



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Extensión Santo Domingo**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Y SISTEMAS DE GESTIÓN**

Tesis de grado previo a la obtención del título de:  
**INGENIERA AGROINDUSTRIAL, MENCIÓN EN ALIMENTOS**

**“OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE LOS AZUCARES TOTALES DE LA CÁSCARA DE DOS VARIEDADES DE PLÁTANO BARRAGANETE Y DOMINICO (*Musa paradisiaca*), EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR “CRECERMÁS”, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, EN EL PERIODO 2011-2012”.**

**Estudiante:**

**MAGALY MARICELA PONCE MOREJÓN**

**Director de Tesis:**

**ING. ELSA BURBANO**

Santo Domingo – Ecuador

Abril, 2013

**“OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE LOS AZUCARES TOTALES DE LA CÁSCARA DE DOS VARIEDADES DE PLÁTANO BARRAGANETE Y DOMINICO (*Musa paradisiaca*) , EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR “CRECERMÁS”, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, EN EL PERIODO 2011-2012”.**

Ing. Elsa Burbano

**DIRECTOR DE TESIS**

---

**APROBADO**

Ing. Daniel Anzules

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Dr. Víctor Caisaguano

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Juan Crespín

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Santo Domingo.....de.....2013

**Autora:** Magaly Maricela Ponce Morejón

**Institución:** UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
EQUINOCCIAL

**Título de Tesis:** “OBTENCIÓN DE ETANOL APARTIR DE LOS  
AZUCARES TOTALES DE LA CÁSCARA DE  
PLÁTANO BARRAGANETE Y DOMINICO  
(*Musa paradisiaca*), EN EL INSTITUTO  
TECNOLÓGICO SUPERIOR “CRECERMÁS”,  
PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, EN EL  
PERIODO 2011-2012”.

**Fecha:** Abril, 2013

---

**Magaly Maricela Ponce Morejón**  
**210063598-2**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Extensión Santo Domingo**

**INFORME DEL DIRECTOR DE TESIS**

Santo Domingo, ..... de Abril del 2013

Señor  
Ing. Daniel Anzules  
**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**UTE – Santo domingo**

Estimad (a) Ingeniero

Cumplo en informar que el trabajo investigativo realizado por la señorita **MAGALY MARICELA PONCE MOREJÓN**, cuyo tema es: **“OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE LOS AZUCARES TOTALES DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO BARRAGANETE Y DOMINICO (*Musa paradisiaca*), EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR “CRECERMÁS”, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS, EN EL PERIODO 2011-2012”**, ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente,

Ing. Elsa Burbano  
**DIRECTOR DE TESIS.**

## *DEDICATORIA*

*La elaboración de mi tesis es el reflejo de todo el esfuerzo realizado por parte de mis padres y de toda mi familia, los cuales han sido un apoyo importante a lo largo de mi carrera que hoy la estoy culminando.*

*A mi padre, Héctor Ponce aunque ya no está conmigo en este momento tan importante de mi vida. A mi madre, Beatriz Morejón gracias por darme la oportunidad de ingresar a la universidad, por el apoyo incondicional que me ha brindado y no dejarme sola en este recorrido de mi vida.*

*A mis hermanos y hermanas, quienes me han brindado su apoyo moral en todo momento, lo cual me ayudaba a no darme por vencida y llegar a la meta.*

*A mi amiga, Daysi León que siempre ha estado apoyándome en las buenas en las malas.*

*A Dios, ya que por él estoy escribiendo esta dedicatoria, gracias a por darme la vida y salud que es lo más importante.*

*Magaly Ponce*

## *AGRADECIMIENTO*

*A Dios porque él me ha permitido culminar una etapa importante de mi vida.*

*A mis padres, hermanos y amigos quienes han estado presentes en el transcurso de toda mi carrera con todo su apoyo para no darme por vencida.*

*A mi coodirector de tesis Ing. Jimmy Carrasco, quien con sus conocimientos y paciencia supo guiarme para culminar con éxito mi tesis.*

*A mi directora de tesis Ing. Elsa Burbano, quien con sus conocimientos y paciencia supo guiarme para culminar con éxito mi tesis.*

