

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

#### **“OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE JUGO DE CAÑA, CACHAZA Y MELAZA, MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE DOS NIVELES DE FERMENTO (*Saccharomyces cerevisiae*)”**

Tesis previa a la obtención del Título de  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

#### **AUTORES**

Campués Tulcán Jenny Karina

Tarupí Rosero Juan Carlos

#### **DIRECTOR**

Ing. Walter Quezada. M. Msc.

**Ibarra – Ecuador**

**2011**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**“OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE JUGO DE CAÑA, CACHAZA Y**  
**MELAZA, MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE DOS NIVELES DE**  
**FERMENTO (*Saccharomyces cerevisiae*)”**

Tesis revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**APROBADA:**

Ing. Walter Quezada M. Msc.....DIRECTOR

Ing. Hernán Cadena.....ASESOR

Dr. Alfredo Noboa.....ASESOR

Dra. Lucia Toromoreno.....ASESORA

**Ibarra – Ecuador**

**2011**

## **CESIÓN DE DERECHOS**

Los autores: siempre que se cite la fuente, ceden con fines académicos y de investigación los derechos de reproducción y duplicación de la investigación desarrollada en este trabajo a la Universidad ecuatoriana y a la sociedad en general.

Para fines distintos al investigativo y académico por favor ponerse en contacto con los autores y la Universidad Técnica del Norte, copropietarios solidarios de los derechos de autor.

Karina Campués Tulcán

Tarupí Rosero Juan C.

CC. 100286704-0

CC. 040133311-7

karinacampues@yahoo.com

juanca\_t4@yahoo.es

Las ideas, conceptos, cuadros, gráficos y más informes del presente trabajo son  
responsabilidad de sus autores.

Campués Tulcán Jenny Karina

-----

Tarupí Rosero Juan Carlos

-----

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mis padres, Julio Campués y Luzmila Tulcán quienes con su esfuerzo y dedicación han logrado formar en mí una persona capaz de cumplir las metas propuestas.

*Karina Campués*

A la constancia, el trabajo y esfuerzo de mis padres Segundo Tarupí y Zoila Rosero quienes mediante su apoyo incondicional fueron participes para el término de esta carrera universitaria.

También a mi esposa Andrea y mi hijo Sebastián por todo el apoyo y cariño que me brindan cada día.

*Juan Carlos Tarupí*

## **AGRADECIMIENTO**

i

Agradecemos a Dios por ser guía espiritual y permitirnos culminar esta etapa de nuestras vidas

A nuestros Hermanos que nos han brindado su apoyo incondicional el mismo que se ve reflejado en este trabajo.

Gratificamos la ayuda al Ing. Walter Quezada Director de Tesis quien a mas de ser un guía ha sido un amigo dentro y fuera de las aulas. A los Asesores: Dr. Alfredo Noboa, Ing. Hernán Cadena, Dra. Lucía Toromoreno; y demás docentes y amigos que estuvieron apoyándonos para el desarrollo de esta investigación.

**LOS AUTORES**

ii

## ÍNDICE GENERAL

	<b>pg.</b>
<b>PRESENTACIÓN</b>	
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>ii</b>
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES</b>	
<b>1.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
1.2.1 Objetivo general.....	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
<b>1.3 HIPÓTESIS.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
<b>2.1 LA CAÑA Y SUS AZÚCARES EN LA ALIMENTACIÓN.....</b>	<b>19</b>
2.1.1 La Caña.....	19
2.1.1.1 Variedades.....	20
2.1.1.2 Cultivo.....	20
2.1.1.3 Composición de la caña.....	22
2.1.1.4 Usos de la Caña.....	23
2.2.1 La Panela.....	24
2.1.2.1 Zonas de producción y producción estimada.....	25
2.1.2.2 Tipos de panela.....	25
2.1.2.3 Proceso de obtención de panela.....	26
2.1.2.4 Subproductos del proceso de obtención de panela.....	27
2.1.3 Azúcar.....	27
2.1.3.1 Tipos.....	27
2.1.3.2 Composición de la Azúcar.....	28
2.1.3.3 Proceso para la obtención de azúcar.....	28
2.1.3.4 Subproductos del proceso de obtención de azúcar.....	32
<b>2.2 JUGO DE CAÑA.....</b>	<b>32</b>

2.2.1	Definición.....	32
2.2.2	Extracción.....	33
2.2.3	Composición del jugo de caña.....	34
2.2.4	Usos.....	34
2.2.5	Importancia.....	35
<b>2.3</b>	<b>CACHAZA.....</b>	<b>35</b>
2.3.1	Definición.....	35
2.3.2	Obtención.....	36
2.3.3	Importancia.....	36
2.3.4	Composición.....	37
2.3.5	Usos.....	37
2.3.6	La cachaza en la obtención de alcohol.....	37
2.3.7	Importancia social de la agroindustria panelera.....	38
<b>2.4</b>	<b>MELAZA.....</b>	<b>38</b>
2.4.1	Definición.....	38
2.4.2	Obtención.....	39
2.4.3	Composición de la melaza de caña de azúcar.....	39
2.4.4	Importancia.....	40
2.4.5	Usos.....	41
2.4.6	La melaza en la obtención de alcohol.....	41
2.4.7	Beneficios y propiedades.....	41
<b>2.5</b>	<b>ALCOHOLES.....</b>	<b>42</b>
2.5.1	Definición.....	42
2.5.2	Etanol.....	42
2.5.3	Clasificación de alcoholes.....	42
2.5.3.1	Alcoholes superiores.....	43
2.5.3.2	Materias primas para la obtención de etanol.....	43
2.5.3.3	Usos del etanol.....	44
2.5.3.4	Importancia.....	45
2.5.4	Fabricas productoras en el país.....	45
2.5.5	Producción actual en el País.....	46
2.5.6	Rendimientos y costos.....	46



2.5.7	Procesos en la obtención de alcohol.....	48
2.5.7.1	Procesos Tradicionales.....	48
2.5.7.2	Procesos Modernos.....	49
<b>2.6</b>	<b>FUNDAMENTOS BIOQUÍMICOS DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....</b>	<b>50</b>
2.6.1	Producción de alcohol etílico.....	50
2.6.2	La Fermentación Alcohólica.....	51
2.6.3	Congéneres.....	52
2.6.4	Condiciones Para la Fermentación Alcohólica.....	53
2.6.4.1	Cultivo Iniciador.....	53
2.6.4.2	Levaduras y clasificación.....	53
2.6.4.3	pH del Mosto.....	56
2.6.4.4	Concentración de Azúcar.....	56
2.6.4.5	Oxígeno Necesario.....	56
2.6.4.6	Temperatura.....	57
<b>2.7</b>	<b>DESTILACIÓN.....</b>	<b>57</b>
2.7.1	Artesanal.....	57
2.7.2	Industrial.....	58
2.7.2.1	Destilación simple.....	58
2.8.2.2	Destilación fraccionada.....	58
 <b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS</b>		
<b>3.1</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>59</b>
3.1.1	Materiales y Equipos de Proceso.....	59
3.1.2	Materiales de Laboratorio.....	59
3.1.3	Materia Prima e insumos.....	60
<b>3.2</b>	<b>MÉTODOS.....</b>	<b>60</b>
3.2.1	Características del área de estudio.....	60
3.2.2	Factores en Estudio.....	61
3.2.3	Tratamientos en Estudio.....	61

3.2.4	Diseño Experimental.....	62
3.2.5	Características del Experimento.....	62
3.2.6	Unidad Experimental.....	62
3.2.7	Análisis Estadístico.....	62
3.2.8	Análisis Funcional.....	63
3.2.9	VARIABLES A EVALUARSE.....	63
3.2.9.1	En Materia Prima.....	63
3.2.9.2	Durante el Proceso.....	64
3.2.9.3	Producto Terminado.....	64
3.2.9.4	Análisis Sensorial.....	65
3.2.10	Manejo Específico Del Experimento.....	65
3.2.10.1	Diagrama de Bloques para la Obtención de Alcohol A Partir de Jugo De Caña.....	66
3.2.10.2	Diagrama de Bloques para la Obtención de Alcohol a Partir de Cachaza.....	67
3.2.10.3	Diagrama de Bloques para la Obtención de Alcohol a Partir de Melaza.....	68
3.2.11	Descripción del Proceso para la Obtención de Alcohol a Partir de Jugo de Caña, Cachaza y Melaza.....	68

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES**

<b>4.1</b>	<b>ANÁLISIS DE VARIABLES EN MATERIAS PRIMAS.....</b>	<b>72</b>
4.1.1	Análisis de sólidos solubles.....	72
4.1.2	Análisis de pH.....	73
4.1.3	Análisis de soluto en la solución.....	74
<b>4.2</b>	<b>ANÁLISIS DE VARIABLES EN PROCESO.....</b>	<b>75</b>
4.2.1	Sólidos Solubles Durante la Fermentación.....	75
4.2.2	Sólidos Solubles al Final de la Fermentación.....	77
4.2.3	pH Durante la Fermentación.....	80
4.2.4	pH al Final de la Fermentación.....	82
<b>4.3</b>	<b>ANÁLISIS DE VARIABLES EN EL PRODUCTO TERMINADO.....</b>	<b>85</b>

4.3.1	Análisis Estadístico de Grado Alcohólico.....	85
4.3.2	Análisis Estadístico del Rendimiento De Alcohol.....	89
4.3.3	Análisis de aldehídos.....	92
4.3.4	Determinación de Alcoholes Superiores.....	93
4.3.5	Determinación de Esteres.....	94
4.3.6	Determinación de Metanol.....	95
<b>4.4</b>	<b>ANÁLISIS DE VARIABLES CUALITATIVAS DEL PRODUCTO TERMINADO.....</b>	<b>96</b>
4.4.1	Análisis Sensorial.....	96
<b>4.5</b>	<b>BALANCE DE MATERIALES.....</b>	<b>100</b>
4.5.1	Rendimiento de alcohol a partir de jugo de caña.....	100
4.5.2	Rendimiento de alcohol a partir de cachaza.....	101
4.5.3	Rendimiento de alcohol a partir de melaza.....	102
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>103</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>105</b>
	<b>RESUMEN.....</b>	<b>106</b>
	<b>SUMARY.....</b>	<b>108</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>109</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>113</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 2.1:</b>	Composición de la Caña de Azúcar.....	23
<b>Cuadro 2.2:</b>	Composición de la Azúcar.....	28
<b>Cuadro 2.3:</b>	Composición del Jugo de Caña de Azúcar.....	34
<b>Cuadro 2.4:</b>	Composición de la Melaza.....	40
<b>Cuadro 2.5:</b>	Principales Congenéricos Presentes en las Bebidas Alcohólicas.....	52
<b>Cuadro 3.1:</b>	Tratamientos en Estudio.....	61
<b>Cuadro 3.2:</b>	Esquema del ADEVA.....	62
<b>Cuadro 4.1:</b>	Cantidad de Sólidos Solubles (°Brix) en la Etapa Final de la Fermentación.....	77
<b>Cuadro 4.2:</b>	Análisis de Varianza.....	77
<b>Cuadro 4.3:</b>	Prueba de Tukey Para Tratamientos.....	78
<b>Cuadro 4.4:</b>	Prueba DMS Para el Factor A (Tipo de materia prima).....	78
<b>Cuadro 4.5:</b>	Contenido del pH en la Fermentación Alcohólica.....	82
<b>Cuadro 4.6:</b>	Análisis de Varianza.....	82
<b>Cuadro 4.7:</b>	Prueba de Tukey Para Tratamientos.....	83
<b>Cuadro 4.8:</b>	Prueba DMS Para el Factor A (Tipo de materia prima).....	83
<b>Cuadro 4.9:</b>	Prueba DMS Para el Factor B (Cantidad de fermento “ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ” ).....	84
<b>Cuadro 4.10:</b>	Grado alcohólico (°GL) en el Producto Terminado.....	85
<b>Cuadro 4.11:</b>	Análisis de Varianza.....	85
<b>Cuadro 4.12:</b>	Prueba de Tukey Para Tratamientos.....	86
<b>Cuadro 4.13:</b>	Prueba DMS Para el Factor A.....	86
<b>Cuadro 4.14:</b>	Prueba DMS Para el Factor B.....	87
<b>Cuadro 4.15:</b>	Rendimiento de Alcohol (ml) en Producto Terminado.....	89
<b>Cuadro 4.16:</b>	Análisis de Varianza.....	89
<b>Cuadro 4.17:</b>	Prueba de Tukey Para Tratamientos.....	90
<b>Cuadro 4.18:</b>	Prueba DMS Para el Factor B (Cantidad de fermento “ <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ” ).....	90
<b>Cuadro 4.19:</b>	Análisis de Friedman para las Variables de la Evaluación Sensorial.....	96

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	pg.
<b>Gráfico 4.1:</b> Sólidos Solubles (°Brix).....	72
<b>Gráfico 4.2:</b> Variación del pH en Cada una de las Materias Primas.....	73
<b>Gráfico 4.3:</b> Cantidad de Materia Prima.....	74
<b>Gráfico 4.4:</b> Variación del Porcentaje de Sólidos Solubles.....	75
<b>Gráfico 4.5:</b> Representación Gráfica de la Variable Sólidos Solubles en la Etapa Final de la Fermentación.....	79
<b>Gráfico 4.6:</b> Variación de pH Durante la Fermentación.....	80
<b>Gráfico 4.7:</b> Representación Gráfica de la Variable pH en la Etapa Final del Proceso de Fermentación.....	84
<b>Gráfico 4.8:</b> Interacción de los Factores A y B en la Variable Contenido de Grado Alcohólico en el Producto Terminado.....	87
<b>Gráfico 4.9:</b> Representación Gráfica del Contenido de Grado Alcohólico en el Producto Terminado.....	88
<b>Gráfico 4.10:</b> Representación Gráfica del Rendimiento de Alcohol en el Producto Terminado.....	91
<b>Gráfico 4.11:</b> Cantidad de Aldehídos en el Producto Final.....	92
<b>Gráfico 4.12:</b> Cantidad de Alcoholes Superiores.....	93
<b>Gráfico 4.13:</b> Cantidad de Esteres en el producto final.....	94
<b>Gráfico 4.14:</b> Cantidad de Metanol en el Producto Final.....	95
<b>Gráfico 4.15:</b> Caracterización del Sabor en el Producto Terminado.....	97
<b>Gráfico 4.16:</b> Caracterización del Color en el Producto Terminado.....	98
<b>Gráfico 4.17:</b> Caracterización del Olor en el Producto Terminado.....	99
Análisis de Laboratorio.....	123

Norma INEN 362

Norma INEN 340

Norma INEN 345

Norma INEN 347

## **CAPITULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El Ecuador presenta condiciones climáticas apropiadas para el desarrollo de varios cultivos, entre ellos la caña de azúcar, de la misma que puede obtenerse varios productos y subproductos. Los medianos y pequeños agricultores están incrementando la superficie de siembra de la caña de azúcar, debido a la excesiva demanda de los productos derivados de la misma, el cual es consumido tanto por el mercado nacional e internacional.

La caña de azúcar es una de los productos principales en el país. Según estadísticas del Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP), el Ecuador tiene 72.000 hectáreas sembradas de caña de azúcar de las cuales 6.745 Has. destinadas a la producción de azúcar que es utilizada por el ingenio de Tababuela (IANCEM), y unas 637 Has. son destinadas a la producción de panela y alcohol principalmente en la zona de Intag.

Los subproductos más importantes (melaza y cachaza) que se obtienen en la producción de azúcar y panela representan aproximadamente el 4% con respecto al peso de la caña; además contienen un alto porcentaje de azúcares, los mismos que pueden ser utilizados, para la producción de alcohol.

En la provincia de Imbabura, existen micro y pequeñas industrias dedicadas a la producción de alcohol, a partir de jugo de caña y productos derivados de la industria azucarera como la melaza. En el caso de las pequeñas industrias, la

producción de alcohol es realizada mediante la utilización de fermento, en concentraciones estándar. En la mayoría de las micro empresas la producción de alcohol se realiza en forma artesanal, en donde no se adiciona fermento de tipo comercial (*Sacharomyces cerevisiae*). Al no adicionar fermento la conversión de azúcares en alcohol es menor, consecuentemente los rendimientos son bajos.

Los productores por desconocimiento en procesos tecnológicos que llevan aun mayor rendimiento, no aprovechan estos subproductos de forma adecuada ocasionando serias pérdidas económicas.

Buscar alternativas que permitan obtener buenos rendimientos de alcohol fue el tema de nuestra investigación, a partir de jugo de caña, cachaza y melaza, mediante la incorporación de dos niveles de fermento (*Saccharomyces cerevisiae*), esta investigación es importante para el sector agroindustrial, dedicado a la producción de alcohol en la provincia y el país.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 General:**

- Obtener alcohol a partir de jugo de caña, cachaza y melaza, mediante la incorporación de dos niveles de fermento (*Sacharomyces cerevisiae*).

### **1.2.2 Específicos:**

- Determinar tiempo de fermentación y Brix finales del mosto fermentado de jugo de caña, cachaza y melaza.
- Determinar el rendimiento de alcohol y grado alcohólico de acuerdo a la concentración óptima de fermento, incorporado en la dilución de jugo de caña, cachaza y melaza.
- Evaluar las características sensoriales, como (olor, color, sabor), del alcohol obtenido a partir de jugo de caña, cachaza y melaza, en el mejor tratamiento de cada muestra.
- Determinar las características físico- químicas del alcohol obtenido a partir de jugo de caña, cachaza y melaza, en el mejor tratamiento de cada muestra (aldehídos, alcoholes superiores, ésteres metanol).



### **1.3 HIPÓTESIS**

**Hi:**

Los niveles de fermento influyen en el rendimiento de alcohol producido a partir de jugo de caña, cachaza y melaza.

**Ho:**

Los niveles de fermento no influyen en el rendimiento de alcohol producido a partir de jugo de caña, cachaza y melaza

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 LA CAÑA Y SUS AZUCARES EN LA ALIMENTACIÓN**

#### **2.1.1 La Caña**

Según Alexander (1973). “La caña es una gramínea gigante de género *Saccharum* que se cultiva en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, por su elevado contenido de azúcares en el tallo, es utilizada como materia prima para agroindustria panelera y azucarera.

El tallo es leñoso con nudos y entrenudos, es de hasta 5 metros de altura, formado por un tejido esponjoso rico en jugo azucarado en especial sacarosa, lo que le da importancia económica y agroindustrial a nivel mundial. La corteza que recubre el tallo tiene un barniz céreo; las hojas son lanceoladas y de flores hermafroditas.”(p.128)



### **2.1.1.1 Variedades**

Dentro del gran número de variedades existentes y que se cultivan, todas pertenecen al género *Saccharum*. W. Quezada (2007) menciona que, entre las principales variedades utilizadas en la agroindustria panelera y azucarera se encuentran las siguientes respectivamente:

- ✓ POJ (negra, barniz y blanca), Morada de fruta, Cubana, Campus Brasil, Puerto Rico y CENICAÑA.
  
- ✓ PR - 980, CB 4089, TB-79, B-40 y ACC.

Las amplias variaciones en el tamaño, color y aspecto son resultado de las diversas condiciones de terreno, clima, método de cultivo y selección local.

### **2.1.1.2 Cultivo**

Humbert (1974). La caña se cultiva en regiones tropicales y subtropicales especialmente en clima cálido. Esta planta se adapta desde el nivel del mar hasta los 2200 msnm. Existen variedades que empieza la producción después del primer corte entre los 12 a 18 meses, esto depende de la zona donde se ubica el cultivo. Para obtener un buen desarrollo de la planta su temperatura promedio ideal es de 25 °C.

#### **✓ Clima**

La temperatura, la humedad y la luminosidad, son los principales factores del clima que controlan el desarrollo de la Caña. La Caña de Azúcar es una planta tropical que se desarrolla mejor en lugares calientes y soleados.

Cuando prevalecen temperaturas altas la caña de azúcar alcanza un gran crecimiento vegetativo y bajo estas condiciones la fotosíntesis se desplaza, hacia

la producción de carbohidratos de alto peso molecular, como la celulosa y otras materias que constituyen el follaje y el soporte fibroso del tallo.

Es indispensable también proporcionar una adecuada cantidad de agua a la caña durante su desarrollo, para que permita la absorción, transporte y asimilación de los nutrientes.

La Caña de Azúcar se cultiva con éxito en la mayoría de suelos, estos deben contener materia orgánica y presentar buen drenaje tanto externo como interno y que su pH oscile entre 5.5 a 7.8 para su óptimo desarrollo. Se reportan buenos resultados de rendimiento y de azúcar en suelo de textura franco limoso y franco arenoso.

#### ✓ **Siembra**

Se reproduce por trozos de tallo, se recomienda que la siembra se realice de Este a Oeste para lograr una mayor captación de luz solar, el material de siembra debe ser de preferencia de cultivos sanos y vigorosos, con una edad de seis a nueve meses, se recomienda utilizar la parte media del tallo, se deben utilizar preferentemente esquejes con 3 yemas.

El tapado de la semilla se puede realizar de tres formas: manualmente utilizando azadón, con tracción animal ó mecánicamente. La profundidad de siembra oscila entre 20 a 25 cm, con una distancia entre surco de 1.30 a 1.50 m.

La semilla debe de quedar cubierta con 5 cm de suelo, el espesor de la tierra que se aplica para tapar la semilla no sólo influencia la germinación y el establecimiento de la población, sino también el desarrollo temprano de las plantas.

#### ✓ **Cosecha**

La faena de la recolección se lleva a cabo entre los once y los dieciséis meses de

la plantación, es decir, cuando los tallos dejan de desarrollarse, las hojas se marchitan y caen y la corteza de la capa se vuelve quebradiza.

Se quema la plantación para eliminar las malezas que impiden el corte de la Caña, aunque se han ensayado con cierto éxito varias máquinas de cortar caña, la mayor parte de la zafra o recolección sigue haciéndose a mano, el instrumento usado para cortarla suele ser un machete grande de acero con hoja de unos 50 cm de longitud y 13 cm de anchura, un pequeño gancho en la parte posterior y empuñadura de madera.

La Caña se abate cerca del suelo y se corta por el extremo superior, cerca del último nudo maduro, ya cortadas se apilan a lo largo del campo, de donde se recogen a mano o a máquina para su transporte al Ingenio, que es un molino en el cual se trituran los tallos y se les extrae el azúcar.

El azúcar se consigue triturando los tallos y maceran con poderosos rodillos estriados de hierro y se someten, simultáneamente, a la acción del agua para diluir el jugo ya que contiene alrededor del 90% de sacarosa existente en la Caña.

El jugo se trata con cal y se calienta para que se precipiten las impurezas; se concentra luego por evaporación y se hierve para que cristalice, posteriormente se dejan enfriar los cristales y se refina la melaza: se disuelve en agua caliente y se hace pasar a través de columnas de carbón gracias a lo cual los cristales se decoloran.

### **2.1.1.3 Composición de la caña**

El valor nutricional y energético de la caña se debe a la cantidad de azúcar, especialmente sacarosa que alberga esta planta en el tallo.

La cantidad de azúcar en la caña esta diferenciada en función de la variedad, suelo, labores de cultivo, riego, clima, entre otros; sin embargo, con el fin de tener presente

la composición promedio del tallo de la caña de azúcar en época de zafra, se presente el siguiente cuadro.

