

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Valoración del potencial de frutos de tres musáceas para la  
producción de alcohol a nivel de laboratorio”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

Presentada por:

Leonardo Xavier León Castro

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2009

## AGRADECIMIENTO

Agradezco al Centro de Investigación Biotecnológica de Ecuador (CIBE), y a todo su staff, de manera especial a la Dra. María Isabel Jiménez F, Jefe de área de Fitopatología, por su invaluable apoyo.

# DEDICATORIA

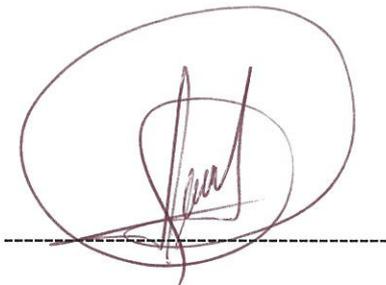
A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANAS

A MI PAIS.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Dr. Paúl Herrera S.  
DELEGADO DEL DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



Dra. Ma. Isabel Jiménez F.  
DIRECTORA DE TESIS

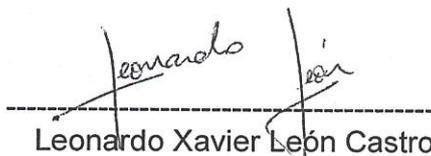


MSc. Omar Ruiz B.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

  
Leonardo Xavier León Castro

## RESUMEN

El presente estudio se enmarca en la producción de alcohol a partir de materias primas vegetales en Ecuador.

Los cambios en el medio ambiente, están obligando al hombre a no depender de una sola fuente de energía, si no a buscar otras alternativas, que puedan lograr una sostenibilidad del ecosistema, en esta búsqueda el combustible de origen agrícola o bio combustible es una alternativa.

Al ser los mercados internacionales el principal enfoque de la industria bananera, no existe previsión con respecto al valor agregado que se debería dar al producto, siendo una debilidad la falta de investigación en esta área.

El objetivo del presente estudio fue contribuir en la investigación de bio combustibles, obtenidos a partir de frutos del género Musa, resultados que podrán aplicarse al producto no exportable de la producción de Musáceas en Ecuador. Otros parámetros analizados fueron el tipo de alcohol; así como, el porcentaje obtenido. Ambos parámetros se evaluaron mediante un análisis realizado bajo el método HPLC, este sistema de análisis permite muy buenas separaciones e identificaciones de sustancias o grupos de sustancias en un tiempo corto, tanto cualitativa como cuantitativamente.

Para el análisis estadístico se utilizó, un diseño de experimento por bloques completamente al azar, en donde los niveles del factor representan cada una de las evaluaciones en tres diferentes tiempos de fermentación y bloque o factor perturbador son los diferentes tipos de musáceas. Y cada uno tiene tres repeticiones o tres unidades de investigación.

Como resultado de este estudio se ha validado la hipótesis de que cada musácea tiene diferente potencial para producir alcohol.

Los diferentes tiempos de fermentación mostraron que influyeron en la producción de alcohol. A los diez días de fermentación se obtuvo el porcentaje más elevado de etanol.

El tipo de alcohol que se obtuvo para todos los tratamientos fue etanol.

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	X
INDICE DE GRAFICOS.....	XI
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1	
1. CULTIVOS TROPICALES QUE PRODUCEN ALCOHOL.....	3
1.1. Taxonomía.....	.....
1.2. Distribución geográfica .....	.....
1.3. Importancia a nivel mundial .....	.....
1.4. Métodos de producción .....	.....
1.2. Sostenibilidad agrícola .....	.....
CAPITULO 2	
2. CONTAMINACION AMBIENTAL.....	14
2.1. Combustible de origen fósil .....	.....
2.2. Bio combustible como mitigante .....	.....
2.3. Ventajas y desventajas.....	.....

## CAPITULO 3

3. SISTEMAS DE PRODUCCION DE BIO COMBUSTIBLES.....	61
3.1. Sistemas artesanales .....	
3.2. Sistemas a nivel industrial .....	
3.3. A nivel mundial .....	

## CAPITULO 4

4. MATERIALES Y METODOS.....	85
4.1. Material biológico.....	

## CAPITULO 5

5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	
--------------------------------	--

## CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
-------------------------------------	-----

## APENDICES

## BIBLIOGRAFIA

**INDICE DE TABLAS**

	Pág.
Tabla 1	Análisis de Varianza para comparar las diferencias estadísticas entre los tratamientos, de los diferentes tiempos de fermentación .....
Tabla 2	Identificación de cada uno de los tratamientos en laboratorio.....
Tabla 3	Identificación de los tratamientos en campo .....

## INDICE DE GRAFICOS

	Pág.
Grafico 2.1	Producción de etanol combustible y bio diesel .....
Grafico 3.1	Destilador casero.....
Grafico 3.2	Proceso de destilación .....
Grafico 3.3	Planta industrial de destilación .....
Grafico 4.1	Tabla de colores de la piel de banano.....
Grafico 4.2	Levadura activa seca.....
Grafico 4.3	Unidades experimentales a nivel de campo .....
Grafico 4.4	Equipo de destilación a nivel de campo .....
Grafico 4.5	Unidades experimentales a nivel de laboratorio .....
Grafico 4.6	Equipo de destilación para laboratorio .....
Grafico 5.1	Porcentajes de etanol evaluado a los diez días de fermentación .....
Grafico 5.2	Porcentajes de grados Brix, evaluados en tres diferentes frutos de musáceas.....
Grafico 5.3	Porcentaje de etanol, evaluado en tres diferentes tiempos de fermentación: 10 días (A), 20 días (B), 30 días (C), obtenidos a partir de tres tipos de musáceas .....
Grafico 5.4	Ensayo en campo. Porcentaje de etanol, obtenido a los diez días de fermentación, en tres diferentes tipos de musáceas .....



## INTRODUCCION

Ecuador es el primer exportador de banano a nivel mundial y es uno de los principales exportadores de plátano también, con disponibilidad de producto durante todo el año.

En la etapa de selección y empaque de la fruta, se presentan rechazos en las operaciones de desgaje y desmane. En la primera se inspeccionan las dimensiones de la fruta, y en la segunda, las condiciones de la cáscara. De este modo, el rechazo de empacadora resulta de la exigencia de calidad estipulada por las comercializadoras de banano. Este rechazo se estima entre un 15% y 20% del total de la producción de exportación anual [3].

Los bio carburantes, actualmente producidos a partir de productos agrícolas tradicionales, presentan unas características parecidas a las de los combustibles fósiles y se pueden utilizar en motores sin tener que efectuar modificaciones. Además, poseen ventajas medioambientales ya que se considera que no existen emisiones netas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, no contienen azufre y su utilización en mezclas

con los combustibles fósiles supone reducciones importantes en las emisiones por parte de los vehículos [19].

El banano disponible para producir etanol, únicamente de los excedentes no exportados, sería una materia prima de bajo costo y la instalación de una planta de alcohol a base de él demandaría como mínimo un volumen estándar que asegure la producción requerida del mercado, obligando al sector gubernamental el incentivo a la producción del pequeño y gran productor, sin olvidar la importancia de generar y apoyar políticas de investigación aplicada que permitan al sector contar con un sustento técnico científico para apoyar el desarrollo tecnológico de esta área .

Esta investigación fue orientada a la validación de las siguientes hipótesis:

1. Las musáceas producen alcohol (etanol).
2. Musáceas de grupos diferentes presentan un potencial diferenciado para producir alcohol.

Planteadas las hipótesis, el objetivo general de este trabajo fue:

***Contribuir en la investigación de bio-combustibles, obtenidos de frutos del género Musa. Estudiar las potencialidades de que presenta el producto no exportable.***

Para satisfacer dicho objetivo, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Establecer el porcentaje de alcohol en los productos obtenidos de cada material vegetal en estudio.
2. Diseñar una planta prototipo para el procesamiento de 10 galones de alcohol.

Además, de realizar análisis que nos permitan conocer qué tipo de alcohol y que porcentaje del mismo está presente en cada materia prima en estudio.

# CAPITULO 1

## 1. CULTIVOS TROPICALES QUE PRODUCEN ALCOHOL

### 1.1 Taxonomía:

#### Caña de azúcar

Pertenece a la familia de las gramíneas, género *Saccharum*. Las variedades cultivadas son híbridos de la especie *officinarum* y otras afines (*spontaneum*,...). Linneo le dio el nombre de *Saccharum officinarum* a la caña de azúcar. El azúcar y la caña de azúcar se mencionan en antiguos textos mitológicos y poéticos indios entre los años 100 y 800 a. C. y en textos legislativos entre 200 a. C. y 200 d. C. probablemente se introdujo en China alrededor del año 100 a. C. [35]

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y con el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña, gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis [35].

### **Clasificación Científica de la Caña de azúcar**

Reino:	Vegetal
División:	Espermatofitas
Clase:	Angiospermae
Orden:	Glumiflorae
Familia:	Graminaceae
Genero:	Saccharum
Especie:	<u>officinarum.</u>

### **Maíz**

El maíz se ha tomado como un cultivo muy estudiado para investigaciones científicas en los estudios de genética. Continuamente se está estudiando su genotipo y por tratarse de una planta monoica aporta gran información ya que posee una parte

materna (femenina) y otra paterna (masculina) por lo que se pueden crear varias combinaciones (cruces) y crear nuevos híbridos para el mercado.

Los objetivos de estos cruzamientos van encaminados a la obtención de altos rendimientos en producción. Por ello, se selecciona en masa aquellas plantas que son más resistentes a virosis, condiciones climáticas, plagas y que desarrollen un buen porte para cruzarse con otras plantas de maíz que aporten unas características determinadas de lo que se quiera conseguir como mejora de cultivo. También se selecciona según la forma de la mazorca de maíz, aquellas sobre todo que posean un elevado contenido de granos sin deformación [12].

### **Clasificación Científica del Maíz**

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Genero:	<i>Zea</i>
Especie:	<u><i>Zea maíz L.</i></u>

## **Banano**

El Banano comestible, que lo llevamos con gran deleite a nuestro paladar, se originó a través de una serie de mutaciones y cambios genéticos, a partir de especies silvestres no comestibles, de fruto pequeño con numerosas semillas. Para llegar a las mutaciones se producen cambios en los cromosomas que tienen las características hereditarias que dieron origen al banano comestible comercial.

Los bananos más vigorosos, sus frutos grandes, carecen de semilla siendo los mejores para la producción comercial los de grupo triploide, debido al que el banano no produce semillas fértiles, se produce vegetativamente [18].

La familia de las Musáceas contiene dos géneros, Musa y Ensete. Las Musáceas están distribuidas desde África Occidental hasta el Pacífico, pero su origen es del Sudeste de Asia predominantemente. La familia consiste de grandes hierbas perennes con pseudotallo compuestos de vainas foliares. Los géneros se distinguen entre sí principalmente en base a las características de sus racimos [13].

Los cultivares de banano y plátano son derivados de las especies silvestres *Musa acuminata* Colla y *Musa balbisiana* Colla. Los híbridos provenientes de estas dos especies son muchas veces nombrados como *Musa X paradisiaca* L., *Musa X sapientum* L., o incluso, *M. acuminata X M. balbisiana* Colla, para ser más precisos [23].

