso del crisol} + \text{residuo}) - (\text{Peso del crisol})] \text{ (g)}$$



### 3.3.6. Pico de absorbancia máximo de los aceites esenciales.

Se utilizó un espectrofotómetro UV- VIS. Con la ayuda de una pipeta se tomó 1 ml de aceite esencial, este se depositó en una celda de cuarzo y se colocó en el espectrofotómetro, que gracias a una computadora, indicó el gráfico de la longitud de onda y el pico de absorbancia de cada muestra de aceite esencial. Para las muestras que fueron muy turbias se utilizó silicagel, en base a sulfato de cobre, para absorber residuos de agua.





### 3.5.6 Viscosidad de los aceites esenciales

Se utilizó el viscosímetro de Ostwald de 5 ml, el mismo que se sumergió en agua destilada gracias a una bureta de 1 litro de capacidad, esto se realizó para que se mantenga el viscosímetro a una temperatura de 20 grados centígrados. Luego se colocó la muestra de 5 ml en el viscosímetro, con la ayuda de una jeringuilla se absorbió hasta el nivel superior del balón de cristal del viscosímetro, y con un cronómetro se tomó el tiempo que se demoró en descender hasta el nivel inferior del balón de cristal. El cálculo de la viscosidad se realizó de la siguiente manera: las unidades de la viscosidad ( $\eta$ ) vienen dadas en centipoise o Pascal . S

$$\eta \text{ (centipoise)} = \frac{\text{Viscosidad agua} \times \text{Densidad aceite} \times \text{Tiempo aceite}}{\text{Densidad agua} \times \text{Tiempo agua}}$$

$\eta$  = viscosidad en centipoise

Tiempo aceite: El tiempo que se tarda en descender el aceite en el viscosímetro  
Tiempo agua: El tiempo que se tarda en descender el agua en el viscosímetro.



### **3.5.6. Análisis económico del mejor tratamiento**

**Una vez obtenido los datos del experimento se calculó el costo de producción del mejor tratamiento, se tomó en cuenta el rendimiento de aceites esenciales, se agrupo en costos fijos y variables, dando como resultado el costo de producción al sumar los dos. Cabe indicar que en los costos fijos la inversión es alta pero a mediano plazo se obtienen utilidades.**

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Análisis estadístico de la Variable Rendimiento

Esta investigación se inició determinando una humedad inicial y una humedad final por cada planta, dando como resultado las siguientes humedades:

Cuadro 3. Porcentaje de Humedades de las plantas aromáticas.

| PLANTAS           | HUMEDAD INICIAL)<br>(B1) | HUMEDAD<br>FINAL(%) (B2) |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| CEDRÓN (A1)       | 61.97                    | 49.47                    |
| SUNFO (A2)        | 76.31                    | 60.1                     |
| HIERVA LUISA (A3) | 72.62                    | 52.38                    |

Los rendimientos de aceite esencial se obtuvieron de 1 kg de materia prima, luego de la destilación que se realizó en un alambique de cobre tipo cachimbo de 10 litros de capacidad, por cohobación (recirculación).

El rendimiento se determinó en cada tratamiento y repetición. Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con 12 tratamientos y 3 repeticiones. Y factorial  $A \times B \times C$ .

**Cuadro 4. Datos del Rendimiento de los aceites esenciales. Ibarra, 2009.**

| <b>RENDIMIENTO (ml)</b>                    |             |             |             |               |                             |
|--|-------------|-------------|-------------|---------------|-----------------------------|
| <b>REPETICIONES</b><br><b>TRATAMIENTOS</b> | <b>R1</b>   | <b>R2</b>   | <b>R3</b>   | <b>Σ Trat</b> | <b><math>\bar{X}</math></b> |
| <b>T1 (A1B1C1)</b>                         | 1,5         | 1,8         | 1,8         | <b>5,10</b>   | <b>1,70</b>                 |
| <b>T2 (A1B1C2)</b>                         | 1,8         | 1,9         | 1,7         | <b>5,40</b>   | <b>1,80</b>                 |
| <b>T3 (A1B2C1)</b>                         | 2,3         | 2,1         | 2,2         | <b>6,60</b>   | <b>2,20</b>                 |
| <b>T4 (A1B2C2)</b>                         | 2,7         | 2,4         | 2,1         | <b>7,20</b>   | <b>2,40</b>                 |
| <b>T5 (A2B1C1)</b>                         | 2,4         | 2,1         | 2,2         | <b>6,70</b>   | <b>2,23</b>                 |
| <b>T6 (A2B1C2)</b>                         | 3,0         | 3,8         | 2,5         | <b>9,30</b>   | <b>3,10</b>                 |
| <b>T7 (A2B2C1)</b>                         | 3,1         | 2,5         | 4,0         | <b>9,60</b>   | <b>3,20</b>                 |
| <b>T8 (A2B2C2)</b>                         | 3,8         | 3,6         | 3,8         | <b>11,20</b>  | <b>3,73</b>                 |
| <b>T9 (A3B1C1)</b>                         | 3,6         | 3,5         | 3,4         | <b>10,50</b>  | <b>3,50</b>                 |
| <b>T10 (A3B1C2)</b>                        | 4,6         | 4,8         | 3,7         | <b>13,10</b>  | <b>4,37</b>                 |
| <b>T11 (A3B2C1)</b>                        | 4,4         | 4,3         | 4,7         | <b>13,40</b>  | <b>4,47</b>                 |
| <b>T12 (A3B2C2)</b>                        | 5,5         | 6,3         | 4,5         | <b>16,30</b>  | <b>5,43</b>                 |
| <b>Σ Rep</b>                               | <b>38,7</b> | <b>39,1</b> | <b>36,6</b> | <b>114,40</b> | <b>3,18</b>                 |

**A1 = Cedròn**

**A2 = Sunfo**

**A3 = Hierba Luisa**

**B1 = Fresco**

**B2 =Deshidratado**

**C1 = 45 minutos-destilación**

**C2 = 90 minutos-destilación**

**Cuadro 5. Análisis de varianza de la variable rendimiento. Ibarra, 2009.**

| ADEVA        |    |          |         |            |        |      |
|--------------|----|----------|---------|------------|--------|------|
| F de V       | gl | SC       | CM      | F cal.     | F tab. |      |
| Total        | 35 | 50,12222 |         |            | 5%     | 1%   |
| Tratamientos | 11 | 45,34889 | 4,12263 | 22,1212 ** | 2,22   | 3,10 |
| Factor A     | 2  | 18,02722 | 9,01361 | 48,3652 ** | 3,40   | 5,61 |
| Factor B     | 1  | 5,60111  | 5,60111 | 30,0544 ** | 4,26   | 7,82 |
| Factor C     | 1  | 3,12111  | 3,12111 | 16,7472 ** | 4,26   | 7,82 |
| AxB          | 2  | 2,38722  | 1,19361 | 6,4047 **  | 3,40   | 5,61 |
| AxC          | 2  | 1,53500  | 0,76750 | 4,1182 *   | 3,40   | 5,61 |
| BxC          | 1  | 0,00444  | 0,00444 | 0,0238 NS  | 4,26   | 7,82 |
| AxBxC        | 2  | 0,12389  | 0,06195 | 0,3324 NS  | 3,40   | 5,61 |
| Error Exp.   | 24 | 4,47278  | 0,18637 |            |        |      |

**CV = 9.84 %**

$\bar{X} = 3.18 \text{ ml}$

**\* = significativo al 5%.**

**\*\* = altamente significativo.**

**NS = No significativo**

Según el análisis de varianza, se observa que son altamente significativos los: tratamientos, factor A (Plantas), factor B (Humedades), factor C (Tiempos), factorial AxB, mientras que el factorial AxC es significativo al 5%. El coeficiente de variación, esta dentro de lo aceptable.

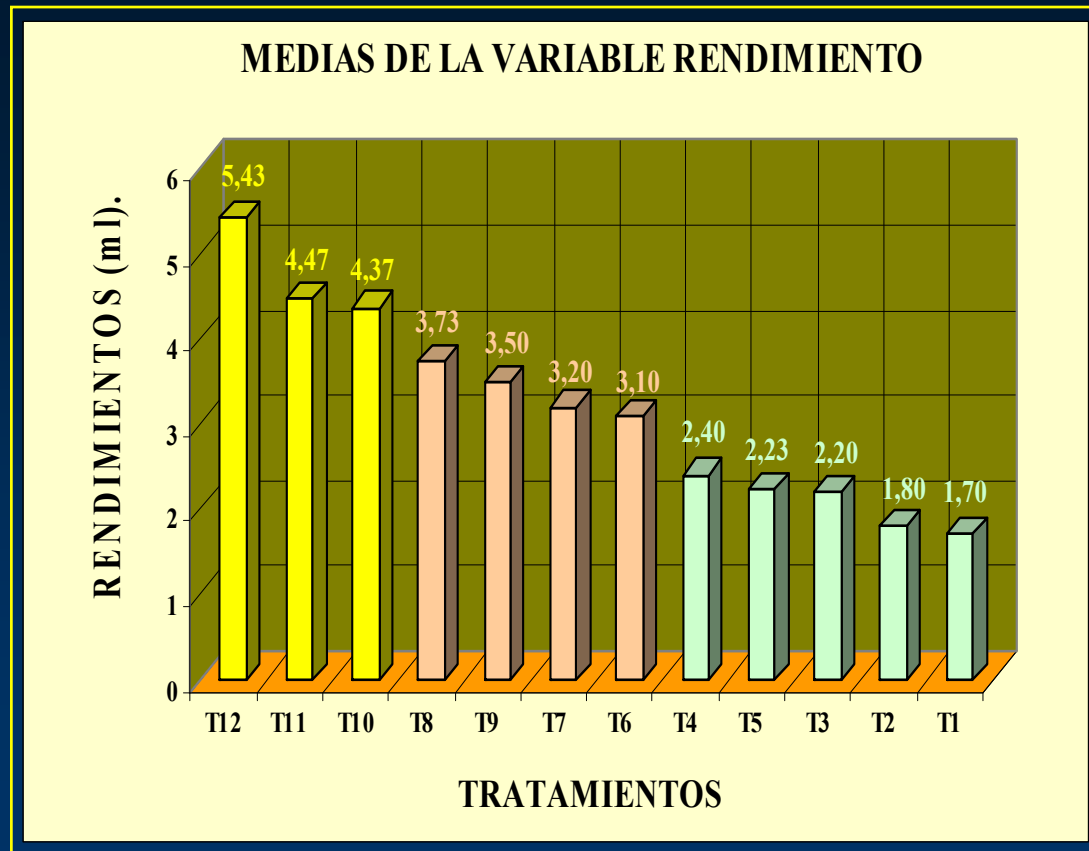


Gráfico 1. Medias de la variable rendimiento.