*Al Instituto Superior Tecnológico “CRECERMÁS” por haberme abierto las puertas, y a todos los profesores que me han brindado todos sus conocimientos.*

*Muchas gracias*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>Tema</b>	<b>Pág.</b>
Portada.....	i
Hoja de sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal.....	ii
Hoja de responsabilidad del autor.....	iii
Informe del director de tesis.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenido.....	vii
Índice de cuadros.....	xii
Índice de gráficos.....	xii
Resumen ejecutivo.....	xiv
Executive summary.....	xv

### **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

1.1 Antecedentes.....	1
1.1.1. Antecedentes históricos.....	1
1.1.2. Antecedentes Científicos.....	2
1.1.3. Antecedentes prácticos.....	2
1.1.4. Importancia del Estudio.....	3
1.1.5. Situación actual del tema de investigación.....	3
1.2. Limitaciones del estudio.....	4
1.3. Alcance del trabajo.....	4
1.4. Objeto del estudio.....	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo General.....	5
1.5.2 Objetivos Específicos.....	5
1.6 Justificación de la investigación.....	5

1.6.1. Justificación.....	5
1.6.2. Factibilidad .....	6
1.7. Hipótesis .....	7
1.7.1. Hipótesis alternativas (Hi) .....	7
1.7.2. Hipótesis nula (Ho).....	7
1.7.3. Variables .....	7
1.7.3.1. Variable independiente (causa).....	7
1.7.3.2. Variable dependiente (efecto) .....	7
1.8. Aspectos metodológicos del estudio .....	7
1.9. Indicadores.....	8

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

2.1. Plátano.....	9
2.1.1. Generalidades del plátano .....	9
2.1.2. Variedades .....	10
2.1.3. Características morfológicas de Dominico .....	10
2.1.3.1. Pseudotallo .....	11
2.1.3.2. Hojas.....	11
2.1.3.3. Racimo.....	11
2.1.4. Características morfológicas de Barraganete .....	12
2.1.4.1. Pseudotallo .....	12
2.1.4.2. Hojas.....	12
2.1.4.3. Racimo.....	12
2.1.5. Industrialización del plátano .....	13
2.1.6. Composición química del plátano .....	13
2.1.7. Composición química de la cáscara del plátano .....	14
2.1.8. Cáscara de plátano.....	14
2.2. Etanol.....	15
2.2.1. Características del etanol.....	16
2.2.2. Usos del etanol .....	16



2.2.3. El proceso productivo del etanol .....	17
2.2.4. Diagrama de flujo general .....	18
2.3. Enzimas .....	18
2.3.1. Clasificación de las enzimas .....	19
2.3.2. Propiedades de las enzimas .....	19
2.4. Levaduras. ....	20
2.4.1. Características generales de las levaduras.....	21
2.4.2. Características morfológicas .....	22
2.5. Fermentación .....	23
2.5.1. Fermentación discontinua .....	27
2.5.1.1. Fase de latencia .....	27
2.5.1.2. Fase logarítmica.....	28
2.5.1.3. Fase estacionaria.....	28
2.5.1.4. Fase de muerte .....	29
2.5.2. El proceso de fermentación.....	29
2.5.3. Clases de fermentaciones.....	30
2.5.4. Influencia de factores externos en el curso de la fermentación alcohólica..	30
2.6. Destilación.....	31
2.6.1. Artesanal.....	32
2.6.2. Industrial.....	32
2.7. Control de calidad .....	35
2.7.1. Medición de los grados Brix .....	35
2.7.2. Medición del pH .....	36
2.7.3. Medición de la acidez titulable .....	36
2.7.4. Medición de los grados alcohólicos.....	36
2.7.5. Balance de energía y materia .....	37
2.7.6. Diseño Experimental .....	39