Respectivamente, el banano comercial tiene 3 grupos de cromosomas, siendo triploides; mientras que las silvestres tienen 2 grupos de cromosomas siendo diploides.

#### **Clasificación Científica del Banano**

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Zingiberales
Familia:	Musaceae
Genero:	Musa
Especie:	<u><i>M. paradisiaca</i></u>

Nombre binomial: *Musa x paradisiaca*, (Kress, 1990).

## Banano Orito

La *M. acuminata* tuvo su origen en la península de Malasia o islas cercanas, de donde fue llevada a otros lugares como las Filipinas y la India, donde se mezcló con ejemplares de *Musa balbisiana* dando origen a grupos híbridos de los cuales se derivan los plátanos y guineos. Prácticamente desconocidas en América aún a finales del siglo pasado, eran consideradas frutas exóticas.

*M. acuminata* es diploide. Muchos de los cultivares comerciales son triploides de origen híbrido o puro de *M. acuminata*. En la clasificación genética de las bananas, cada juego cromosómico procedente de esta especie se indica con una A mayúscula [5].

Así, *M. acuminata* silvestre es AA, mientras que los triploides que provienen de ella son AAA. Estos incluyen los cultivares 'Cavendish' y 'Gros Michel'. Las variedades hibridadas con *M. balbisiana* son AB — como 'Lady finger'—, AAB o ABB; estas últimas incluyen la mayoría de los llamados plátanos machos, cultivados para su consumo cocido [5].

### Clasificación Científica del Orito

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Zingiberales
Familia:	Musaceae
Genero:	Musa L
Especie:	<u>M. acuminata</u>

### Plátano

Los cultivares de banano y plátano son derivados de las especies silvestres M. acuminata Colla y *Musa balbisiana* Colla. Los híbridos provenientes de estas dos especies son muchas veces nombrados como M. X paradisiaca L., M. X sapientum L., o incluso, M. acuminata X M. balbisiana Colla, para ser más precisos [23].

La clasificación de las musáceas se basan en dos aspectos fundamentales: el primero es la ploidia o forma cromosómica de cada material. El número básico de cromosomas en los plátanos y bananos comestibles es once y los diferentes cultivares son

diploides, triploides o tetraploides si el número de cromosomas que los caracteriza es  $22n$ ,  $33n$ , o  $44n$ . El segundo aspecto para la clasificación es el grado de aporte, e 15 caracteres morfológicos predominantes, de cada uno de los ancestros [5].

### **Clasificación Científica del plátano**

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Zingiberales
Familia:	Musaceae
Genero:	Musa L
Especie:	<u><i>M. cavendishii</i></u>

## **1.2 Distribución geográfica:**

### **Cultivos que producen alcohol**

#### **Caña de azúcar**

La caña de azúcar se utiliza como alimento hace más de 2.500 años. El azúcar en forma sólida era azada en Persia en el año 500 de nuestra era.

Para el siglo X la caña se encontraba distribuida por toda la cuenca mediterránea, especialmente en Siria-Palestina, Egipto, Sicilia, Chipre, Marruecos y Al-Andalus. En la Edad Media, Venecia debió parte de su prosperidad al azúcar que importaban de Asia en caravanas. Marco Polo trajo esquejes de caña, que fueron plantadas más tarde en las islas de Madeira y Canarias para luego abastecer a Europa. Lisboa suplantó a Venecia como plataforma del negocio azucarero. La urgente necesidad de mano de obra para el cultivo en los nuevos territorios aumentó significativamente la captura y tráfico de esclavos africanos.

Colón en su segundo viaje (1493) introdujo esquejes en la isla de Santo Domingo, que se dedicó exclusivamente a la producción de caña. Las tierras fértiles, húmedas y cálidas de las Antillas fueron ideales para su cultivo [18].

Cuba se convirtió en el principal productor de caña durante el siglo XIX. Durante los años cuarenta del siglo XIX se estableció un proceso de evaporación al vacío para eliminar el agua contenida en los jugos y evitar los largos procesos de cocción [18].

En la actualidad, Cuba, la mayor isla de las Grandes Antillas es uno de los principales países productores de caña de azúcar, de la que el hombre ha sabido obtener el alcohol para producir el aguardiente de caña, que después de un largo proceso da lugar a la bebida nacional cubana: el ron [18].

### **Maíz**

Restos arqueológicos revelan que el maíz comenzó a cultivarse hace casi 5000 años en América. Este alimento constituyó la base de muchas culturas americanas antiguas. Aztecas, Incas o mayas centraban su alimentación en él. El mismo nombre deriva del vocablo *mahis*, que según los nativos de Haití, significaba " el que sostiene la vida" [32].

El cultivo de este cereal ya se encontraba plenamente implantado en América cuando llegaron los colonizadores europeos. Los nativos basaban su alimentación en él y lo complementaban con el cultivo de frijoles y calabazas. Los colonizadores españoles lo llevaron a España en el siglo XVI, a principios del siglo XVI comenzó a extenderse su cultivo por el norte de la península ibérica para pasar a extenderse en el siglo XVIII por el resto de Europa [32].

Hoy en día se encuentra cultivado prácticamente en todas las zonas del mundo, con la condición de que tengan un sistema de riego o de lluvias primaverales necesarias para su crecimiento [32].

### **Banano**

El banano es un cultivo permanente que se auto reemplaza con un pequeño retoño que crece al lado de la planta que muere al ser cosechada. Las dos especies más conocidas en nuestro medio son: la *musa paradisíaca* que corresponde al plátano para cocción, y la *musa sapientum* o banano [34].

Al igual que el plátano, el banano es una fruta tropical originada en el sudoeste asiático, probablemente de Malasia, China Meridional e Indonesia. Desde allí fue llevado a Madagascar en el siglo XV, y luego difundido en la costa oriental y central de África, aunque algunos lo sitúan en ese continente desde hace unos 8000 años. En el siglo XV los portugueses lo encontraron en la costa occidental africana, en la región de Guinea, llamándolo guineo. Hacia 1516 el padre Tomás de Berlanga lo introdujo en la isla La Española, en el Caribe, probablemente llevándolo desde las islas Canarias, donde se cultiva desde 1450 [34].

Parece ser que el comercio del banano en el mundo, realmente comenzó al final del siglo XIX. En 1915, Europa importó más de 100.000 toneladas de bananos de la variedad Gross Michel, pero posteriormente, en 1940, la llamada enfermedad de Panamá diezmó las plantaciones y esta variedad fue desapareciendo progresivamente. A partir de 1960, esta variedad ha sido reemplazada por variedades resistentes producidas por el grupo Cavendish, aunque existen otras como las aromadas de Martinica y Guadalupe, algunas de las Islas Canarias, y las variedades largas africanas [34].

### **Orito**

Parece probable que el hombre haya utilizado el orito a lo largo de su historia en el Asia Sudoriental. Este uso estuvo basado en oritos muy antiguos, diploides comestibles de la *Musa acuminata*. El primero y decisivo paso en la evolución del plátano comestible fue el origen de la partenocarpia y desaparición de la semilla de la *Musa acuminata*. [23].

Los cambios posteriores se basaron en la hibridación de *M. acuminata* con *M. balbisiana* y la aparición de caracteres triploides y tetraploides entre los productos. En términos

generales parece ser que los grupos híbridos se originaron alrededor del área principal de evolución. Así, los plátanos AB, AAB, y ABB son característicos de la India y parece existir un segundo centro de diversificación de los tipos AAB y ABB en las Filipinas. Esto pareciera indicar que en estos países los grupos híbridos se originaron mediante cruzamientos de la Musa balbisiana local con linajes comestibles de Musa acuminata traídos de fuera [23].

### **Plátano**

Las más antiguas referencias relativas al cultivo de plátano proceden de la India, donde aparecen citas en la poesía épica del budismo primitivo de los años 500-600 AC. Otra referencia encontrada en los escritos del budismo Jataka , hacia el año 350 AC sugiere la existencia, hace 2.000 años, de un clon mutante muy parecido al Curraré, pues, habla de una fruta tan grande como "colmillo de elefante" [23].

En el Mediterráneo de los tiempos clásicos, el plátano sólo se conocía de oídas; fue descrito por Megástenes, Teofrasto y Plinio. Todos los autores parecen convenir que la planta llegó al Mediterráneo después de la conquista de los árabes en el año

650 D.C. En el África fue llevado de la India, a través de Arabia, y luego rumbo al sur, atravesando Etiopía hasta el norte de Uganda aproximadamente en el año 1.300 D.C., aunque no es del todo satisfactorio esta opinión, pues, hay evidencias de que hubo un contacto bastante prolongado con la fuente original de los clones por lo que su presencia es más antigua en el continente africano [31].

El banano fue llevado a las Islas Canarias por los portugueses poco después de 1.402 y de ahí pasó al Nuevo Mundo, iniciándose en 1.516 una serie de introducciones de este cultivo. La posibilidad de la presencia precolombina del plátano en América ha sido sugerida, pero no se tienen pruebas directas de ello. Linneo basó sus estudios en las especies *M. paradisiaca* y *M. sapientun* que corresponden a una variedad de Curraré el primero y a una variedad de dominico el segundo, que existían en las Antillas en el Siglo XVII [31].

### 1.3 Importancia a nivel mundial

#### **Caña de azúcar**

La caña de azúcar ocupa un área de 20.42 millones de hectáreas en todo el mundo, con una producción total de 1333 millones de toneladas métricas [8].

El área cultivada con caña de azúcar y la productividad difieren considerablemente de un país a otro. Brasil tiene la mayor área (5.343 millones de ha), mientras que Australia tiene la mayor productividad promedio (85.1 ton/ha). De los 121 países productores de caña de azúcar, 15 países (Brasil, India, China, Tailandia, Pakistán, Méjico, Cuba, Colombia, Australia, USA, Filipinas, Sudáfrica, Argentina, Myanmar, Bangladesh) concentran el 86.0% del área y el 87.1% de la producción mundial. Del total de producción de azúcar blanca cristalizada, aproximadamente el 70% proviene de la caña de azúcar y un 30% viene de la remolacha azucarera [8].

La caña de azúcar es un recurso natural renovable, porque es fuente de azúcar, bio combustible, fibra, fertilizante y muchos

otros productos y subproductos con sustentabilidad ecológica [27].

Las industrias azucareras en el mundo, están generando tecnologías más eficientes y diversificando su producción hacia subproductos, en especial el etanol combustible. El etanol elaborado de la caña de azúcar, es el bio combustible más usado y de gran demanda en el mundo como carburante y aditivo de la gasolina [8].

El jugo de la caña de azúcar es utilizado en la producción de azúcar blanca, azúcar morena. Los principales subproductos de la industria azucarera son el bagazo y las melazas [8].

Las melazas, el principal subproducto, es la materia prima para las industrias del alcohol y sus derivadas. Actualmente el exceso de bagazo es usado como materia prima para la industria del papel. Además, en la mayoría de los molinos azucareros es factible co-generar energía usando el bagazo de caña como combustible [8].