## FACTORIAL AxB DE LA VARIABLE RENDIMIENTO.

FACTOR A: Plantas: Cedròn (a1), Sunfo (a2) y Hierba Luisa (a3)

FACTOR B: Humedades: Planta Fresca (b1) y Planta Deshidratada (b2)

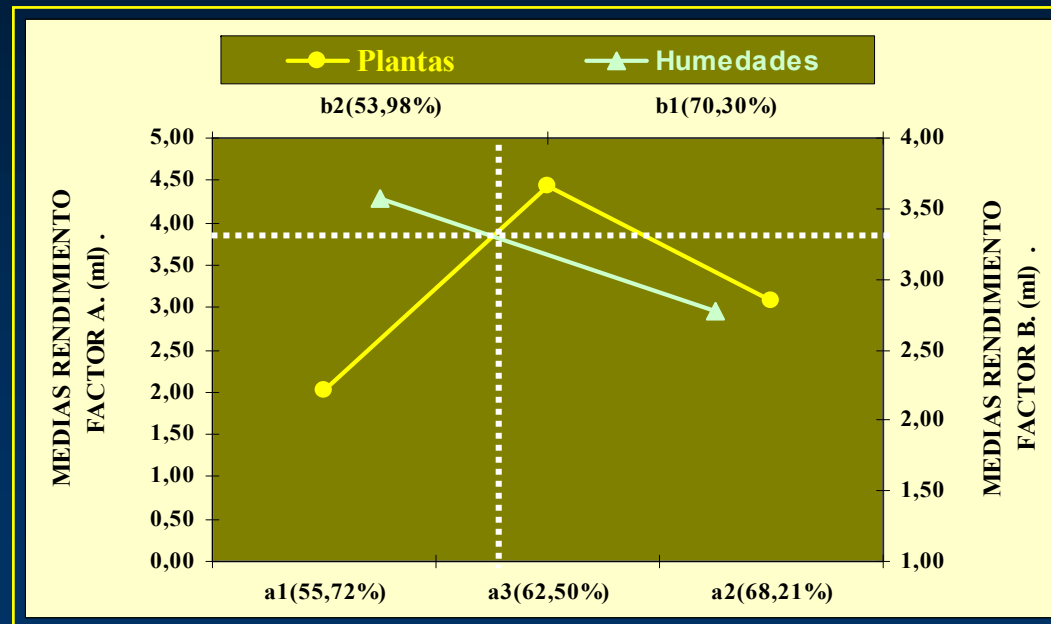


Gráfico 5. Interacción AxB de la variable rendimiento

En el gráfico se observa que existe un punto de interacción entre los factores A (Plantas aromáticas) y B (Humedades de las plantas), de la variable rendimiento, por lo tanto esta interacción indica que se logra un aumento óptimo de los aceites esenciales hasta un valor máximo de 3,85 ml y mínimo de 3,32 ml, para la hierba luisa deshidratada a 53,98% de humedad promedio. Por lo que se concluye que la humedad de las plantas si influye en el rendimiento de los aceites esenciales.

## FACTORIAL AxC DE LA VARIABLE RENDIMIENTO

FACTOR A: Cedròn (a1), Sunfo (a2) y Hierba luisa (a3)

FACTOR C: Tiempos de extracción: 45 minutos (c1) y 90 minutos (c2)

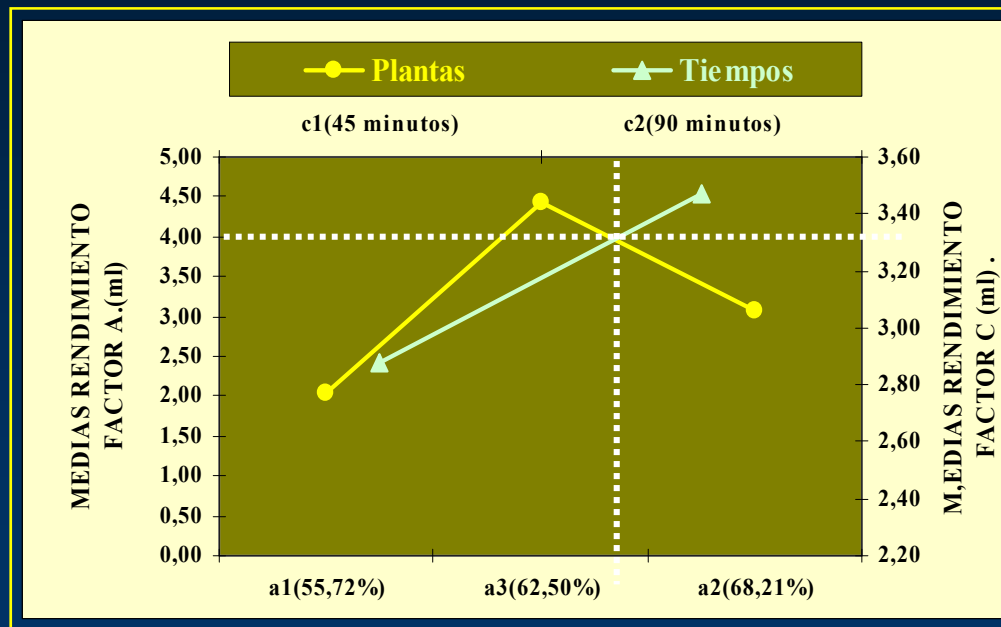


Gráfico 6. Interacción AxC de la variable rendimiento

En el gráfico se observa que existe un punto de interacción entre los factores A (Plantas aromáticas) y C (Tiempos de destilación), de la variable rendimiento, por lo tanto esta interacción indica que se logra un aumento óptimo de los aceites esenciales hasta un valor máximo de 4 ml y un mínimo de 3,3 ml, en la hierba luisa con una humedad promedio de 62,5%, al destilar por 90 minutos. Por lo que se concluye que el tiempo de destilación de las plantas, si influye en el rendimiento de los aceites esenciales



## 4.2. Análisis estadístico de la Variable Densidad

**Cuadro 10. Datos de la densidad de los aceites esenciales. Ibarra, 2009**

| DENSIDAD (g/ml)              |        |        |        |               |           |
|------------------------------|--------|--------|--------|---------------|-----------|
| REPETICIONES<br>TRATAMIENTOS | R1     | R2     | R3     | $\Sigma$ Trat | $\bar{X}$ |
| T1 (A1B1C1)                  | 0,9542 | 0,9919 | 0,9649 | 2,9110        | 0,9703    |
| T2 (A1B1C2)                  | 0,9181 | 0,9376 | 0,9504 | 2,8061        | 0,9354    |
| T3 (A1B2C1)                  | 0,9213 | 0,9613 | 0,9186 | 2,8012        | 0,9337    |
| T4 (A1B2C2)                  | 0,9152 | 0,9758 | 0,9614 | 2,8524        | 0,9508    |
| T5 (A2B1C1)                  | 0,9276 | 0,9431 | 0,9451 | 2,8158        | 0,9386    |
| T6 (A2B1C2)                  | 0,9537 | 0,9640 | 0,9426 | 2,8603        | 0,9534    |
| T7 (A2B2C1)                  | 0,9481 | 0,9507 | 0,9710 | 2,8698        | 0,9566    |
| T8 (A2B2C2)                  | 0,9459 | 0,9785 | 0,9686 | 2,8930        | 0,9643    |
| T9 (A3B1C1)                  | 0,8620 | 0,8719 | 0,8852 | 2,6191        | 0,8730    |
| T10 (A3B1C2)                 | 0,8588 | 0,8736 | 0,8842 | 2,6166        | 0,8722    |
| T11 (A3B2C1)                 | 0,8700 | 0,8851 | 0,8741 | 2,6292        | 0,8764    |
| T12 (A3B2C2)                 | 0,8667 | 0,8717 | 0,8758 | 2,6142        | 0,8714    |
| $\Sigma$ Rep                 | 10,941 | 11,205 | 11,141 | 33,2887       | 0,9247    |