**Cuadro 2.1:** Composición de la caña de azúcar.

<b>COMPONENTES</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Agua	73-76
Sólidos	24-26
Sólidos solubles	10-16
Fibra seca	11-18

**Fuente:** Tomado del Manual de Azúcar de Caña por James C. P. Chen, 1991. (p.47)

#### **2.1.1.4 Usos de la Caña**

La Caña de Azúcar se utiliza preferentemente para la producción de Azúcar, adicionalmente se puede utilizar como fuente de materias primas para una amplia gama de derivados, algunos de los cuales constituyen alternativas de sustitución de otros productos con impacto ecológico adverso (cemento, papel obtenido a partir de pulpa de madera, etc).

Los residuales y subproductos de esta industria, especialmente los mostos de las destilerías contienen una gran cantidad de nutrientes orgánicos e inorgánicos que permiten su reciclaje en forma de abono, alimento animal, etc.

En este sentido es importante señalar el empleo de la cachaza como fertilizante, las mieles finales y los jugos del proceso de producción de azúcar pueden emplearse para la producción de alcohol, lo que permite disponer de un combustible líquido de forma renovable y la incorporación de los derivados tradicionales (tableros aglomerados, papel y cartón, cultivos alternativos para alimento animal y mieles finales).

Una pequeña parte la producción de Caña de Azúcar tiene fines de producción en

la industria panelera, se obtiene de la concentración y evaporación libre del jugo de la caña, comúnmente conocida como panela, tiene varios usos, como materia prima en la industria de la repostería, pastelería, y como endulzante en diversos alimentos y también se usa para la elaboración de alcohol y otros licores.

### 2.1.2 La Panela



Según W. Quezada (2007) “La panela es otro tipo de azúcar o azúcar integral, conocida también como atado, raspadura o chancaca. Es un producto sólido moldeado, obtenido de la concentración del jugo caña, nutritivo por sus azúcares y minerales, de color café claro de sabor dulce y aroma característico. La panela es un edulcorante altamente energético, compuesto en gran proporción por sacarosa y en pequeña cantidad por azúcares invertidos.” (p. 40)

En nuestro país, la panela es utilizada como alimento para consumo humano en forma directa o indirecta para la preparación de refrescos o como complemento en la alimentación en forma de bebidas calientes.

En la actualidad el uso está generalizado especialmente en los sectores urbanos y rurales de estratos sociales medios y bajos. Actualmente, el consumo de la panela está tomando fuerza en los estratos sociales altos de todos los países, debido a las características nutritivas y naturalidad del producto.

### **2.1.2.1 Zonas de producción y producción estimada**

Las fábricas productoras de panela o conocidas comúnmente como trapiches, donde pequeños y medianos transforman la caña en alimento listo para ser consumido; no han tenido desarrollo tecnológico ni económico debido a que esta agroindustria típica rural no se le ha dado importancia alguna.

Sin embargo en los últimos años ha resurgido en vista del potencial económico y trabajo que genera.

La producción de panela en el país se encuentra especialmente en las Provincias de; Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Cañar, El Oro, Loja, Zamora Chinchipe y Pastaza; distribuidas en varias zonas. Esta actividad se realiza en fincas pequeñas y medianas de entre 2 a 10 ha. y 10 a 50 ha.

### **2.1.2.2 Tipos de panela**

Panela granulada a base de jugo de caña, cualidades alimenticias y terapéuticas beneficiosas, alto contenido proteico y se consume por ser natural (principio de cocción y batido).

La Panela ladrillo y panelón a base de jugo de caña, cualidades alimenticias y terapéuticas beneficiosas, alto contenido proteico, consumo por ser natural (principio de coacción y moldeado).

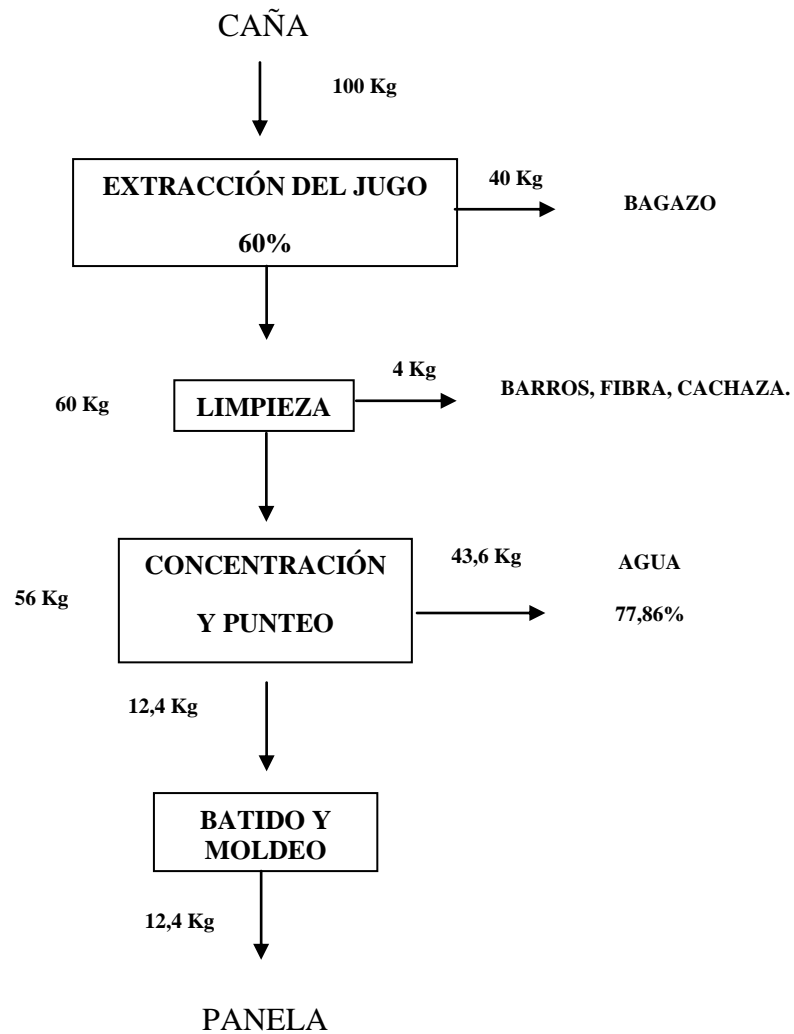


### 2.1.2.3 Proceso de obtención de panela

Peso de la caña: 100kg

°Brix de la caña: 20°

°Brix de la panela: 90°



En el diagrama se establece que de 100kg de caña se obtiene 12,4kg de panela y se eliminan 43,6kg de agua (77,86%) considerando un 60% de extracción y el 4% de impurezas con respecto al peso de la caña.

#### **2.1.2.4 Subproductos del proceso de obtención de panela**

Durante el proceso de producción de panela se generan 2 subproductos de importancia, el bagacillo y la cachaza, el primero se retiene en los prelimpiadores y corresponde al bagazo de menor tamaño la cachaza se genera en el proceso de clarificación o limpieza propiamente dicha de los guarapos de la caña, para éste se usan agentes floculantes de origen vegetal como las cortezas de balsa, cadillo, guasimo, entre otras, los cuales con sus propiedades aglutinantes permiten extraer por medios físicos dicho subproducto.

El bagazo es uno de los principales subproductos de la agroindustria panelera, es eliminado durante la etapa de molienda en los trapiches y reutilizado como combustible.

#### **2.1.3 Azúcar**

El Azúcar es un hidrato de carbono simple

Existen distintos tipos de hidratos de carbono simple: los monosacáridos (como la glucosa, fructosa y lactosa) y disacáridos (como la sacarosa o el azúcar).

El azúcar se obtiene de un jugo que sale del tallo maduro de la caña de azúcar.

Pasa por un proceso, en el que se cristaliza formando agujas puntiagudas. Según el grado de refinamiento que sufren, pertenecen a un tipo u otro de edulcorantes, el azúcar es incoloro, inodoro y soluble al agua.

##### **2.1.3.1 Tipos**

En el Ecuador más del 85 % de la producción de azúcar consiste en azúcar sulfitado, el 10 % azúcar refinado y el 5 % corresponde azúcar crudo.

Cuando el azúcar tiene entre el 96 y 98 grados de sacarosa se denomina crudo, cuando el azúcar a llegado a los 99,5 grados de sacarosa, se denomina azúcar blanco o sulfitado, cuando la azúcar a alcanzado la pureza mayor posible es decir entre 99,8 y 99,9 de sacarosa se denomina azúcar refinado.

La caña de azúcar suministra sacarosa para azúcar blanco o moreno, también tiene aproximadamente el 4% de melaza.

### 2.1.3.2 Composición de la Azúcar

**Cuadro 2.2:** Composición de la azúcar

<b>Componente.</b>	<b>Azúcar Refinado</b>
Carbohidratos (sacarosa)	99.6
<b>Minerales</b>	
Calcio (mg)	0.5-1.0
Magnesio (mg)	0.5-5
Hierro (mg)	0.6-0.9
Agua	0.01g.
Energía (cal)	384

**Fuente:** Tomado del Manual de Azúcar de Caña por James C. P. Chen, 1991. (p.48)

### 2.1.3.3 Proceso para la obtención de azúcar

(sancarlos.com.e, 2011), la caña que llega a la fábrica se transporta desde los cañaverales, se pesa en las básculas y luego se descarga sobre las mesas de alimentación, con grúas tipo hilo o volteadores de camiones.

#### ✓ Molienda

La caña es sometida a un proceso de preparación que consiste en romper o desfibrar las celdas de los tallos por medio de picadoras. Luego unas bandas

transportadoras la conducen a los molinos, donde se realiza el proceso de extracción de la sacarosa, consistente en exprimir y lavar el colchón de bagazo en una serie de molinos.

El lavado del colchón de bagazo se hace con jugo extraído en el molino siguiente (maceración) y el lavado del último molino se hace con agua condensada caliente (imbibición), que facilita el agotamiento de la sacarosa en el bagazo y evita la formación de hongos y la necesidad de emplear bactericidas.

El bagazo sale del último molino hacia las calderas, para usarlo como combustible, o al depósito de bagazo, de donde se despacha para usarlo como materia prima en la elaboración de papel.

#### ✓ **Clasificación**

El jugo proveniente de los molinos, una vez pesado en las básculas, pasa al tanque de alcalinización, donde se rebaja su grado de acidez y se evita la inversión de la sacarosa, mediante la adición de la lechada de cal. Este proceso ayuda a precipitar la mayor parte de las impurezas que trae el jugo.

El jugo alcalinizado se bombea a los calentadores, donde se eleva su temperatura hasta un nivel cercano al punto de ebullición y luego pasa a los clasificadores continuos, en los que se sedimentan y decantan los sólidos, en tanto que el jugo claro que sobrenada es extraído por la parte superior.

Los sólidos decantados pasan a los filtros rotatorios y al vacío, los cuales están recubiertos con finas mallas metálicas que dejan pasar el jugo, pero retienen la cachaza, que puede ser usada como abono en las plantaciones.

### ✓ **Evaporación**

Luego el jugo clarificado pasa a los evaporadores, que funcionan al vacío para facilitar la ebullición a menor temperatura. En este paso se le extrae el 75% del contenido de agua al jugo, para obtener el producto o meladura.

### ✓ **Cristalización**

La cristalización o cocimiento de la sacarosa que contiene el jarabe se lleva a cabo en tachos al vacío. Estos cocimientos, según su pureza, producirán azúcar crudo (para exportación o producción de concentrados para animales), azúcar blanco (para consumo directo) o azúcar para refinación.

La cristalización del azúcar es un proceso demorado que industrialmente se acelera introduciendo al tacho unos granos de polvillo de azúcar finamente molido. La habilidad y la experiencia de los operarios que deben juzgar el punto exacto de los cocimientos, es indispensable para la obtención de un buen producto. Esto deja una curva de solubilidad de la sacarosa.

### ✓ **Separación o centrifugación**

Los cristales de azúcar se separan de la miel restante en las centrífugas, estas son cilindros de malla muy fina que giran a gran velocidad, el líquido sale por la malla y los cristales quedan en el cilindro, luego se lava con agua.

Las mieles vuelven a los tachos, o bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol etílico en la destilería, el azúcar de primera calidad retenido en las mallas de las centrífugas, se disuelve con agua caliente y se envía a la refinería, para continuar el proceso.

Cabe resaltar que en este punto se obtiene lo que se llama azúcar rubio, debido al color de los cristales; a continuación se detalla el proceso mediante el cual el azúcar rubio se convierte en azúcar blanco o azúcar refinado.

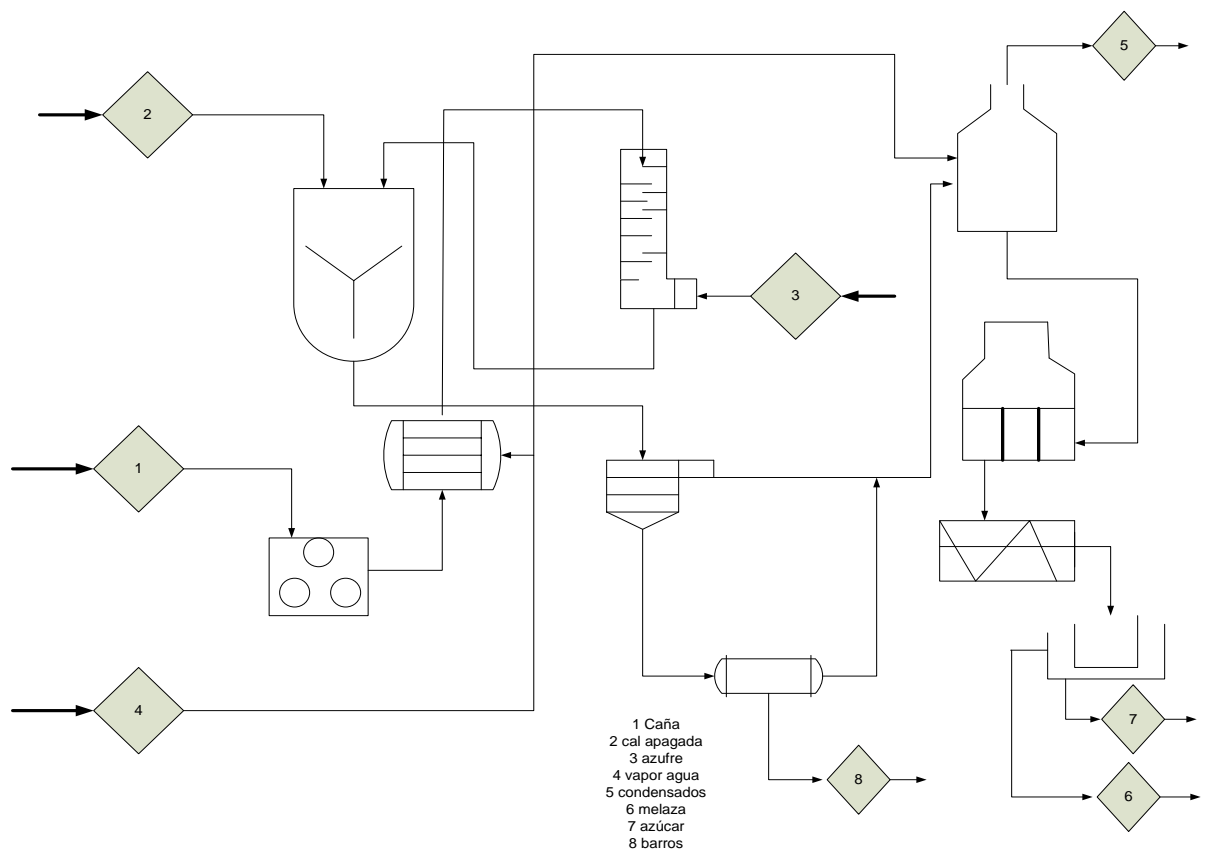
#### ✓ **Refinado**

Mediante la refinación, se eliminan o reducen las materias coloidales, colorantes o inorgánicas que el licor pueda contener. El azúcar disuelto se trata con ácido fosfórico y sacarato de calcio para formar un compuesto floculante que arrastra las impurezas, las cuales se retiran fácilmente en el clarificador.

El material clarificado pasa a unas cisternas de carbón que quitan, por adsorción, la mayor parte de las materias colorantes presentes en el licor. El licor resultante se concentra, se cristaliza de nuevo en un tacho y se pasa a las centrífugas, para eliminar el jarabe.

#### ✓ **Secado**

El azúcar refinado se lava con condensado de vapor, se seca con aire caliente, se clasifica según el tamaño del cristal y se almacena en silos para su posterior empaque.



Fuente: Manual de Industria Azucarera. Quezada, W. (2011), p.249.

### 2.1.3.4 Subproductos del proceso de obtención de azúcar

La melaza residual o melaza final es el **subproducto** de la industria azucarera del cual se ha abstraído el máximo de azúcar. Cuando se emplea la palabra melaza sin especificación, se suele referir a la melaza residual.

## 2.2 JUGO DE CAÑA

### 2.2.1 Definición

Se define jugo de caña al líquido obtenido de la molienda de la caña de azúcar, el mismo que es utilizado en las industrias productoras de panela, azúcar y alcohol.

### **2.2.2 Extracción**

Según el artículo ([www.revistaeidenar.univalle.edu.co/edicion](http://www.revistaeidenar.univalle.edu.co/edicion)) se menciona que, la extracción del jugo se lleva a cabo en los molinos y consiste en la compresión de la fibra de caña entre cilindros de gran tamaño llamados mazas.

Inmediatamente ante de la primera extracción de jugo la caña es troceada mediante cuchillas rotativas. Se trata que la caña quede en trozo lo más pequeño posible, aún hasta desmenuzarse, ya que esto facilita las etapas posteriores.

En ese momento ya esta lista la caña para su primer extracción. Esta se efectúa mediante dos rodillos superpuesto, que giran, uno en dirección opuesta al otro. Este equipo se llama desfibrador.

La caña pasa a través de una pequeña abertura entre los rodillos mencionados y así se obtiene el jugo llamado de primera extracción.

Este jugo es el más rico en azúcar por que proviene de la parte medular de la caña debido a la precisión ejercida sobre la caña troceada, rompe la célula de la medula y deja salir el jugo.

Dicho jugo se escurre por la llanura de los molinos y cae en una batea ubicada debajo de los molinos, a lo largo del trapiche.

Después de esta primera extracción la caña continúa su trayectoria trasportada mecánicamente hacia los molinos siguientes, o primer molino, que consta de tres cilindros están colocados dos a la par, y el tercero sobre los otros, guardando una distancia conveniente entre sí, los dos cilindros de abajo giran en el mismo sentido mientras que el otro rota en sentido contrario.

El jugo se vierte en la batea y la caña pasa al molino siguiente, y así sucesivamente hasta que la caña es despojada de todo o casi todo el jugo que contiene, quedando con residuos solamente la parte fibrosa de la misma, llamada



bagazo; este se usa generalmente como combustible, o la fabricación de papel, madera sintética etc.

El jugo extraído de las diferentes etapas del proceso, y depositado en la batea, se dirige en forma continua, impulsado por bombas, hacia la balanza de jugos donde se controla su peso. Una vez pesado se lo somete a una completa eliminación de impureza.

### 2.2.3 Composición del jugo de caña

**Cuadro 2.3:** Composición del jugo de caña de azúcar

<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje %</b>
<b>Agua</b>	<b>81-85</b>
<b>Solidos Solubles</b>	<b>15-21</b>
<b>Sales</b>	<b>0.23-0.67</b>
<b>Proteínas</b>	<b>0.08-0.11</b>
<b>Gomas-Almidones</b>	<b>0.05-0.05</b>
<b>Azucares</b>	
<b>Sacarosa</b>	<b>12.5-16.72</b>
<b>Glucosa</b>	<b>0.3-0.76</b>
<b>Fructosa</b>	<b>0.3-0.76</b>

**Fuente** ([www.revistaeidenar.univalle.edu.co/edicion](http://www.revistaeidenar.univalle.edu.co/edicion))

### 2.2.4 Usos

Es la principal materia prima para obtención de azúcar, y para la producción de Etanol, ya sea en forma de jugo de caña o como melazas (subproducto de la industria azucarera).

En la producción de panela, miel.

El jugo de las cañas crudas, peladas, fermentado, es una bebida agradable, muy sana y fortificante, llamada guarapo.

También se hace caña paraguaya, bebida alcohólica, la que, tomada en muy pequeñas cantidades, es muy tónica. Con el jugo puesto a fermentar con piña, marañones o cualquier otra fruta se fabrica una excelente sidra; pero para embotellarla hay que aplacar la fermentación y utilizar botellas muy resistentes, pues de otro modo revientan.

### **2.2.5 Importancia**

El primer producto de la molienda de la caña es el jugo o guarapo. Puede ser extraído mediante un solo paso del tallo en un trapiche artesanal con una eficiencia del orden de 0.66 (proporción de los azúcares totales extraídos) o a través de la molienda industrial cuando al ser pasada por cuatro o cinco molinos y adicionándose agua de imbibición, se logra aumentar el grado de extracción de los azúcares hasta una proporción de 0.97.

## **2.3 CACHAZA**

### **2.3.1 Definición**

Se denomina cachaza a la primera espuma de la caña cuando empieza a recogerse en el proceso de cocción. Según Leeson y Summers (2000) es el “Residuo que se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña durante la fabricación del azúcar o panela”.

([www.lrrd.org/lrrd2/2/sarria.htm](http://www.lrrd.org/lrrd2/2/sarria.htm), 2011). La cachaza obtenida en el proceso de purificación de los jugos en la industria panelera, presenta un valor tal, que se puede catalogar como un subproducto y no como un residual.

### **2.3.2 Obtención**

Se separan las impurezas que se encuentran por efecto del clarificador y calentamiento del jugo al coagular las ceras, gomas y otros.

Se debe descachazar el jugo de caña antes de que empiece a hervir (94 °f), eliminando la cachaza negra. Separada la cachaza negra se procede a separar la cachaza de color amarilla blanquecina.

### **2.3.3 Importancia**

(www.mesasectorialdepanelat.com, 2010). La Cachaza mejora la estructura superficial del suelo; aumenta su infiltración; es fuente de fósforo (P), Potasio (K), Nitrógeno(N), y materia orgánica que al descomponerse da Anhídrido Carbónico (CO<sub>2</sub>) y después ácido carbónico, aumentando la solubilidad del carbonato de Calcio (Ca, CO<sub>3</sub>) presente en el suelo, aportando así Calcio (Ca).

Es un desecho del proceso de fabricación industrial del azúcar cruda de caña; contiene mucho Nitrógeno, Calcio, Fósforo y Materia Orgánica en general por lo cual sirve como fertilizante de los suelos.

Factores agroindustriales que son determinantes en la composición de la Cachaza tales como: tipo de suelos, variedad de caña, clima, tipo de cosecha (manual, Máquina), sustancias clarificadoras de los jugos, cantidad de bagacillos usados para ayudar en la filtración de la Cachaza, temperatura del agua inhibidora del proceso de molienda, etc.