## **Maíz**

El maíz es el cereal más cultivado en el mundo. Más allá de sus virtudes como alimento (donde demuestra una increíble capacidad para transformarse en harinas, hojuelas, pastas, etc.), el maíz tiene reservados otros usos como ingrediente básico para procesos industriales. Está en la raíz de productos de almidón, aceites y proteínas, bebidas alcohólicas, frituras, cereales de mesa, edulcorante alimenticio o fructosa y combustible [30].

A nivel nacional en el Ecuador el maíz es uno de los productos agrícolas más importantes de la economía nacional, tanto por su elevada incidencia social, casi las tres cuartas partes de la producción total proviene de unidades familiares campesinas, la mayoría de ellas de economías de subsistencia, como también por constituir la principal materia prima para la elaboración de alimentos concentrados (balanceados) destinados a la industria animal, muy en particular, a la avicultura comercial, que es una de las actividades más dinámicas del sector agropecuario [24].

En efecto, la producción de maíz duro está destinada en su mayoría (70%) a la industria de alimentos de uso animal; el

segundo destino lo representan las exportaciones (22%) y la diferencia la comparten el consumo humano y la producción de semillas [24].

## **Banano**

Las bananas y plátanos son cultivadas en más de 100 países en las regiones tropicales y subtropicales del mundo donde constituyen la principal fuente de alimentos para millones de personas, también es una valiosa fuente de ingresos a través del negocio local e internacional [13].

El área aproximada de siembra a nivel mundial es de 10 millones de hectáreas, con una producción anual de alrededor de 88 millones de toneladas métricas, de la cual un tercio se produce en cada una de las regiones de África, Asia-Pacífico, América Latina y Caribe [13].

En África, bananas y plátanos proveen más del 25% de los requerimientos energético alimenticios para cerca de 70 millones de personas. El país con el más alto consumo per cápita en el mundo es Uganda (243 kg/cap./yr) pero el consumo también es alto en países como Ruanda, Burundi y Tanzania. Cerca del 70%

de las bananas y plátanos producidos en América Latina, y el Caribe son localmente consumidos y los plátanos (AAB) juegan un papel importante como alimento local [13].

Solo alrededor del 13% producido de bananas entra al mercado de la exportación. Todo esto es una pequeña proporción del total de la producción mundial. Esta es la única planta que puede producir nuevamente en unos meses luego de sufrir daños o ser destruidas por tormentas, inundaciones o huracanes, los cuales son un peligro perenne en el Caribe [13].

### **Orito**

El orito no es un banano “chiquito”. Es una variedad diferente de musácea. Su principal cualidad es su sabor más dulce que el de su primo de mayor tamaño, el Cavendish, el de exportación [1].

Dentro de la importancia del orito dentro del sector ecuatoriano, se observo que el porcentaje de participación de las exportaciones de orito dentro de los valores totales exportados de los bananos y plátanos también se ha incrementado en los últimos años. En los años 2000 y 2001 esta participación fue de 0.7%, en el 2002 se incremento a 0.8%y en el 2003 a 1.2% [6].

A partir del año 2004 la demanda del orito ecuatoriano ha disminuido como consecuencia de un decrecimiento en la demanda mundial, debido a una falta de posicionamiento del producto principalmente porque existe una diferenciación con el banano por parte de los consumidores, quienes generalmente califican al orito como un banano de menor calidad debido a su tamaño. Adicionalmente los productores ecuatorianos no han logrado establecer el punto óptimo de cosecha ya que el orito tiene un tiempo de maduración más rápido que el banano. Es importante que se trabaje para mejorar esta falencia para alcanzar la misma competitividad que Ecuador tiene con el banano [6].

Los principales mercados de consumo son los Estados Unidos, principalmente la distribución se basa (NY, Miami, Boston, New Jersey), una pequeña proporción en costa oeste (Los Ángeles), Europa (Rusia, Francia, Inglaterra, Alemania, Holanda, Dinamarca, Italia, Finlandia, entre otros) y en Asia (China y Japón) [6].

## **Plátano**

El plátano, igual que el banano, es originario de la región indo / malaya. Para el siglo III A.C. en el Mediterráneo solamente se conocía de la fruta por referencia. Se cree que llegó a Europa en el siglo X D.C. y que marinos portugueses la trajeron a Sudamérica desde África occidental o el este de Indonesia [18].

Esta fruta, cilíndrica con tres ángulos pronunciados, se consume en diversos estados de madurez y de ello depende su sabor entre otras características. Así, el plátano con cáscara verde y vetas negras tiene un sabor salado, su firme y astringente pulpa es de color blanco marfil. En contraste, la cáscara del plátano maduro es amarilla con vetas negras, la pulpa es blanda, almidonada, de color amarillo – salmón y con sabor dulce [18].

La producción mundial de plátano alcanza 29.9 millones de toneladas al año. Por razones climáticas, su cultivo está concentrado en África y América.

De la producción mundial, 73.2% la produce África, y Uganda aporta el 2.2% de la producción africana. Colombia es el primer

país productor de plátano en Latinoamérica y aporta 32.6% de la producción de América Latina y el Caribe [7].

El plátano es el cuarto cultivo más importante del mundo, después del arroz, el trigo y el maíz. Además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituyendo una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo [4].

El plátano es uno de los productos de la dieta alimentaria de los países en desarrollo, ya que, junto con las raíces y los tubérculos, aporta el 40% del total de la oferta de alimentos en términos de calorías. Según la FAO, este producto no solo puede contribuir a la seguridad alimentaria de los países en desarrollo sino que, además es una fuente generadora de ingresos y de empleo y, por tanto, mejora el nivel de vida de los agricultores [8].

Los países latinoamericanos y del Caribe producen el grueso de los plátanos que entran en el comercio internacional, unos 10 millones de toneladas, del total mundial de 12 millones de toneladas. Es considerado el principal cultivo de las regiones húmedas y cálidas del sudoeste asiático [8].

Los principales productores de plátano son Colombia, Perú y Ecuador, estos países junto con Costa Rica, colocan mayormente su producto en el mercado de Estado Unidos, mercado en el que Ecuador ocupa un segundo lugar luego de Colombia. Hay que anotar que Colombia es el segundo comprador por volumen de plátano ecuatoriano, el cual se dirige al consumo domestico [8].

La producción platanera en Ecuador es de significativa importancia por el consumo generalizado de este producto que, conjuntamente con el arroz y la yuca, constituyen alimentos básicos en la población de litoral, especialmente en el área campesina. Por esta importante razón las áreas de producción están diseminadas en toda la región del litoral, aunque concentrada en las zonas más húmedas por los importantes requerimientos hídricos del plátano. Se atiende así la demanda generalizada de plátano para diferentes elaborados culinarios que permite su empleo [7].

#### **1.4 Métodos de producción**

##### **Musáceas que producen alcohol**

En los países tropicales la producción de banano y plátano para autoconsumo, mercados locales y exportación es de gran

importancia socioeconómica, como fuente básica alimenticia y como generador de empleo e ingresos para pequeños agricultores. Actualmente, se encuentran en desarrollo programas nacionales de bio etanol que puede ser mezclado en diferentes proporciones con gasolina porque la producción y la utilización de los bio carburantes en el sector del transporte presentan una serie de ventajas medioambientales, energéticas y socioeconómicas respecto a los combustibles de origen fósil [17].

Dado lo anterior y teniendo en cuenta la demanda enorme de alcohol carburante, los productores de banano y plátano tienen gran interés en producir bio etanol para generar ingresos permanentes. Actualmente en Colombia y Costa Rica, se están construyendo y validando el funcionamiento de plantas piloto de 800 litros de bio etanol por día usando diferentes tipos de materia prima. De las variedades de banano y plátano que pueden utilizarse para la producción de etanol, se distinguen tres sistemas de producción: 1, los genotipos FHIA; 2, guineo con café; y 3, residuos y rechazo de frutos de banano de exportación [17].

Rendimientos (peso promedio/racimo, Kg.): FHIA-03: 30; FHIA-17: 44; FHIA-18: 29; FHIA-20: 55; FHIA-23: 37 y FHIA-25: 38.

El rendimiento potencial es 71 - 78 lts de bio etanol/TON de banano de fruta, equivalente a promedio 4.300 lts/ha anualmente.

Un sistema de producción que no requiere aumentar el área agrícola para la producción de bio etanol es asociar café con guineo para generar sombrío del café y conservación de suelo.

Se determino en Costa Rica un potencial de 1.000 lts bio etanol/ha anualmente. Adicionalmente los residuos de café, el mucílago y pulpa, tienen el potencial de producir 400 lts bio etanol/ha en Urabá (Colombia). La producción potencial en Ecuador a partir de banano de rechazo es 58 millones de lts/año y de residuos de café 76 millones [17].

## **1.5 Sostenibilidad Agrícola**

### **Bio combustibles**

En los años 80 empezó a resultar evidente a la gente reflexiva que los crecimientos de la población, de la pobreza, de la degradación medioambiental, y de la escasez de recursos aumentaban en unos ratios que no podrían ser sostenidos mucho tiempo más [26].

La quema masiva de los combustibles fósiles para obtención de energía ha creado el gran problema del efecto invernadero debido a las emisiones de gases procedentes de esas combustiones, sobre todo de dióxido de carbono y metano. La necesidad de controlar y disminuir las emisiones de estos gases de efecto invernadero, ha dado lugar a que en los últimos años la comunidad científica haya dado la voz de alarma sobre el peligro de calentamiento global y sus previsibles efectos y consecuencias para la vida en la Tierra, estableciéndose protocolos internacionales como el de Kioto para intentar poner freno a esta peligrosa situación para nuestro planeta. En este sentido, los bio combustibles parecen disponer de una buena situación de partida, ya que los mismos consumen y fijan CO<sub>2</sub> en el proceso de producción de los cultivos que los originan, aunque no está tan claro que puedan suponer una contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y a la disminución del contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera [21].

El termino bio carburantes o bio combustibles, está reservado a los carburantes líquidos derivados de la biomasa, en sus dos formas: Biodiesel, para mezclar o sustituir los gasóleos de

locomoción en los motores Diesel, y Bio etanol para mezclar o sustituir a las gasolinas en los motores Otto [21].

En la actualidad no se conocen estudios de impacto ambiental de la producción de alcohol anhidro a base de banano verde, aspecto sustancial a la hora de decidir sobre la instalación de una planta industrial. Para tener una idea general sobre los aspectos ambientales que involucra la producción de alcohol anhidro, es acertado repasar los reportes ambientales de las industrias que utilizan como materia prima el maíz, la caña o la melaza, ampliamente reconocidas por su experiencia en el sector de los biocombustibles [2].

En general, estas plantas generan impactos sobre el aire y el agua, que varían en composición fisicoquímica de acuerdo con las materias primas y tecnologías empleadas en los procesos. Las emisiones atmosféricas típicas se componen de material particulado (PM10), compuestos orgánicos volátiles (VOC), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), monóxido de carbono (CO), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), acetaldehídos y formaldehidos, estos dos últimos cancerígenos [20].