**A1 = Cedròn**

**A2 = Sunfo**

**A3 = Hierba Luisa**

**B1 = Fresco**

**B2 =Deshidratado**

**C1 = 45 minutos-destilación**

**C2 = 90 minutos-destilación**

**Cuadro 11. Análisis de varianza de la variable densidad. Ibarra,2009**

| ADEVA        |    |           |           |            |       |      |
|--------------|----|-----------|-----------|------------|-------|------|
| F de V       | Gl | SC        | CM        | F cal      | F tab |      |
|              |    |           |           |            | 5%    | 1%   |
| Total        | 35 | 0,0579751 |           |            |       |      |
| Tratamientos | 11 | 0,0514971 | 0,0046816 | 33,821 **  | 2,22  | 3,10 |
| Factor A     | 2  | 0,0478005 | 0,0239003 | 172,661 ** | 3,40  | 5,61 |
| Factor B     | 1  | 0,0000265 | 0,0000265 | 0,192 NS   | 4,26  | 7,82 |
| Factor C     | 1  | 0,0000003 | 0,0000003 | 0,002 NS   | 4,26  | 7,82 |
| AxB          | 2  | 0,0009408 | 0,0004704 | 3,398 *    | 3,40  | 5,61 |
| AxC          | 2  | 0,0006474 | 0,0003237 | 2,338 NS   | 3,40  | 5,61 |
| BxC          | 1  | 0,0004155 | 0,0004155 | 3,002 NS   | 4,26  | 7,82 |
| AxBxC        | 2  | 0,0016659 | 0,0008330 | 3,0174 NS  | 3,40  | 5,61 |
| Error Exp.   | 24 | 0,0033222 | 0,0001384 |            |       |      |

$$\bar{X} = 0.9247 \text{ g/ ml}$$

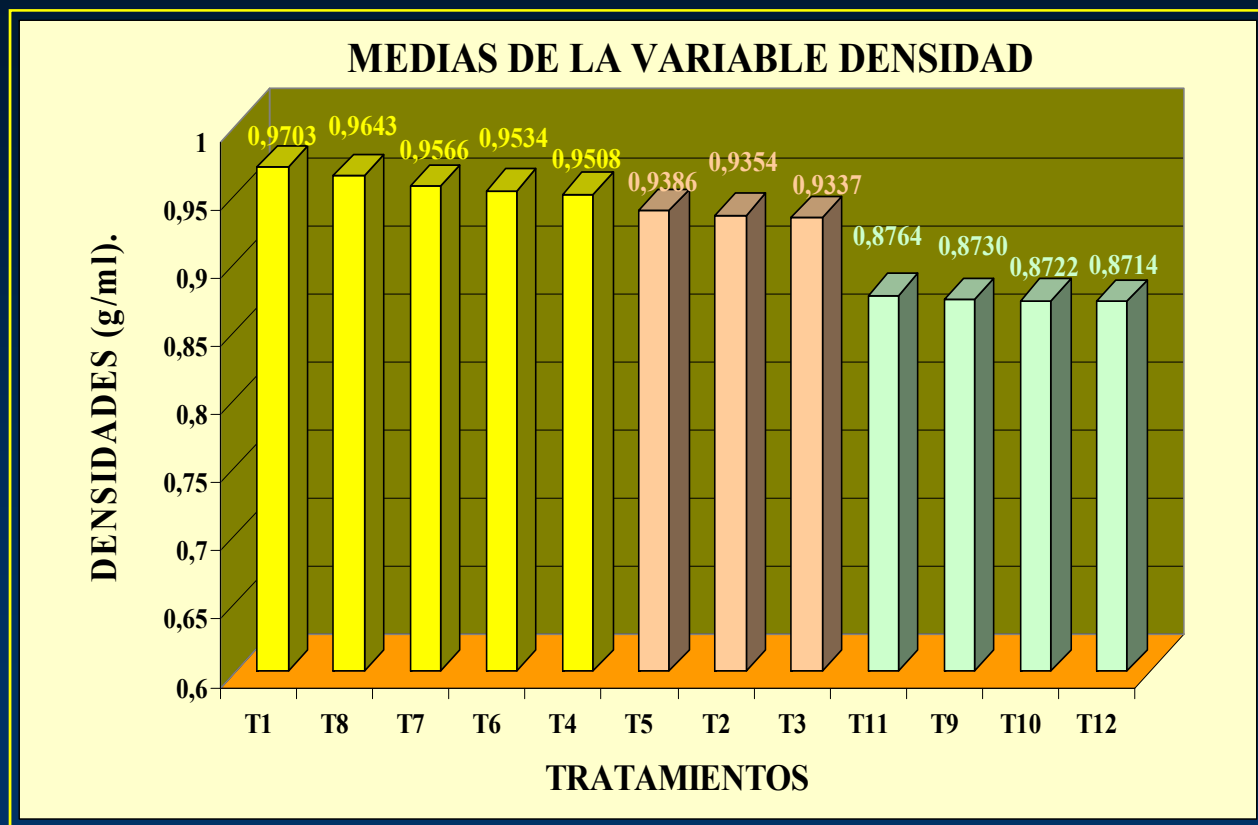
$$CV = 1.27$$

\*\* = altamente significativo

NS = No significativo

\* = Significativo al 5%.

Según el análisis de varianza, son altamente significativos los: tratamientos, el factor A (Plantas), el factorial AxB es significativo al 5%. El coeficiente de variación se encuentra dentro de lo aceptable.



**Gráfico 7. Medias de la variable densidad.**

## FACTORIAL AxB DE LA VARIABLE DENSIDAD.

FACTOR A: Cedròn (a1), Sunfo (a2) y H. Luisa (a3).

FACTOR B: Planta Fresca (b1) y Planta deshidratada (b2)

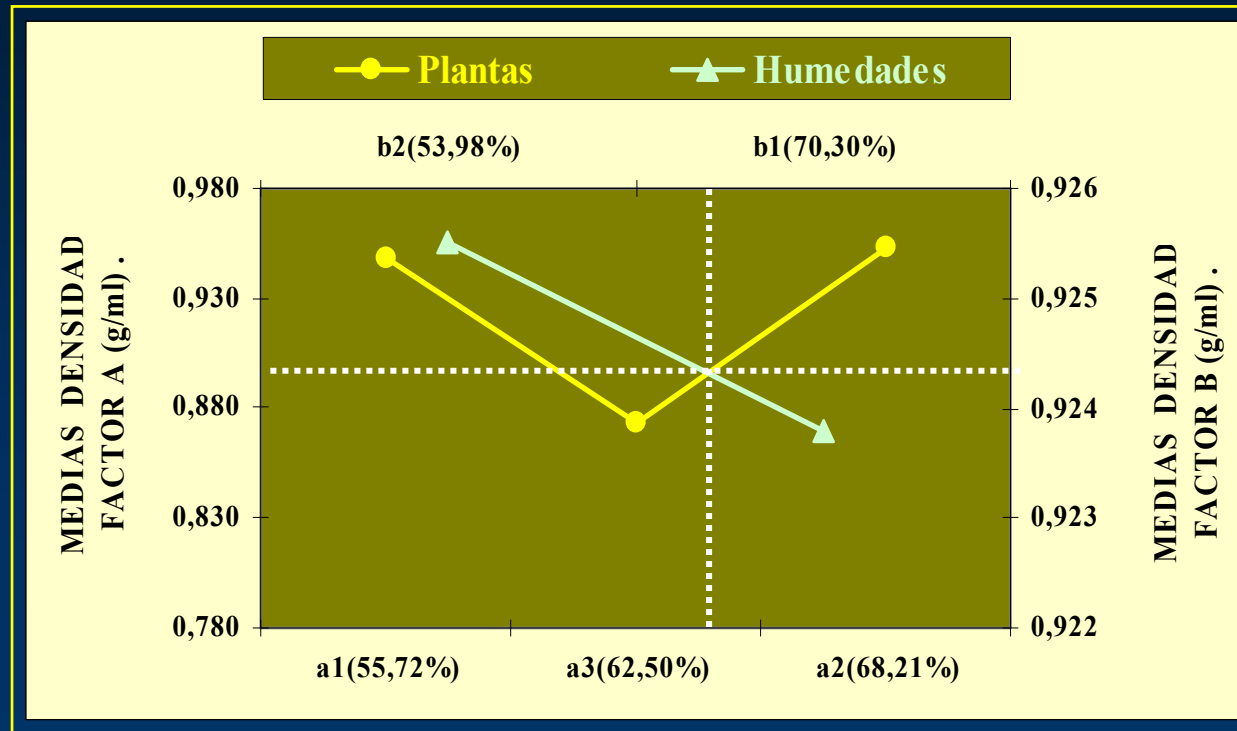


Gráfico 9. Interacción AxB de la variable densidad

En el gráfico se observa que existe un punto de interacción entre los factores A (Plantas aromáticas) y B (Humedades de las plantas), de la variable densidad por lo tanto esta interacción indica que se consigue una disminución óptima de la densidad hasta un valor mínimo de 0,899 g/ml y máximo de 0,9242 g/ml, en el aceite esencial de la hierba luisa, fresca a 70,3% de humedad promedio. Por lo que se concluye que los estados de humedad de las plantas aromáticas si influyen en la densidad de sus aceites esenciales.

## Análisis estadístico de la Variable Índice de Refracción

**Cuadro 14. Datos del Índice de Refracción de los aceites esenciales Ibarra, 2009**

| ÍNDICE DE REFRACCIÓN        |         |         |         |               |           |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------------|-----------|
| TRATAMIENTOS \ REPETICIONES | R1      | R2      | R3      | $\Sigma$ Trat | $\bar{X}$ |
| T1 (A1B1C1)                 | 1,4855  | 1,4885  | 1,4875  | 4,4615        | 1,4872    |
| T2 (A1B1C2)                 | 1,4860  | 1,4870  | 1,4855  | 4,4585        | 1,4862    |
| T3 (A1B2C1)                 | 1,4865  | 1,4860  | 1,4845  | 4,4570        | 1,4857    |
| T4 (A1B2C2)                 | 1,4855  | 1,4872  | 1,4882  | 4,4609        | 1,4870    |
| T5 (A2B1C1)                 | 1,4795  | 1,4887  | 1,4765  | 4,4447        | 1,4816    |
| T6 (A2B1C2)                 | 1,4805  | 1,4822  | 1,4780  | 4,4407        | 1,4802    |
| T7 (A2B2C1)                 | 1,4820  | 1,4805  | 1,4802  | 4,4427        | 1,4809    |
| T8 (A2B2C2)                 | 1,4796  | 1,4834  | 1,4819  | 4,4449        | 1,4816    |
| T9 (A3B1C1)                 | 1,4845  | 1,484   | 1,4830  | 4,4515        | 1,4838    |
| T10 (A3B1C2)                | 1,4846  | 1,4844  | 1,4841  | 4,4531        | 1,4844    |
| T11 (A3B2C1)                | 1,4837  | 1,4834  | 1,4839  | 4,4510        | 1,4837    |
| T12 (A3B2C2)                | 1,4844  | 1,4841  | 1,4840  | 4,4525        | 1,4842    |
| $\Sigma$ Rep                | 17,8023 | 17,8194 | 17,7973 | 53,4190       | 1,4839    |