Apareciendo el nitrógeno como proteína y algunas formas simples amoniacales o nítricas; el fósforo se presenta como fósfolípido y nucleoproteínas o en forma de fosfato de calcio que procede del procedimiento de clarificación; contiene aproximadamente 0.4% de potasio. Al biodegradarse la Cachaza mantiene sus concentraciones de fósforo y calcio; variando la de nitrógeno por lo cual hay que

agregárselo al suelo, cuando la usamos como fertilizante en cañaverales.

### **2.3.4 Composición**

SOLANO L. A. (1989), señala que la composición de la cachaza es de 31.5% de M. S y 68.5 de humedad. De su materia seca un 70.0% es materia orgánica y el resto son compuesto minerales y otras sustancias (p.91).

En cuanto a la ceniza, lípidos y minerales la composición química de la cachaza es de acuerdo a valores promedios referidos a muestras secas (ICIDCA,1998.p.49).

Cenizas (14.9-31.0%), Lípido (10.7-16.9%) y Mg O (0.3-0.6%).

### **2.3.5 Usos**

SOLANO L. A. (1989), La cachaza, derivado del trapiche panelero, es un subproducto de la fabricación de panela. La producción de cachaza en el país no es continua en la mayoría de los trapiches, ya que depende de los días de elaboración de panela. Su utilización en la alimentación animal no ha sido racional debido a su fácil fermentación, su alto contenido de agua y a falta de investigación.

Es importante señalar el empleo de la cachaza como fertilizante.

La cachaza se usa en fresco (del mismo día) como complemento nutricional aportando carbohidratos, fibra, minerales y agua en mayor cantidad, por su alta humedad está predispuesta a procesos de fermentación (p.101).

### **2.3.6 La cachaza en la obtención de alcohol**

La cachaza al tener un alto contenido de azúcares, puede ser utilizada como

materia prima en la producción de alcohol al igual que jugo de caña y melaza.

En las zonas productoras de panela en la región norte del país es común la fermentación de la cachaza en forma artesanal para la obtención de alcohol en pequeñas cantidades, que es destinada para el consumo de los mismos productores.

La falta de tecnología en estas zonas rurales hace que la producción de alcohol a partir de cachaza sea mínima debido a la falta de conocimientos.

### **2.3.7 Importancia social de la agroindustria panelera**

TOALA G. y ASTUDILLO J. (2010). La caña de azúcar y sus derivados representan en la actualidad un rubro muy importante en la economía provincial, genera y proporciona trabajo a miles de familias de las provincias de Pastaza, Tungurahua, Cotopaxi, Imbabura, Chimborazo y Pichincha, a través de su participación en los procesos de cultivo, procesamiento, transportación y comercialización

En la provincia de Imbabura la caña además se comercializa como fruta y ha servido para que el nivel social y económico de la población haya mejorado a través de la historia, siendo en algunos sectores el elemento principal de la economía del agricultor, sumándose a esto la transformación del producto por medio de la agroindustria lo que ha significado dar un valor agregado a los productos terminados.

## **2.4 MELAZA**

### **2.4.1 Definición**

Las melazas, mieles finales, suelen ser definidas por muchos autores como los residuos de la cristalización final del azúcar de los cuales no se puede obtener más azúcar por métodos físicos.

También otros autores la definen como jarabe o líquido denso y viscoso, separado de la misma masa cocida final en la obtención de azúcar.

#### **2.4.2 Obtención**

Según QUEZADA W. (2011), la masa cocida se separa de la miel por medio de centrifugas, obteniéndose azúcar crudo o mascabado, miel de segunda o sacarosa líquida y una purga de segunda o melaza. El azúcar moscabado debe su color café claro al contenido de sacarosa que aún tiene.

Las melazas se emplean como una fuente de carbohidratos para el ganado (cada vez menos), para ácido cítrico y otras fermentaciones. (p.217)

La miel que sale de las centrifugas se bombea a tanques de almacenamiento para luego someterla a superiores evaporaciones y cristalizaciones en los tachas. Al cabo de tres cristalizaciones sucesivas se obtiene miel final, que se retira del proceso y se comercializa como materia prima para la elaboración de alcoholes y otros usos. (p. 218)

Para obtener la melaza de caña, básicamente la técnica consiste en la concentración del jugo obtenido directamente de la molturación de la caña de azúcar, sometido luego a un proceso de inversión ácida y evaporación al vacío.

#### **2.4.3 Composición de la melaza de caña de azúcar**

Es un buen suplemento energético, con un alto contenido de hidratos de carbono simples, de un agradable sabor y que contiene los minerales: potasio, hierro, fósforo, calcio y sodio.

Mieles Agotadas, es la miel final conocida como melaza, después del proceso de obtener azúcar. Una miel agotada generalmente tiene la composición siguiente.

**Cuadro 2.4:** Composición de la melaza.

Componente	Cantidad
Materias secas	80 %
Polarización	27
Sacarosa	36 %
No azúcares	44 %
Brix	90
Pv	45
Pg	40
Pa	30

**Fuente:** Manual de Industria Azucarera por Quezada W.

#### **2.4.4 Importancia**

TOALA G. y ASTUDILLO J. (2010). Como producto noble de primera extracción, contiene los hidratos de carbono simples y minerales de la caña de azúcar. Es un suplemento reconstituyente ideal para niños en edad escolar, convalecientes y ancianos.

Constituye un excelente complemento energético para deportistas y personas que practiquen ejercicio físico.

El azúcar tiene una importante participación en la economía nacional, su contribución al PIB es del 1.4 % y con relación al PIB agrícola es del 12%. En los últimos años se ha dado una integración vertical cada vez más significativa del sector, convirtiéndose en una de las agroindustrias más importantes del país.

En los seis ingenios azucareros laboran en época de zafra, 30.000 personas directamente y 80.000 indirectamente, que representan el 9 % de la población

económicamente activa del sector agropecuario.

#### **2.4.5 Usos**

Las mieles se utilizan como materia prima para la producción de alcohol etílico en la destilería.

Principalmente se emplea la melaza como suplemento energético para la alimentación de rumiantes por su alto contenido de azúcares y su bajo costo en algunas regiones. No obstante, una pequeña porción de la producción se destina al consumo humano, empleándola como edulcorante culinario.

Las melazas de mejor calidad se utilizan para endulzar alimentos tales como caramelos y bizcochos. Las de baja calidad, van a las fábricas de raciones para animales o se emplean en la fabricación del alcohol.

#### **2.4.6 La melaza en la obtención de alcohol**

(www.saludbio.com, 2010). Las mieles finales y los jugos del proceso de producción de azúcar pueden emplearse para la producción de alcohol, lo que permite disponer de un combustible líquido de forma renovable y la incorporación de los derivados tradicionales (tableros aglomerados, papel y cartón, cultivos alternativos para alimento animal y mieles finales).

#### **2.4.7 Beneficios y propiedades**

(www.saludbio.com, 2010). De acuerdo a la página web citada la melaza es recomendado para:

- ✓ el metabolismo.
- ✓ reduce los niveles de colesterol y/o triglicéridos en sangre.
- ✓ Antioxidante
- ✓ favorece la circulación sanguínea: evita la formación de trombos



- ✓ para el corazón: que incrementa la irrigación sanguínea.
- ✓ Antitrombótica: evita la formación de trombos o coágulos de sangre.
- ✓ Incrementa el efecto hipotensivo de los beta-bloqueantes, sin modificar el ritmo cardíaco.

El azúcar contiene:

- ✓ Vitaminas: B1, B2, A.
- ✓ Otros: sacarosa, glucosa (dextrosa), fructosa (levulosa). policosanol, ácido pantoténico, antioxidante.

## **2.5 ALCOHOLES**

### **2.5.1 Definición**

(www.invenia.es.2006). Los alcoholes son el grupo de compuestos químicos que resultan de la sustitución de uno o varios átomos de hidrógeno (H) por grupos hidroxilo (-OH) en los hidrocarburos saturados o no saturados.

### **2.5.2 Etanol**

(www.textoscientificos.com, 2008). Según el Instituto Interamericano para la Cooperación de la Agricultura, el alcohol etílico o Etanol, cuya fórmula química es  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ , es el componente activo esencial de las bebidas alcohólicas. Puede obtenerse a través de dos procesos de elaboración: la fermentación o descomposición de los azúcares contenidos en distintas frutas, y la destilación, consistente en la depuración de las bebidas fermentadas.

### **2.5.3 Clasificación de alcoholes**

Los alcoholes tienen uno, dos o tres grupos hidróxido (-OH) enlazados a sus moléculas, por lo que se clasifican en monohidroxílicos, dihidroxílicos y trihidroxílicos respectivamente.

El metanol y el etanol son alcoholes monohidroxílicos. Los alcoholes también se pueden clasificar en primarios, secundarios y terciarios, dependiendo de que tengan uno, dos o tres átomos de carbono enlazados con el átomo de carbono al que se encuentra unido el grupo hidróxido.

Los alcoholes se caracterizan por la gran variedad de reacciones en las que intervienen; una de las más importantes es la reacción con los ácidos, en la que se forman sustancias llamadas ésteres, semejantes a las sales inorgánicas. Los alcoholes son subproductos normales de la digestión y de los procesos químicos en el interior de las células, y se encuentran en los tejidos y fluidos de animales y plantas.

#### **2.5.3.1 Alcoholes superiores**

Son los alcoholes con un peso molecular superior al del alcohol etílico.

(www.invenia.es.2006). Los alcoholes superiores, de mayor masa molecular que el etanol, tienen diversas aplicaciones tanto específicas como generales: el propanol se usa como alcohol para frotar y el butanol como base para perfumes y fijadores. Otros constituyen importantes condimentos y perfumes.

#### **2.5.3.2 Materias primas para la obtención de etanol**

TOALA G. y ASTUDILLO J. (2010), señalan que la obtención de etanol a partir de almidón (maíz) es más complejo debido a que éste debe ser hidrolizado previamente para convertirlo en azúcar.

A partir de la celulosa es aún más complejo porque primero se debe realizar un pretratamiento de la materia vegetal, para que la celulosa pueda ser atacada por las enzimas hidrolizantes.

El rendimiento en la obtención de etanol es mayor a partir de sustancias con alto contenido de azúcares (como la caña de azúcar), el rendimiento es intermedio para sustancias que contienen almidón (como el maíz), y el rendimiento es bajo para las celulosas.

Por fermentación de melazas (o a veces de almidón); por tanto, sus fuentes primarias son el petróleo, la caña de azúcar, la remolacha azucarera y varios granos.

### **2.5.3.3 Usos del etanol**

El alcohol etílico, no solo es el producto químico orgánico sintético más antiguo empleado por el hombre, sino también uno de los más importantes. Sus usos más comunes son industriales, domésticos y medicinales.

La industria emplea mucho el alcohol etílico como disolvente para lacas, barnices, perfumes y condimentos; como medio para reacciones químicas, y para recristalizaciones.

Además, es una materia prima importante para síntesis; su obtención puede darse de dos maneras fundamentalmente: preparamos alcohol etílico por hidratación del etileno o bien por fermentación de melazas (o a veces de almidón); por tanto, sus fuentes primarias son el petróleo, la caña de azúcar, la remolacha azucarera y varios granos.

Como combustible el alcohol anhidro puede se utiliza en diferentes proporciones. A parte de los combustibles tradicionales existen otros tipos de combustibles alternativos

### **2.5.3.4 Importancia**

Según; TOALA G. y ASTUDILLO J. (2010). Ecuador produce diariamente 125.000 litros de alcohol para bebidas alcohólicas, especialmente. La producción privada de etanol está a cargo de tres fábricas: Producargo, asociada al ex Ingenio Azucarero Aztra (75 mil litros/día); Sideral S.A., asociada al Ingenio San Carlos (20 mil lt/día), y Codona S.A., asociada al Ingenio Valdez (30 mil lt/día).

Ecuador exporta entre el 70 y el 80% del alcohol que se fabrica, es decir, entre unas 20 y 30 mil toneladas, según los industriales guayaquileños.

El etanol se lo puede generar no solo de la caña, sino también del banano, yuca, arroz, maíz, trigo, sorgo, cebada y otros productos.

#### **2.5.4 Fabricas productoras en el país.**

En la investigación realizada por TOALA G. y ASTUDILLO J. (2010), se menciona que la producción privada de etanol está (www.mesasectorialdepanelat.com, 2010) a cargo de tres fábricas: Producargo, asociada al ex Ingenio Azucarero Aztra (75 mil litros/día); Sideral S.A., asociada al Ingenio San Carlos (20 mil lt/día), y Codona S.A., asociada al Ingenio Valdez (30 mil lt/día).

A continuación se mencionan algunas fábricas productoras de alcohol:

- PRODUCARGO S.A. PRODUCTORA DE ALCOHOLES (Ecuador, GUAYAS)
- SODERAL SOCIEDAD DE DESTILACION DE ALCOHOLES S.A. (Ecuador, GUAYAS)
- UNION TEMPORAL CODANA S.A. SODERAL (Ecuador, GUAYAS)
- LICORES SAN MIGUEL S.A. (Ecuador, GUAYAS)
- CODANA S.A. (Ecuador, GUAYAS)
- SODERAL S.A. (Ecuador, GUAYAS)

- Suramericana de Licores (Vía a Daule Km 10.5-Guayas)
- DESTILERÍA ZHUMIR CIA. LTDA. (Ecuador, GUAYAS)
- Licores de América “LICORAM” (Ibarra - Ecuador)

### **2.5.5 Producción actual en el País.**

Ecuador produce diariamente 125.000 litros de alcohol para bebidas alcohólicas, especialmente. La producción privada de etanol.

Ecuador exporta entre el 70 y el 80% del alcohol que se fabrica, es decir, entre unas 20 y 30 mil toneladas, según los industriales guayaquileños.

El etanol se lo puede generar no solo de la caña, sino también del banano, yuca, arroz, maíz, trigo, sorgo, cebada y otros productos.

En la actualidad el país cuenta con aproximadamente 78.000 hectáreas de cultivo de caña de azúcar, que producen alrededor de 10 millones de sacos de 50 kilos de azúcar anualmente, pero el consumo interno es de solo 7,5 millones de sacos.

Además existen 55.000 hectáreas de caña de azúcar cultivadas en todo el territorio nacional para la producción de otros derivados como panela, aguardiente, mieles, confites, caña fruta, etc.

### **2.5.6 Rendimientos y costos.**

En el “**Proyecto de implementación de una planta productora de etanol en base a la caña de azúcar, en la península de Santa Elena, provincia del Guayas**” realizado por TOALA G. y ASTUDILLO J. (2010). Se pueden obtener cerca de 70L de EtOH/ton de caña y 9L EtOH/ton de melaza grado C, además de cerca de 100kg de azúcar (Moreira y Goldemberg, 1999), citado por Toala G. y Astudillo J. (2010).

Para efectos de costeo, Murtagh (1995), citado por Toala G. y Astudillo J. (2010) estimó que se debe esperar un rendimiento de 58 galones de EtOH a partir de 1 ton de melazas que contengan un 46% de azúcares. El microorganismo más utilizado es *S. cerevisiae* por su capacidad de hidrolizar la sacarosa de la caña de azúcar para su conversión hasta glucosa y fructosa, dos hexosas fácilmente asimilables

La posibilidad de obtener una fuente renovable de energía de fácil acceso, segura y efectiva es una de las metas que la humanidad debe alcanzar. El alcohol etílico obtenido por métodos biotecnológicos se constituye en una importante alternativa frente a los combustibles fósiles.

La producción de EtOH a partir de caña de azúcar muestra los menores costos de producción, seguida por el proceso a partir de almidón de maíz. Finalmente, los costos del EtOH a partir de biomasa lignocelulósica siguen siendo elevados, razón por la cual no se ha puesto en funcionamiento hasta el momento una planta comercial que transforme esta materia prima. Sin embargo, muchos centros de investigación de diferentes países están adelantando estudios con miras a disminuir estos costos y llevarlos a niveles rentables para una operación industrial.

La globalización del empleo del bioetanol requiere que la tecnología de su obtención a partir de biomasa sea desarrollada completamente.

La producción privada de etanol está a cargo de tres fábricas: Producargo, asociada al ex Ingenio Azucarero Aztra (75 mil litros/día); Sideral S.A., asociada al Ingenio San Carlos (20 mil lt/día), y Codona S.A., asociada al Ingenio Valdez (30 mil lt/día). **El costo promedio de etanol anhidro por litro en estas fábricas es de USD 0,55.**

El costo de producción de cada litro en Brasil, es aproximadamente \$0,23; en EE.UU. de \$0.35 y en Centroamérica de 33 centavos de dólar; pero el precio

internacional sobrepasa los \$0,65. El costo de Ecuador está en la media de lo que cuesta en Brasil y Centroamérica.

### **2.5.7 Procesos en la obtención de alcohol.**

El papel esencial de la fermentación alcohólica es formar de manera óptima el etanol y los productos secundarios.

González y Jover (2002), manifiestan que el proceso para la producción de etanol por vía fermentativa tiene dos etapas fundamentales:

- ✓ La fermentación y la destilación.

#### **2.5.7.1 Procesos Tradicionales**

Según González y Jover (2002), citado por Alvear L. Para la investigación Influencia de la urea como fuente nutritiva de nitrógeno en cepas de levaduras *saccharomyces cerevisiae* para la obtener alcohol de la caña de azúcar. En el procedimiento utilizado actualmente para producir el etanol, la caña es exprimida para retirar el caldo y luego fermentarlo para transformar el azúcar en etanol.

La producción de alcohol de caña de azúcar es una manera de ganarse la vida para muchas familias en esta región de Ecuador. En las estribaciones de la cordillera de los Andes, la mayoría de los agricultores cultivan y cosechan la caña de azúcar a mano y producen el alcohol por medio de un proceso tradicional. Muchas de estas familias cultivan sin el uso de químicos y algunas de ellas han obtenido ahora la certificación orgánica oficial.

Luego, la caña de azúcar se transporta a mano al molino si este se encuentra cerca, de lo contrario se transporta a caballo o en burro.

Los molinos de caña de azúcar tradicionales son propulsados por caballos o burros. El animal camina en círculos arrastrando un poste de madera duro que hace girar las ruedas del molino, mientras que los tallos de caña se introducen cuidadosamente entre dos rodillos pesados. Al residuo de los tallos de caña de azúcar molidos se lo conoce como 'bagazo' y éste se utiliza como combustible para las destilerías, lo cual evita la necesidad de talar árboles para leña.

El jugo de la caña de azúcar se vierte del molino a tanques. Es una bebida deliciosa, pero para producir alcohol debe fermentar durante unos días. Al jugo se le puede agregar levadura, pero también fermentará con levadura natural del aire.

#### **2.5.7.2 Procesos Modernos**

BROCK, T. y MADIGAN, M. (1993). El nuevo proceso pretende utilizar la glucosa presente en el bagazo resultante. Para ello es necesario separar la celulosa de la lignina para luego ser tratada con enzimas que permitan convertir la celulosa en glucosa. Una vez obtenida la glucosa, ésta se procesa de la misma manera que el caldo de la caña, fermentándose para obtener el alcohol.

Este proceso moderno se basa en la fermentación en un tanque del cual se retira una corriente del líquido que va a una centrífuga. De la centrífuga se retira continuamente una corriente de levadura concentrada que se recircula al fermentador y otra corriente sin levadura que se envía a una torre de destilación; se logran así mayores rendimientos de alcohol debido a la baja formación de inhibidores, subproductos y bacterias en razón a los bajos tiempos de residencia alcanzados para el proceso de fermentación (3-6h). (p.183)



## 2.6. Fundamentos bioquímicos de la fermentación alcohólica.

Así el descubrimiento de Buchner en 1897, de que un extracto de levadura del que se habían eliminado las células intactas por filtración conservaba la capacidad de fermentar la glucosa a etanol, demostraba que las enzimas de la fermentación pueden actuar independientemente de la estructura celular.

Los combustibles más corrientes para la fermentación son los azúcares, en especial la D-glucosa, pero algunas bacterias pueden obtener su energía metabólica efectuando la fermentación de ácidos grasos, aminoácidos, las pirimidinas según las especies. Una clase de fermentación importante de la glucosa, es la fermentación alcohólica.

Para muchas levaduras en un medio adecuado, la fermentación significa la conversión de hexosas, principalmente glucosa, fructosa, mañosa y galactosa en ausencia de aire, en los siguientes productos finales:

Producción de alcohol se lleva a cabo por la acción de enzimas suministradas por la levadura y favorecida por acción de los fosfatos adicionados mediante series de reacciones. Los trabajos de Gay Lussac condujeron a establecer la siguiente ecuación de la fermentación alcohólica



### 2.6.1 Producción de alcohol etílico.

Según CHEN (1991) Menciona que, “el alcohol etílico se puede producir a partir de las mieles. La fermentación de las mieles es el resultado de la acción de las levaduras, las que intervienen primero la sacarosa mediante la invertasa que producen. Luego, las levaduras convierten el azúcar invertido en alcohol etílico y bióxido de carbono” (p.492).

Por lo general, se utilizan las siguientes ecuaciones para calcular la recuperación teórica (RT) y la eficiencia de la fermentación (EF).

RT = Total de azúcar fermentable x 0.64 \*

\* de acuerdo con la ecuación de Gay-Lussac, 1 g de glucosa produce 0.64 ml de etanol.

$$\%EF = \frac{\text{RECUPERACIÓN REAL}}{\text{RECUPERACIÓN TEÓRICA}} \times 100$$

González y Jover (2002), afirman que durante la fermentación alcohólica, aparte de la formación de alcohol etílico, se forman microcomponentes, y los de mayor trascendencia son: alcoholes superiores, esteres, ácidos orgánicos y aldehídos, ya que son los que en mayor proporción aparecen en los destilados.

### **2.6.2 La Fermentación Alcohólica**

El papel esencial de la fermentación alcohólica es formar de manera óptima el etanol y los productos secundarios. La fermentación alcohólica es el proceso por el que los azúcares contenidos en el mosto se convierten en alcohol etílico.

(www.diccionariodelvino.com, 2005)

Para llevar a cabo este proceso es necesaria la presencia de levaduras

Según De la Rosa T. (1998), "la fermentación alcohólica es aquel fenómeno, estrechamente ligado a la actividad vital de las levaduras presentes en el mosto y reguladas por su carga enzimática, por lo cual los azúcares originariamente presentes dan origen a alcohol, anhídrido carbónico y otros productos secundarios. (p.98)

Para Flanzy C. (2000), "el etanol representa el producto principal de la

fermentación alcohólica y puede alcanzar concentraciones de hasta 12 a 14% vol. La síntesis de 1 grado de etanol (1%) vol. (p. 284)

El CO<sub>2</sub> representa el segundo producto de la fermentación alcohólica. Según la cepa de levadura utilizada se puede considerar un rendimiento medio de gas carbónico de 0,4 a 0,5 gramos de CO<sub>2</sub> por gramo de azúcares degradados.

### 2.6.3 Congéneres

Según García G. (1993) Estos compuestos son alcoholes, carbonilos, ácidos orgánicos, ésteres y compuestos azufrados, que en conjunto reciben el nombre de congenéricos.

Si bien la formación de estos compuestos es en general deseable, hay algunos que no lo son y su contracción debe ser lo más baja posible. Dos ejemplos de esta situación son el metanol, alcohol de muy alta toxicidad y el diacetilo el cual confiere a la bebida un sabor desagradable, (p.266).