Cabe recordar que la bio energía siempre debe ser utilizada en conjunción con otras medidas para mitigar el cambio climático incluyendo aquellas dirigidas a aumentar la eficiencia en el uso energético y a reducir el consumo de energía [9].

Los cultivos bio energéticos no deben competir con cultivos alimentarios en áreas ni países donde las tierras de cultivo son necesarias para garantizar la seguridad alimentaria. La biomasa no debe minar la soberanía alimentaria. Esta competencia es más fácil de equilibrar si la producción se dirige principalmente al consumo doméstico (local o nacional) [9].

La producción eficiente de etanol a partir de residuos derivados de la agricultura y la silvicultura sostenibles (etanol "celulósico") tiene potencial para proporcionar biocombustibles, sin las implicaciones derivadas de los usos del suelo, asociadas con el etanol producido a partir de cultivos de cereales. El etanol no será ninguna solución mágica ni apuesta única, sólo parte de un nuevo balance energético en el que muchas otras tecnologías deberán desarrollarse rápidamente para sustituir de manera creciente y acelerada los combustibles fósiles, el petróleo [21].

Los cultivos bio energéticos no deben causar la destrucción directa ni indirecta de ecosistemas intactos, diversos y/o valiosos (por ejemplo, los bosques que son reservas de carbono y tienen una elevada biodiversidad). La producción de cultivos de bio combustibles debe mantener la fertilidad de la tierra, evitar la erosión del suelo, promover la conservación de los recursos hídricos, los balances de nutrientes y minerales y minimizar los impactos sobre la calidad del agua [9].

# CAPITULO 2

## 2. CONTAMINACION AMBIENTAL

### 2.1 Combustibles de origen fósil

Se llaman combustibles fósiles a aquellas materias primas empleadas en combustión que se han formado a partir de las plantas y otros organismos vivos que existieron en tiempos remotos en la tierra.

Cuando los combustibles fósiles son quemados, el azufre, el nitrógeno y el carbono desprendidos se combinan con el oxígeno para formar óxidos. Cuando estos óxidos son liberados en el aire, reaccionan químicamente con el vapor de agua de la atmósfera, formando ácido sulfúrico, ácido nítrico y ácido carbónico, respectivamente. Esos vapores de agua que contienen ácidos son

conocidos comúnmente como lluvia ácida que entra en el ciclo del agua y, por tanto, pueden perjudicar la calidad biológica de bosques, suelos, lagos y arroyos [11].

## **2.2 El Bio combustible como mitigante**

Los bio combustibles son producidos a partir de productos que se encuentran presentes en los vegetales, los que además de su origen se reconocen como renovables pues provienen de materias primas vegetales que pueden producirse periódicamente en un mismo terreno. Esto significa que mientras se efectúe un manejo adecuado de la plantación de la especie vegetal a usarse como materia prima, tendremos cosechas periódicas permanentes [22].

En realidad lo que les otorga el carácter de renovable es la conjunción de dos factores: la luz solar que se transforma en bio masa y el suelo donde normalmente se fija. Ambos son de carácter permanente [26].

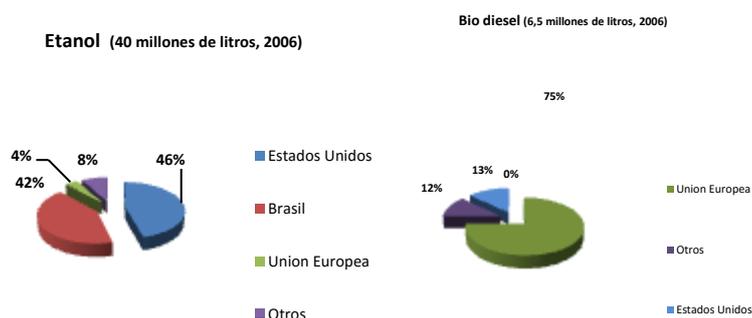
Para llevar a cabo un proyecto de producción de bio combustibles es necesario contar con tierras apropiadas para el cultivo de la materia prima vegetal y además, con instalaciones industriales adecuadas

para la transformación de la materia prima en el bio combustible propuesto. También hay que tener instalaciones para su almacenaje, y contar con la logística adecuada para que ese combustible sea distribuido a las áreas de expendio desde las que se proveerá a los vehículos que lo empleen tratando de usar, para este propósito, la menor cantidad de energía posible [26].

De carácter general se debe tener presente que, dentro de las posibilidades agroecológicas del lugar donde se quiera radicar el proyecto, debe analizarse implantar aquella especie vegetal que permita obtener la mejor producción de bio combustible por unidad de superficie, expresada esta como ton/ha o como kilocalorías disponibles por ha [26].

El bio combustible es una fuente renovable de energía, a diferencia de otros recursos naturales como el petróleo, carbón y los combustibles nucleares. Aunque se puede hablar de muchos tipos de bio combustible, por su importancia, aplicación y volumen de producción, básicamente hay dos: el bio etanol y el bio diesel. Se cree que pueden sustituir a los combustibles fósiles más tradicionales, en virtud de su bajo o nulo deterioro ambiental y sus características de renovación [19].

La producción mundial de etanol como combustible fue, en el 2006, de cerca de 40.000 mil millones de litros. De este total, aproximadamente el 90% fue producido en Brasil y en Estados Unidos. Asimismo, cerca de 6.500 millones de litros de biodiesel fueron producidos en el 2006, de los cuales el 75% fue producido en países de la Unión Europea. Brasil es el productor más competitivo y tiene una historia muy larga de producción de etanol. Este país emplea cerca de la mitad de la caña de azúcar que cultiva para producir etanol y el consumo de etanol combustible es obligatorio [10].



Fuente: Light Consulting Company

## GRAFICO 2.1 PRODUCCION DE ETANOL COMBUSTIBLE Y DE BIO DIESEL

Los posibles beneficios ambientales y sociales, entre ellos la mitigación del cambio climático y una contribución a la seguridad energética, son citados como los principales motivos del apoyo del

sector público a las industrias de biocombustibles, cuyo crecimiento ha sido rápido [10].

El transporte absorbe más de mitad del petróleo consumido en el mundo, y es en ese sector donde los biocombustibles jugarán su papel, contribuyendo a mitigar el cambio climático y a prolongar las existencias petroleras [33].

En el Ecuador la incorporación del etanol anhidro en un 10% de volumen, en mezclas con naftas de producción nacional se presenta como una alternativa para reducir las altas importaciones de nafta de alto octanaje y el uso de biodiesel hasta un 20% de volumen en mezclas con diesel 2, reduciría las importaciones de este producto.

De conformidad con los objetivos del Gobierno Nacional del Ecuador, estas incorporaciones, generarían fuentes de empleo mediante la reactivación del sector productivo agroindustrial y reducirían por esta vía el impacto ambiental de las emisiones vehiculares del parque automotriz [9].

### 2.3 Ventajas y desventajas

El bio etanol, o etanol de biomasa, puede ser obtenido de maíz, de caña de azúcar, remolacha, entre otras materias primas. Por medio de procesos de fermentación enzimática de sus azúcares. Dado que la composición de la celulosa es muy rica en azúcar, resultaría muy útil producir alcoholes a partir de la fermentación de celulosa, principal componente estructural de los materiales vegetales [19].

Según el Consejo Nacional de Defensa de los Recursos Renovables de Estados Unidos, más de mil millones de toneladas de materiales con celulosa (aserrín, césped, hojas de árboles, viruta de madera, etc.) se generan anualmente y de su destilación fermentativa podrían ser obtenidos cerca del 30% de los combustibles necesarios para los automóviles para el 2050. El problema radica en los elevados costos que representa romper la rígida celulosa para posteriormente fermentarla y destilarla. Se espera que en un futuro muy cercano, microorganismos genéticamente diseñados para degradar y producir el etanol, a partir de celulosa, permitan bajar los costos de producción del etanol desde esta fuente natural [19].

Para mejorar la competitividad del bio etanol frente a los productos derivados del petróleo se deben reducir los costos de las materias primas, ya que éstas suponen el 60-70% del costo final del etanol, introducir mejoras en los cultivos y determinar los cultivos más rentables y adecuados para la producción de bio etanol [19].

### **Ventajas del uso de los bio combustibles**

La producción de bio combustibles q partir de cultivos energéticos renovables, tales como la caña, maíz, yuca, remolacha azucarera, palma africana, girasol, higuera, algodón, maní, sorgo dulce, rechazos y excedentes de banano y otras fuentes, ofrece las siguientes ventajas:

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en concordancia con los compromisos del Protocolo de Kyoto, con acceso a los beneficios de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) dentro del Acuerdo del Protocolo de Kioto. Además, la venta de Certificados de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero – negociables en el mercado internacional –, podrían significar ingresos adicionales al Estado ecuatoriano.

- Generación de una importante alternativa de productiva rentable, para el sector agrario del país.
- Posibilidades de generar una oferta exportable, de la alta demanda en el mercado mundial.
- Incremento en la recaudación fiscal como resultado del desarrollo de una importante actividad económica.
- Impulso al desarrollo tecnológico de la actividad agroindustrial en el Ecuador [9].
- Los biocombustibles pueden beneficiar a los pequeños agricultores porque generan empleo y elevan los ingresos en las zonas rurales, aunque es probable que las actuales tecnologías limiten el alcance de esos beneficios. La producción de etanol requiere de economías de escala bastante grandes y de una integración vertical, dado que el proceso de producción en las destilerías es muy complejo [10].
- Los bio carburantes, actualmente producidos a partir de productos agrícolas tradicionales, presentan unas

características parecidas a las de los combustibles fósiles y se pueden utilizar en motores sin tener que efectuar modificaciones. Además, poseen ventajas medioambientales ya se considera que no existen emisiones netas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, no contienen azufre y su utilización en mezclas con los combustibles fósiles supone reducciones importantes en las emisiones de los vehículos [20].

- Uno de los principales argumentos en favor de la idea de ampliar la producción de biocombustibles es su potencial para reducir la dependencia del petróleo importado, contribuyendo así a la seguridad energética. Los posibles beneficios ambientales y sociales de los biocombustibles también se citan frecuentemente para apoyar el financiamiento público y los incentivos políticos que se dan a los programas de bio combustibles [10].

### **Desventajas del uso de los biocombustibles**

Para que los bio carburantes de origen agrícola sean una alternativa energética real, se necesita que estos productos no sólo presenten características equivalentes a los de procedencia fósil, sino también

que, en el conjunto de los procesos de obtención, se consigan balances energéticos positivos y lleguen al mercado a un costo similar al de los productos derivados del petróleo a los que sustituyen [10].

El principal inconveniente con el que se enfrenta la comercialización de estos combustibles en el sector de transporte es el alto costo de fabricación, el costo de producción de los biocombustibles casi dobla al del de la gasolina o gasóleo (sin aplicar impuestos). Por ello, no son competitivos sin ayudas públicas [19].

Hasta la fecha, la producción de biocombustibles en los países industrializados se ha desarrollado bajo la protección de elevados aranceles al mismo tiempo, paga grandes subsidios a los productores de los mismos. Estas políticas perjudican a los países en desarrollo que son, o podrían llegar a ser, productores eficientes en mercados de exportación nuevos y rentables. Los consumidores pobres también pagan precios más altos por los alimentos básicos en la medida en que los precios de los cereales aumenten en el mercado mundial, un aumento que ha sido provocado, en gran parte, por la distorsión causada por estas políticas [10].