### **CAPITULO III METODOLOGÍA**

3.1 Aspectos metodológicos del estudio .....	41
--	----

3.1.1 Ubicación .....	41
3.1.2. Tipo de investigación.....	41
3.1.2.1. Experimental .....	41
3.1.2.2. Descriptiva .....	41
3.1.2.3. No observacional .....	42
3.1.3. Métodos de investigación.....	42
3.1.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....	42
3.2. Variables .....	43
3.2.1. Variables para la obtención de etanol .....	43
3.3. Tratamiento de los datos.....	43
3.3.1. Factores en estudio.....	44
3.4. Materiales, equipos y reactivos utilizados y necesarios para la Utilización de cáscara de plátano barraganete y dominico para la obtención de etanol.....	45
3.4.1. Materiales.....	45
3.4.2. Equipos .....	46
3.4.3. Reactivos .....	47
3.4.4. Materia Prima.....	47
3.5. Utilización de cáscara de plátano barraganete y dominico para la obtención de etanol.....	47
3.5.1. Diagrama de flujo para la utilización de cáscara de plátano barraganete y dominico para la obtención de etano.....	48
3.5.2. Descripción del proceso de la extracción de etanol de la cáscara de plátano de dos variedades.....	49
3.5.2.1. Recepción de los plátanos .....	49
3.5.2.2. Selección.....	49
3.5.2.3. Lavado .....	49
3.5.2.4. Pelado .....	50
3.5.2.5. Escaldado .....	50
3.5.2.6. Cortado .....	50
3.5.2.7. Pesado.....	50
3.5.2.8. Licuado.....	50

3.5.2.9. Envasado .....	51
3.5.2.10. Sellado .....	51
3.5.2.11. Fermentación .....	51
3.5.2.12. Destilado .....	51
3.5.2.13. Almacenamiento .....	52

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4. Resultados de los datos estadísticos .....	53
4.1. Análisis estadístico del pH .....	53
4.2. Análisis estadístico de acidez .....	54
4.3. Análisis estadísticos de °alcohólicos.....	56
4.4. Análisis estadístico de °Brix .....	58
4.5. Balance de materia y energía .....	60
4.5.1. Diagrama de flujo cuantitativo de la utilización de cáscara de plátano barraganete para la obtención de etanol .....	60
4.6. Balance de materia de la utilización de cáscara de plátano barraganete para la obtención de etanol a nivel piloto .....	63
4.7. Balance de energía de la utilización de cáscara de plátano barraganete para la obtención de etanol .....	76
4.8. Diseño de destilación .....	80
4.9. Análisis cromatografico del etanol.....	94

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	95
5.2.- Recomendaciones .....	97
BIBLIOGRAFÍA .....	98
ANEXOS .....	101

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°1 : Composición del plátano por cada 100 gr. ....	13
Cuadro N°2 : Composición química de la cáscara de plátano, en dos estados de maduración.....	14
Cuadro N°3 : Factores de Estudio.....	44
Cuadro N°4 : Tratamientos a evaluar.....	44
Cuadro N° 5: Esquema del ADEVA .....	45
Cuadro N° 6: Parámetros físico químicos de la cáscara de plátano .....	49
Cuadro N°7 : Tabla de Análisis de Varianza para el Variable pH.....	53
Cuadro N°8 : Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) .....	53
Cuadro N°9 : Medias para la Interacción Variedad por Levadura .....	54
Cuadro N°10 : Análisis de Varianza para la Variable % de acidez.....	54
Cuadro N°11 : Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) .....	55
Cuadro N°12 : Prueba de Tukey para la variable Variedad de Plátano .....	55
Cuadro N°13 : Medias para la Interacción Variedad por Levadura .....	56
Cuadro N°14: Análisis de Varianza para la Variable °alcohólic os.....	56
Cuadro N°15 : Análisis de la Varianza (SC tipo III) .....	57
Cuadro N°16: Medias para la Interacción Variedad por Levadura .....	57
Cuadro N°17 : Análisis de Varianza para °Brix .....	58
Cuadro N°18 : Análisis de la Varianza (SC tipo III) .....	58
Cuadro N°19 : Medias para la Interacción Variedad por Levadura .....	59
Cuadro N°20: Espacio entre platos .....	83
Cuadro N°21: Altura del empaque .....	83
Cuadro N° 22: Análisis cromatográfico del etanol .....	94

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Barraganete .....	9
Gráfico N° 2: Dominico.....	9
Grafico N°3: Fruto de plátano y sus partes .....	15
Gráfico N°4: Diagrama de Flujo General.....	18