**Cuadro 2.5:** Principales congenéricos presentes en las bebidas alcohólicas

TIPO DE COMPUESTO	COMPUESTO
Alcoholes pesados (Aceite de fusel)	C3 C4 C5 N-propanol butanol, iso-butanol, sec-butanol amilico, isoamilico, amilico activo
Otros alcoholes	glicerol, 2-feniletanol
Carbonilos Aldehídos (cetonas)	acetaldehído, acetona, 2,3-pentanodiona
Ácidos orgánicos	fórmico, acético, propionico, láctico, butílico
Ésteres	acetato de etilo, formiato de etilo acetato de isoamilo, acetato de metilo.

**Fuente:** García G. (1993), "Biotecnología Alimentaria" (p. 266)

Se indica los principales congenéricos presentes en las bebidas alcohólicas, los más comunes son: n-propanol, iso-butanol, amilico, acetaldehído, ácido acético, acetato de etilo.

#### **2.6.4 Condiciones Para la Fermentación Alcohólica**

Los factores que se deben tener en cuenta para que la fermentación alcohólica son los siguientes:

##### **2.6.4.1 Cultivo Iniciador**

Según De la Rosa T. (1998), en la utilización de levaduras liofilizadas dice, 1 gramo de levaduras desecadas contiene de 10 a 30 millones de células prevalentemente vitales, por lo que se recomienda la adición de 15 a 20 g/hl de mosto, (p. 158)

No es aconsejable superar las dosis citadas dado que, además de los costos suplementarios, se corre el riesgo de un proceso excesivamente rápido, con rendimientos menores como graduación alcohólica y calidad del producto terminado.

##### **2.6.4.2 Levaduras y clasificación**

La levadura *Sacharomyces cerevisiae* se ha convertido en los últimos años en un organismo seleccionado para su estudio por la biología celular y la genética: los conocimientos fundamentales que se desprenden aún hoy día permiten clarificar desde una nueva óptica la biología de este organismo y su adaptación al metabolismo fermentativo. Esta es la razón de que se hayan producido numerosos progresos en el conocimiento de la fermentación alcohólica.

La fermentación alcohólica en condiciones enológicas se efectúa en cuasi-anaerobiosis (cantidad de oxígeno disponible en el mosto al comienzo de la fermentación inferior a 10 mg de O<sub>2</sub> por litro). El metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae* en tales condiciones es pues estrictamente fermentativo.

De la Rosa T. (1998) considera las levaduras son microorganismos fúngicos unicelulares, dotados de especial facultad zimógena. Esto último se refiere a la capacidad de biosíntesis del complejo enzimático responsable de la fermentación alcohólica, (p. 141)

La forma de las levaduras es muy variable y depende tanto de la especie como de las condiciones de cultivo. En condiciones normales se distinguen 4 tipos:

- |                                   |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| - <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | células redondeadas |
| - <i>Saccharomyces elípsoides</i> | células clípticas   |
| - <i>Saccharomyces apiculatus</i> | forma de limones    |
| - <i>Saccharomyces uvarum</i>     | forma de salchichas |

En cuanto al tamaño Palacios H. (1956) afirma que: el tamaño de las levaduras suele estar comprendido entre 5 y 8 micras, (p. 61).

### ✓ **Clasificación**

Existen en la naturaleza numerosas especies de levadura, pero las de mayor interés industrial en el campo de las bebidas alcohólicas corresponden al género *Saccharomyces*; este género comprende 30 especies y 3 variedades que se distinguen por su acción fermentativa y su capacidad de asimilación de diversos azúcares.

Las levaduras utilizadas en la industria de bebidas fermentadas son:

### *Saccharomyces cerevisiae*

Según González S. (1978) "esta especie es típica de fermentación alta de la industria cervecera, sus colonias son blandas, húmedas y de color crema. Fermentan la galactosa, la sacarosa, la maltosa y la rafmosa, y no utiliza nitritos, (p.4).

### *Saccharomyces uvaruní*

Según De la Rosa T. (1998) "esta levadura se caracteriza por células frecuentemente grandes, alargadas y en forma de salchicha fermentan la glucosa, sacarosa, maltosa y rafinosa. (p. 147).

#### ✓ **Requerimientos Nutricionales.**

De las fuentes de carbono y energía que pueden emplear las levaduras figuran en primer lugar la glucosa y la sacarosa, aunque también pueden emplearse fructuosa, galactosa, maltosa y huerdo hidrolizado.

El nitrógeno asimilable debe administrarse en forma de amoniaco, urea o sales de amonio, aunque también se pueden emplear mezclas de aminoácidos. Ni el nitrato ni el nitrito pueden ser asimilados.

Según Carpenter (1979) manifiesta que, al analizar las levaduras afirma que estos microorganismos necesitan los elementos: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio, hierro, cinc, manganeso, cobre y molibdeno.

Estévez (1997) reporta que, en la etapa fermentativa se emplean diferentes tipos de nutrientes.

Los más utilizados son sulfato de amonio y urea como suministradores de nitrógeno, como aportador de fósforo se emplea el fosfato dibásico o simplemente

fosfato de amonio. Los nitratos y nitritos no son metabolizados por la *Saccharomyces cerevisiae*.

#### **2.6.4.3 pH del Mosto**

Carpenter (1988), indica que la reacción óptima para un proceso fermentativo con levaduras se lo debe realizar a un pH de 4.5 y 5.0.

Según Gonzáles S. (1978) "la fermentación continua satisfactoriamente cuando el pH del mosto ha sido ajustado entre 4 y 4.5. Este pH favorece a las levaduras y es lo suficientemente bajo para inhibir el desarrollo de muchos tipos de bacterias. (p.26)

Palacio H. (1956) dice la variación de pH de los mostos quedan supeditadas además del normal desarrollo de las levaduras a que no se perturbe o inhiba el poder enzimático de las enzimas, (p. 260)

#### **2.6.4.4 Concentración de Azúcar**

Según Betancourt (2001) manifiesta que para la multiplicación inicial de la levadura, la concentración de azúcares debe mantenerse en niveles bajos.

Del 10 a 22 % de concentración de azúcar es satisfactoria, en ocasiones se emplean concentraciones demasiado altas que inhiben el crecimiento de las levaduras.

#### **2.6.4.5 Oxígeno Necesario**

Betancourt (2001), manifiesta que la presencia de oxígeno tiende a proporcionar una menor producción de alcohol, ya que la levadura pasará a oxidar carbohidratos por medio de la respiración, llevando a la proliferación de levadura y no a la producción de alcohol.

#### **2.6.4.6 Temperatura**

Según González S. (1978) menciona que la fermentación pueda tener lugar en un rango de temperaturas desde los 13-14 °C hasta los 33-35 °C. Las levaduras son microorganismos mesófilos.

Cuanto mayor sea la temperatura dentro del rango establecido mayor será la velocidad del proceso fermentativo siendo también mayor la proporción de productos secundarios.

Sin embargo, a menor temperatura es más fácil conseguir un mayor grado alcohólico, ya que las altas temperaturas hacen fermentar más rápido a las levaduras llegando a agotarlas antes

### **2.7 DESTILACION**

#### **2.7.1 Artesanal**

El jugo fermentado se vierte en un tanque y se calienta sobre un fuego de bagazo.

El calor hace que el jugo se evapore y este vapor pasa a través de un alambique, el cual tradicionalmente está hecho de cobre, aunque hoy en día también se fabrican con acero inoxidable. El vapor pasa ahora por una serpentina o tubo espiralado. El agua fría de un arroyo cercano se usa para enfriar el alambique y volver a condensar el vapor hasta obtener un líquido transparente que se recoge del otro extremo del alambique. El agua vuelve a enfriarse en su recorrido al arroyo y regresa así al ecosistema.

El líquido producido con el alambique se conoce como ‘aguardiente’ y tiene un 60% de contenido alcohólico. La graduación se mide utilizando un hidrómetro para determinar la gravedad específica. El precio que obtienen los agricultores por su aguardiente varía dependiendo de su contenido alcohólico.



El aguardiente se transporta ahora dentro de tanques de plástico hasta el punto de recolección local, ya sea a caballo, burro o detrás del autobús. De allí será llevado al punto de recolección principal de la cooperativa de cañicultores para ser rectificado en una fábrica que producirá alcohol con una graduación de entre 70 y 96 por ciento.

## **2.7.2 Industrial**

**2.7.2.1 Destilación simple:** Aquella que se realiza en una única etapa. Se utiliza cuando los dos componentes de una mezcla tienen entre sus puntos de ebullición una diferencia de 80 °C por lo menos. Al calentar, destila el componente más volátil y queda el menos volátil como residuo.

**2.7.2.2 Destilación fraccionada:** Si la diferencia entre las temperaturas de ebullición de los componentes de una mezcla es menor de 80 °C, la separación de ambos se realiza por destilaciones sencillas repetidas de los sucesivos destilados, o utilizando columnas de destilación fraccionada mediante las que se obtiene como destilado el producto más volátil. ([www.monografias.com/destilación.htm](http://www.monografias.com/destilación.htm). noviembre/2010)

## **CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 MATERIALES**

#### **3.1.1 Materiales y Equipos de Proceso**

- Envases Plásticos de 18 lt.
- Envases Plásticos de 3lt.
- Envases Plásticos de 1lt.
- Olla de Aluminio
- Cocina Industrial
- Mangueras
- Colador
- Jarras
- Embudos
- Guantes
- Balanza gramera digital
- pH metro
- Refractómetro
- Alcoholímetro

#### **3.1.2 Materiales de Laboratorio**

- Probeta de 1000 y 250 ml
- Termómetro
- Vaso de precipitación de 500 ml

- Cronómetro
- Mechero de gas
- Alambique

### 3.1.3 Materia Prima e insumos

- Jugo de caña
- Cachaza (APROPANOR)
- Melaza (IANCEM)
- Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*)
- Acido cítrico

## 3.2 MÉTODO

### 3.2.1 Características del área de estudio

#### Ubicación

- ✓ Situación política.

**Provincia:** Imbabura  
**Cantón:** Ibarra  
**Parroquia:** El Sagrario

- ✓ Características climáticas:

**Temperatura:** 17,4 °C  
**Altitud:** 2250 m.s.n.m.  
**Humedad relativa:** 73 %  
**Longitud:** 78° 08' Oeste

**Fuente:** Departamento de Meteorología de la Dirección de Aviación Civil Aeropuerto Militar Atahualpa de la ciudad de Ibarra.

La presente investigación se realizó en el “Laboratorio de Azúcares de la Universidad Técnica del Norte” el mismo que está ubicado en la ciudadela San Andrés en la Parroquia del Sagrario; y el análisis del producto final se envió al laboratorio de control de calidad LICORES DE AMERICA “LICORAM”.

### 3.2.2 Factores en Estudio

**FACTOR A:** Tipo de materia prima (jugo de caña, cachaza y melaza) (19 °Brix)

A1= Jugo de caña

A2= Cachaza panelera

A3= Melaza azucarera (IANCEM)

**FACTOR B:** cantidad de fermento (*Saccharomyces cerevisiae*)

B1= 0.15 g/lt

B2= 0.20g/lt

### 3.2.3 Tratamientos en Estudio

**Cuadro 3.1:** Tratamientos en estudio

Tratamientos	Factor A	Factor B	Combinaciones
T1	A1	B1	A1B1
T2	A1	B2	A1B2
T3	A2	B1	A2B1
T4	A2	B2	A2B2
T5	A3	B1	A3B1
T6	A3	B2	A3B2

### 3.2.4 Diseño Experimental

En esta investigación se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo Factorial: A x B

### 3.2.5 Características del Experimento

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) donde en factor A es el tipo de materia prima utilizada en la investigación y el factor B es la cantidad de fermento (*Saccharomyces cerevisiae*) por litro de mezcla (dilución), obedeciendo a un arreglo factorial de A x B.

Número de repeticiones	Tres (3)
Número de tratamientos	Seis (6)
Número de unidades experimentales	Dieciocho (18)

### 3.2.6 Unidad Experimental

Cada unidad experimental estuvo conformada por 15 litros, la misma que fue elaborada con el jugo de caña, cachaza y melaza.

### 3.2.7 Análisis Estadístico

**Cuadro 3.2:** Esquema del ADEVA

F de V	GL
TOTAL	17
TRATAMIENTOS	5
FACTOR A	2
FACTOR B	1
FACTOR AxB	2
Error Experimental	12

### 3.2.8 Análisis Funcional

Se calculó el Coeficiente de Variación (CV), prueba de Tukey al 5% para tratamientos, para el factor A, el factor B la prueba de Diferencia Mínima Significativa (D.M.S.). La prueba de Friedman para pruebas no paramétricas, como olor, color y sabor.

### 3.2.9 Variables a Evaluarse

Las variables cuantitativas evaluadas para materias primas fueron ° Brix, pH y soluto en la solución. Durante la fermentación se considero sólidos solubles, pH durante el proceso además sólidos solubles finales y al producto terminado Aldehídos, Alcoholes Superiores, Esteres, Metanol, Grado Alcohólico y Rendimiento.

#### 3.2.9.1 En Materia Prima

- ✓ **Sólidos Solubles (°Brix):** con la finalidad de evaluar el porcentaje de sólidos solubles presentes en el jugo de caña, cachaza y melaza; se empleó un refractómetro de escala 0° a 32° Brix.
- ✓ **pH:** para la obtención de los valores de pH en todas las materias primas utilizadas en la investigación se utilizó el pHmetro, estos valores fueron tabulados para realizar los análisis que se detallan en análisis de variables para materia primas.
- ✓ **Soluto en la solución:** se midió con la ayuda de un recipiente graduado en litros para determinar la cantidad de soluto necesario para realizar la dilución, se determino la cantidad de solvente en todos los tratamientos utilizando la siguiente fórmula:

$$M_i \times B_i = X \times B_f$$

### 3.2.9.2 Durante el Proceso

- ✓ **Sólidos Solubles durante la fermentación:** con el objeto de determinar las curvas de fermentación del mosto, se empleó un refractómetro de escala 0° a 32° Brix, la toma de datos se efectuaron cada 7 horas en todos los tratamientos.
- ✓ **Sólidos Solubles finales:** se empleó un refractómetro de escala 0° a 32° Brix estos valores se los determino al no registrar descensos en los valores del °Brix en cada uno de los tratamientos.
- ✓ **pH durante la fermentación:** se utilizo en la investigación pHmetro perteneciente al laboratorio de azúcares, los datos se registraron durante la fermentación en un periodo de 12 horas entre cada registro, esto se aplico a todos los tratamientos.
- ✓ **pH finales:** se empleó un pHmetro perteneciente al laboratorio de azúcares, estos valores se los determino al no registrar descensos en los valores de pH en cada uno de los tratamientos.

### 3.2.9.3 Producto Terminado

- ✓ **Rendimiento de alcohol:** Se midió el volumen de alcohol destilado en relación al sustrato utilizado por 100. Con el objeto de conocer el rendimiento de alcohol de cada tratamiento.

Donde:

$$R = \frac{\text{Alcohol destilado (lt)}}{\text{Volumen de la disolución (lt)}} \times 100$$

- ✓ **Grado alcohólico:** se empleó un alcoholímetro, con la finalidad de determinar la cantidad de grados de alcohol presentes en el producto final.

- ✓ **Aldehídos, Alcoholes Superiores, Esteres, Metanol:** En esta variable se determino el mejor tratamiento en cada repetición, con respecto al rendimiento y grado alcohólico, los mismos que se sometió a los respectivos análisis ya mencionados. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de control de calidad LICORES DE AMERICA “LICORAM” para determinar la cantidad Aldehídos, Alcoholes Superiores, Esteres, Metanol en el producto final.

### 3.2.9.2 Análisis Sensorial

La calidad cualitativa se determinó únicamente al producto terminado, mediante análisis sensorial, con la finalidad de determinar el grado de aceptabilidad del producto.

Se realizó con un panel de 6 catadores, que con la ayuda de la guía instructiva y la hoja de encuesta se procedió a evaluar: sabor, color y olor.

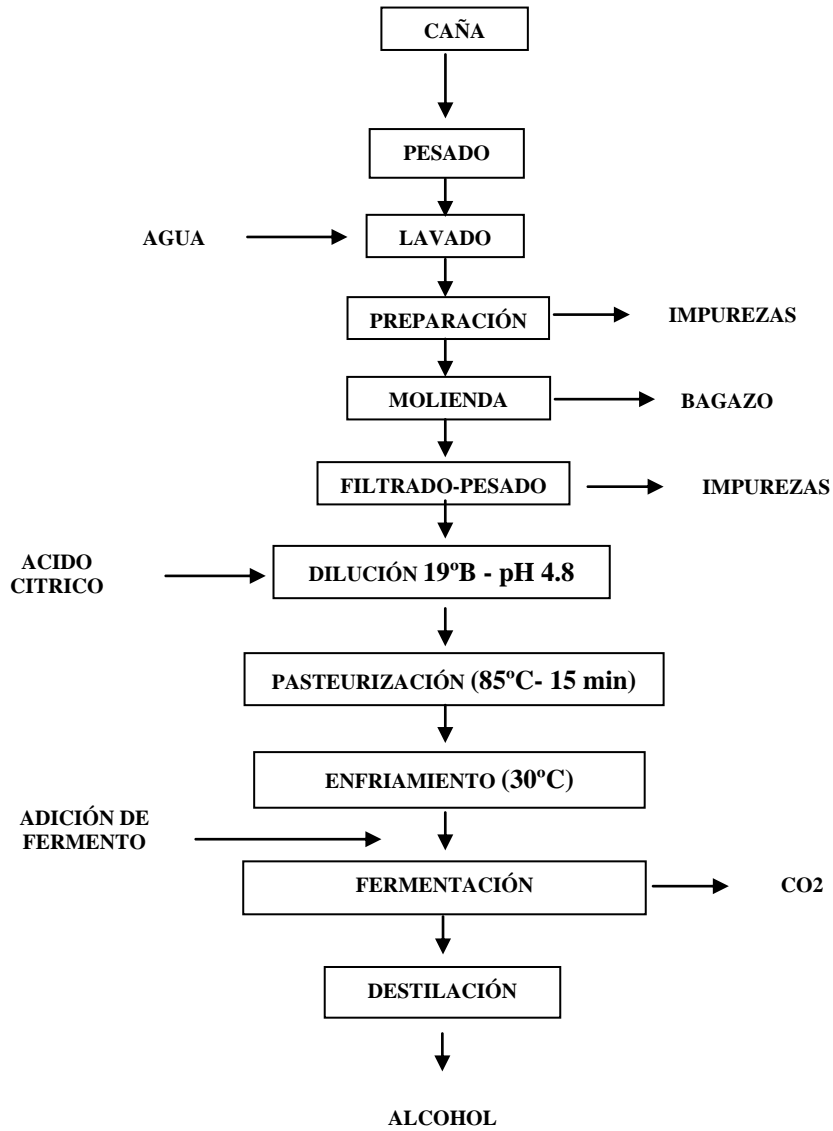
- ✓ **Sabor:** debe ser característico, agradable, suavidad, amargor y dulzor considerando su grado alcohólico.
- ✓ **Color:** El color del alcohol es transparente, translucido, no debe presentar color amarillento ni aspecto turbio, sólidos en suspensión o materias extrañas.
- ✓ **Olor:** No debe presentar olores ajenos a la caña u olores característicos al producto, ni malos olores o ausencia del mismo.

### 3.2.10 Manejo Específico Del Experimento

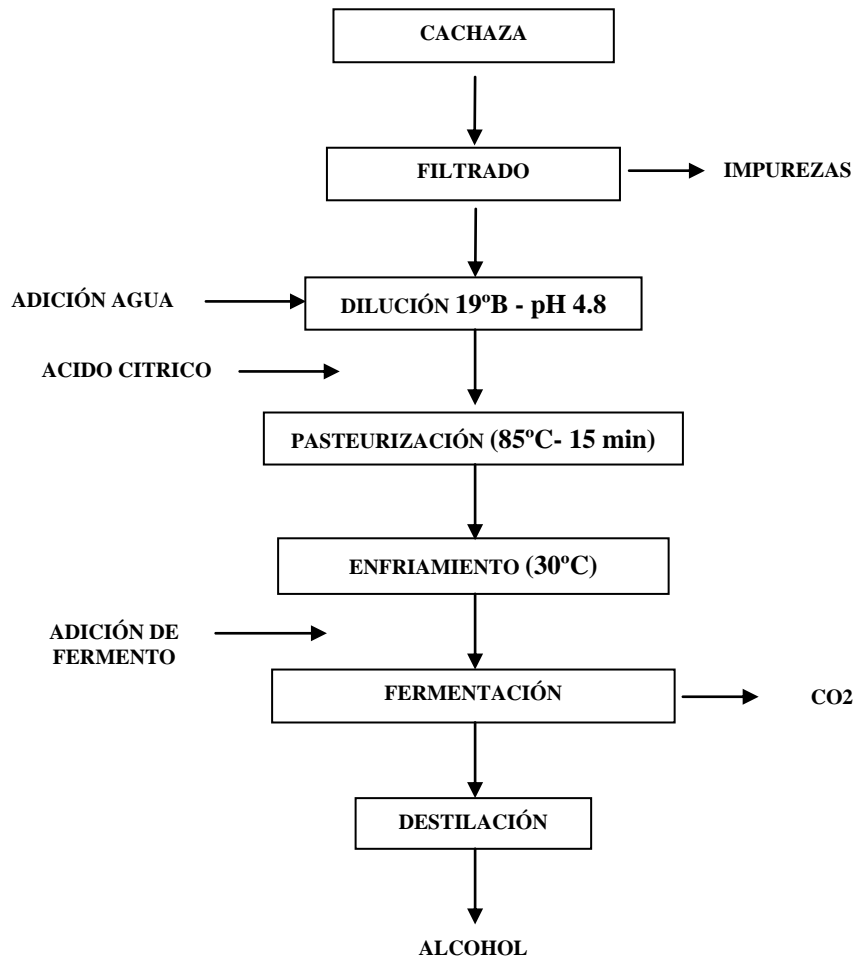
El manejo específico del experimento, se lo realizó en las mismas condiciones para cada una de las materias primas a evaluarse.