**A1 = Cedròn**

**B1 = Fresco**

**C1 = 45 minutos-destilación**

**A2 = Sunfo**

**B2 =Deshidratado**

**C2 = 90 minutos-destilación**

**A3 = Hierba Luisa**

**Cuadro 15. Análisis de varianza de la variable índice de refracción Ibarra,2009**

| ADEVA       |    |            |             |           |       |      |
|-------------|----|------------|-------------|-----------|-------|------|
| F de V      | gl | SC         | CM          | Fcal      | F tab |      |
|             |    |            |             |           | 5%    | 1%   |
| Total       | 35 | 0,00029725 |             |           |       |      |
| Tratamiento | 11 | 0,00018507 | 0,000016825 | 4,4971 ** | 2,22  | 3,10 |
| Factor A    | 2  | 0,00017589 | 0,000087945 | 23,507 ** | 3,40  | 5,61 |
| Factor B    | 1  | 0,00000003 | 0,000000028 | 0,0074 NS | 4,26  | 7,82 |
| Factor C    | 1  | 0,00000013 | 0,000000134 | 0,0359 NS | 4,26  | 7,82 |
| AxB         | 2  | 0,00000084 | 0,000000420 | 0,1123 NS | 3,40  | 5,61 |
| AxC         | 2  | 0,00000100 | 0,000000500 | 0,1336 NS | 3,40  | 5,61 |
| BxC         | 1  | 0,00000469 | 0,000004694 | 1,2548 NS | 4,26  | 7,82 |
| AxBxC       | 2  | 0,00000247 | 0,000001235 | 0,3301 NS | 3,40  | 5,61 |
| Error Exp.  | 24 | 0,00008979 | 0,000003741 |           |       |      |

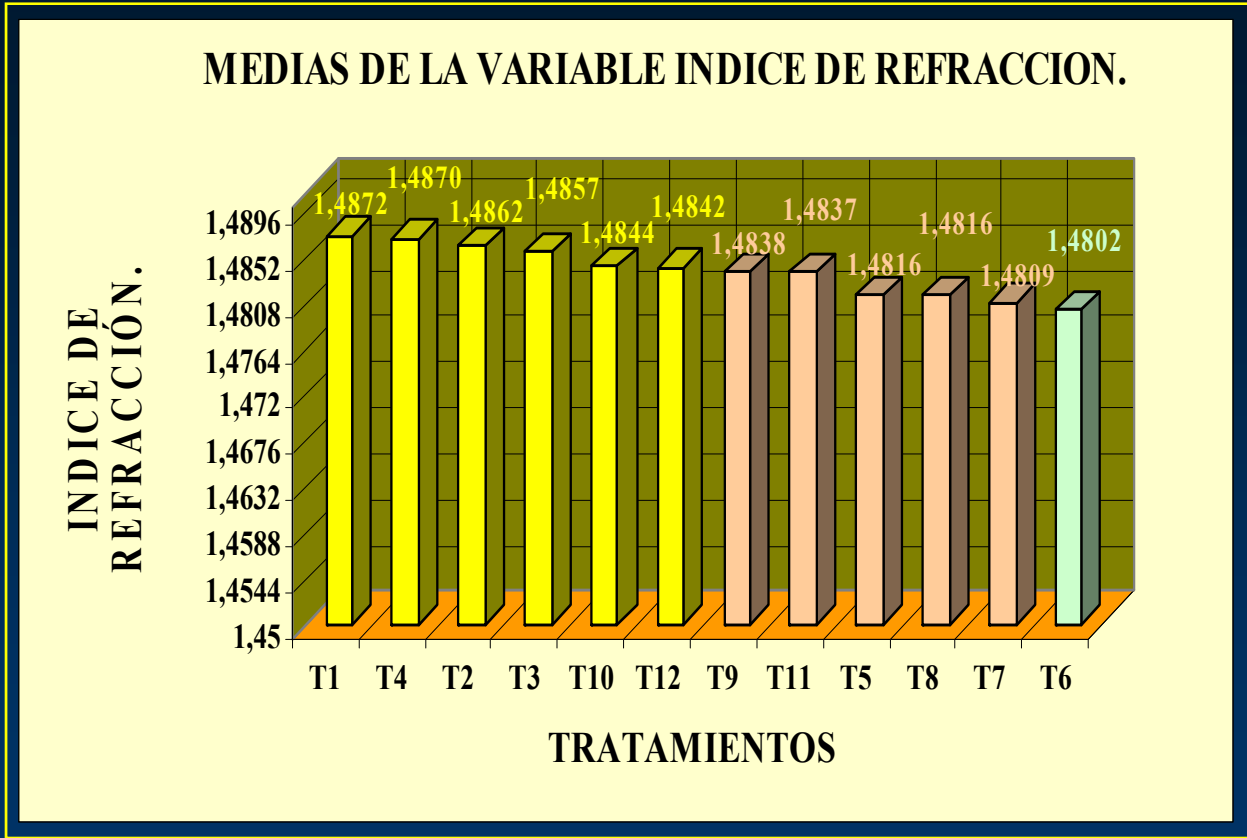
$$\bar{x} = 1,4839$$

$$CV = 0,13$$

\*\* = altamente significativo

NS = no significativo

Luego de realizar el análisis de varianza de la variable índice de refracción, se observa que estadísticamente son altamente significativos los: tratamientos y factor A (Plantas). El coeficiente de variación esta dentro lo aceptable.



**Gráfico 10. Medias de la variable índice de refracción**

#### 4.4. Análisis estadístico de la Variable Residuo No Volátil

**Cuadro 18. Datos del Residuo No Volátil de los aceites esenciales. Ibarra, 2009.**

| RESIDUO NO VOLÁTIL (g)      |        |        |        |               |           |
|-----------------------------|--------|--------|--------|---------------|-----------|
| TRATAMIENTOS \ REPETICIONES | R1     | R2     | R3     | $\Sigma$ Trat | $\bar{X}$ |
| T1 (A1B1C1)                 | 0,4376 | 0,5149 | 0,4546 | 1,4071        | 0,4690    |
| T2 (A1B1C2)                 | 0,4967 | 0,4888 | 0,3686 | 1,3541        | 0,4514    |
| T3 (A1B2C1)                 | 0,4455 | 0,3894 | 0,4646 | 1,2995        | 0,4332    |
| T4 (A1B2C2)                 | 0,4960 | 0,4873 | 0,4646 | 1,4479        | 0,4826    |
| T5 (A2B1C1)                 | 0,3477 | 0,3908 | 0,3326 | 1,0711        | 0,3570    |
| T6 (A2B1C2)                 | 0,2954 | 0,3236 | 0,2931 | 0,9121        | 0,3040    |
| T7 (A2B2C1)                 | 0,2970 | 0,3187 | 0,2534 | 0,8691        | 0,2897    |
| T8 (A2B2C2)                 | 0,2538 | 0,2619 | 0,3139 | 0,8296        | 0,2765    |
| T9 (A3B1C1)                 | 0,3432 | 0,3070 | 0,2485 | 0,8987        | 0,2996    |
| T10 (A3B1C2)                | 0,356  | 0,3224 | 0,3099 | 0,9883        | 0,3294    |
| T11 (A3B2C1)                | 0,2762 | 0,3725 | 0,2675 | 0,9162        | 0,3054    |
| T12 (A3B2C2)                | 0,3255 | 0,3306 | 0,3044 | 0,9605        | 0,3202    |
| $\Sigma$ Rep                | 4,3706 | 4,5079 | 4,0757 | 12,9542       | 0,3598    |

**A2 = Sunfo**

**A1 = Cedròn**

**A3 = Hierba Luisa**

**B2 =Deshidratado**

**B1 = Fresco**

**C2 = 90 minutos-destilación**

**C1 = 45 minutos-destilación**



**Cuadro 19. Análisis de varianza de la variable residuo no volátil. Ibarra,2009.**

| ADEVA        |    |         |          |           |       |      |
|--------------|----|---------|----------|-----------|-------|------|
| F de V       | gl | SC      | CM       | Fcal      | F Tab |      |
| Total        | 35 | 0,23131 |          |           | 5%    | 1%   |
| Tratamientos | 11 | 0,19449 | 0,017681 | 14,7955** | 2,22  | 3,10 |
| Factor A     | 2  | 0,17745 | 0,088725 | 74,243**  | 3,40  | 5,61 |
| Factor B     | 1  | 0,00264 | 0,002645 | 2,2136 NS | 4,26  | 7,82 |
| Factor C     | 1  | 0,00002 | 0,000026 | 0,0221 NS | 4,26  | 7,82 |
| AxB          | 2  | 0,00412 | 0,002062 | 1,7254 NS | 3,40  | 5,61 |
| AxC          | 2  | 0,00551 | 0,002754 | 2,3049 NS | 3,40  | 5,61 |
| BxC          | 1  | 0,00211 | 0,002109 | 1,7655 NS | 4,26  | 7,82 |
| AxBxC        | 2  | 0,00263 | 0,001316 | 1,1009 NS | 3,40  | 5,61 |
| Error Exp.   | 24 | 0,02868 | 0,001195 |           |       |      |

$$\bar{X} = 0.3598 \text{ g}$$

$$CV = 9,61$$

\*\* = altamente significativo

NS = No significativo

Luego de realizar el análisis de varianza de la variable residuo no volátil se observa que son altamente significativos los: tratamientos y el factor A (Plantas), lo que quiere decir que estadísticamente existe diferencias entre sus medias. El coeficiente de variación esta dentro de lo aceptable.