Gráfico N°5: Estructura de la levadura.....	22
Gráfico N°6: Mecanismo de <i>S. cereviceae</i> en la fermentación alcohólica .....	25
Gráfico N°7: Mecanismo de fermentación alcohólica .....	26
Gráfico N°8: Destilador simple .....	34
Gráfico N°9: Destilador fraccionado .....	35
Gráfico N°10: Arreglo Experimental .....	40
Grafico N°11: Diagrama de Flujo .....	48
Gráfico N°12: Base de cálculo 1.227kg de plátano b arraganete.....	60
Grafico N° 13: Calentador .....	81
Gráfico N°14: Soportes (plato perforado).....	82
Gráfico N° 15: Abrazaderas .....	82
Gráfico N° 16: Cuerpo de la Torre.....	84
Gráfico N° 17: Diseño de la Torre .....	85
Gráfico N° 18: Cuerpo del intercambiador de calor .....	86

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Instituto Superior Tecnológico CRECERMÁS, cuyo tema fue Obtención de etanol a partir de los azúcares totales de la cáscara de plátano barraganete y dominico (*musa paradisiaca*).

Para conseguir este propósito se plantearon algunos objetivos como fueron caracterizar la materia prima; determinar el mejor parámetro de fermentación, realizar un análisis cromatográfico al mejor tratamiento a estos objetivos.

Se determinó que el mejor tratamiento se obtuvo como mejor el T4 (A1B1) que es la cáscara del Barraganete con un porcentaje del 1% de levadura con el cual se obtuvo los siguientes resultados: pH 3,75; acidez 1,16; ° Brix 4; alcohólicos 3,13.

También se realizó balance de materia y energía con la finalidad de poder diseñar la unidad de trabajo más utilizada dentro del proceso.

Finalmente se determinó el costo de producción de etanol obtenido cuyo valor alcanza \$10,80.

Este trabajo de investigación recomienda al uso de las cáscaras de plátano barraganete en la elaboración de productos alimenticios, bebidas con lo que se estaría dando valor agregado de este desperdicio vegetal.

## EXECUTIVE SUMMARY

This research work was carried out in the Institute higher technological CRECERMAS, whose theme was obtaining ethanol from sugars totals of the banana peel barraganete and Dominic (*musa paradisiaca*).

To achieve this purpose some objectives are planted as they were to characterize raw; determine the best parameter of fermentation, perform a chromatographic analysis to the best treatment to these objectives.

It was determined that the best treatment was obtained as better the T4 (A1B1) which is the shell of the Barraganete with a percentage of 1% of yeast which was obtained the following results: pH 3.75; 1.16 acidity; ° Brix 4; 3.13 alcoholics.

There was also material and energy balance in order to be able to design the most commonly used unit of work within the process. The cost of ethanol production retrieved whose value reaches \$10.80 was finally determined.

This research paper recommends the use of shells of banana barraganete in the preparation of food products, beverages with what added value of this vegetable waste would be taken.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

##### 1.1.1. Antecedentes históricos

El “boom” bananero en el Ecuador empezó en los años 1944 – 1952, alcanzando el máximo nivel de explotación en el periodo del presidente Galo Plaza Lazo, según fuente del Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio e Integración.

Actualmente el Ecuador exporta aproximadamente 1900 millones de dólares por concepto de divisas, ubicando al banano, como el primer producto de exportación del sector privado.

Este aunque potencial de exportación solo ha ocurrido como racimo de fruta, es decir en materia prima, pero no en forma de derivados, por lo que grandes cantidades de fruto no calificada para exportación, se ha desperdiciado por falta de agroindustria que produzcan derivados como: banano en almíbar, fruta deshidratada, bebidas, jaleas, mermeladas, compotas, néctares, puré entre otras como el ETANOL. Se están desarrollando hace aproximadamente 5 años otras, pequeñas agroindustrias destinadas a potencializar la agroindustria gracias a la importancia económica que esta representa para la comunidad.