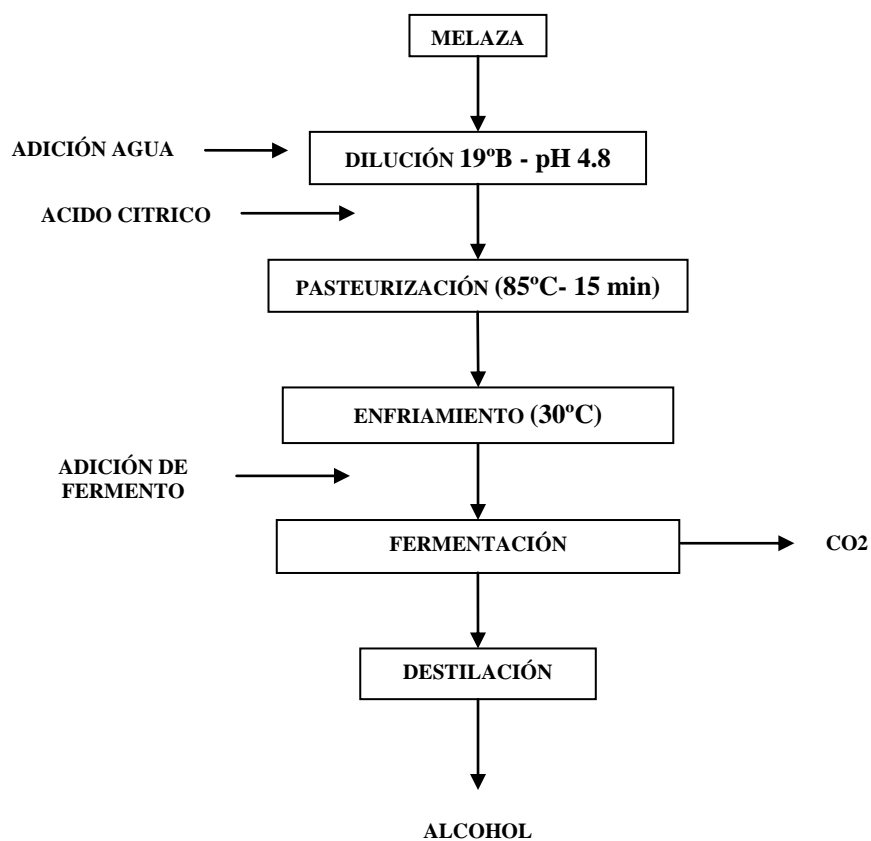
### 3.2.10.1 Diagrama de Bloques para la Obtención de Alcohol A Partir de Jugo De Caña.



### 3.2.10.2 Diagrama de Bloques para la Obtención de Alcohol a Partir de Cachaza



### 3.2.10.3 Diagrama de Bloques para la Obtención de Alcohol a Partir de Melaza



### 3.2.11 Descripción del Proceso para la Obtención de Alcohol a Partir de Jugo de Caña, Cachaza y Melaza.

#### ✓ Adquisición y recepción de la materia prima e insumos:

El jugo de caña se obtuvo a través de la molienda de la caña en el laboratorio de azúcares de la UTN.

La melaza se adquirió en el Ingenio Azucarero IANCEM y la cachaza en la panelera APROPANOR ubicada en la parroquia de Urcuquí.

El fermento (*Saccharomyces serviciase* liofilizada) se adquirió en la distribuidora de LEVAPAN.

- ✓ **Obtención del mosto:** El jugo de caña se acondicionó a 19°Brix, el cual sirvió como referente para las demás diluciones.

Se realizó la disolución de la melaza o cachaza con adición de agua, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula siendo constante los grados Brix finales (19°):

$$M_i \times B_i = X \times B_f$$

$$X = \frac{M_i \times B_i}{B_f}$$

Donde:

X= Cantidad de agua adicionarse (lt.).

M<sub>i</sub>= Cantidad de melaza o cachaza (lt.)

B<sub>i</sub>= Grados Brix inicial

B<sub>f</sub>= Grados Brix final (19°).

Después de realizar las disoluciones a 19° Brix se procedió a incorporar ácido cítrico hasta llegar a un pH de 4,8.

- ✓ **Filtrado:** Se utilizó un tamiz, con la finalidad de retirar las impurezas que se encuentren en el mosto.
- ✓ **Pasteurizado:** Se realizó a 85 °C durante 15 minutos, con el objeto de eliminar microorganismos no deseados en el proceso de fermentación.

- ✓ **Enfriamiento:** Se disminuyó la temperatura de la dilución de 85 °C a 30 °C mediante la agitación, con el objeto de acondicionar la dilución para adicionar el fermento.
- ✓ **Fermentado:** se adicionó el fermento (*Saccharomyces cerevisiae*), la fermentación se efectuó a temperatura ambiente en recipientes de plástico con tapa, los mismos que tuvieron una trampa de agua; se realizó hasta el final de la producción de CO<sub>2</sub>. Se registró el tiempo final de fermentación, y los grados Brix finales.
- ✓ **Destilado:** se utilizó el alambique para destilar el alcohol a temperatura entre 60 y 65 °C, en esta fase se midió el grado alcohólico y el rendimiento de alcohol, para la realización de los respectivos análisis que se detallan a continuación.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES**

Con la finalidad de comprobar los factores, variables e hipótesis planteadas fue necesario evaluar estadísticamente factores como: jugo de caña, cachaza, melaza y cantidad de fermento (*Saccharomyces cerevisiae*), dentro de las variables en estudio se considero ° Brix, pH, soluto en la solución, sólidos solubles finales, Aldehídos, Alcoholes Superiores, Esteres, Metanol, Grado Alcoholico y Rendimiento.

Para materias primas se evaluó ° Brix, pH y soluto en la solución. Durante el proceso se considero las siguientes variables sólidos solubles y pH durante la fermentación además sólidos solubles finales y al producto terminado Aldehídos, Alcoholes Superiores, Esteres, Metanol, Grado Alcohólico y Rendimiento. Este análisis estadístico se aplico a cada uno de los tratamientos y las pruebas sensoriales (Color, sabor y olor) a los mejores tratamientos.

## 4.1 ANÁLISIS DE VARIABLES EN MATERIAS PRIMAS

### 4.1.1 Análisis de sólidos solubles

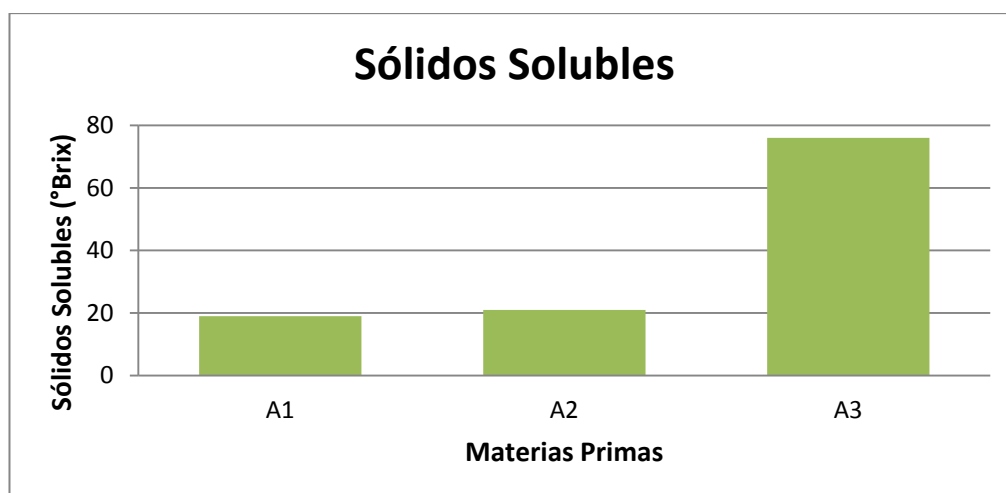
A1= Jugo de caña

A2= Cachaza panelera

A3= Melaza azucarera (IANCEM)

Los datos obtenidos se encuentran en el Anexo 1.

**Gráfico 4.1: Sólidos Solubles (°Brix)**

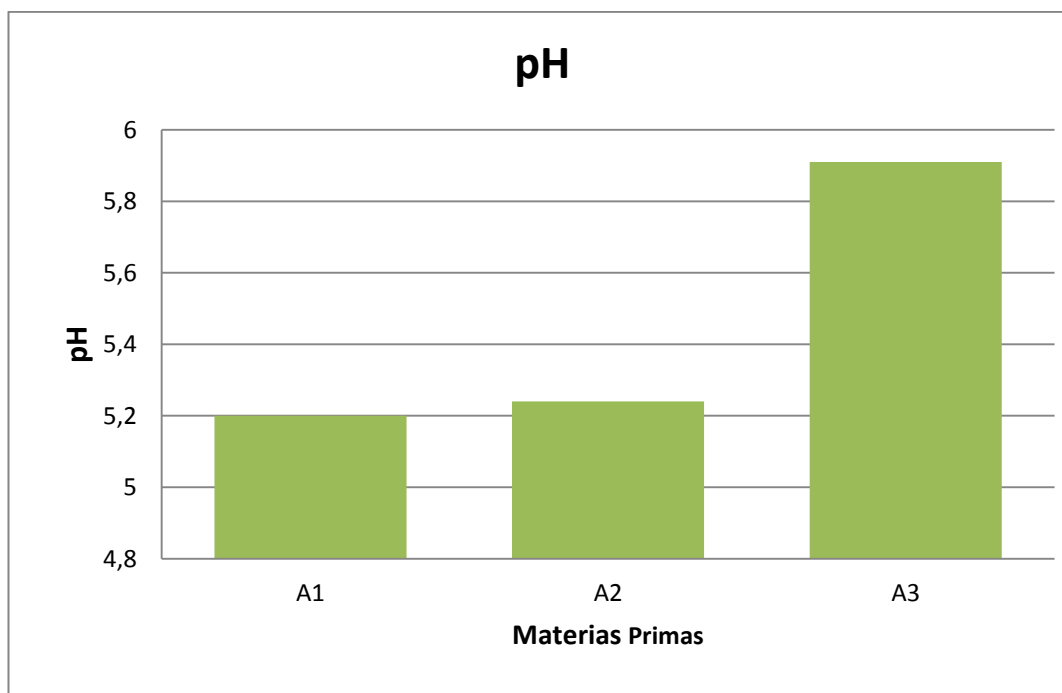


El gráfico indica que la melaza obtenida del proceso de elaboración de azúcar contiene mayor cantidad de sólidos solubles (76 °Brix), seguido de la cachaza y jugo de caña con 21 y 19 °Brix respectivamente. Esto no significa que la mayor cantidad de sólidos solubles de la melaza, contenga mayor cantidad de azúcares, debido que en los sólidos solubles podemos encontrar gomas, barros, impureza, entre otros, que no serán transformados en alcohol.

#### 4.1.2 Análisis de pH

Los datos obtenidos se encuentran en el Anexo 1.

**Grafico 4.2: Variación del pH en cada una de las materias primas**



De acuerdo al gráfico el pH del Jugo de caña es 5.2, el mismo que se encuentra dentro del rango teórico (4,5-5,5), el pH de la cachaza es de 5.24, los valores de pH son similares debido a que la cachaza es obtenida al incrementar temperatura al jugo de caña, y 5.9 de pH en la melaza, este valor alto de pH se debe al proceso de alcalinización en la elaboración de azúcar.

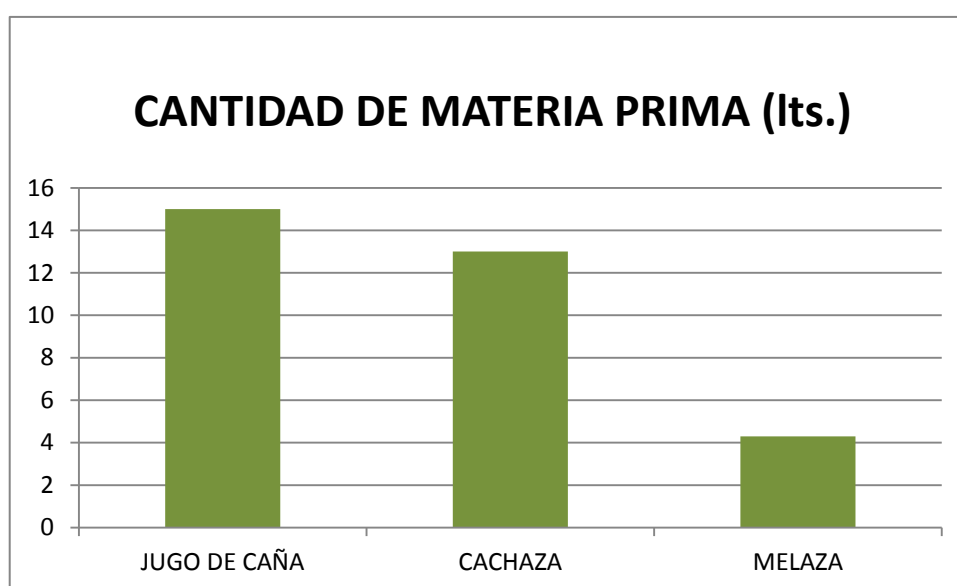


### 4.1.3 Análisis de soluto en la solución

Considerando el diferente ° Brix en las materias primas se determino que se realice las diluciones en base al ° Brix de jugo de caña (19°Brix).

Los datos obtenidos se encuentran en el Anexo 1.

**Grafico 4.3: Cantidad de materia prima**



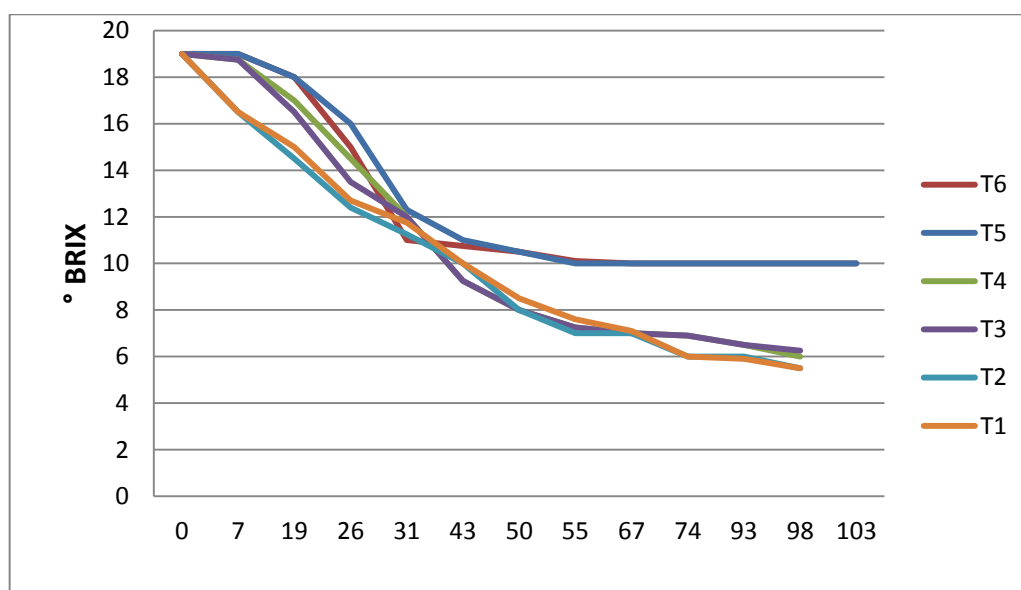
Es necesario que para obtener concentraciones iguales a la del jugo de caña (19°Brix), tanto para la cachaza y melaza se incorpore agua. Para el caso de la cachaza para obtener 15 lts de solución se utilizó 13 lts de cachaza, no así para la melaza que se tomó 4.3 lts, esto por su mayor concentración, como se puede apreciar en la gráfica.

## 4.2 ANALISIS DE VARIABLES EN PROCESO

### 4.2.1 Sólidos Solubles durante la fermentación

Los datos obtenidos se encuentran en el Anexo 2.

**Grafico 4.4: Variación del porcentaje de sólidos soluble**



En la grafica se observa que existe un descenso inversamente proporcional hasta las 43 horas en todos los tratamientos. En T1 (Jugo de Caña + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) la variación de sólidos solubles se observa un descenso rápido hasta las 74 horas de la fermentación alcohólica con un valor de 6 y termina la fermentación con un valor de 5,5 °Brix a las 98 horas.

En T2 (Jugo de Caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) se observa un descenso rápido hasta las 55 horas de la fermentación alcohólica con un valor de 7 y termina la fermentación con un valor de 5,5 °Brix a las 98 horas.

En T3 (Cachaza + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) se observa un descenso rápido hasta las 55 horas de la fermentación alcohólica

con un valor de 7,25 y termina la fermentación con un valor de 6,25 °Brix a las 98 horas.

En T4 (Cachaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) se observa un descenso rápido hasta las 55 horas de la fermentación alcohólica con un valor de 7,25 y termina la fermentación con un valor de 6,00 °Brix a las 98 horas.

En T5 (Melaza + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) se observa un descenso rápido hasta las 43 horas de la fermentación alcohólica con un valor de 11 y termina la fermentación con un valor de 10 °Brix a las 67 horas.

En T6 (Melaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) se observa un descenso rápido hasta las 50 horas de la fermentación alcohólica con un valor de 10,5 y termina la fermentación con un valor de 10 °Brix a las 67 horas.

#### 4.2.2 Sólidos Solubles al Final de la Fermentación

**Cuadro 4.1: Cantidad de sólidos solubles (°Brix) en la etapa final de la fermentación.**

TRAT/REPT.	I	II	III	SUMA	MEDIA
A1B1	5,500	5,750	5,500	<b>16,750</b>	5,583
A1B2	5,500	5,500	5,500	<b>16,500</b>	5,500
A2B1	6,000	6,500	6,250	<b>18,750</b>	6,250
A2B2	6,000	6,000	6,000	<b>18,000</b>	6,000
A3B1	10,000	10,500	10,000	<b>30,500</b>	10,167
A3B2	10,000	10,000	10,000	<b>30,000</b>	10,000
<b>SUMA</b>	43,000	44,250	43,250	<b>130,500</b>	7,250

**Cuadro 4.2: Análisis de varianza**

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F. T 5%
<b>Total</b>	17	73,750				
<b>Tratamientos</b>	5	73,417	14,683	528,600**	5,060	3,110
<b>FA (Tipo de materia prima)</b>	2	73,271	36,635	1318,875**	6,980	3,880
<b>FB (Cantidad de Fermento)</b>	1	0,125	0,125	4,500 <sup>NS</sup>	9,330	4,750
<b>I (AxB)</b>	2	0,021	0,010	0,375 <sup>NS</sup>	6,980	3,880
<b>ERROR EXP.</b>	12	0,333	0,028			

CV= 0,00023

NS: No significativo

\*: Significativo

\*\* : Altamente significativo

CV: Coeficiente de variación

De acuerdo con el análisis de varianza, se observa que existe alta significación estadística para tratamientos y para el factor A (Tipo de materia prima). Por lo que se realizó la prueba de Tukey al 5% para tratamientos, DMS para el factor A.

**Cuadro 4.3: Prueba de Tukey para tratamientos**

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
A3B1	10,167	a
A3B2	10,000	a
A2B1	6,250	b
A2B2	6,000	b
A1B1	5,583	c
A1B2	5,500	c

En el cuadro de Tukey se obtuvo tres rangos con un comportamiento diferente (a,b,c). Siendo los del rango **c** los mejores, A1B1 (Jugo de caña + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) y A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución).

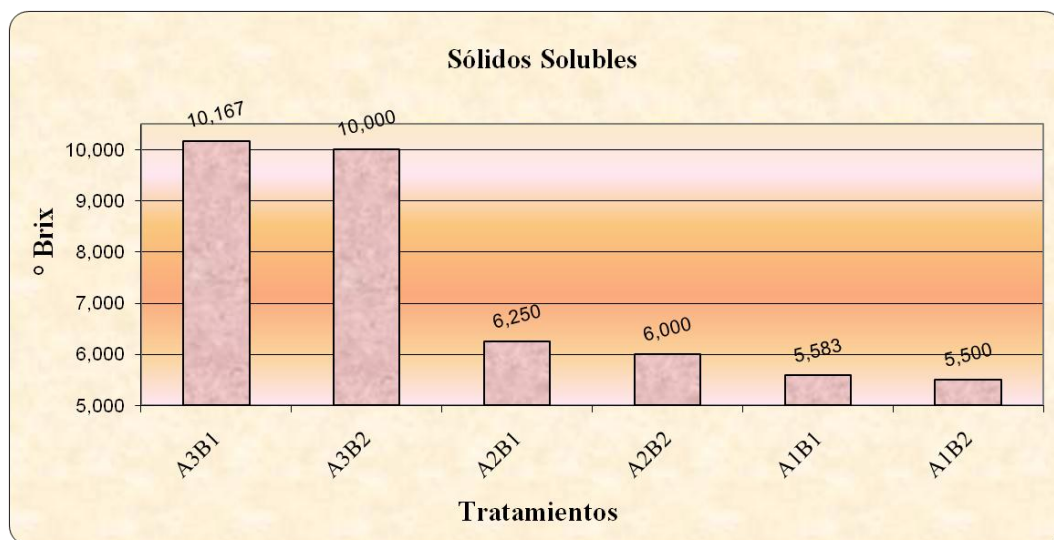
**Cuadro 4.4: Prueba DMS para el factor A**

(Tipo de materia prima)

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A3	10,083	a
A2	6,125	b
A1	5,542	c

Al realizar DMS para el factor A, se puede observar tres rangos con un comportamiento diferente, resultando como mejor nivel A1 (Jugo de caña), por tener la menor media de °Brix, debido a que hubo mayor transformación de azúcares en alcohol.

**Grafico 4.5: Representación gráfica de la variable sólidos solubles en la etapa final de la fermentación.**

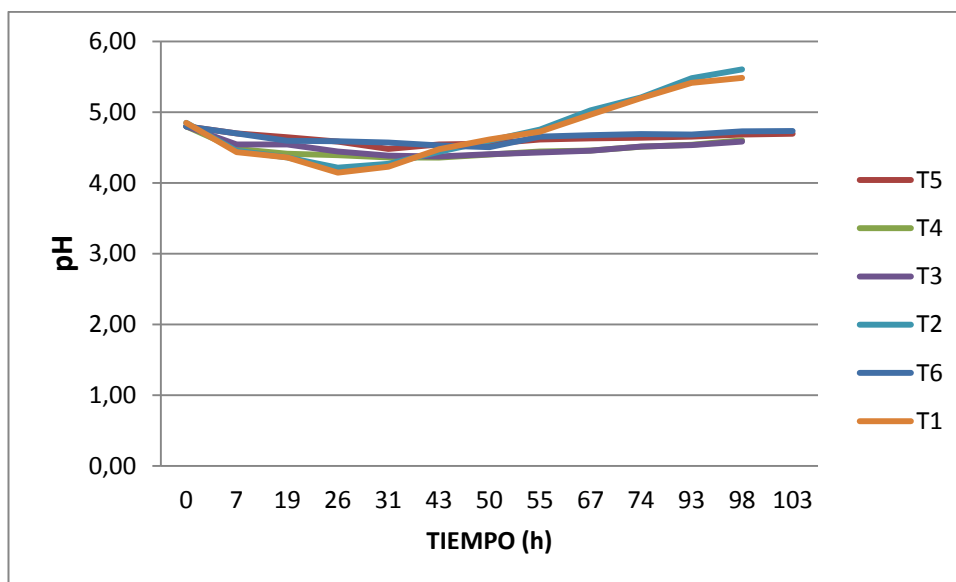


Al graficar las medias de los tratamientos podemos observar que los mejores tratamientos son A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) y A1B1 (Jugo de caña + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) por diferencia mínima siendo el mejor tratamiento A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) con un valor de 5.50°Brix.

### 4.2.3 pH Durante la Fermentación

Los datos obtenidos se encuentran en el Anexo 3

**Grafico 4.6: Variación de pH Durante la Fermentación**



La variación de pH en T1 (Jugo de Caña + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) muestra un descenso hasta las 26 horas de la fermentación alcohólica con un pH de 4,15 y termina la fermentación de forma ascendente hasta las 98 horas con un pH de 5,49.