Se necesitan grandes espacios de cultivo, dado que del total de la plantación sólo se consigue un 7% de combustible. Cálculos realizados para la situación española indican que habría que cultivar un tercio de todo el territorio para abastecer sólo la demanda interna de combustible [33].

El fuerte incremento de la demanda en Estados Unidos, Japón y Europa, ante los precios del petróleo en alza y la necesidad de reducir los gases de efecto invernadero que liberan los combustibles fósiles, justifica los temores de que países tropicales acaben convertidos en "inmensos cañaverales" (refiriéndose a la caña de azúcar), encareciendo las tierras cultivables y estimulando la deforestación [29].

El combustible precisa de una transformación previa compleja. Además, en los bio alcoholes, la destilación provoca, respecto a la gasolina, una mayor emisión en dióxido de carbono [29].

Su uso se limita a un tipo de motor de bajo rendimiento y poca potencia.

## **CAPITULO 3**

### **3. SISTEMAS DE PRODUCCION DE BIO COMBUSTIBLES**

La destilación es probablemente una de las operaciones más ampliamente empleada en la industria química, bien para separar distintos componentes de una corriente, o en la purificación de productos intermedios o finales. Su aplicación va desde la destilación de alcohol hasta el fraccionamiento del petróleo [15].

La dificultad de la destilación depende de la volatilidad relativa de los componentes, por lo cual, las mezclas con puntos de ebullición próximos son más difíciles de separar por destilación [15].

Si se parte de una mezcla de dos sustancias en la que sólo una de ellas es volátil, se pueden separar ambas mediante una destilación. El componente más volátil se recogerá por condensación del vapor y el

compuesto no volátil quedará en el matraz de destilación. Si ambos componentes de una mezcla son volátiles la destilación simple no logrará su completa destilación. La mezcla comenzará a hervir a una temperatura intermedia entre los puntos de ebullición de los dos componentes, produciendo un vapor que es más rico en el componente más volátil (de menor punto de ebullición).

Si condensamos este vapor obtendremos un líquido enriquecido notablemente en este componente, mientras que el líquido que queda en el matraz estará enriquecido en el componente menos volátil (mayor punto de ebullición). Por tanto, en una destilación simple no conseguimos separar completamente las dos sustancias volátiles.

Para conseguir esta separación habría que someter a nuevas destilaciones tanto el destilado como el residuo obtenido. Esto haría el destilado cada vez más rico en el componente más volátil separando éste del menos volátil. Las llamadas columnas de destilación efectúan este proceso de modo continuo. En una columna de destilación el vapor se condensa y se vuelve a destilar muchas veces antes de abandonar la columna. Normalmente se recogen pequeñas fracciones de producto destilado, llamándose al proceso destilación fraccionada [15].

El etanol es en realidad uno de los miembros de la familia de los alcoholes. Es el miembro de dos carbonos. Pero el alcohol combustible no es meramente etanol, realmente es una mezcla de varios miembros de la familia (donde el etanol predomina) y una pequeña cantidad de agua, usualmente no más de 0.15 % p/p. [14].

Existen sustancias que en ciertas proporciones forman mezclas llamadas azeotrópicas que se caracterizan porque su vapor tiene la misma composición que la fase líquida y que por tanto no se pueden separar por destilación.

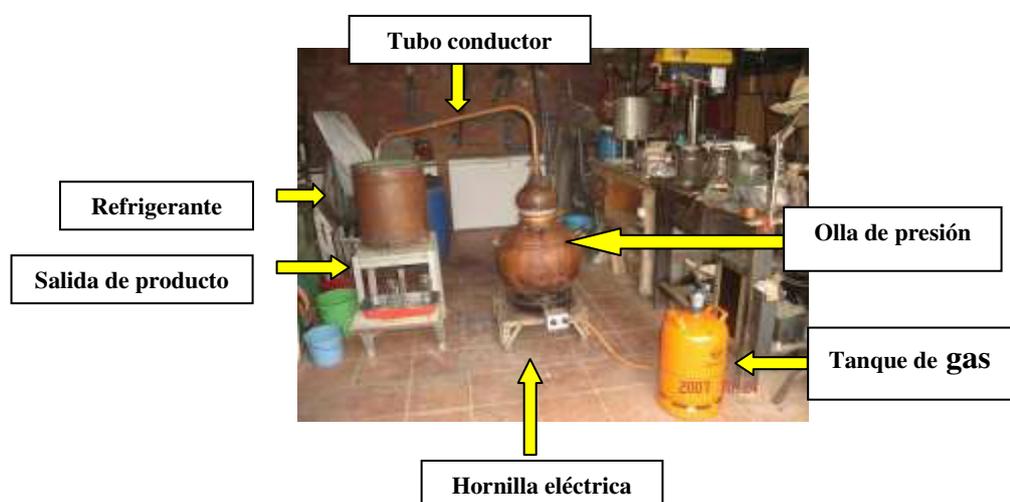
### **3.1 Sistemas artesanales**

Los sistemas de destilación caseros representan una ventaja ya que su costo de implementación es mucho más económico y más sencillo, que un equipo que un sistema de destilación a nivel industrial. Y representa una alternativa como fuente de ingresos.

#### **Elaboración de un sistema de destilación casero.**

Para poder construir un destilador casero, lo primero que hay que tener es una olla a presión de acero inoxidable, o una olla hermética

de cobre. Luego introducir en la olla un tubo de acero y dentro del tubo colocar una manguera de plástico lo suficientemente larga como para hacer con ella un espiral, a los extremos de tubo se deberá colocar tapones plásticos, posteriormente el tubo será llenado con agua, para que actúe como refrigerante, adicionalmente, se requiere de un termómetro, ya que el líquido que se desea destilar no debe ser calentado a más de  $70^{\circ}\text{C}$ , ya que el alcohol evapora mucho antes que el agua. Así, las gotas que salgan de la manguera será un alcohol de primera destilación; luego, en sucesivas destilaciones podrá lograr un alcohol de mayor graduación.



**GRAFICO 3.1 Destilador casero**

### 3.2 Sistemas a nivel industrial

La destilación es probablemente una de las operaciones más ampliamente empleada en la industria química, bien sea para separar distintos del petróleo. La dificultad de la destilación depende de la volatilidad relativa de los componentes, por lo cual, las mezclas con puntos componentes de una corriente, o en la purificación de productos intermedios o finales. Su aplicación va desde la destilación de alcohol hasta el fraccionamiento de ebullición próximos son más difíciles de separar por destilación [25].

Para llevar a cabo la operación de destilación o cualquier otra operación de separación, es necesario disponer de datos del equilibrio líquido-vapor o de correlaciones para poder estimarlos adecuadamente [25].

El esquema general de fabricación del bio etanol, muestra las siguientes fases en el proceso:

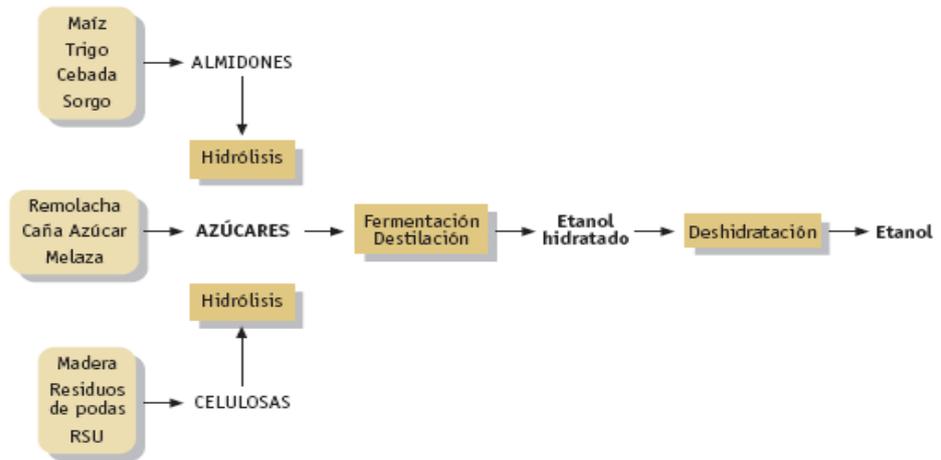
**Dilución:** Es la adición del agua para ajustar la cantidad de azúcar en la mezcla o (en última instancia) la cantidad de alcohol en el producto. Es necesaria porque la levadura, usada más adelante en el

proceso de fermentación, puede morir debido a una concentración demasiado grande del alcohol [20].

**Conversión:** La conversión es el proceso de convertir el almidón/celulosa en azúcares fermentables. Puede ser lograda por el uso de la malta, extractos de enzimas contenidas en la malta, o por el tratamiento del almidón (o de la celulosa) con el ácido en un proceso de hidrólisis ácida [20].

**Fermentación:** La fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico realizado por las levaduras, básicamente. De la fermentación alcohólica se obtienen un gran número de productos, entre ellos el alcohol [25].

**Destilación o Deshidratación:** La destilación es la operación de separar, mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla (etanol/agua). Una forma de destilación, conocida desde la antigüedad, es la obtención de alcohol aplicando calor a una mezcla fermentada [20].



**GRAFICO 3.2 PROCESO DE DESTILACION**



**GRAFICO 3.3 PLANTA INDUSTRIAL DE DESTILACION**

### **Subproductos de la obtención del bio etanol**

Los subproductos generados en la producción de bio etanol, así como el volumen de los mismos, dependen en parte de la materia prima utilizada. En general se pueden agrupar en dos tipos:

Materiales lignocelulósicos: tallos, bagazo, etc., correspondientes a las partes estructurales de la planta. En general se utilizan para valorización energética en cogeneración, especialmente para cubrir las necesidades energéticas de la fase de destilación del bio etanol, aunque también se puede vender el excedente a la red eléctrica (con precio primado). [28].

Materiales alimenticios: pulpa y granos de destilería de maíz desecados con solubles (DDGS), que son los restos energéticos de la planta después de la fermentación y destilación del bio etanol. Tienen interés para el mercado de piensos animales por su riqueza en proteína y valor energético. [28].

### **3.3 A nivel mundial**

#### **Brasil**

En este país se ha cultivado cerca de 5,5 millones de hectáreas, con caña de azúcar, cerca del 55% de esta producción se destina para la producción de alcohol, la cual se procesa en 300 ingenios. Esta actividad genera alrededor de 610 miles plazas de trabajo.

Brasil es sin duda la locomotora del bio etanol obtenido a partir de la caña de azúcar.

#### **Japón**

El país cuenta con 19 refinerías de bio combustible con las cuales en la actualidad intenta reducir la emisión de gases contaminantes y cumplir con los objetivos establecidos por Protocolo de Kyoto.

Para el año 2010, se prevé que abastecerán el veinte por ciento del consumo total de combustible del país.

Los fabricantes japoneses de vehículos están desarrollando planes para diseñar y vender nuevas unidades basadas en la creciente producción de bio etanol. [33].