El plátano (*Musa paradisiaca*), a lo largo de los años se ha comercializado como fruta fresca a los mercados de Europa, Estados Unidos, Colombia y países de centro América, siendo muy poco su industrialización, apareciendo recién hace pocos años las plantas procesadoras de harina de plátano, chifles, empanadas, bolones, etc.; que generan fuentes de ingreso y trabajo para las



poblaciones. Mucho menos se ha hecho con la cáscara el cual únicamente se lo ha utilizado como compost para abono en las plantaciones agrícolas o lo que es peor se lo desecha y deja podrir creando así hospederos para plagas que afectan al mismo cultivo del plátano.

### **1.1.2. Antecedentes Científicos**

Existen pocos trabajos de investigación que utilicen la cáscara de plátano como materia prima, pero se conoce, que su mayor crecimiento en el mundo tecnológico se ha dado gracias a los chifles que son plátanos tajados y fritos a temperaturas elevadas con el fin de obtener la dureza y contextura adecuada; se fabrica también lo que son harinas las cuales pueden ser puras o mezclas con otros aditivos para obtener las harinas instantáneas que se encuentran en el mercado.

La cáscara principalmente se ha usado como compost en plantaciones donde se aprovecha el desecho como abono en diferentes cultivos, también se ha usado como alimento de animales.

### **1.1.3. Antecedentes prácticos**

La utilización del plátano barraganete y dominico es muy diversa, especialmente en comidas típicas manabitas como el bolón, las empanadas, la harina; las cuales día a día se está avanzando en más tecnologías para poder así dar un mayor tiempo de vida a estos productos procesados.

Lo que tiene que ver con la cáscara lo han utilizado como abono orgánico en diferentes cultivos, también como alimento de animales. En alimentación humana aún no se ha hecho ninguna investigación, pero tomando en cuenta los valores nutricionales que tiene, la estoy investigando para darle un valor agregado.

#### **1.1.4. Importancia del Estudio**

Dada la gran producción de plátano que existe en la zona es de vital importancia darle un uso a cada elemento que conforma parte de este cultivo y la cáscara es una parte importante del racimo del plátano, y al no ser utilizado en los hogares y fincas se convierte en un desecho, además que vemos cada día en el mundo que la falta de alimentación en algunos años es eminente por lo que se debe utilizar todas las materias primas que puedan ayudar a parar la hambruna en el mundo.

#### **1.1.5. Situación actual del tema de investigación**

La producción de plátano ha sido ancestral en el Ecuador principalmente para el consumo interno. La presión de la demanda étnica en países como Estados Unidos y otros en Europa, han estimulado la producción de plátano de buena calidad para la exportación.

Es así que para el año 2007 las exportaciones de plátano y banano han alcanzado un total de 1.302.520 miles de dólares a diferencia del año 2006 cuya cifra fue de 1.213.489 miles de dólares. Los principales destinos de exportación son la Unión Europea y Estados Unidos no así mercados como Rusia, Países del Este, Chile, Nueva Zelanda, Japón y China.

Desde el año 2000 las exportaciones de productos no tradicionales industrializados, como son los elaborados de banano y plátano, han alcanzado una cifra importante, dentro de este rubro su tendencia ha sido al crecimiento año tras año.

Dentro de estos productos se encuentran los chifles de banano y plátano los cuales han ido conquistando nuevos mercados, especialmente los del continente Europeo a los cuales se han sumado países como Italia Alemania,

Finlandia y Reino Unido. La tendencia de las exportaciones de chifles ha sido creciente entre el 2000 y el 2007. El aumento promedio anual ha sido del 215% aproximadamente.

La partida arancelaria NANDINA de este producto es 8030011 "Bananas o plátanos, plátano para cocción, fresco o refrigerado".

### **1.2. Limitaciones del estudio**

Para realizar ésta investigación los limitante son los equipos, reactivos y materiales con los que no cuenta el Instituto Superior Tecnológico "CRECERMÁS", por lo que el análisis cromatografico tendré que enviar a hacer los análisis fuera del Cantón.

### **1.3. Alcance del trabajo**

Con la aplicación de este trabajo investigativo se abre la posibilidad de que la cáscara de plátano pase de ser un desecho orgánico a un producto que sirva de sustrato para la producción de etanol o cualquier otra bebida fermentada como son las siguientes: vino, vodka, etc. también es una alternativa económica para los productores y consumidores de plátano esto hará que no se deseche la cáscara. Con esto se logrará que los agricultores tengan una alternativa económica y se reducirá la tala de bosques.