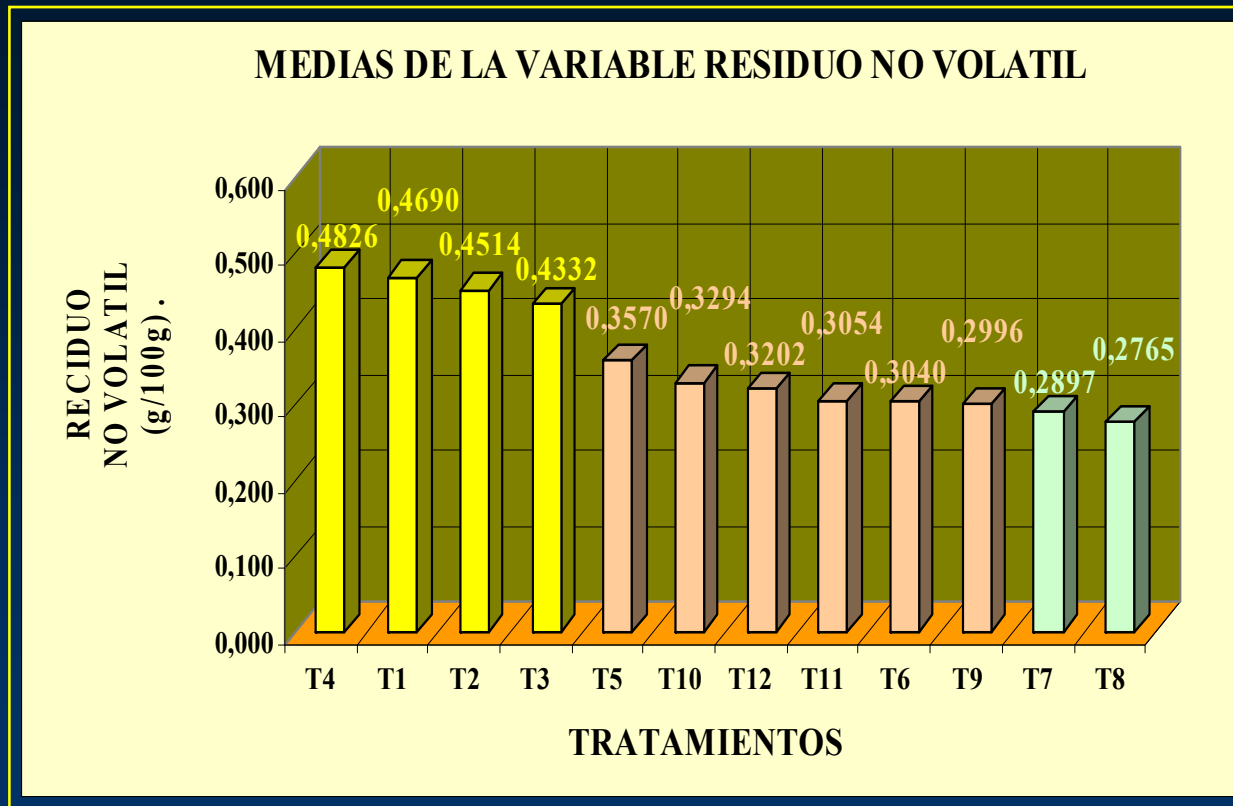


Gráfico 12. Medias de la variable residuo no volátil.

#### 4.5. Análisis estadístico de la Variable Pico de Absorbancia Máxima.

**Cuadro 22. Datos del Pico de Absorbancia Máxima de los aceites esenciales Ibarra, 2009.**

| PICO DE ABSORBANCIA MÁXIMA ( nm) |        |        |        |               |           |
|----------------------------------|--------|--------|--------|---------------|-----------|
| TRATAMIENTOS \ REPETICIONES      | R1     | R2     | R3     | $\Sigma$ Trat | $\bar{X}$ |
| T1 (A1B1C1)                      | 231    | 225    | 202    | 658,0         | 219,33    |
| T2 (A1B1C2)                      | 228    | 252    | 239,9  | 719,9         | 239,97    |
| T3 (A1B2C1)                      | 223    | 238    | 213    | 674,0         | 224,67    |
| T4 (A1B2C2)                      | 235,1  | 273    | 220    | 728,1         | 242,70    |
| T5 (A2B1C1)                      | 258    | 246    | 272    | 776,0         | 258,67    |
| T6 (A2B1C2)                      | 316    | 234    | 222    | 772,0         | 257,33    |
| T7 (A2B2C1)                      | 242,0  | 224,1  | 217    | 683,1         | 227,70    |
| T8 (A2B2C2)                      | 220    | 211    | 267,9  | 698,9         | 232,97    |
| T9 (A3B1C1)                      | 272    | 221,1  | 267,9  | 761,0         | 253,67    |
| T10 (A3B1C2)                     | 223    | 223    | 241    | 687,0         | 229,00    |
| T11 (A3B2C1)                     | 281    | 236,9  | 273    | 790,9         | 263,63    |
| T12 (A3B2C2)                     | 252    | 231    | 213    | 696,0         | 232,00    |
| $\Sigma$ Rep                     | 2981,1 | 2815,1 | 2848,7 | 8644,9        | 240,14    |

A1 = Cedròn

A2 = Sunfo

A3 = Hierba Luisa

B1 = Fresco

B2 =Deshidratado

C1 = 45 minutos-destilación

C2 = 90 minutos-destilación

**Cuadro 23. Análisis de varianza de la variable pico de absorbancia máxima. Ibarra, 2009.**

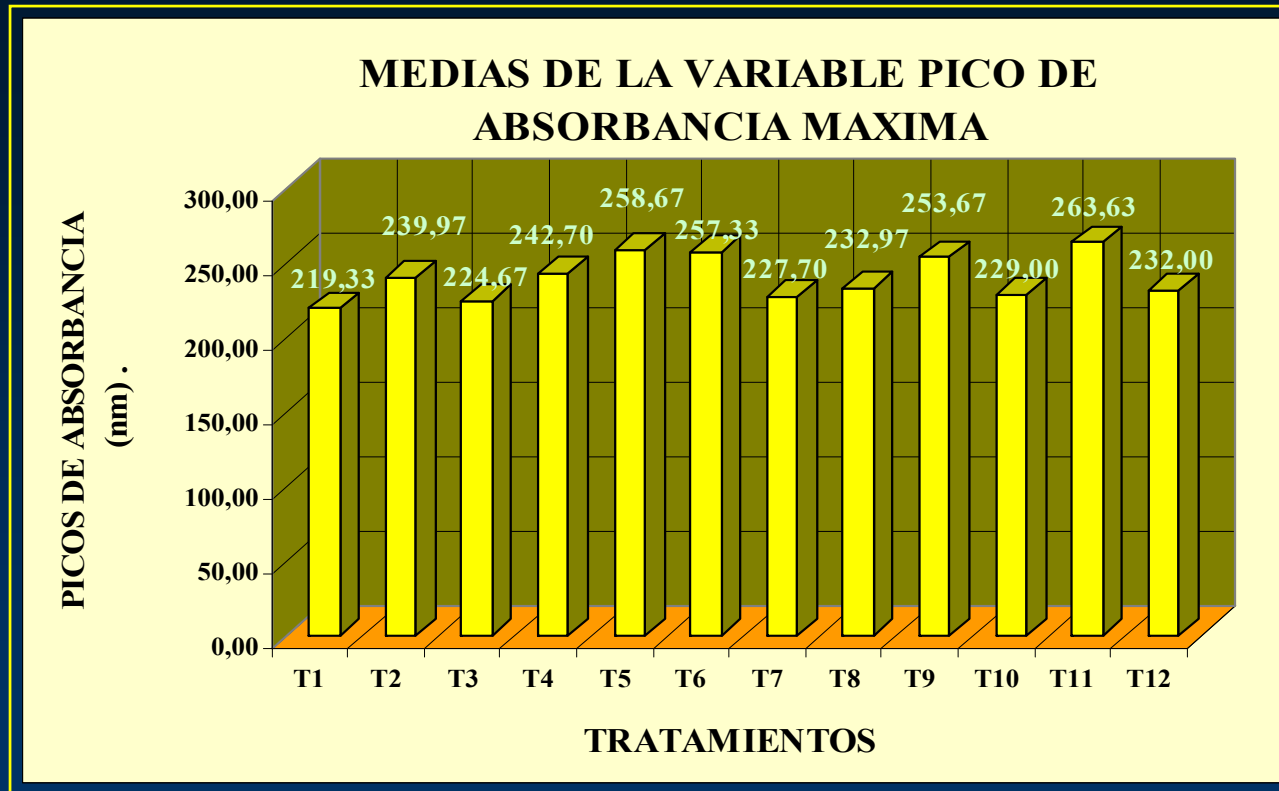
| ADEVA        |    |            |           |         |       |      |
|--------------|----|------------|-----------|---------|-------|------|
| F de V       | gl | SC         | CM        | Fcal    | F Tab |      |
| Total        | 35 | 21369,8031 |           |         | 5%    | 1%   |
| Tratamientos | 11 | 7347,7497  | 667,9772  | 1,26 NS | 2,22  | 3,10 |
| Factor A     | 2  | 1292,1672  | 646,0836  | 1,22 NS | 3,40  | 5,61 |
| Factor B     | 1  | 294,1225   | 294,1225  | 0,55 NS | 4,26  | 7,82 |
| Factor C     | 1  | 46,9225    | 46,9225   | 0,09 NS | 4,26  | 7,82 |
| AxB          | 2  | 2177,1150  | 1088,5575 | 2,05 NS | 3,40  | 5,61 |
| AxC          | 2  | 3463,2817  | 1731,6409 | 3,26 NS | 3,40  | 5,61 |
| BxC          | 1  | 2,2003     | 2,2003    | 0,00 NS | 4,26  | 7,82 |
| AxBxC        | 2  | 71,9406    | 35,9703   | 0,07 NS | 3,40  | 5,61 |
| Error Exp.   | 24 | 12738,3111 | 530,7630  |         |       |      |

$$\bar{X} = 240.14 \text{ nm}$$

$$CV = 9.59$$

NS = No significativo

Luego de realizar el análisis de varianza, se observa que no existe diferencia significativa entre tratamientos ni entre factores, por lo tanto son estadísticamente iguales.