En T2 (Jugo de Caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) muestra un descenso hasta las 26 horas de la fermentación alcohólica con un pH de 4,22 y termina la fermentación de forma ascendente hasta las 98 horas con un pH de 5,61.

En T3 (Cachaza + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) muestra un descenso hasta las 43 horas de la fermentación alcohólica con un pH de 4,38 y termina la fermentación de forma ascendente hasta las 98 horas con un pH de 4,59.

En T4 (Cachaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) muestra un descenso hasta las 43 horas de la fermentación alcohólica con un pH de 4,36 y termina la fermentación de forma ascendente hasta las 98 horas con un pH de 4,60.

En T5 (Melaza + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) muestra un descenso hasta las 31 horas de la fermentación alcohólica con un pH de 4,48, y termina la fermentación de forma ascendente hasta las 103 horas con un pH de 4,7.

En T6 (Melaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) muestra un descenso hasta las 50 horas de la fermentación alcohólica con un pH de 4,51 y termina la fermentación de forma ascendente hasta las 103 horas con un pH de 4,74.



#### 4.2.4 pH al Final de la Fermentación

**Cuadro 4.5: Contenido del pH en la fermentación alcohólica**

TRAT/REPT.	I	II	III	SUMA	MEDIA
A1B1	4,478	4,489	4,474	13,441	4,480
A1B2	4,693	4,851	4,772	14,315	4,772
A2B1	4,499	4,504	4,502	13,505	4,502
A2B2	4,638	4,845	4,742	14,225	4,742
A3B1	4,289	4,251	4,276	12,816	4,272
A3B2	4,703	4,598	4,652	13,952	4,651
SUMA	27,300	27,538	27,416	82,254	4,570

**Cuadro 4.6: Análisis de Varianza**

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F.T 5%
Total	17	0,575				
Tratamientos	5	0,535	0,107	31,809**	5,060	3,110
FA (Tipo de materia prima)	2	0,106	0,053	15,712**	6,980	3,880
FB (Cantidad de Fermento)	1	0,414	0,414	123,224**	9,330	4,750
I (AxB)	2	0,015	0,007	2,199 <sup>NS</sup>	6,980	3,880
ERROR EXP.	12	0,040	0,003			

CV= 0,000127

En el análisis de varianza, se observa que existe alta significación estadística para tratamientos, el factor A (Tipo de materia prima) y factor B (Cantidad de fermento “*Saccharomyces cerevisiae*”).

Al existir diferencia significativa se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5% para tratamientos, DMS para el factor A.

**Cuadro 4.7: Prueba de Tukey para tratamientos**

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
A1B2	4,772	a
A2B2	4,742	a
A3B2	4,651	a
A2B1	4,502	b
A1B1	4,480	b
A3B1	4,272	c

En el cuadro de Tukey al 5% para tratamientos se obtuvo tres rangos con un comportamiento diferente (a,b,c). Siendo los del rango **a** los mejores, A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), A2B2 (Cachaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) y A3B2 (Melaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), por tener mayores medias de pH, distinguiéndose únicamente por diferencia matemática en el valor de las medias calculadas.

**Cuadro 4.8: Prueba DMS para el factor**

A (Tipo de materia prima)

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A1	4,626	a
A2	4,622	a
A3	4,461	b

Luego de realizar la prueba de DMS se puede observar dos rangos con un comportamiento diferente, encontrándose los mejores niveles de este factor en el rango **a**, siendo A1 (Jugo de caña) el mejor nivel de este factor por tener mejor media en el valor del pH, distinguiéndose únicamente por diferencia matemática en el valor de las medias calculadas.

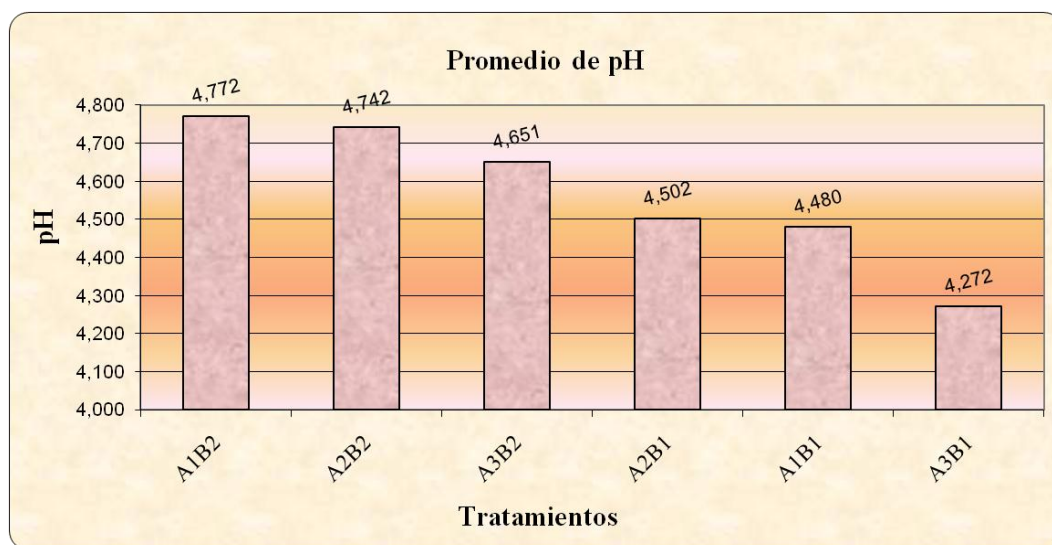
#### Cuadro 4.9: Prueba DMS para el factor

**B** (Cantidad de fermento  
“*Saccharomyces cerevisiae*” )

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
<b>B2</b>	4,721	<b>a</b>
<b>B1</b>	4,418	<b>b</b>

Al realizar DMS para el factor **B**, se observa dos rangos con un comportamiento diferente, encontrándose en el rango **a** el mejor nivel, siendo **B2** (0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), por tener mejor valor de pH.

**Gráfico 4.7: Representación gráfica de la variable pH en la etapa final del proceso de fermentación.**



Al graficar las medias de los tratamientos podemos observar que A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) es el tratamiento que mayor media tiene en el valor del pH, seguido de los tratamientos A2B2 (Cachaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) y A3B2 (Melaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), distinguiéndose únicamente por diferencia matemática en el valor de las medias calculadas.

## 4.3 ANÁLISIS DE VARIABLES EN EL PRODUCTO TERMINADO

### 4.3.1 Análisis Estadístico de Grado Alcohólico

**Cuadro 4.10: Grado alcohólico (°GL) en el producto terminado**

TRAT/REPT.	I	II	III	SUMA	MEDIA
A1B1	55,125	55,333	55,111	<b>165,569</b>	55,190
A1B2	57,534	57,625	57,375	<b>172,534</b>	57,511
A2B1	55,625	55,778	55,875	<b>167,278</b>	55,759
A2B2	56,825	56,857	56,726	<b>170,408</b>	56,803
A3B1	51,889	51,750	51,125	<b>154,764</b>	51,588
A3B2	54,971	54,943	54,875	<b>164,789</b>	54,930
<b>SUMA</b>	331,969	332,286	331,087	<b>995,343</b>	55,297

**Cuadro 4.11: Análisis de Varianza**

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F.T 5%
<b>Total</b>	17	64,302				
<b>Tratamientos</b>	5	63,862	12,772	348,201 **	5,060	3,110
<b>FA (Tipo de materia prima)</b>	2	37,394	18,697	509,708 **	6,980	3,880
<b>FB (Cantidad de Fermento)</b>	1	22,490	22,490	613,130 **	9,330	4,750
<b>I (AxB)</b>	2	3,978	1,989	54,229 **	6,980	3,880
<b>ERROR EXP.</b>	12	0,440	0,037			

CV= 0,000035

En el análisis de varianza, se observa que existe alta significación estadística para tratamientos, factor A (Tipo de materia prima), factor B (Cantidad de fermento “*Saccharomyces cerevisiae*”) y para la interacción (AxB).

Al existir diferencia significativa se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5% para tratamientos, DMS para los factores A y B, y grafica para la interacción (AxB).

**Cuadro 4.12: Prueba de Tukey para tratamientos**

TRATAMIENTOS	MEDIAS	RANGOS
A1B2	57,511	a
A2B2	56,803	a
A2B1	55,759	b
A1B1	55,190	b
A3B2	54,930	c
A3B1	51,588	d

En el cuadro de Tukey al 5%, se obtuvo cuatro rangos con un comportamiento diferente (a,b,c,d). Siendo los del rango **a** los mejores tratamientos A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), A2B2 (Cachaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), distinguiéndose únicamente por el valor de las medias calculadas.

**Cuadro 4.13: Prueba DMS para el factor A**

(Tipo de materia prima)

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
A1	56,351	a
A2	56,281	a
A3	53,259	b

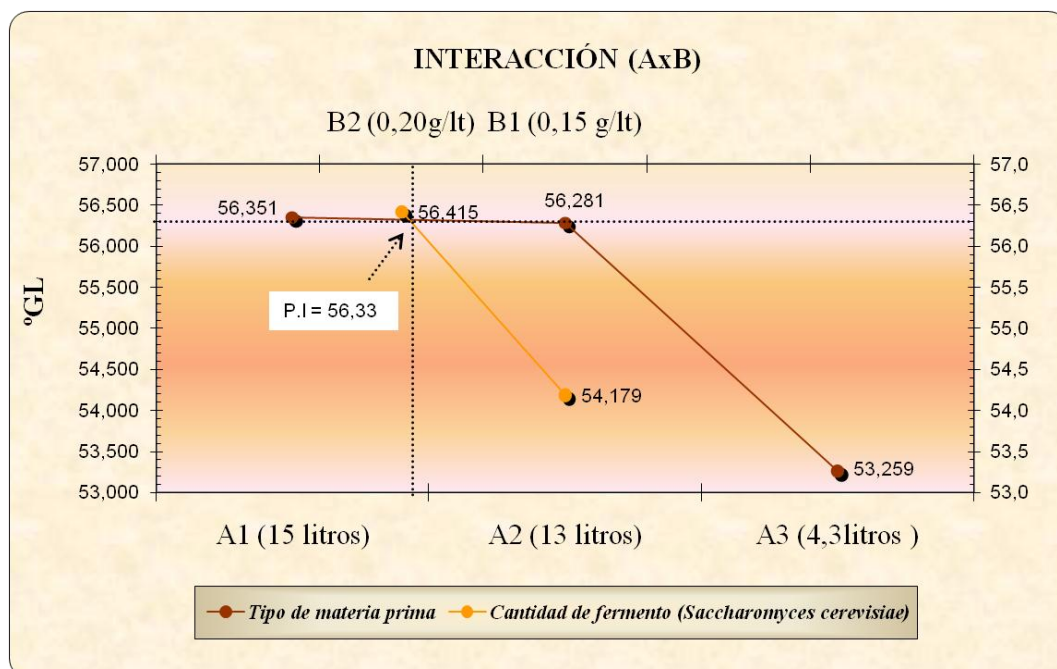
Luego de realizar DMS se observa dos rangos con un comportamiento diferente, encontrándose en el rango **a** siendo A1 (Jugo de caña) el mejor nivel de este factor, por tener mejor grado alcohólico.

**Cuadro 4.14: Prueba DMS para el factor B** (Cantidad de fermento “*Saccharomyces cerevisiae*” )

FACTORES	MEDIAS	RANGOS
<b>B2</b>	56,415	<b>a</b>
<b>B1</b>	54,179	<b>b</b>

Al realizar DMS para el factor **B**, se aprecia dos rangos con un comportamiento diferente, resultando como mejor nivel del factor **B2** (0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), por tener mayor media; es decir, de la cantidad de fermento depende el grado alcohólico del producto terminado.

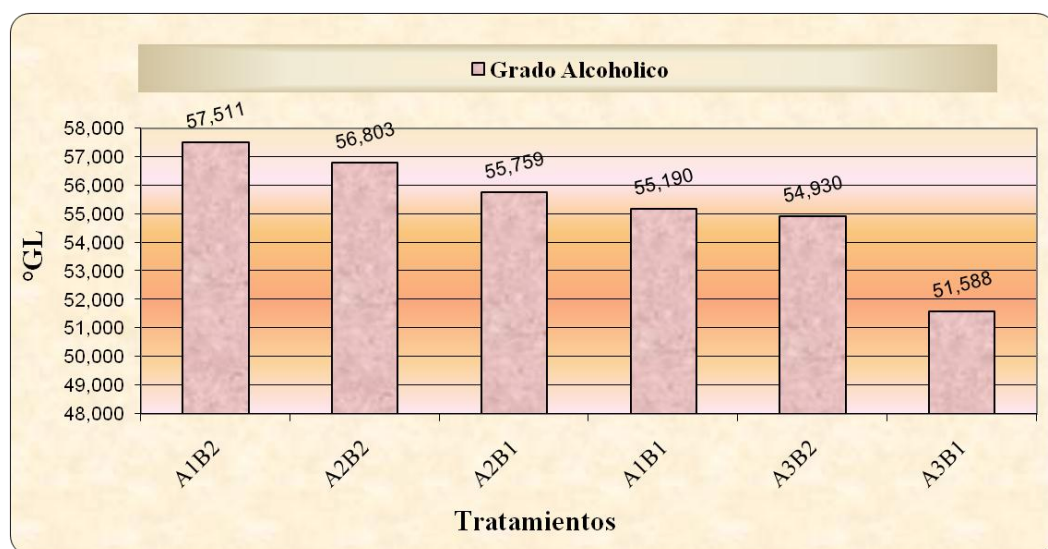
**Gráfico 4.8: Interacción de los factores A (Tipo de materia prima) y B** (Cantidad de fermento “*Saccharomyces cerevisiae*”) en la variable contenido de grado alcohólico en el producto terminado



Se observa que el punto crítico de la interacción entre los factores A (Tipo de materia prima) y B (cantidad de fermento) para la variable contenido de grado

alcohólico es de 56,33 °GL, es decir, que en este punto se obtiene mayor grado alcohólico; interactuando directamente entre el nivel A1(15 litros de Jugo de Caña) y B2 (0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución).

**Grafico 4.9: Representación gráfica del contenido de grado alcohólico en el producto terminado**



Al graficar las medias de los tratamientos podemos observar que los mejores tratamientos son A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) y A2B2 (Cachaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) por tener mejor grado alcohólico.

### 4.3.2 Análisis Estadístico del Rendimiento De Alcohol

**Cuadro 4.15: Rendimiento de alcohol (ml) en producto terminado**

TRAT/REPT.	I	II	III	SUMA	MEDIA
A1B1	2000	2250	2230	<b>6480,000</b>	2160,000
A1B2	1950	1900	1950	<b>5800,000</b>	1933,333
A2B1	2000	2250	2000	<b>6250,000</b>	2083,333
A2B2	1800	1700	1750	<b>5250,000</b>	1750,000
A3B1	2078	2000	1670	<b>5748,000</b>	1916,000
A3B2	1700	1870	2000	<b>5570,000</b>	1856,667
<b>SUMA</b>	11528,000	11970,000	11600,000	<b>35098,000</b>	1949,889

Si consideramos las medias del cuadro, se observa que mayor rendimiento de alcohol se obtuvo con los tratamientos A1B1 Y A2B1. Estos datos se obtuvieron según los valores que se indican más adelante en el diagrama de proceso.

**Cuadro 4.16: Análisis de Varianza**

F.V.	G.L.	S.C	C.M	F. Cal.	F.T 1%	F.T 5%
<b>Total</b>	17	562083,778				
<b>Tratamientos</b>	5	336067,778	67213,556	3,569 *	5,06	3,11
<b>FA (Tipo de materia prima)</b>	2	87053,778	43526,889	2,311 <sup>NS</sup>	6,98	3,88
<b>FB (Cantidad de Fermento)</b>	1	191786,889	191786,889	10,183 <sup>**</sup>	9,33	4,75
<b>I (AxB)</b>	2	57227,111	28613,556	1,519 <sup>NS</sup>	6,98	3,88
<b>ERROR EXP.</b>	12	226016,000	18834,667			

CV= 0,0007

En el análisis de varianza, se observa que existe alta significación estadística para el factor B (Cantidad de fermento "*Saccharomyces cerevisiae*"), significación estadística para tratamientos. Por lo que se realizó la prueba de Tukey al 5% para tratamientos, la prueba DMS para el factor B.



**Cuadro 4.17: Prueba de Tukey para tratamientos**

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>RANGOS</b>
<b>A1B1</b>	2160,000	<b>a</b>
<b>A2B1</b>	2083,333	<b>a</b>
<b>A1B2</b>	1933,333	<b>a</b>
<b>A3B1</b>	1916,000	<b>a</b>
<b>A3B2</b>	1856,667	<b>a</b>
<b>A2B2</b>	1750,000	<b>b</b>

En el cuadro de Tukey al 5% para tratamientos, se obtuvo dos rangos con un comportamiento diferente (a,b). Siendo A1B1 (Jugo de caña + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), A2B1 (Cachaza + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), A3B1 (Melaza + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) y A3B2 (Melaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), los mejores tratamientos por tener rango **a** y los mejores rendimientos de alcohol.

**Cuadro 4.18: Prueba DMS para el factor B**

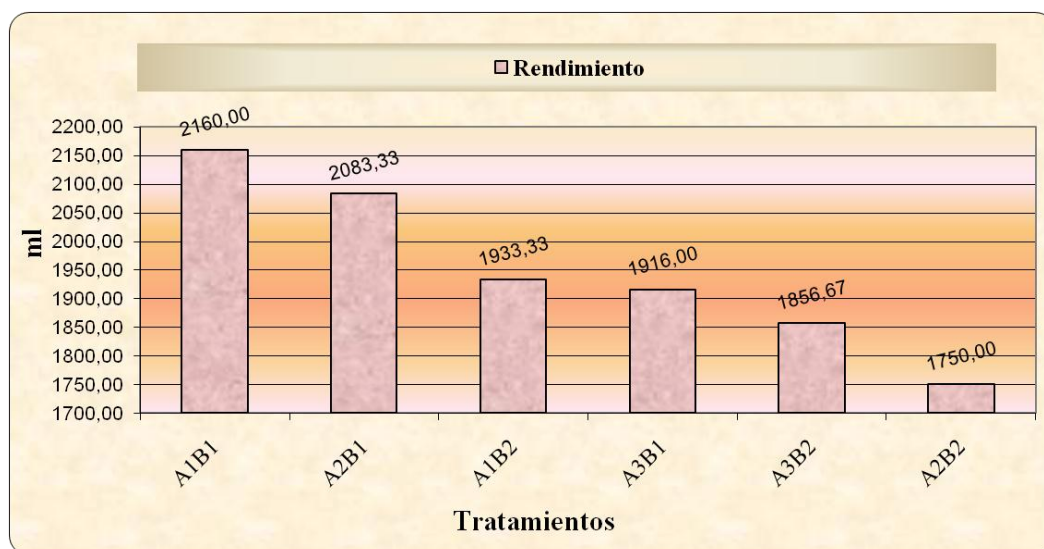
(Cantidad de fermento “*Saccharomyces cerevisiae*” )

<b>FACTORES</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>RANGOS</b>
<b>B1</b>	2053,111	<b>a</b>
<b>B2</b>	1846,667	<b>b</b>

Luego de realizar la prueba DMS para el factor **B**, se observa dos rangos con un comportamiento diferente, en donde el rango a, presenta mayor rendimiento de

alcohol que el segundo, siendo el B1 (0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) el mejor por tener mayor media.

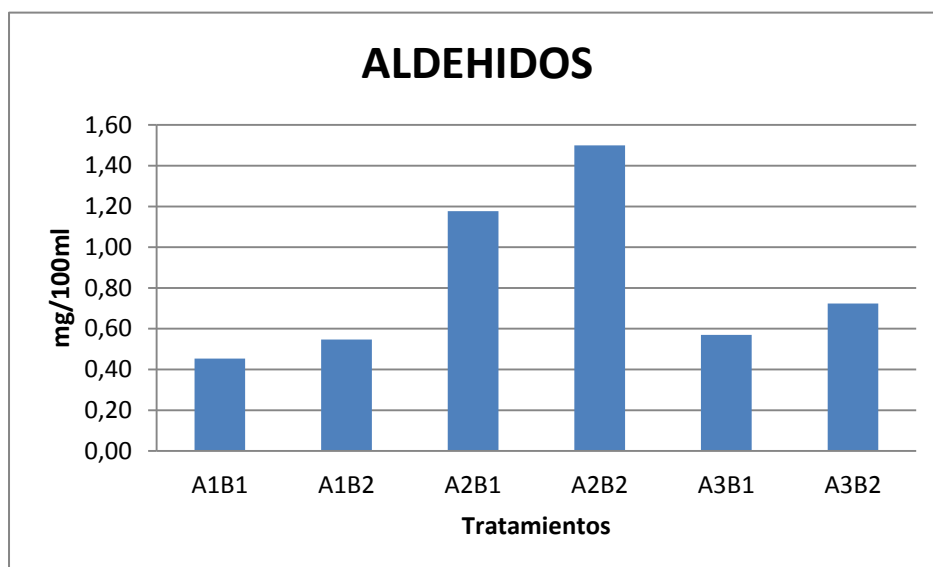
**Grafico 4.10: Representación gráfica del Rendimiento de alcohol en el producto terminado**



Al graficar las medias de los tratamientos podemos observar que los mejores tratamientos son: A1B1 (Jugo de caña + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), A2B1 (Cachaza + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), A3B1 (Melaza + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) y A3B2 (Melaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), por tener mejores rendimientos de producción de alcohol.

### 4.3.3 Análisis de aldehídos

**Grafico 4.11: Cantidad de Aldehídos en el producto final**



Fuente: Laboratorio de control de calidad LICORES DE AMERICA "LICORAM"

Realizados los análisis de laboratorio a los mejores tratamientos se aprecia que existe mayor cantidad de aldehído en A2B2 (Cachaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), con un valor de 1,50 mg/100ml. Los demás tratamientos registran cantidades que están comprendidos entre 1,18 y 0,45 mg/100ml. Al realizar una comparación entre los aguardientes de caña rectificados tenemos que la Norma INEN 362 (Anexo 1) acepta hasta un 20mg/100ml de alcohol; por lo que los tratamientos de la investigación están dentro de los parámetros establecidos.