### **1.4. Objeto del estudio**

La presente investigación tiene como objeto de estudio la obtención de etanol de los azúcares totales de la cascara de dos variedades de plátano barraganete y dominico, y analizar el producto obtenido.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

Obtener etanol de los azúcares totales de la cáscara de dos variedades de plátano barraganete y dominico, (*Musa paradisiaca*), en el Instituto Superior Tecnológico “CRECERMÁS”.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los parámetros físicos – químicos de dos variedades de cáscara de plátano barraganete y dominico “*Musa paradisiaca*”.
- Determinar los parámetros de fermentación de dos variedades de cáscara de plátano barraganete y dominico “*Musa paradisiaca*”.
- Producir etanol a base de dos variedades de cáscara de plátano barraganete y dominico “*Musa paradisiaca*”.
- Realizar un análisis cromatografico al mejor tratamiento.
- Realizar un balance de materia y energía en el proceso de elaboración de etanol a nivel piloto.
- Cuantificar los costos de producción para la elaboración de etanol.

## 1.6 Justificación de la investigación

### 1.6.1. Justificación

Considerando la falta de decisión que poseen las empresas agroindustriales en la utilización de recursos propios para la obtención de productos nuevos como es la industrialización de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca L*) para la obtención de etanol, vino y otras ; en particular Sucumbíos, es una provincia que se ha caracterizado por ser una zona potencialmente comercial, por ende se debería lanzar al mercado oportunidades nuevas de consumo; esta tierra de

gente trabajadora goza de una diversidad de personas que la visitan no solo de provincias hermanas sino de otras partes del mundo atraídos por su potencial comercio y atractivo turístico sino también por aprovechar la generosidad de su justo suelo, que provee de múltiples frutos tropicales y exóticos.

El objetivo principal de esta investigación es marcar un hito en el aprovechamiento de la cáscara de plátano en el país, que podría muy bien contribuir a la conservación ambiental de nuestra provincia. Aportando de esta forma al desarrollo de la pequeña industria y economía del país, convirtiéndola en una fuente generadora de recursos y empleo para el desarrollo integral.

La elaboración de etanol de frutas tropicales en el país está relegado por la poca motivación que existe para la creación de pequeñas empresas agroindustriales, por lo que se considera necesario emprender una acción que promueva a todos los agricultores al cultivo de plátano, con la utilización de técnicas eficaces para evitar el pronto perecimiento de esta.

### **1.6.2. Factibilidad**

Esta investigación se llevará a cabo en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior “CRECERMÁS”, que está ubicado en el Km 12 ½ de la Vía Lago Agrio-Quito, margen derecho, segunda línea, en el área del laboratorio de microbiología, el cual cuenta con los equipos y materiales para el proceso de fermentación y destilación y la elaboración de bebidas alcohólicas. La materia prima, la proveerán varias familias de las comunidades del Cantón de Lago Agrio.

Esta investigación no contará con ningún tipo de financiamiento por parte de instituciones u otras empresas, motivo por el cual será financiada con recursos propios.

## **1.7. Hipótesis**

### **1.7.1. Hipótesis alternativas (Hi)**

El porcentaje de levadura y tiempo de fermentación influye en las características físico-químicas y organolépticas de la cáscara de plátano en la elaboración de etanol.

### **1.7.2. Hipótesis nula (Ho)**

El porcentaje de levadura y tiempo de fermentación no influye en las características físico-químicas y organolépticas de la cáscara de plátano en la elaboración de etanol.

### **1.7.3. Variables**

#### **1.7.3.1. Variable independiente (causa)**

- Variedades de plátano
- Porcentaje de levadura

#### **1.7.3.2. Variable dependiente (efecto)**

- Características físicas
- Características químicas
- Grado alcohólico

## **1.8. Aspectos metodológicos del estudio**

Los métodos a utilizarse en la presente investigación son:

- Método observación científica: Para conocer rasgos existentes del objeto de estudio.
- Método inductivo: Observación de fenómenos particulares, para llegar al conocimiento.
- Método de análisis: Dividir el todo en partes, y revisar cuidadosamente cada una de las partes.
- Método estadístico: Realizar los análisis de datos, para transformarlos en información.