**Gráfico 14. Medias de la variable pico de absorbancia máxima.**

#### 4.6 Análisis estadístico de la Variable Viscosidad.

**Cuadro 24. Datos de la viscosidad de los aceites esenciales. Ibarra, 2009.**

| VISCOSIDAD (cps)             |        |        |        |               |           |
|------------------------------|--------|--------|--------|---------------|-----------|
| REPETICIONES<br>TRATAMIENTOS | R1     | R2     | R3     | $\Sigma$ Trat | $\bar{X}$ |
| T1 (A1B1C1)                  | 2,798  | 2,880  | 3,033  | 8,711         | 2,904     |
| T2 (A1B1C2)                  | 2,827  | 2,967  | 2,777  | 8,572         | 2,857     |
| T3 (A1B2C1)                  | 2,694  | 2,682  | 2,538  | 7,913         | 2,638     |
| T4 (A1B2C2)                  | 2,884  | 3,004  | 2,617  | 8,506         | 2,835     |
| T5 (A2B1C1)                  | 2,572  | 2,905  | 2,669  | 8,146         | 2,715     |
| T6 (A2B1C2)                  | 2,755  | 2,805  | 2,847  | 8,406         | 2,802     |
| T7 (A2B2C1)                  | 2,646  | 2,615  | 2,713  | 7,974         | 2,658     |
| T8 (A2B2C2)                  | 3,015  | 3,074  | 2,907  | 8,996         | 2,999     |
| T9 (A3B1C1)                  | 2,095  | 2,170  | 2,078  | 6,342         | 2,114     |
| T10 (A3B1C2)                 | 2,075  | 2,247  | 2,094  | 6,416         | 2,139     |
| T11 (A3B2C1)                 | 2,101  | 2,213  | 2,229  | 6,544         | 2,181     |
| T12 (A3B2C2)                 | 2,192  | 2,187  | 2,213  | 6,593         | 2,198     |
| $\Sigma$ Rep                 | 30,653 | 31,749 | 30,716 | 93,118        | 2,587     |

**A1 = Cedròn**

**A2 = Sunfo**

**A3 = Hierba Luisa**

**B1 = Fresco**

**B2 =Deshidratado**

**C1 = 45 minutos-destilación**

**C2 = 90 minutos-destilación**

**Cuadro 25. Análisis de varianza de la variable viscosidad. Ibarra,2009.**

| ADEVA        |    |         |         |           |       |      |
|--------------|----|---------|---------|-----------|-------|------|
| F de V       | gl | SC      | CM      | Fcal      | F Tab |      |
| Total        | 35 | 3,90422 |         |           | 5%    | 1%   |
| Tratamientos | 11 | 3,64747 | 0,33159 | 41,1205** | 2,22  | 3,10 |
| Factor A     | 2  | 3,31047 | 1,65524 | 205,267** | 3,40  | 5,61 |
| Factor B     | 1  | 0,00012 | 0,00012 | 0,0153 NS | 4,26  | 7,82 |
| Factor C     | 1  | 0,09597 | 0,09598 | 11,9020** | 4,26  | 7,82 |
| AxB          | 2  | 0,08845 | 0,04423 | 5,4846 *  | 3,40  | 5,61 |
| AxC          | 2  | 0,05951 | 0,02976 | 3,6902 *  | 3,40  | 5,61 |
| BxC          | 1  | 0,05987 | 0,05988 | 7,4255 *  | 4,26  | 7,82 |
| AxBxC        | 2  | 0,03306 | 0,01653 | 2,0501 NS | 3,40  | 5,61 |
| Error Exp.   | 24 | 0,19353 | 0,00806 |           |       |      |

$$CV = 3.47$$

$$\bar{X} = 2.587 \text{ cps}$$

\*\* = altamente significativo

\* = significativo al 5%

NS = No significativo

Luego de realizar el análisis de varianza de la variable viscosidad, se observa que son altamente significativos los: tratamientos, el factor A (Plantas) y el factor C (Tiempos). Mientras que son significativos al 5%, los factoriales AxB, AxC y BxC. El coeficiente de variación se encuentra dentro de lo aceptable.

### MEDIAS DE LA VARIABLE VISCOSIDAD

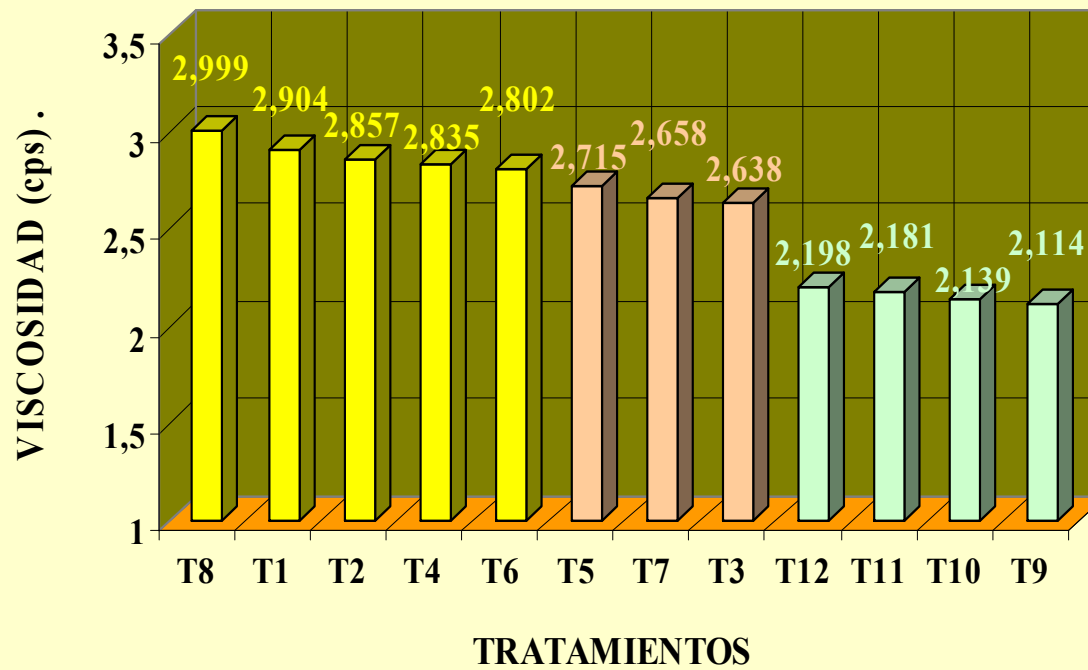
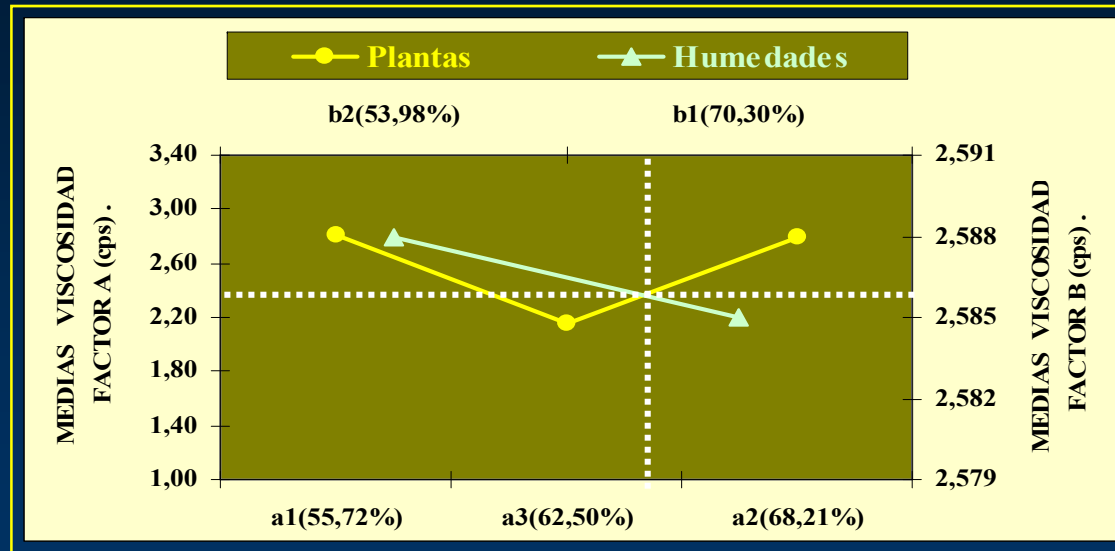


Gráfico 15. Medias de la variable viscosidad.



**FACTORIAL AxB DE LA VARIABLE VISCOSIDAD.**  
**FACTOR A: Cedròn (a1), Sunfo (a2) y H. Luisa (a3).**  
**FACTOR B: Planta Fresca (b1) y Planta deshidratada (b2).**



**Gráfico 18. Interacción AxB de la variable viscosidad.**

En el grafico se observa que existe un punto de interacción entre los factores A (Plantas aromáticas) y B (Humedades), por lo tanto esta interacción indica que se consigue una disminución óptima de la viscosidad hasta un valor mínimo de 2,3 cps y un máximo 2,586 cps para la hierba luisa deshidratada a una humedad promedio de 70,3 % Por lo que se concluye que las humedades de las plantas si influyen en la viscosidad de los aceites esenciales.

## FACTORIAL Ax C DE LA VARIABLE VISCOSIDAD.

FACTOR A: Cedròn (a1), Sunfo (a2) y H. Luisa (a3).

FACTOR C: Tiempos de destilación: 45 minutos (c1) y 90 minutos (c2).