## **Estados Unidos**

Estados Unidos cuenta con 81 plantas y hay otras 16 en construcción, que en conjunto podrán producir 16 mil millones de litros de etanol. Adicionalmente cuenta con tres Centros de Investigación bio energética que centraran su trabajo en encontrar microbios naturales que puedan romper la lignina, para dar acceso al material interno de la planta, la celulosa.

## **Europa**

La Unión Europea (UE), cuenta con un plan energético que promueve el uso de bio combustibles para el transporte y la producción de electricidad. Es por esto que existe una gran demanda de combustibles en el continente.

Dado que la Unión Europea no puede ser autosuficiente en la producción bio combustible, debido a la insuficiencia de tierras cultivables en Europa, una gran parte de materia prima para producir bio combustibles proviene de los monocultivos (soja, aceite de palma, azúcar) de los países del continente africano. [33].

# CAPITULO 4

## 4. MATERIALES Y METODOS.

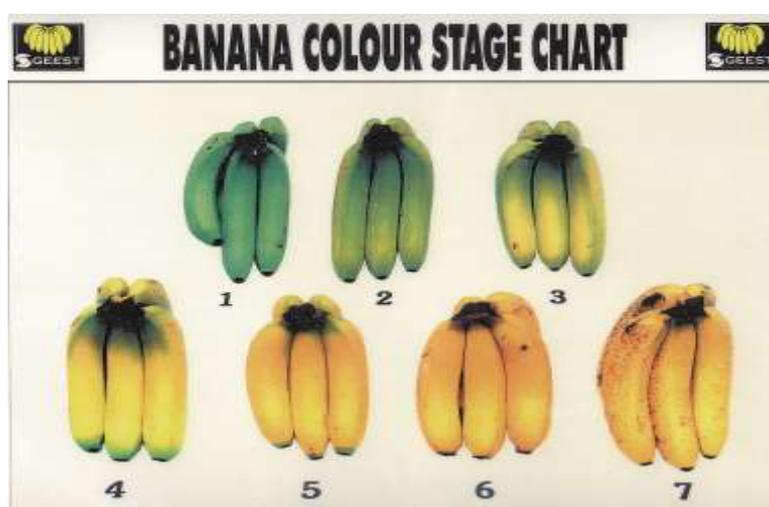
El desarrollo de esta investigación se realizó en el laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE), edificio PROTAL de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus “Gustavo Galindo” ubicado en el Km. 30,5 de la vía Perimetral en la ciudad de Guayaquil.

El análisis cualitativo y cuantitativo de las muestras fue realizado en los laboratorios de PROGECA (Programa de Gestión de Calidad), que se encuentran ubicados en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Guayaquil.

#### 4.1 Material biológico

##### Fruto:

Se trabajo con tres tipos diferentes de musáceas, los tres diferentes tipos de musáceas se encontraban en el estadio # 5 de maduración, según se muestra en la figura 4.1.



**GRAFICO 4.1 TABLA DE COLORES DE LA PIEL DE BANANO**

1. Banano Cavendish: Sembrado en el Ecuador por tradición, es una planta pequeña, precoz y de buen rendimiento; con frutos de buen sabor y aroma.

2. Plátano Barraganete: Este clon no presenta problemas en la exportación es de gran aceptación en el mercado internacional de consumidores debido a su alta calidad.
3. Banano Orito: Producto de exportación apetecido por mercados americanos es de buen sabor y aroma, no presenta problemas en la exportación

### **Levaduras**

Para el proceso de fermentación, se utilizaron dos tipos de levaduras:

1. Levadura química: De uso especial a nivel de laboratorios.
2. Levadura activa seca (*Saccharomyces cerevisiae*): Materia prima para la elaboración de pastelería, de fácil adquisición ya que se la puede encontrar en supermercados y tiendas de abastos.



#### **GRAFICO 4.2 LEVADURA ACTIVA SECA**

Para cumplir los objetivos de este experimento se utilizaron dos tipos de ensayos:

##### **Ensayo preliminar:**

En este ensayo se determinó la levadura más apropiada para nuestro experimento, se trabajó con ambos tipos de levadura y con un solo tipo de musácea (banano cavendish) y se dejó fermentar ambos tratamientos por un periodo de 10 días.

Tratamientos:

Tratamiento 1 (T1) banano + levadura química

Tratamiento 2 (T2) banano + levadura activa seca (*Saccharomyces cerevisiae*)

Una vez destilado los producto se realizo el análisis mediante el método de HPLC (High-perfomance liquid cromatography), obtenidos los resultados se determino mediante análisis estadísticos que tratamiento fue el mejor.

### **Ensayo comparativo**

Una vez obtenidos los resultados del ensayo discriminatorio previamente analizados, se determino cual fue sido el mejor tratamiento posteriormente se procedió a aplicar el mismo tipo de levadura a los demás materiales para así cumplir con el objetivo de este proyecto. Los tratamientos fueron establecidos según muestra la tabla 1.

**TABLA 1**  
**IDENTIFICACION DE CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS EN**  
**LABORATORIO**

Tratamientos	Musáceas	Días de fermentación
T1	Banano Cavendish	10
T2		20
T3		30
T4	Banano orito	10
T5		20
T6		30
T7	Banano orito	10
T8		20
T9		30

Al final de este ensayo comparativo, luego de obtener los resultados de la Cromatografía de gases, se los analizo estadísticamente para poder decidir que tratamiento fue el mejor posteriormente se lo monto en una planta de mayor capacidad, para cumplir con el segundo objetivo específico.

### **Ensayo en campo**

La metodología en esta parte del experimento fue la misma que se uso en los anteriores ensayos, con la diferencia en los pesos de fruto y en las cantidades de levadura, la cual se determino a través de una regla de tres.

En los frutos se uso un promedio de 5700 gr. y en la levadura se uso 2666 gr. que se disolvieron en 20 litros de agua destilada,  
Los tratamientos empleados para este bio-ensayo descrito fueron de la siguiente forma:

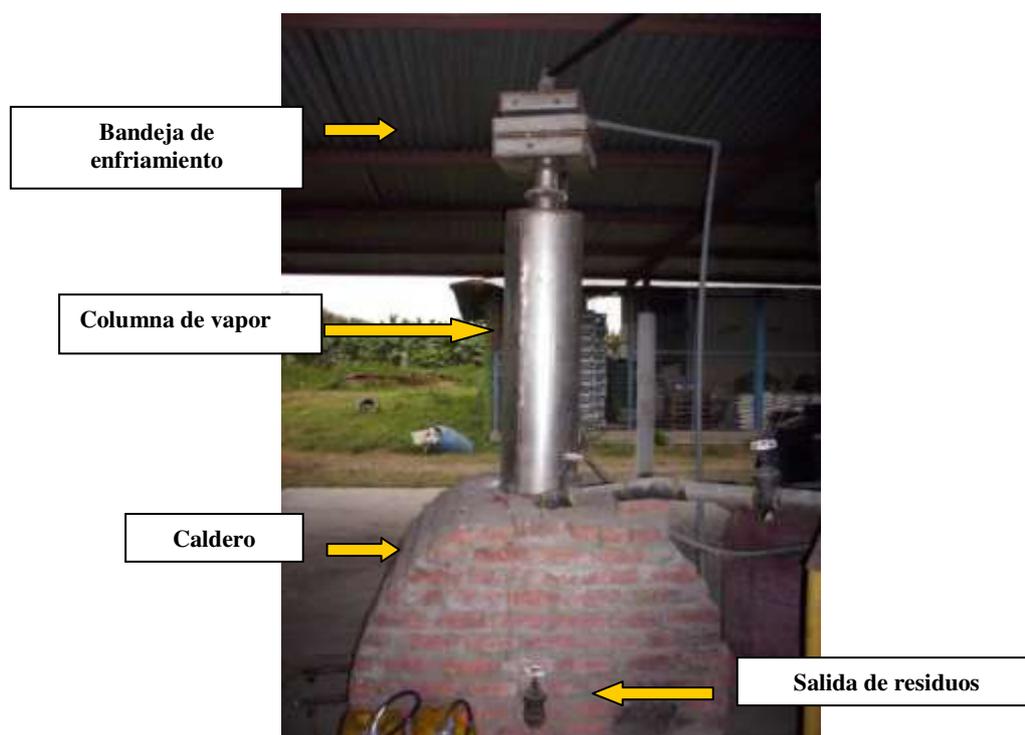
**TABLA 2**

**IDENTIFICACION DE LOS TRATAMIENTOS DE CAMPO**

<b>Tratamientos</b>	<b>Musácea</b>	<b>Tiempo de fermentación</b>
T1b	Banano Cavendish	10 días
T2o	Banano orito	10 días
T3p	Plátano barraganete	10 días



**GRAFICO 4.3 UNIDADES EXPERIMENTALES A NIVEL DE CAMPO**



**GRAFICO 4.4 EQUIPO DE DESTILACION A NIVEL DE CAMPO**  
**Metodología**

La metodología empleada con los frutos y la levadura fue la siguiente:

### **Frutos**

1. Con cada especie de Musáceas se trabajo en grupo separados.

2. Los frutos se cortaron en trozos pequeños, posteriormente se peso 615 gr. promedio por cada una de las unidades experimentales.

### **Levadura**

Se peso 400 gr. posteriormente se la disolvió en 3000 ml. de agua destilada, este procedimiento se lo realizo por cada una de las unidades experimentales.

Una vez listos los materiales biológicos para montar el ensayo, se introdujo los frutos en los recipientes fermentadores de 3000 ml. de capacidad, en este ensayo cada uno de los recipientes de fermentación representa una unidad experimental, posteriormente se lleno los recipientes con la levadura disuelta.

Como el oxígeno es el desencadenante inicial de la fermentación, y las levaduras lo van a necesitar en su fase de crecimiento se coloco una manguera para el ingreso de oxígeno. Sin embargo al final de la fermentación conviene que la presencia de oxígeno sea mínima para evitar la pérdida de etanol, se coloco frascos con agua y se introdujo

la manguera para lograr la menor cantidad de oxígeno dentro de los recipientes fermentadores.



**GRAFICO 4.5 UNIDADES EXPERIMENTALES A NIVEL DE LABORATORIO**

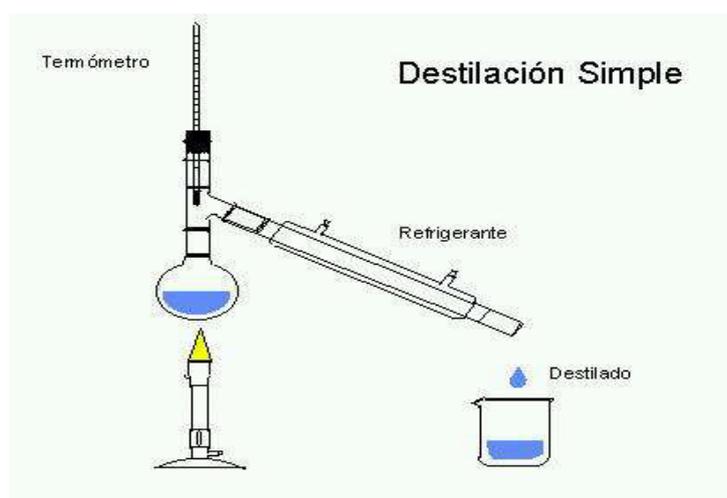
Para cumplir los objetivos planteados del estudio, los tratamientos se dividieron en dos procesos:

### **Proceso de fermentación**

Este proceso se llevo a cabo en tres diferentes periodos de 10, 20 y 30 días, en cada periodo se retiro al azar un número determinado de unidades experimentales para posteriormente destilarlas.