#### 4.3.4 Determinación de Alcoholes Superiores

Los datos obtenidos de esta variable se detallan en el Anexo 5

**Grafico 4.12: Cantidad de Alcoholes superiores**



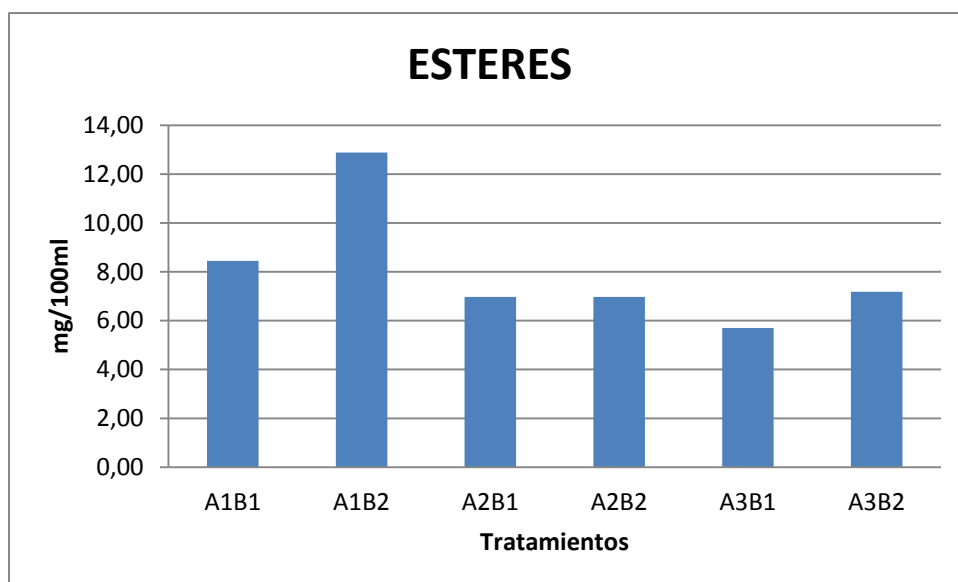
**Fuente:** Laboratorio de control de calidad LICORES DE AMERICA “LICORAM”

En la gráfica podemos apreciar que existe mayor presencia de alcoholes superiores en el tratamiento A2B2 (Cachaza + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), con un valor de 39,41 mg/100ml. Los demás tratamientos registran cantidades que están comprendidos entre 32,60 y 21,43 mg/100ml. Al realizar una comparación entre los aguardientes de caña rectificadas tenemos que la Norma INEN 362 acepta hasta un 150mg/100ml de alcohol, por lo que los tratamientos de la investigación están dentro de los parámetros establecidos.

### 4.3.5 Determinación de Esteres

Los datos obtenidos de esta variable se detallan en el Anexo 5

**Grafico 4.13: Cantidad de Esteres en el producto final**



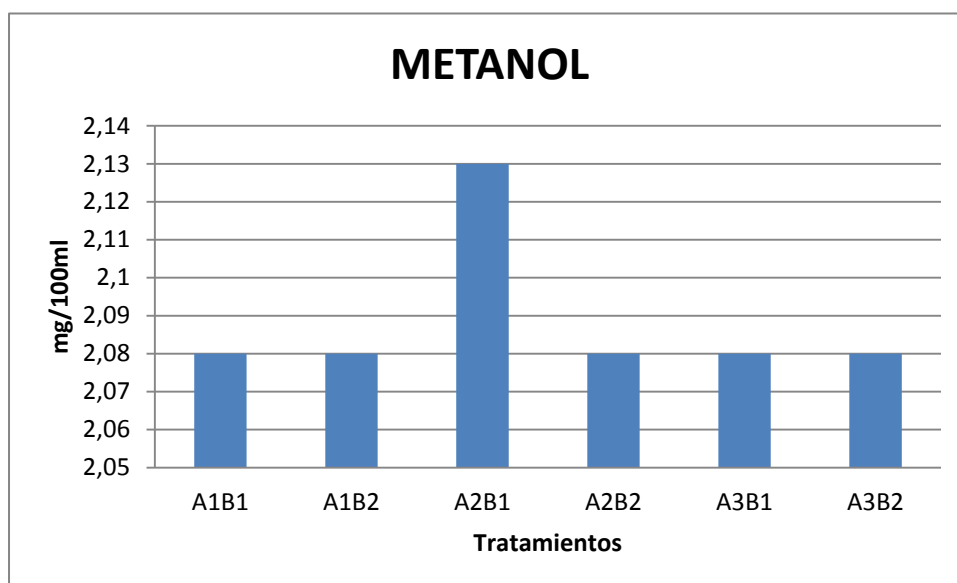
**Fuente:** Laboratorio de control de calidad LICORES DE AMERICA “LICORAM”

Realizada la grafica de Esteres se aprecia mayor presencia en el tratamiento A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), con un valor de 12,89 mg/100ml. Los demás tratamientos registran cantidades que están comprendidos entre 8,45 y 5,70 mg/100ml. Al realizar una comparación entre los aguardientes de caña rectificadas, tenemos que la Norma INEN 362 acepta hasta un 80mg/100ml de alcohol, por lo que los tratamientos de la investigación están dentro de los parámetros establecidos.

### 4.3.6 Determinación de Metanol

Los datos obtenidos de esta variable se detallan en el Anexo 5

**Grafico 4.14: Cantidad de Metanol en el Producto Final**



**Fuente:** Laboratorio de control de calidad LICORES DE AMERICA “LICORAM”

En el gráfico se observa mayor presencia de metanol en el tratamiento A2B1 (Cachaza + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), con un valor de 2,13 mg/100ml. Los demás tratamientos registran cantidades que están comprendidos entre 2,08 mg/100ml. Al realizar una comparación entre los aguardientes de caña rectificadas tenemos que la Norma INEN 362 acepta hasta un 10mg/100ml de alcohol; por lo que los tratamientos de la investigación están dentro de los parámetros establecidos.

## 4.4 ANALISIS DE VARIABLES CUALITATIVAS DEL PRODUCTO TERMINADO

### 4.4.1 Análisis Sensorial

El análisis sensorial del producto terminado, se realizó con la finalidad de evaluar las características organolépticas como: olor, color y sabor y de esta manera poder determinar los dos mejores tratamientos, según el grado de aceptabilidad por parte del panel catador.

La hoja de encuesta para la evaluación sensorial se encuentra en el Anexo 8.

Para determinar la significación estadística en las variables de la evaluación sensorial, se procedió a realizar la prueba de Friedman al 5%.

$$X^2 = \frac{12}{r \times t (t + 1)} \sum R^2 - 3r (t + 1)$$

**Donde:**

r = Numero de degustadores

t = Tratamientos

$\sum R^2$  = Sumatoria de los rangos al cuadrado

**Cuadro 4.19: Análisis de Friedman para las variables de la evaluación sensorial**

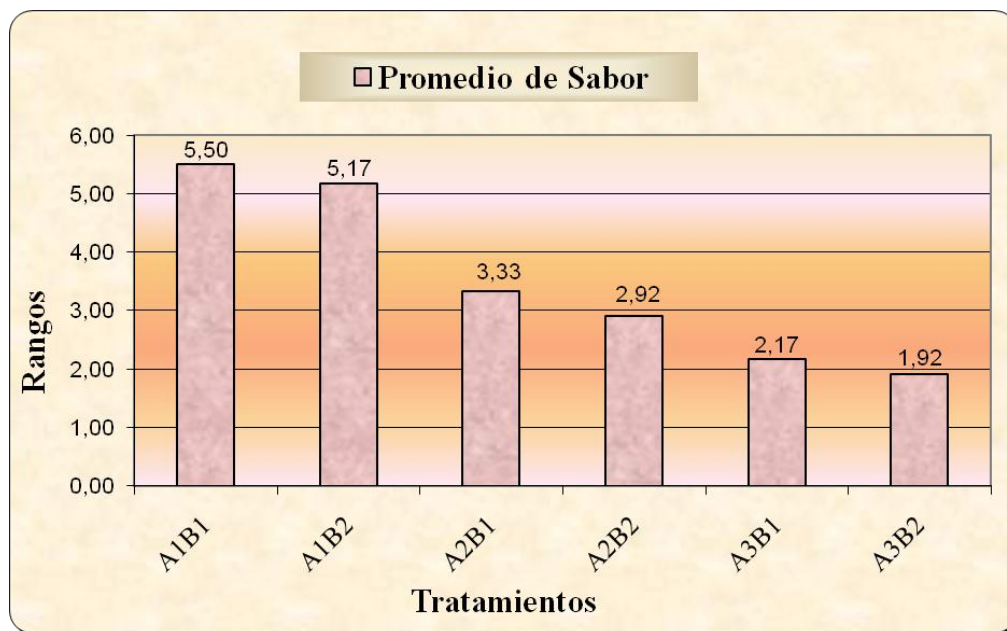
VARIABLE	VALOR CALCULADO $X^2$	VALOR TABULAR $X^2$	
		5%	1%
<b>SABOR</b>	19,60 **	9,49	13,3
<b>COLOR</b>	0,00 <sup>NS</sup>	9,49	13,3
<b>OLOR</b>	23,62 **	9,49	13,3

Después de realizar la prueba de Friedman para las características sensoriales, se determinó que para las variables **sabor** y **olor**, existe alta significación estadística,

por tanto las muestras son diferentes; no así para la variable **color**, por no existir diferencia estadísticamente significativa, por tanto las muestras son similares.

✓ **Sabor**

**Gráfico 4.15: Caracterización del sabor en el producto terminado**

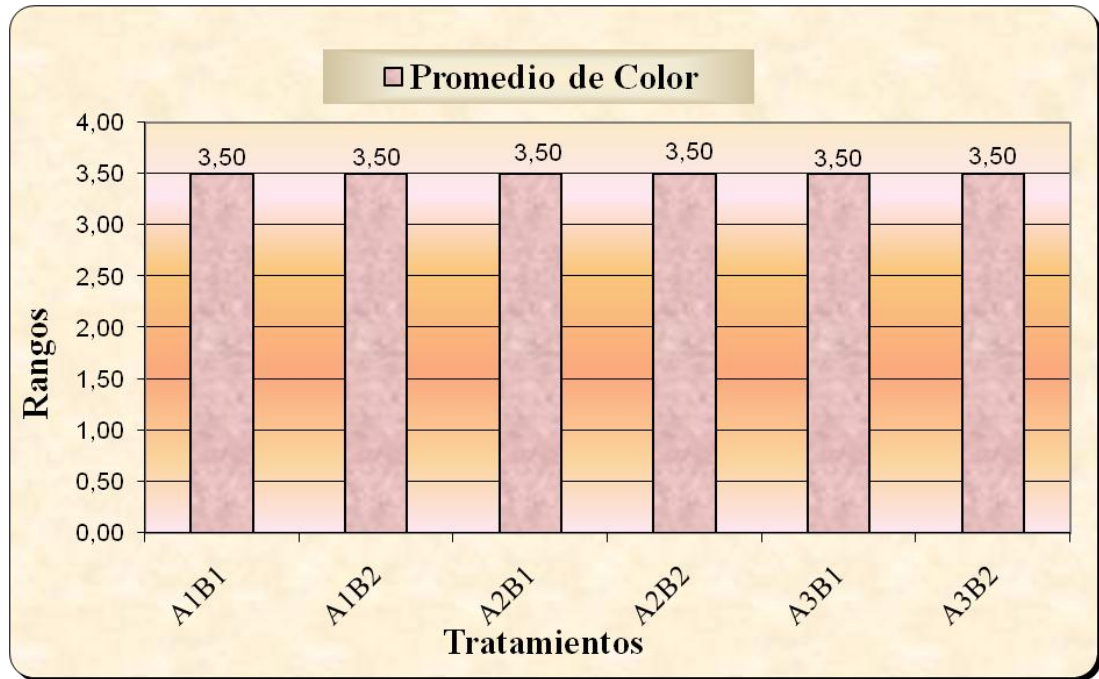


Al observar el gráfico, se aprecia que los tratamientos A1B1 (Jugo de caña + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) y A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), presentan un mejor sabor con valores de 5,50 y 5,17 respectivamente; definiéndose así los dos mejores tratamientos.



✓ **Color**

**Gráfico 4.16: Caracterización del color en el producto terminado**



Como se puede observar en el gráfico, todas las muestras son de igual valor en cuanto a las características de color.

✓ Olor

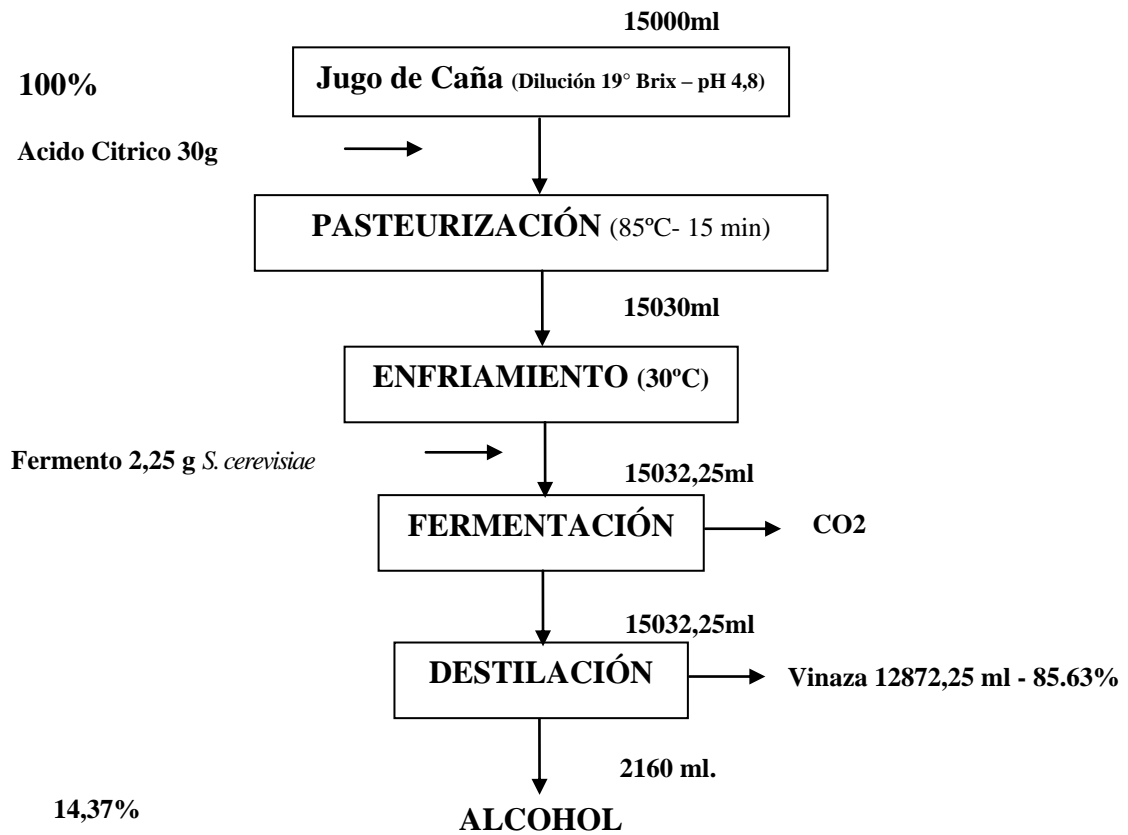
**Gráfico 4.17: Caracterización del olor en el producto terminado**



Al observar el gráfico, se observa que los tratamientos A1B1 (Jugo de caña + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) y A1B2 (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), tienen las medias más altas con un valor de 5.50, definiéndose así los dos mejores tratamientos para esta variable.

## 4.5 BALANCE DE MATERIALES

### 4.5.1 Rendimiento de alcohol a partir de jugo de caña

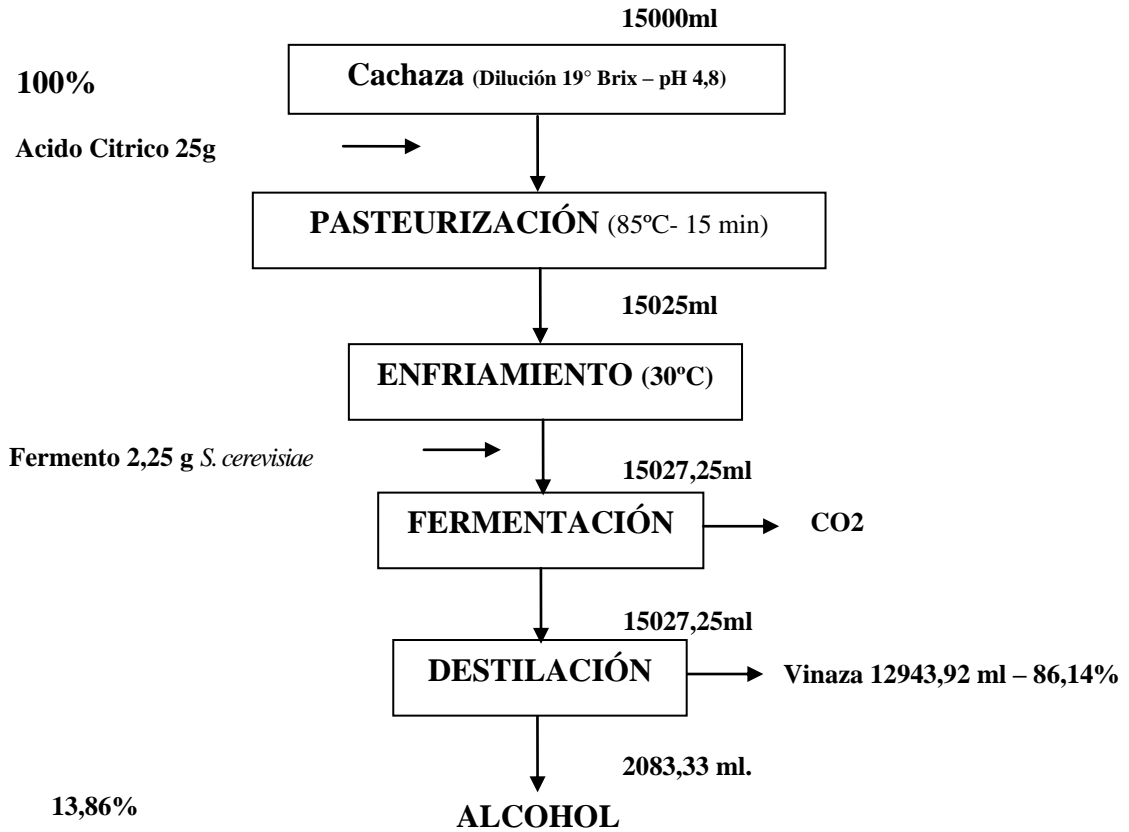


$$R = \frac{\text{Alcohol destilado (lt.)}}{\text{Volumen de la destilación}} \times 100$$

$$R = \frac{2,160 \text{ lt.}}{15 \text{ lt.}} \times 100$$

$$R = 14.37\%$$

#### 4.5.2 Rendimiento de alcohol a partir de cachaza

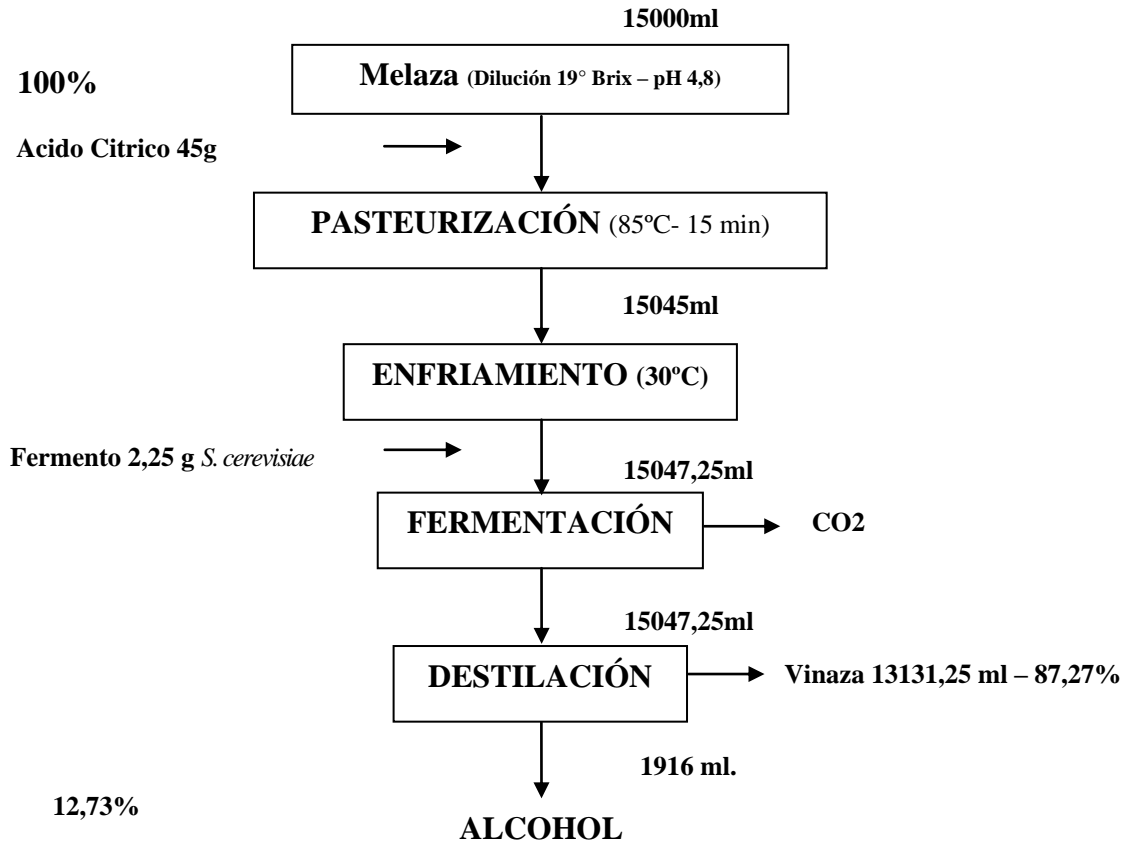


$$R = \frac{\text{Alcohol destilado (lt.)}}{\text{Volumen de la destilación}} \times 100$$

$$R = \frac{2,083 \text{ lt.}}{15 \text{ lt.}} \times 100$$

$$R = 13.86\%$$

### 4.5.3 Rendimiento de alcohol a partir de melaza



$$R = \frac{\text{Alcohol destilado (lt.)}}{\text{Volumen de la destilación}} \times 100$$

$$R = \frac{1,916 \text{ lt.}}{15 \text{ lt.}} \times 100$$

$$R = 12,73\%$$

## **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- Se determino que la melaza contiene mayor cantidad de sólidos solubles (76 °Brix), seguido de la cachaza y jugo de caña con 21 y 19 °Brix respectivamente, para la investigación se ajusto los sólidos solubles con relación al jugo de caña mediante la adición de agua (Dilución a 19°Brix).
- Se determina que el pH del Jugo de caña es 5.2, el mismo que se encuentra dentro del rango teórico (4,5-5,5), el pH de la cachaza es de 5.24, los valores de pH son similares debido a que la cachaza es obtenida al incrementar temperatura al jugo de caña, y 5.9 de pH en la melaza, este valor diferente de pH se debe al proceso de alcalinización en la elaboración de azúcar.
- Para obtener concentraciones iguales a la del jugo de caña (19°Brix), tanto para la cachaza y melaza se incorporo agua. Para el caso de la cachaza para obtener 15 lts de solución se utilizo 13 lts de cachaza, no así para la melaza que se tomo 4.3 lts, esto por su mayor concentración.
- Se concluye que para alcanzar las condiciones necesarias para la fermentación alcohólica se debe ajustar el pH de la disolución a 4.8 que se encuentra dentro de los rangos teóricos de pH (4.5 - 5.0) en fermentación alcohólica.