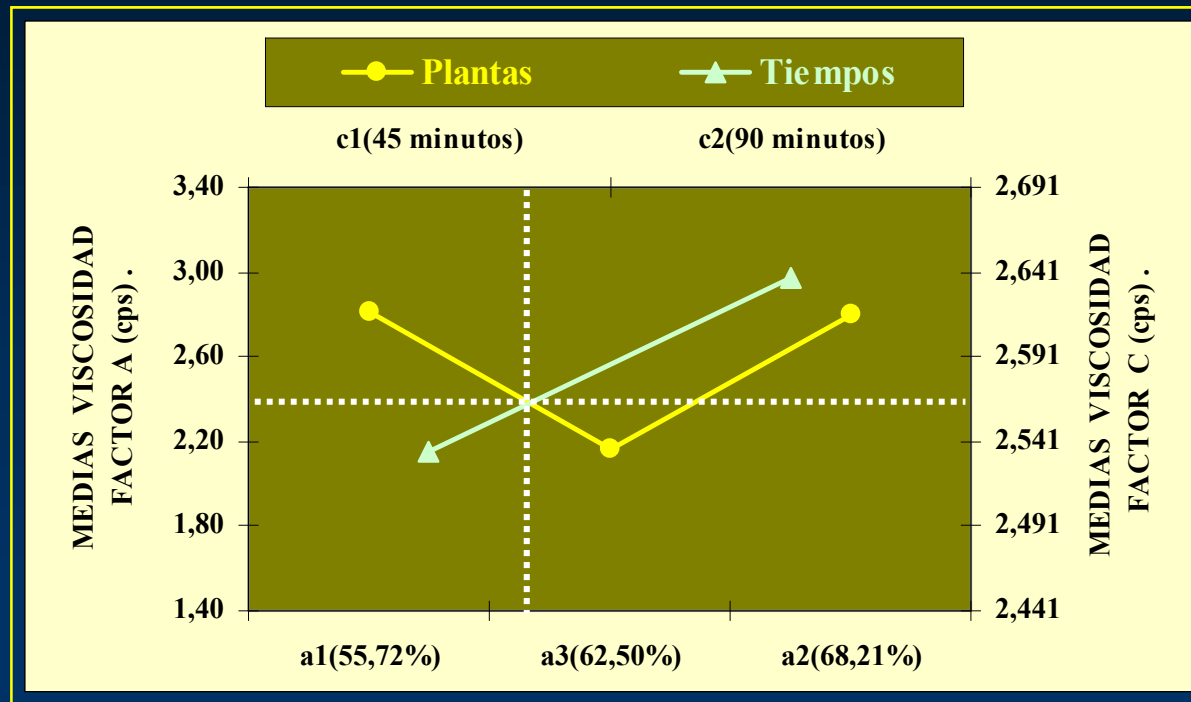


Gráfico 19. Interacción Ax C de la variable viscosidad.

En el gráfico, se observa que existe un punto de interacción entre los factores A (Plantas aromáticas) y C (Tiempos de destilación), por lo tanto esta interacción indica que se consigue una disminución óptima de la viscosidad de los aceites esenciales hasta un valor mínimo de 2,3 cps y un máximo de 2,565 cps, en la hierba luisa con una humedad promedio de 62,5% , al destilar por 45 minutos. Por lo que se concluye que los tiempos de destilación de las plantas si influyen en la viscosidad de los aceites esenciales.

## FACTORIAL BxC DE LA VARIABLE VISCOSIDAD.

FACTOR B: Planta fresca (b1) y Planta deshidratada (b2).

FACTOR C: Tiempos de destilación: 45 minutos (c1) y 90 minutos (c2).

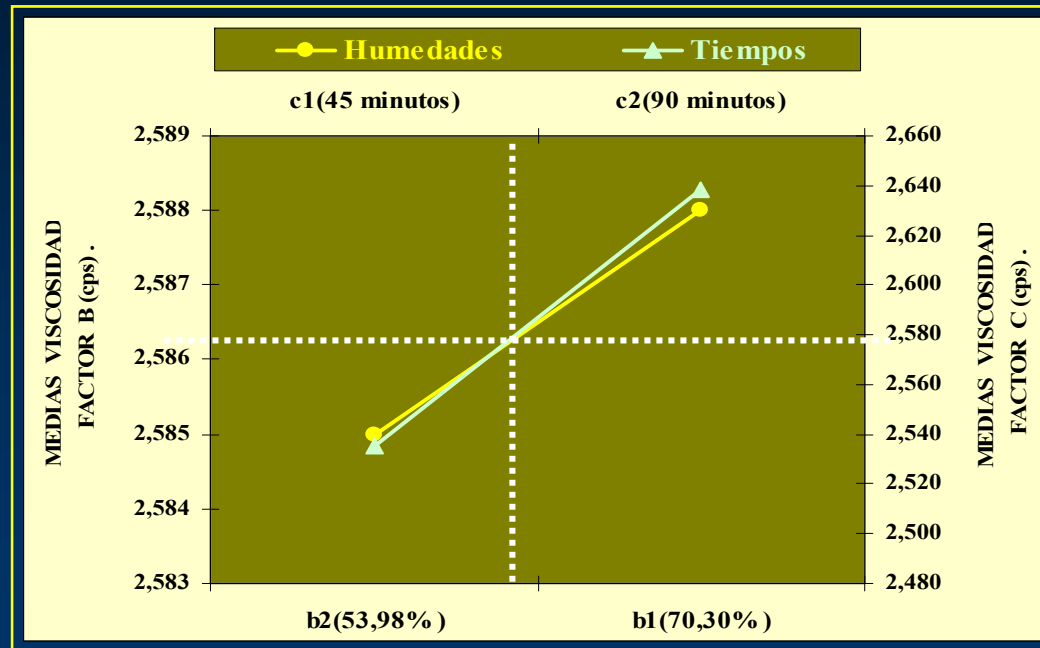


Gráfico 20. Interacción BxC de la variable viscosidad.

En el gráfico se observa que existe un punto de interacción entre los factores B (Humedades de la planta) y C (Tiempos de destilación), por lo tanto esta interacción indica que se consigue una disminución óptima de la viscosidad hasta un valor máximo 2,5863 cps y un mínimo 2,579 cps en las plantas deshidratadas con una humedad promedio de 53,98%, al destilar por 45 minutos. Por lo que se concluye que las humedades y los tiempos de destilación de las plantas, si influyen en la viscosidad de los aceites esenciales.

#### 4.7. Pesos de los volúmenes del rendimiento de los aceites esenciales.

**Cuadro 29. Pesos de los aceites esenciales de cada unidad experimental**

| RENDIMIENTO (g)              |       |       |       |               |           |
|------------------------------|-------|-------|-------|---------------|-----------|
| REPETICIONES<br>TRATAMIENTOS | R1    | R2    | R3    | $\Sigma$ Trat | $\bar{X}$ |
| T1 (A1B1C1)                  | 1,43  | 1,79  | 1,74  | 4,96          | 1,75      |
| T2 (A1B1C2)                  | 1,65  | 1,78  | 1,62  | 5,05          | 1,68      |
| T3 (A1B2C1)                  | 2,12  | 2,02  | 2,02  | 6,16          | 2,05      |
| T4 (A1B2C2)                  | 2,47  | 2,34  | 2,02  | 6,83          | 2,28      |
| T5 (A2B1C1)                  | 2,23  | 1,98  | 2,08  | 6,29          | 2,10      |
| T6 (A2B1C2)                  | 2,86  | 3,66  | 2,36  | 8,88          | 2,96      |
| T7 (A2B2C1)                  | 2,94  | 2,38  | 3,88  | 9,20          | 3,07      |
| T8 (A2B2C2)                  | 3,59  | 3,52  | 3,68  | 10,79         | 3,60      |
| T9 (A3B1C1)                  | 3,10  | 3,05  | 3,01  | 9,16          | 3,05      |
| T10 (A3B1C2)                 | 3,95  | 4,19  | 3,27  | 11,41         | 3,80      |
| T11 (A3B2C1)                 | 3,83  | 3,81  | 4,11  | 11,75         | 3,92      |
| T12 (A3B2C2)                 | 4,77  | 5,49  | 3,94  | 14,20         | 4,73      |
| $\Sigma$ Rep                 | 34,95 | 36,02 | 33,73 | 104,69        | 2,91      |

#### 4.8. Costos de producción del mejor tratamiento.

Cuadro 30. Costos de producción del mejor tratamiento.

| DESCRIPCIÓN                     | UNIDAD | CANTIDAD | V.UNIT. USD | V.TOTAL USD   |
|---------------------------------|--------|----------|-------------|---------------|
| <b>COSTOS VARIABLES</b>         |        |          |             |               |
| <b>Insumos y materiales</b>     |        |          |             |               |
| Materia prima (H.Luisa)         | kg     | 1        | 1           | 1             |
| Fundas plásticas                | unidad | 1        | 0,5         | 0,5           |
| Cinta adhesiva                  | unidad | 1        | 1           | 1             |
| Envases                         | unidad | 1        | 0,3         | 0,3           |
| Etiquetas                       | unidad | 1        | 0,1         | 0,1           |
| <b>Total costos variables</b>   |        |          |             | <b>2,90</b>   |
| <b>COSTOS FIJOS</b>             |        |          |             |               |
| Alambique Cachimbo de 10 litros | unidad | 1        | 900         | 900           |
| Quemador de gas                 | unidad | 1        | 20          | 20            |
| Bureta de 50 ml                 | unidad | 1        | 30          | 30            |
| <b>Total costos fijos</b>       |        |          |             | <b>950</b>    |
| <b>COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>     |        |          |             | <b>952,90</b> |

El costo de producir aceite esencial de hierba luisa sin incluir los costos fijos es 2,90 USD, tomando en cuenta que un kg de H. luisa, produce unos 5 ml de aceite esencial valorado en el mercado nacional en 5 USD.

## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### CONCLUSIONES:

1. Los mejores rendimientos de aceites esenciales por planta se obtuvo en el tratamiento T12 (Hierba luisa deshidratada a una destilación de 90 minutos), T8 (Sunfo deshidratado a una destilación de 90 minutos) y T4 (Cedròn deshidratado a una destilación de 90 minutos).
2. Debido a la alta densidad en el caso del aceite esencial del sunfo, una parte del mismo se pierde en el proceso de destilación por cohobación, lo que hace que baje el rendimiento. En cambio el aceite esencial de hierba luisa tiene mayor rendimiento debido a que la densidad y viscosidad es más baja.
3. El aceite esencial del sunfo presenta bajo residuo no volátil, es decir tiene menos sustancias no deseables, por lo que se concluye que este aceite es de buena calidad.
4. El pico de absorbancia máxima de los aceites esenciales, se encuentra en el rango de longitud de onda 200 y 300 nanómetros.
5. En el análisis de costos se concluye que el mejor tratamiento T12(Hierba luisa deshidratada a una destilación de 90 minutos), con un costo por kg de materia prima de USD 1.00, rinde 6 ml, cuyo costo en el mercado nacional es de USD 5.00.
6. Por cohobación o recirculación del hidrolato, se obtuvo mayor rendimiento en la hidrodestilación. Por lo tanto permitió obtener mayor porcentaje de aceites esenciales.
7. El estado fresco y deshidratado de las plantas de cedròn, sunfo y hierba luisa, si influye en el rendimiento y las características fisicoquímicas de los aceites esenciales, por lo que se aceptó la hipótesis alternativa planteada.
8. El tiempo de extracción más eficiente en la destilación se obtuvo a los 90 minutos.
9. El aceite esencial extraído en este experimento fue obtenido en estado crudo, es decir no es apto para la utilización en productos alimenticios, pero si en productos de limpieza, desinfectantes, aromaterapia, perfumes.

## RECOMENDACIONES:

- Fomentar la producción de cultivos de plantas medicinales y aromáticas en la zona norte del Ecuador, para promover su industrialización.
  - Para futuras investigaciones se recomienda realizar un estudio de los aceites esenciales de plantas nativas del sector y sus aplicaciones en la industria. Incorporar esta información en la Web, especialmente del sunfo.
3. En el secado de la planta, la temperatura óptima debe ser de 35° C, porque a mayor temperatura los aceites esenciales tienden a volatilizarse. Después de realizar el secado de la materia prima se recomienda almacenar en fundas plásticas y sellar bien para evitar que se humedezca.
  4. Tratar de evitar desperdiciar el agua del bidón que se utilizó como refrigerante en la destilación por lo que se sugiere diseñar un proceso para su reutilización.
  5. Guardar las muestras del aceite esencial en un lugar fresco y seco, en envases de vidrio oscuro para conservar mejor sus principios activos.
  6. Sellar bien las conexiones de las partes del alambique tipo cachimbo, para evitar las fugas de vapor durante la hidrodestilación.
  7. En futuras investigaciones se recomienda que los aceites esenciales extraídos sean desterpenados o refinados para evitar compuestos tóxicos y se los utilice como materia prima en la elaboración de productos de consumo humano.
  8. Se recomienda hacer investigaciones mas profundas, de los tiempos empleados en la destilación para determinar en que tiempo se obtiene el mejor rendimiento en la extracción de aceites esenciales.
  9. En el caso del sunfo, se recomienda que se realice un estudio a fin de que los gobiernos locales, se comprometan muy seriamente a cuidarlo y si fuese posible propagarlo.
  10. Se recomienda desarrollar un proyecto de inversión para aceites esenciales.
  11. En general se recomienda, que en la zona Norte del país se formen asociaciones de campesinos, con el fin de cultivar plantas aromáticas que servirán como materia prima para la extracción de aceites esenciales y además como una fuente de ingresos económicos.

## CAPITULO VII. RESUMEN.

El presente estudio se desarrollo en los laboratorios de la FICAYA, la destilación de las plantas se hizo en el laboratorio de Biotecnología, mientras que los análisis fisicoquímicos de los aceites esenciales se realizó en el laboratorio de uso múltiple, ubicado en el edificio de la FICAYA de la UTN.

Esta investigación tuvo como objetivo principal la obtención de aceites esenciales de cedròn, sunfo y hierba luisa en un alambique tipo cachimbo por cohobación, así como determinar el rendimiento y evaluar las características fisicoquímicas de los aceites esenciales obtenidos de cada tratamiento.

Los factores analizados corresponden a tres plantas (cedròn, sunfo y hierba luisa), dos estados de humedad: fresco y deshidratado, la extracción de los aceites esenciales se realizo a 45 minutos y a 90 minutos. Se aplicó 12 tratamientos utilizando un diseño completamente al azar (DCA) con 3 repeticiones. Y factorial AxBxC.

De los resultados obtenidos en el experimento se procedió a seleccionar el mejor tratamiento para cada variable analizada. Y se observó que entre variables presentan diferencias todos los tratamientos.

Por ser un proceso nuevo y carecer de información económica, se procedió a calcular los costos de producción del mejor tratamiento en este caso el T12 que corresponde a la Hierba Luisa, deshidratada con un tiempo de destilación de 90 minutos.

Para probar la hipótesis de los parámetros que influyen directamente en la obtención de los aceites esenciales puros y naturales de cedròn, sunfo y hierba luisa se analizó los resultados de los análisis de laboratorio de las variables estudiadas, lo que indicó que se trata de una actividad económica al alcance de todos, para fomentar la agroindustria en la zona norte del país.

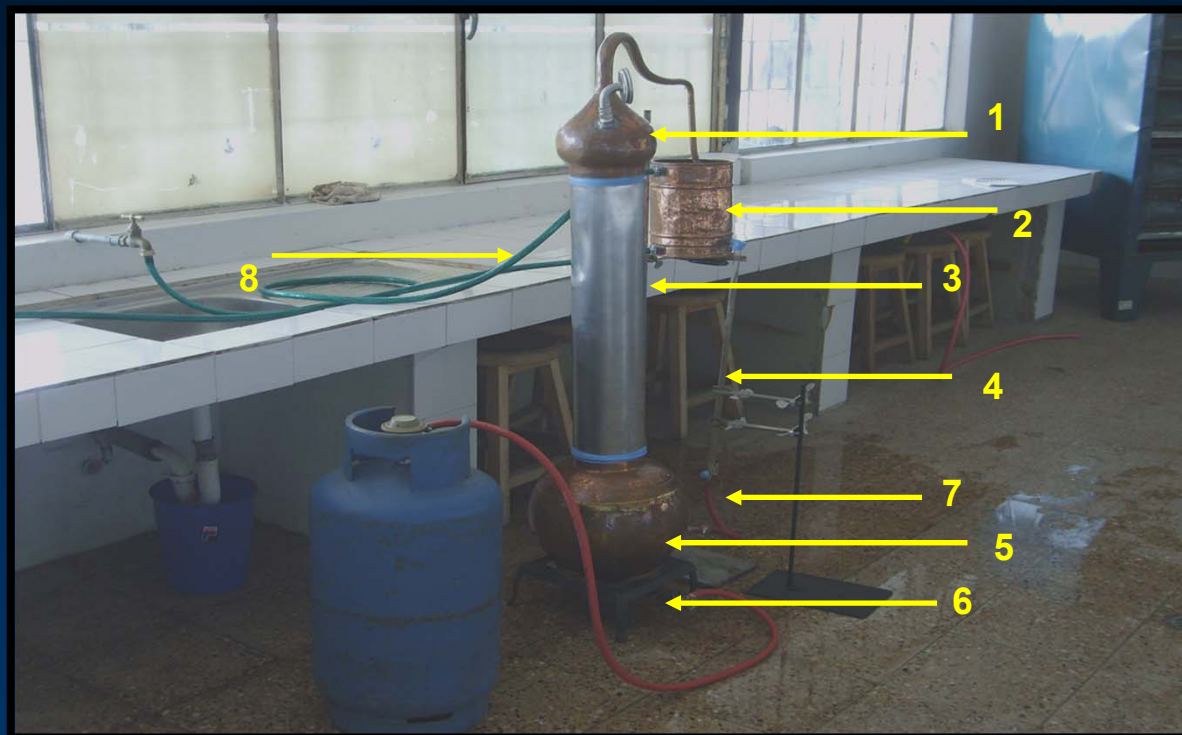
De los tratamientos estudiados el estado fresco y deshidratado del cedròn, sunfo y hierba luisa si influyen en el rendimiento y las características fisicoquímicas de los aceites esenciales de las mismas, por lo que la hipótesis planteada resulto verdadera.



## **Anexo 9 Manual del funcionamiento del alambique tipo cachimbo por cohobaciòn.**

- 1. Se carga 2,5 litros de agua en el caldero, y se coloca la rejilla para evitar el contacto de las hojas con el agua.**
- 2. Se coloca paja en el caldero, y luego se introduce las hojas a destilar.**
- 3. Se conecta la columna de acero al caldero y este a su vez al capacete condensador prolongado en un cuello de cisne (o trompa de elefante), y al condensador refrigerante cilíndrico (bidón), provisto en su interior de un serpentín de cobre y con salida para el destilado en su parte inferior.**
- 4. El condensador refrigerante va conectado con mangueras para la entrada y salida del agua, la que actúa como refrigerante para que se realice la condensación de los vapores.**
- 5. En la salida del destilado se coloca una bureta para la recolección de los aceites esenciales.**
- 6. En la bureta se realiza la decantación para separar el aceite del hidrolato**
- 7. La bureta se conecta con la ayuda de una manguera al caldero para que se realice la recirculación del hidrolato.**
- 8. Se coloca el caldero sobre un quemador de gas para que el agua llegue a ebullición y así el vapor arrastre los aceites esenciales de la planta destilada.**
- 9. El termómetro indica que la ebullición del agua esta realizándose normalmente. La temperatura de ebullición depende de la altura sobre el nivel del mar donde se este trabajando.**

## Partes del alambique de cobre tipo cachimbo por cohobaciòn.



1. Capacete condensador prolongado en cuello de cisne con termómetro
2. Condensador refrigerante cilíndrico.
3. Columna de acero inoxidable de 60 cm de alto.
4. Bureta de 50 ml
5. Caldera de cobre de 10 litros de capacidad
6. Quemador a gas.
7. Manguera de recirculación del hidrolato
8. Mangueras de entrada y salida de agua.