## Proceso de destilación

En este proceso se separo agua y un tipo de alcohol (etanol) de una mezcla fermentada (fruto y agua destilada), cuyo porcentaje se lo fue conociendo una vez obtenidos los resultados de los análisis. Este proceso se llevo a cabo con el equipo de destilación apropiado con el que cuenta el CIBE.



**GRAFICO 4.6 EQUIPO DE DESTILACION PARA LABORATORIO**

### **Análisis estadístico**

Previamente para realizar el análisis de variancia, se procedió a determinar que los datos de las variables porcentaje de alcohol y tipo de alcohol, estudiados, tengan varianza homogénea (homocedasticidad), para cada uno de sus respectivos residuos. Además se analizó que los mismos sigan una distribución normal.

Además el procedimiento del análisis de la variancia es aplicable cuando los residuos de los datos, provienen de variables que se distribuyen normalmente y varianza constante, de no ser así las variaciones de los errores experimentales pueden ser demasiado grandes o pequeñas [16].

La técnica estadística descriptiva univariada fue empleada para la estimación de parámetros de tendencia central (media) y dispersión (desviación estándar).

A fin de comparar el comportamiento de cada uno de los frutos de musáceas, versus el tiempo de fermentación. Estadística inferencial, análisis de variancia (ADEVA).

El modelo estadístico de análisis fue, diseño de experimento por bloques completamente al azar, en donde los niveles del factor representan cada una de las evaluaciones en tres diferentes tiempos de fermentación y bloque o factor perturbador son los diferentes tipos de musáceas. Y cada uno tiene tres repeticiones o tres unidades de investigación.

### **Parámetros de evaluación**

De acuerdo al ensayo en ejecución, los parámetros a evaluarse serán los siguientes:

#### **Porcentaje y Tipo de alcohol**

Ambos parámetros fueron evaluados mediante un análisis realizado bajo el método HPLC, este sistema de análisis permite muy buenas separaciones e identificaciones de sustancias o grupos de sustancias en un tiempo corto, tanto cualitativa como cuantitativamente.

El análisis fue realizado bajo el siguiente procedimiento:

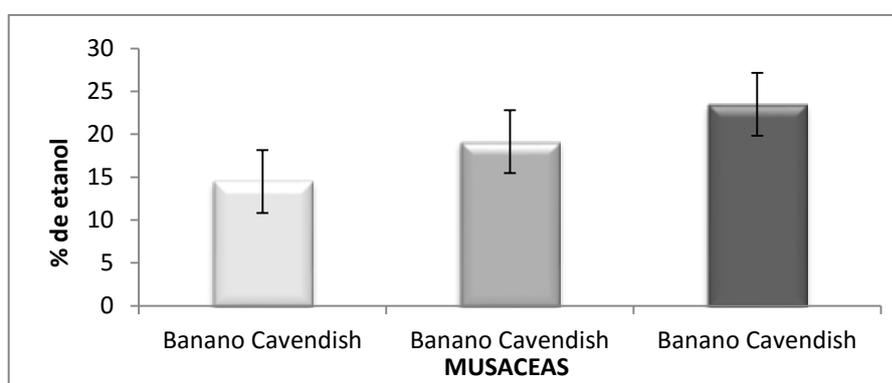
1. Las muestras recibidas fueron atemperada a temperatura ambiente ( $24\pm 4^{\circ}\text{C}$ ).
2. Posteriormente, completamente homogeneizada en forma manual por 5 minutos.
3. De la columna del líquido se tomaron sub-muestras por triplicado de 1mL cada una.
4. Las sub-muestras fueron filtradas (0,22 $\mu\text{m}$ ) directamente en viales con tapa rosca.
5. Así preparadas las muestras, estas fueron analizadas mediante GC-FID.
6. Los estándares fueron preparados por dilución de Etanol, Metanol en agua grado HPLC

# CAPÍTULO 5

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ENSAYO PRELIMINAR

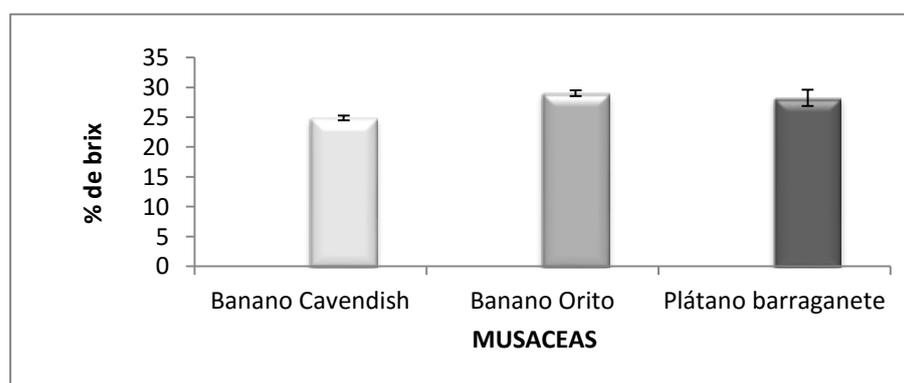
El gráfico 5.1 muestra las diferencias que hubo entre las tres repeticiones que se hizo con banano cavendish, así mismo se muestra los porcentajes de etanol que se obtuvieron, en este ensayo se demostró que existe potencial para producir etanol.



### GRAFICO 5.1. PORCENTAJES DE ETANOL EVALUADO A LOS DIEZ DIAS DE FERMENTACION

#### GRADOS BRIX

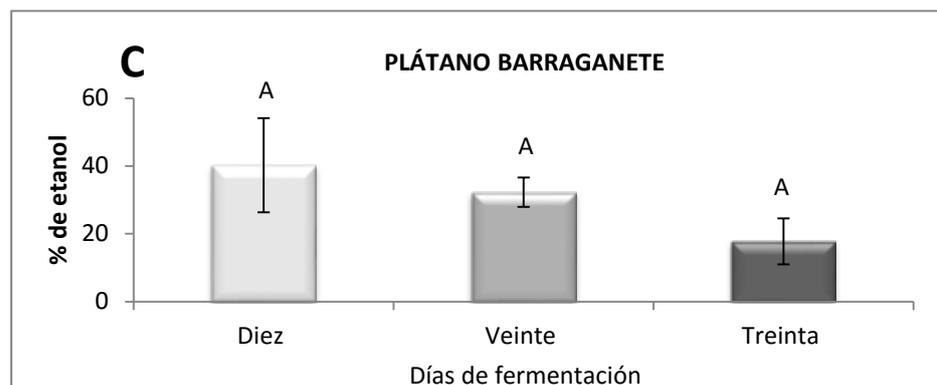
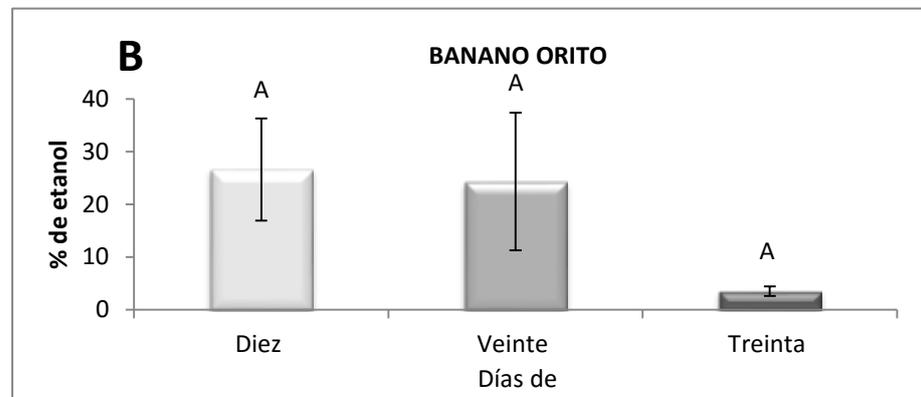
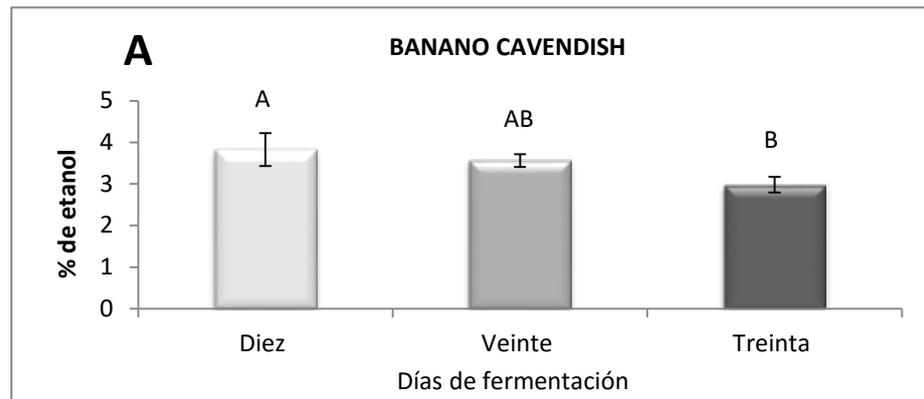
El grafico 5.2, muestra los promedios de grados Brix, para realizar esta evaluación cada uno de los frutos fue tomado de un mismo racimo según la familia. Cada uno de los frutos de las musáceas que fue evaluado tenía el grado de maduración # 5, según la tabla de colores de la piel de banano, (Figura 4.1)



### GRAFICO 5.2. PORCENTAJES DE GRADO BRIX, EVALUADOS EN TRES DIFERENTES FRUTOS DE MUSACEAS

#### Ensayo comparativo

La variable que se analizó fue tipo de alcohol, y según el análisis se obtuvo Etanol, en todas las muestras lo que nos dice que nuestra variable se convirtió en una constante.



**GRAFICO 5.3. PORCENTAJE DE ETANOL, OBTENIDOS A PARTIR DE TRES TIPOS DE MUSACEAS: BANANO CAVENDISH (A), BANANO ORITO (B) Y PLÁTANO BARRAGANETE (C); EVALUADOS EN TRES DIFERENTES TIEMPOS DE FERMENTACION**

El grafico 5.3, figura A, muestra las diferencias obtenidas entre los tratamientos. En la fermentación de banano cavendish se observa que existe mayor producción de alcohol a los diez días de fermentación, a los veinte días de fermentación, el porcentaje de alcohol disminuyo, finalmente a los treinta días la producción de alcohol fue menor.

Al realizar la prueba de Tukey con 5% de significancia, se detectaron dos grupos homogéneos denominados, A y B, en el primer grupo se muestra a el banano Cavendish con un promedio de 3,83%, a los diez días de fermentación; a los veinte días comparte el primer y segundo grupo con un promedio de 3,56%, y es superior al tratamiento tres. El último tratamiento se encuentra en el último grupo con un promedio de 2,98%.