- Durante el proceso de fermentación se determina que los sólidos solubles reaccionan inversamente proporcional al tiempo, es decir que a mayor tiempo de fermentación menor cantidad de sólidos solubles por acción de las levaduras.
- Se concluye que para los sólidos solubles finales, el mejor tratamiento fue **A1B2** (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) con un valor de 5.50°Brix, debido a la mayor transformación de azúcares en alcohol.
- Se determinó que para el jugo de caña y cachaza el tiempo de fermentación es de 98 horas, con una concentración de sólidos solubles de 6 °Brix, mientras que para la melaza el tiempo de fermentación es de 67 horas, con una concentración de sólidos solubles de 10 °Brix.
- Se determinó que la concentración óptima de fermento es de 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución, con la cual se logra obtener un elevado grado alcohólico.
- Se determinó que los dos mejores tratamientos según el análisis de Friedman fueron **A1B1** (Jugo de caña + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) y **A1B2** (Jugo de caña + 0,20 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), ya que tuvieron mayor aceptabilidad por parte de los catadores.
- Al evaluar las características físico – químicas de los mejores tratamientos de cada muestra se determinó que están dentro de los parámetros establecidos en la Norma INEN 362, por lo tanto el alcohol que se obtuvo a partir del mosto de jugo de caña, cachaza y melaza, es apto para el consumo humano.

- Se concluye que el tratamiento A1B1 (Jugo de caña + 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución) es el tratamiento que mejor rendimiento presenta en la obtención de alcohol.
- Se acepta la hipótesis alternativa planteada al inicio de la investigación; es decir que “Los niveles de fermento influyen en el rendimiento de alcohol producido a partir de jugo de caña, cachaza y melaza”.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Durante el proceso de filtrado de las materias primas en especial de la cachaza, se recomienda realizarlo en lienzos de fina textura, con la finalidad de impedir el paso de impurezas en las diluciones, que puedan alterar la calidad físico- química del producto final.
- Se recomienda que las muestras sean debidamente pasteurizadas para evitar la contaminación y desarrollo de otro tipo microorganismos que alteren el proceso de obtención de alcohol.
- Se recomienda que en el proceso de destilación, se considere los parámetros de temperatura, para la obtención de mejores resultados.
- Se recomienda que se realice la rectificación de los alcoholes para obtener un producto de mejor pureza.



## RESUMEN

En la presente investigación se pretende utilizar jugo de caña y subproductos de bajo nivel comercial de la Industria Azucarera y Panelera como son la melaza y cachaza respectivamente, con la finalidad de obtener alcohol mediante la incorporación de dos niveles de fermento (*Sacharomyces cerevisiae*), para optimizar los rendimientos de producción.

Se realizó la fase experimental en la Unidad de Azúcares- Laboratorios de la FICAYA-UTN, ubicada en la ciudad de Ibarra, provincia Imbabura y los respectivos análisis físico-químicos se efectuaron en el Laboratorio de control de calidad LICORES DE AMERICA “LICORAM”.

El presente estudio consistió en obtener alcohol a partir del mosto de jugo de caña, cachaza y melaza, sometiendo a las materias primas a diversos procesos como adquisición, recepción, filtrado, dilución, pasteurizado, enfriamiento, fermentación y destilado. Las variables en estudio fueron: sólidos solubles y pH de la materia prima y en el proceso de fermentación; aldehídos, alcoholes superiores, esterés, metanol y rendimiento en el producto final; y en el análisis sensorial: color, olor y sabor.

Para la el desarrollo de la fase experimental se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial A x B; en el que A corresponde a la materia prima, B a la cantidad de fermento.

Las características del experimento fueron tres repeticiones, seis tratamientos y dieciocho unidades experimentales conformadas por 15 litros cada una. El análisis sensorial se realizó con la ayuda de una guía instructiva y la hoja de encuesta; para determinar su significación estadística se utilizó la prueba de Friedman.

Posteriormente se determinó los dos mejores tratamientos, en los cuales se realizó análisis físico-químico concluyendo como mejor tratamiento A1B1 (Jugo de caña

+ 0,15 gramos de *Saccharomyces cerevisiae* por litro de disolución), en el cual se obtuvo mayor rendimiento de alcohol.

## SUMMARY

In the present investigation is to use sugar cane juice and low commercial products of the sugar industry and sugarcane such as molasses and rum, respectively, in order to obtain alcohol by incorporating two levels of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) to optimize Production yields.

Experimental phase was conducted in the Unit-Sugar Labs FICAYA-UTN, located in the city of Ibarra, Imbabura province and the respective physical-chemical analysis were made in the quality control laboratory SPIRITS OF AMERICA "LICORAM."

The present study was to obtain alcohol from the mash of sugar cane juice, rum and molasses, subjecting raw materials to various processes such as purchasing, receiving, filtering, diluting, pasteurizing, cooling, fermentation and distillation. The variables studied were: soluble solids and pH of the raw material and the fermentation process, aldehydes, alcohols, esters, methanol and performance in the final product, and sensory analysis: color, smell and taste.

For the development of the pilot phase, we used a completely randomized design with factorial arrangement A x B, where A is the raw material B to the amount of ferment.

The characteristics of the experiment were three replications and six treatments eighteen experimental units made up of 15 liters each. Sensory analysis was performed with the help of an instructional sheet and survey, to determine statistical significance we used the Friedman test.

It was later determined the two best treatments, in which physical and chemical analysis conducted concluding as best treatment A1B1 (+ 0.15 Cane juice *Saccharomyces cerevisiae* grams per liter of solution), which was obtained in higher yield of alcohol.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALVEAR, L. (2005). Influencia de la urea como fuente nutritiva de nitrógeno en cepa de levadura *Saccharomyces cerevisiae* para obtener alcohol de la caña de azúcar. Tesis de grado Ingeniería Agroindustria, UTN.
- BETANCOURT, R. (2001); Guía de Laboratorio de Operaciones Unitarias III; Editorial. UNM, Manizales.
- BROCK, Thomas. MADIGAN, Michael. Microbiología. Sexta edición, Editorial Prentice Hall, México, 1993.
- “Cadena Agroindustrial – Etanol” del Instituto Interamericano para la Cooperación de la Agricultura, Nicaragua 2004.
- CARPENTER, P. (1979); Microbiología; Editorial Interamericana, México.
- CHEN, J. (1991). Manual del Azúcar de caña. Editorial Limusa, México, p 492.
- DE LA ROSA TULLIO (1998); Tecnología de los Vinos Blancos; Ediciones Mundi - Prensa; Barcelona – España
- EARLE, R. (1979); Ingeniería de los Alimentos; Editorial Acribia, Zaragoza.
- EHNSTROEM LKJ (1984) Fermentation method. Patent US4460687.
- FLANZY CLAUDE (2000); Enología: Fundamentos Científicos y Tecnológicos; Ediciones Mundi Prensa; Madrid - España.
- GALUCI GUILLERMO (1987); La caña de azúcar en Cuba; Edición Carlos

de la Torre. Habana-Cuba.

- GONZALES, G. (1985); Métodos Estadísticos y Principios de Diseño Experimental; Editorial Universitaria Quito.
- GONZALES SOSA REYMUNDO (1978); Microbiología de las Bebidas; Pueblos y Educación Ediciones; La Habana - Cuba.
- HAMTEL, C. y MAWLEY, G. (1986); Diccionario de Química; Edición Grijalva, Barcelona.
- HERRERO V y SILVA E (1978); Manual Práctico de Fabricación de Azúcar de Caña; Editorial Pueblo y Educación. Habana-Cuba.
- ICIDCA-GEPLACEO- PNUD, (1988). Manual de los derivados de la caña de azúcar, Habana-Cuba.
- MOREIRA J, GOLDEMBERG J (1999) The alcohol program. *Energ. Policy* 27: 229-245.
- MURTAGH JE (1995) Molasses as a feedstock for alcohol production. En Lyons TP, Kelsall DR, Murtagh JE (Eds.) *The Alcohol Textbook*. Nottingham University Press. Nottingham, RU. pp. 89-96.
- NIGAM P, SINGH D (1995) Enzyme and microbial systems involved in starch processing. *Enzyme Microb. Technol.* 17: 770-778.
- PALACIO Hernán Llames (1956); Fabricación del Alcohol; SALVAT Editores S.A.; Barcelona-España.

- POZO, N. Y GALLEGOS, L. (2006). Determinación de los parámetros óptimos de una bebida alcohólica a partir de yuca. Tesis de grado. UTN.
- QUEZADA, W. (2007); Agroindustria Panelera; Editorial Creadores Gráficos. Ibarra – Ecuador.
- QUEZADA, W. (2011) Manual de Industria Azucarera. Creadores Gráficos. Ibarra-Ecuador. p(217,218)
- SÁNCHEZ PINEDA (2003); Procesos de Elaboración de Alimentos y Bebidas. Madrid -España.
- SOLANO L A (1989); Jugo de caña, dos fuentes de proteína y dos niveles proteicos en la alimentación de cerdos en levante-ceba. Reporte de Investigación CIPAV: Cali (2):91-101.
- TOALA G. y ASTUDILLO J. (2010). Proyecto de implementación de una planta productora de etanol en base a la caña de azúcar, en la península de santa elena, provincia del guayas. Guayaquil – Ecuador.
- VALIENTE, A. (2001). Problemas de balance de materia y energía en Industria Alimentaria. Ediciones LIMUSA. Noriega Editores, Mexico.

## REFERENCIAS WEB

- [www.sancarlos.com.ec/pdf/proceso\\_azucar.pdf](http://www.sancarlos.com.ec/pdf/proceso_azucar.pdf). (Consultado: 08/06/2010).
- [www.sica.gov.ecproduccion de etanol./19/02/2011](http://www.sica.gov.ecproduccion%20de%20etanol./19/02/2011)
- [www.biologia.edu.ar/microind/levaduras.htm](http://www.biologia.edu.ar/microind/levaduras.htm). (Consultada: 15/06/2010).
- [www.monografias.com/destilación.htm](http://www.monografias.com/destilación.htm).( Consultada: 15/06/2010).

- [www.Planta.de.produccion.de.alcohol.etilico.htm](http://www.Planta.de.produccion.de.alcohol.etilico.htm). (Consultada: 30/06/2010).
- sancarlos.com.e. (Febrero de 2011). proceso\_azucar. 1 Febrero de 2011, de sitio Web.proceso\_azucar: [www.sancarlos.com.ec/pdf/proceso\\_azucar.pdf](http://www.sancarlos.com.ec/pdf/proceso_azucar.pdf)
- [www.lrrd.org/lrrd2/2/sarria.htm](http://www.lrrd.org/lrrd2/2/sarria.htm). (Febrero de 2011). 1 Febrero de 2011, de sitio Web lrrd.org/lrrd2/2/sarria.htm: [www.lrrd.org/lrrd2/2/sarria.htm](http://www.lrrd.org/lrrd2/2/sarria.htm)
- [www.revistaeidenar.univalle.edu.co/edicion](http://www.revistaeidenar.univalle.edu.co/edicion). (s.f.). 2005. Febrero de 2011:[http://www.revistaeidenar.univalle.edu.co/edicion3/revista3\\_8a.phtml](http://www.revistaeidenar.univalle.edu.co/edicion3/revista3_8a.phtml)

# ANEXOS



## ANEXO 1

Valores de °Brix, pH y lts.

		<b>°BRIX</b>	<b>pH</b>	<b>lts.</b>
<b>A1</b>	Jugo de caña	<b>19</b>	<b>5,2</b>	<b>19</b>
<b>A2</b>	Cachaza panelera	<b>21</b>	<b>5,24</b>	<b>13</b>
<b>A3</b>	Melaza azucarera	<b>76</b>	<b>5,9</b>	<b>4,3</b>

## ANEXO 2

Valores de °Brix durante el proceso de fermentación.

A1B1	A1B2	A2B1	A2B2	A3B1	A3B2
°BRIX	°BRIX	°BRIX	°BRIX	°BRIX	°BRIX
19,00	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
16,50	16,50	18,75	18,75	19,00	19,00
15,00	14,50	16,50	17,00	18,00	18,00
12,70	12,40	13,50	14,50	16,00	15,00
11,75	11,25	12,00	12,00	12,30	11,00
10,00	10,00	9,25	9,25	11,00	10,75
8,50	8,00	8,00	8,00	10,50	10,50
7,60	7,00	7,25	7,25	10,00	10,10
7,10	7,00	7,00	7,00	10,00	10,00
6,00	6,00	6,90	6,90	10,00	10,00
5,90	6,00	6,50	6,50	10,00	10,00
5,50	5,50	6,25	6,00	10,00	10,00

### ANEXO 3

Valores de pH durante el proceso de fermentación.

A1B1	A1B2	A2B1	A2B2	A3B1	A3B2
pH	pH	pH	pH	pH	pH
4,85	4,85	4,80	4,80	4,80	4,80
4,44	4,46	4,55	4,48	4,70	4,70
4,36	4,36	4,55	4,41	4,65	4,60
4,15	4,22	4,45	4,39	4,59	4,59
4,23	4,27	4,39	4,36	4,48	4,57
4,48	4,44	4,38	4,36	4,55	4,53
4,62	4,60	4,41	4,40	4,56	4,51
4,73	4,76	4,43	4,44	4,62	4,66
4,97	5,03	4,46	4,46	4,63	4,68
5,20	5,21	4,52	4,51	4,64	4,69
5,42	5,48	4,54	4,54	4,66	4,69
5,49	5,61	4,59	4,60	4,69	4,73



**Cachaza**



**Recolección de Cachaza**





Obtención del Jugo de Caña



Jugo de Caña



Dilución de la Melaza



Pasteurización de la Dilución



Enfriamiento de la Dilución



Adición de Fermento



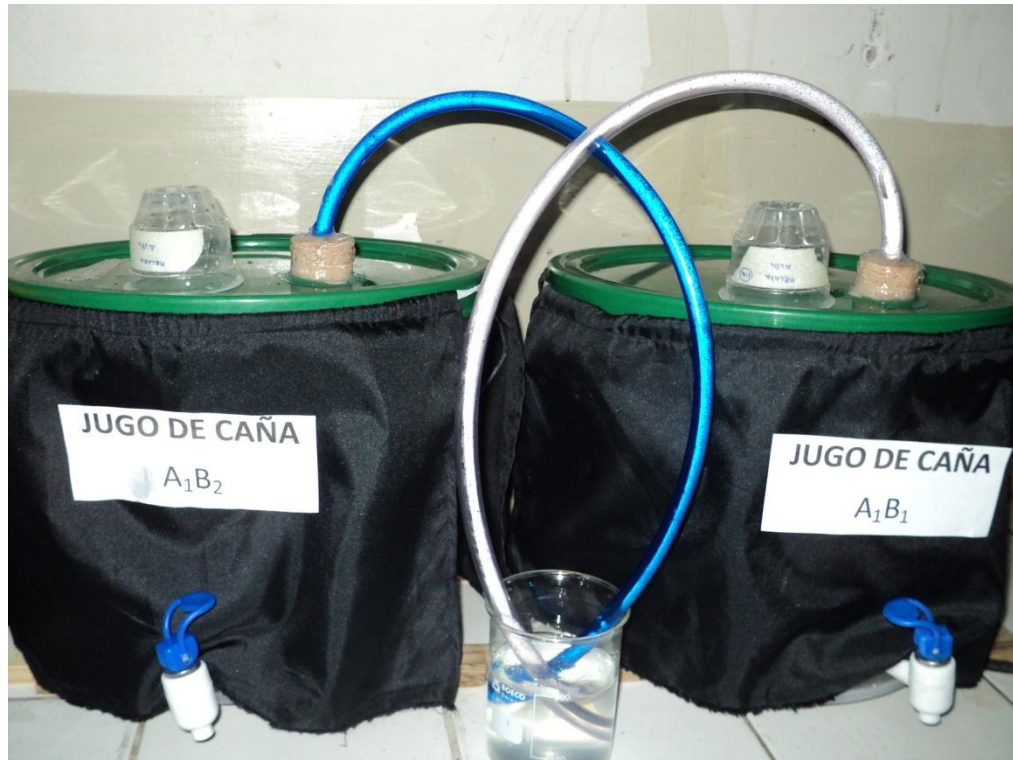


Aireación



Inicio de la Fermentación

## Fermentación del mosto Jugo de Caña



## Fermentación del mosto de Cachaça





## Fermentación del mosto de Melaza



## Fermentación



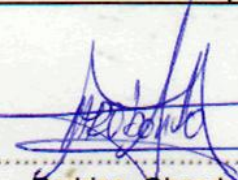
**LICORES DE AMERICA  
LICORAM**

**CONTROL DE CALIDAD  
REPORTE DE CROMATOGRAFIA DE GASES**

**PRODUCTO:** AGUARDIENTE

**LOTE:** A1B1 3° REPETICION

<b>REPORTE</b>	
<b>(mg/100ml)</b>	
<b>METANOL</b>	2.08
<b>ESTERES</b>	8.45
<b>ALCOHOLES SUPERIORES</b>	29.96
<b>ALDEHIDOS</b>	0.44
<b>FURFURAL</b>	0.00



.....  
Rodrigo Obando  
JEFE DE CALIDAD  
LICORAM

**JEFE CONTROL  
CALIDAD** 


LICORES DE AMERICA  
LICORAM

CONTROL DE CALIDAD  
REPORTE DE CROMATOGRAFIA DE GASES

PRODUCTO: AGUARDIENTE

MUESTRA: A1B2 3° REPETICION

REPORTE	
(mg/100ml)	
METANOL	2.08
ESTERES	12.89
ALCOHOLES SUPERIORES	32.60
ALDEHIDOS	0.60
FURFURAL	0.00

  
Rodrigo Obando  
JEFE DE CALIDAD  
LICORAM

JEFE CONTROL  
CALIDAD 

ç

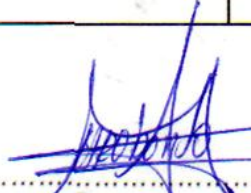
LICORES DE AMERICA  
LICORAM

CONTROL DE CALIDAD  
REPORTE DE CROMATOGRAFIA DE GASES

PRODUCTO: AGUARDIENTE

MUESTRA: A2B1 2º REPETICION

REPORTE	
(mg/100ml)	
METANOL	2.08
ESTERES	6.97
ALCOHOLES SUPERIORES	32.17
ALDEHIDOS	1.11
FURFURAL	0.00

  
Rodrigo Obando  
JEFE DE CALIDAD  
LICORAM

JEFE CONTROL  
CALIDAD 




**LICORES DE AMERICA  
LICORAM**

**CONTROL DE CALIDAD  
REPORTE DE CROMATOGRAFIA DE GASES**

**PRODUCTO:** AGUARDIENTE

**MUESTRA:** A2B2 3° REPATACION

<b>REPORTE</b>	
<b>(mg/100ml)</b>	
<b>METANOL</b>	2.08
<b>ESTERES</b>	6.97
<b>ALCOHOLES SUPERIORES</b>	39.41
<b>ALDEHIDOS</b>	0.79
<b>FURFURAL</b>	0.00

  
Rodrigo Obando  
JEFE DE CALIDAD  
LICORAM

**JEFE CONTROL  
CALIDAD**




**LICORES DE AMERICA  
LICORAM**

**CONTROL DE CALIDAD  
REPORTE DE CROMATOGRAFIA DE GASES**

<b>PRODUCTO:</b>	AGUARDIENTE
------------------	-------------

<b>MUESTRA:</b>	A3B1 2º REPETICION
-----------------	--------------------

<b>REPORTE</b>	
<b>(mg/100ml)</b>	
<b>METANOL</b>	2.08
<b>ESTERES</b>	5.70
<b>ALCOHOLES SUPERIORES</b>	21.43
<b>ALDEHIDOS</b>	0.53
<b>FURFURAL</b>	0.00

  
Rodrigo Obanda  
JEFE DE CALIDAD  
LICORAM

**JEFE CONTROL  
CALIDAD**




**LICORES DE AMERICA  
LICORAM**

**CONTROL DE CALIDAD  
REPORTE DE CROMATOGRAFIA DE GASES**

**PRODUCTO:** AGUARDIENTE

**MUESTRA:** A3B2 3° REPETICION

<b>REPORTE</b>	
<b>(mg/100ml)</b>	
<b>METANOL</b>	2.08
<b>ESTERES</b>	7.18
<b>ALCOHOLES SUPERIORES</b>	24.62
<b>ALDEHIDOS</b>	0.45
<b>FURFURAL</b>	0.00

  
Rodrigo Obando  
JEFE DE CALIDAD  
LICORAM

**JEFE CONTROL  
CALIDAD**



Norma Ecuatoriana Obligatoria	BEBIDAS ALCOHOLICAS. AGUARDIENTE DE CAÑA RECTIFICADO. REQUISITOS.	INEN 362 Cuarta Revisión 1992-07
-------------------------------	---	--

**1. OBJETO**

**INEN**  
INSTITUTO ECUATORIANO  
DE NORMALIZACIÓN  
**BIBLIOTECA**

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el aguardiente de caña rectificado, para ser considerado apto para el consumo humano.

**DONACION**

**2. DEFINICIONES**

2.1 Aguardiente de caña rectificado. Es el producto obtenido mediante la fermentación alcohólica y destilación de jugos y otros derivados de la caña de azúcar, sometido a rectificación, de modo que conserve sus características organolépticas. También podrá denominarse "Aguardiente" o "Aguardiente de caña".

**3. REQUISITOS**

3.1 Debe ser transparente, incoloro o ambarino, con olor y sabor característicos del aguardiente de caña rectificado.

3.2 No se permite la adición de edulcorantes artificiales, colorantes diferentes al caramelo de sacarosa, esencias naturales o artificiales que modifiquen sus características organolépticas, ni bonificadores artificiales.

3.3 Debe cumplir con los requisitos establecidos en la tabla 1.

Tabla 1. Requisitos del aguardiente de caña rectificado.

REQUISITOS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	METODO DE ENSAYO
Grado alcohólico a 15°C	°GL			INEN 340
a) a nivel de productor		85	-	
b) a nivel de consumidor		30	50	
Acidez total, como ácido acético *		-	40	INEN 341
Esteres, como acetato de etilo *		-	80	INEN 342
Aldehídos, como etanal *		-	20	INEN 343
Furfural *		-	1,5	INEN 344
Alcoholes superiores *		-	150	INEN 345
Metanol *		-	10	INEN 347
Congéneres *		18	250	

\* mg/100 cm<sup>3</sup> de alcohol anhidro.

DESCRIPCIÓN: Bebidas espirituosas, alcoholes, aguardientes, licores, fermentación, destilación, maceración, requisitos.

1992-019

"ALMACEN"



El agua utilizada para hidratar el producto hasta los niveles establecidos en la tabla 1 debe ser potable, según Norma INEN 1 108. También podrá ser destilada, desionizada o desmineralizada.

#### 4. INSPECCION

El muestreo debe realizarse de acuerdo a la Norma INEN 339

#### 5. ENVASADO Y ROTULADO

El aguardiente, para consumo final, debe envasarse cumpliendo los requisitos establecidos en la norma correspondiente, de tal forma que se garantice su calidad e inviolabilidad.

El aguardiente, como producto de consumo final, debe tener impreso, con caracteres legibles e indelebles en el panel principal de la etiqueta, la denominación "Aguardiente", "Aguardiente de caña" o "Aguardiente de caña rectificado", indistintamente, además de todos los requisitos estipulados en la norma INEN 1933.

El envasado y comercialización del aguardiente de caña rectificado, para consumo final, se sujetará a las Normas y Regulaciones dictadas por el INEN y las leyes pertinentes.

(Continúa)