En el mismo grafico en la figura B, tenemos el mismo experimento que fue evaluado en banano orito, bajo las mismas condiciones, el cual muestra que el porcentaje de alcohol fue superior, en comparación al tratamiento con banano cavendish, sin embargo se sigue observando la disminución de producción de alcohol, a mayor tiempo de fermentación.

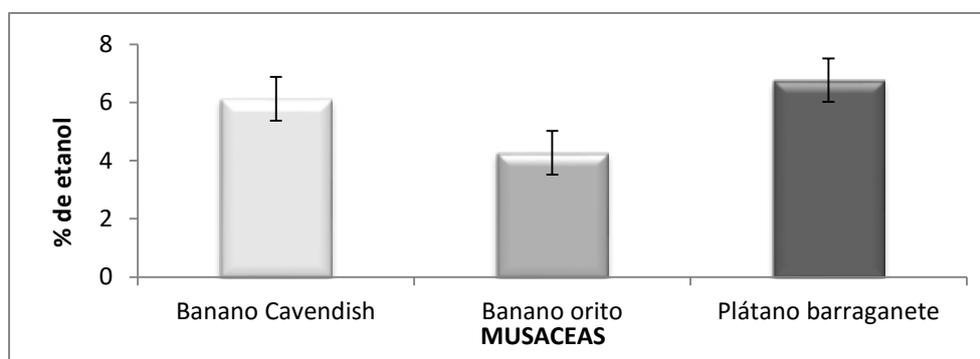
Al realizar la prueba de Tukey con 5% de significancia, se detecto un solo nivel de significancia denominado, A, en este grupo se observa que a los diez días de fermentación se obtuvo un promedio de 26,60%., siendo diferente y superior a los demás tratamientos, a los veinte días, se encuentra en el segundo grupo con un promedio de 24,32%. Treinta días presentó un promedio 3,53%, siendo este inferior a los demás grupos.

Finalmente en el grafico 5.3, figura C, se aprecia que no hay diferencia significativa, entre los tratamientos, se observa que existe una mayor producción de alcohol con esta musácea, sin embargo sigue la misma tendencia en la disminución de producción de alcohol con respecto a los tiempos de fermentación.

Al realizar la prueba de Tukey con 5% de significancia, se detectó un grupo homogéneo denominado, A, que a los diez días obtuvo un promedio de 40,23%, siendo superior tratamientos. Veinte días se encuentra segundo con un promedio de 32,32%. Treinta días se presenta último y presentó promedio de 17,80%, siendo este inferior a los demás grupos.

## ENSAYO EN CAMPO

El gráfico 5.4 muestra las diferencias entre los tratamientos. La fermentación que se obtuvo a los 10 días fue superior, en el plátano barraganete, seguido de banano Cavendish, obteniendo el porcentaje más bajo de etanol, el banano orito, sin embargo se observa en este ensayo que existe un mismo rendimiento en la producción de etanol entre el banano Cavendish y el plátano barraganete.



**GRAFICO 5.4. ENSAYO EN CAMPO. PROCENTAJE DE ETANOL, OBTENIDO A LOS DIEZ DIAS DE FERMENTACION, EN TRES DIFERENTES TIPOS DE MUSACEAS**

# CAPITULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### ❖ Conclusiones

1. Los grados Brix están relacionados de acuerdo al grado de alcohol que se obtuvo por cada uno de los tipos de Musáceas.
2. El tipo de alcohol que se obtuvo fue etanol.
3. El mejor tiempo de fermentación fue a los diez días, en el cual se obtuvo el mayor porcentaje de etanol en los tres diferentes tipos de musáceas.

## ❖ Recomendaciones

1. Se recomienda seguir realizando futuras investigaciones con respecto a la caracterización de parámetros, de los almidones ligados a la potencialidad de los alcoholes.
2. Estudiar otras musáceas que se siembren en el Ecuador, para poder conocer su potencial para producir alcohol.
3. Realizar estudios de fermentación, hacer pruebas de tiempo y relacionarlo con respecto a la maduración de los frutos.
4. Para lograr una producción a nivel industrial se deberían construir plantas pilotos, en diferentes zonas del Ecuador.
5. El subproducto derivado del proceso fermentativo no ofrece una contribución significativa en cuanto a su posible aplicación en otros campos.

## APÉNDICE

## APENDICE A

### ANALISIS DE VARIANZA PARA COMPARAR LAS DIFERENCIAS ESTADISTICAS ENTRE LOS TRATAMIENTOS, DE LOS DIFERENTES TIEMPOS DE FERMENTACIÓN

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medias cuadraticas	F	Valor p
factor	11236.358	3	3745.453	51.078	.000
bloque	1181.999	2	590.999	8.060	.002
Error	1613.205	22	73.327		
Total	14031.561	27			

## BIBLIOGRAFIA

- [1] AEBE. Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador. Base de datos estadísticos del 2005. Documentos en internet en: <http://www.aebe.com.ec>
  
- [2] Afanador, A. (2005). El banano verde de rechazo en la producción de alcohol verde carburante. Revista EIA, Número 3 Pp. 51-68. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín. Colombia.
  
- [3] Álvarez, M. Larrea, P. Paredes, M. (2005). Fermentación sólida del Banano de rechazo utilizando *Aspergillus Níger* para alimento animal. Universidad Técnica de Ambato. Recuperado el 15 de Febrero de 2008 de <http://fcial.uta.edu.ec>
  
- [4] Carreño, S. Aristizabal, L. (2008). Aprovechamiento postcosecha de plátano para obtención de vino. InfoMusa, Vol. 12 No1.
  
- [5] Cheesman, E. 1948. Classification of the Bananas. III. Critical Notes on Species. c. *Musa paradisiaca* L. and *Musa sapientum* L., en Kew Bulletin.- 2(3): 145–153.
  
- [6] CORPEI. (2006). Producto de exportación. Recuperado en Julio de 2008 en [www.corpei.org.ec](http://www.corpei.org.ec)

- [7] Corporación Colombia Internacional. (2000). Perfil del Plátano. Santa Fe. Bogotá. Colombia
- [8] FAO. (2005). Food and Agriculture Organisation of the United Nation. Agricultural data base. Recuperado en Abril 2 de 2007. <http://faostat.fao.org>
- [9] Fundación para el desarrollo sustentable. (2007). Ecuador impulsa programa de bio combustibles y uso de bio etanol y biodiesel. Recuperado en abril 2 de 2008 de <http://www.fundacionsustentable.org/virtual>
- [10] Greenpeace. (2007). Criterios de Greenpeace sobre energía. Recuperado el 20 de Diciembre de 2007 de [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)
- [11] Grupo del Banco Mundial. (2008). Bio combustible una promesa y algunos riesgos. Informe sobre el desarrollo mundial 2008: Agricultura para el desarrollo. Recuperado el 4 de Mayo de 2008 de <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL>

- [12] INFOAGRO. (2004). Alimentación y nutrición. Recuperado el 20 de Mayo de 2008, de [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com)
- [13] INIBAP. International Network for the Improvement of Banana and Plantain. 1993.
- [14] La verdad de Murcia. (2006). Los Bio combustibles en Europa. Recuperado el 15 de Diciembre de 2007 de <http://news.soliclimal.com>
- [15] León, T. Chalela, G. Roa, A. (2007). SISTEMA SEMICONTINUO DE PRODUCCIÓN DE ETANOL. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander. Recuperado el 6 de Enero de 2008 de <http://ambiental.uvigo.es>
- [16] Little, T. Hills, F. Agricultural Experimentation. Design and Analysis. John Wiley and Sons. New York. EE.UU. 1978
- [17] Locke, J. (2008). Tecnologías y Procesos para introducir Bio combustibles a países tropicales: Potencial de tres sistemas de

producción de banano y plátano para la obtención de alcohol carburante. Acorbat 2008, Guayaquil. Ecuador

- [18] MAGAP. (2006). El agro en la economía. Recuperado en julio de 2008 en <http://www.mag.gov.ec>
  
- [19] Ministerio de Relaciones del Ecuador. (2005). Banano. Dirección General de Promoción de Exportaciones e Inversiones Bilaterales. Ecuador
  
- [20] Miliarium, A. (2004). Bio etanol. Recuperado el Mayo de 2008 de <http://www.miliarium.com>
  
- [21] Neofronteras. (2008). Bio combustible.es. Recuperado el 5 de Diciembre de 2007 de <http://www.biocombustibles.es>
  
- [22] Núñez, Ma. García, P. (2007). Bio combustibles: Bio etanol y Bio diesel. Dpto. de ciencias químicas. Universidad de Santiago de Compostela.

- [23] Ortiz, R. 1995. Musa genetics. En: S. Gowen (ed.). Bananas and plantains. Chapman & Hall, London. 84-109.
- [24] PESA Centroamérica, (2007). Bio energía sostenible: Un marco para la toma de decisiones. Recuperado el 11 de Enero de 2008 de <http://www.pesacentroamerica.org>
- [25] Petrobras. (2006). Fuentes de energía. Recuperado en Mayo de 2008 de <http://www.petrobras.com/ptcm/appmanager>
- [26] Revista Puentes, (2007). Etanol ¿panacea económica y ecología? Pp. 5. Vol.VIII. Universidad Nacional Costa Rica.
- [27] Román, Q. Hassen, H. (2005). La remolacha forrajera (*Beta vulgaris* L.) como cultivo energético y viable para la producción de bio etanol carburante en la sabana de Bogota. Bogota, Colombia. Universidad Autónoma de Colombia. Recuperado el 7 de Enero de 2008 de <http://www.docentes.unal.edu.co>
- [28] Rueda, A. (1990). MODELADO Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN DE ETANOL DE LA

INDUSTRIA AZUCARERA. Centro de Tecnología Azucarera.  
Universidad de Valladolid. Valladolid. España.

- [29] Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2006). Programa Nacional de Bio Combustibles. Recuperado el 10 de Enero de 2008 de <http://www.uncu.edu.ar>
- [30] SICA. (2006). Agro en la economía. Recuperado el 30 de Mayo de 2008
- [31] Simmonds, N. y Shepherd, K. 1955. Taxonomy and origins of cultivated bananas. *Journal of the Linnean Society of Botany* 55:302-312.London— UK.
- [32] Terranova Editores, Ltda. (1995). Enciclopedia Agropecuaria Terranova. Pp. 172, 239.
- [33] Universidad Nacional de Colombia, (2005). Problema energético del transporte. Recuperado el 8 de Enero de 2008 de <http://www.virtual.unal.edu.co>

- [34] Vallejo, S. Quingaisa, E. (2004). Documento técnico para la cadena de competitividad de la cadena Plantación-harina, Puré-banano. Instituto interamericano de la cooperación para la agricultura. Ecuador
- [35] Vered, E. (2005). Caña de azúcar. Recuperado el 23 de Mayo de 2008 de <http://www.sugarcane crops.com/s/>
- [36] Wikipedia. (2007). Bio combustible. Recuperado el 22 de Noviembre de 2007 de <http://es.wikipedia.org/wiki/Biocombustible>