Con estos métodos se tabularán y se realizarán los respectivos cálculos de los datos obtenidos de la utilización de cáscara de plátano barraganete y dominico, para la obtención de etanol y del producto final.

Mediante estos métodos se van a obtener resultados para comprobar si el etanol de la cáscara de plátano es rentable.

### **1.9. Indicadores**

- Grado alcohólico. INEN 340.
- Determinación de la Acidez. INEN 341
- Determinación de Metanol. INEN 347.
- Determinación de pH. INEN 389
- Determinación de solidos solubles. INEN 380

## CAPITULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Plátano

**Gráfico N° 1**

Barraganete



**Gráfico N° 2**

Dominico



Fuente: <http://www.plantasnet.com/p/platano/platano.htm>

#### 2.1.1. Generalidades del plátano

Taxonomía del Plátano:

Familia: Musáceas

Género: Platanus

Especie: *Musa paradisiaca*

Nombre científico: *Musa paradisiaca* L.

Nombres comunes: plátano

Etimología: El Plátano es originaria en Asia, llegó a las costas Mediterráneas en el año 650 y a Canarias en el siglo XV. Desde Canarias llegó a América en el año 1516, donde le cambiaron en nombre a banana y se convirtió en uno de los alimentos básicos de los países tropicales y caribeños. (Solórzano L. 2007).



Con la variedad de los plátanos macho (se cocinan, son menos dulces y más grandes) ellos acompañan casi todos sus platos (como el arroz para los asiáticos). En cambio en Europa tomamos plátanos crudos (plátano enano), como postre. Desde Canarias empieza a comercializarse a partir de finales del siglo XIX. ([www.euroresidentes.com/Alimentos/platano.htm](http://www.euroresidentes.com/Alimentos/platano.htm)).

La pulpa de plátano es utilizada para la elaboración de una gran variedad de productos alimenticios como: harina, puré, almidón, confitería y otros subproductos, quedando la cáscara como un residuo más, sin tomar en cuenta que se puede realizar harina, y extraer etanol. (Araya, O .1995.)

### **2.1.2. Variedades**

En el país se producen muchas variedades de plátano. Pero en la región litoral existen dos variedades predominantes denominadas Barraganete y Dominico. En los sectores de El Carmen y La Maná existen pequeñas plantaciones de las variedades Dominico, Hartón y Maqueño, y en todo el litoral se aprecia, en forma diseminada un pequeño número de plantas de la variedad denominadas “Cuatro Filos”. (Tazón L. 2003)

En los valles Andinos, especialmente en la provincia de Loja, existen pequeñas parcelas de las variedades denominadas “Repe” y “Limeño”. (Tazón L. 2003)

### **2.1.3. Características morfológicas de Dominico**

**Subgrupo plátano AAB.-** Es la variedad que se encuentra más ampliamente sembrada en el litoral ecuatoriano, alrededor del 60% de la superficie en la producción. Por ello, es la de mayor consumo en los diferentes elaborados culinarios propios de la región. (Tazón L. 2003)

Las principales características morfológicas son las siguientes:

### **2.1.3.1. Pseudotallo**

Alcanza una altura que fluctúa entre 3,5 y 4 metros, de acuerdo a la densidad de la población y a las condiciones de luminosidad del sector. El color es predominante verde con tonalidades rosadas en los bordes de las vainas foliares. (Tazón L. 2003)

### **2.1.3.2. Hojas**

Al igual que todas las otras variedades, se encuentran atravesadas en sentido longitudinal por la nervadura central de la que se derivan en sentido perpendicular, las nervaduras secundarias. El color del lino es verde mate en la cara superior y verde más claro en la cara inferior. (Tazón L. 2003)

La nervadura central más bien es de color amarillo verdoso. En toda su superficie se encuentran distribuidas las estomas. A través de estos penetran los tubos germinativos de las esporas del hongo *M. fijiensis* que ocasiona la Sigatoca Negra. (Tazón L. 2003)

### **2.1.3.3. Racimo**

Posee entre 7 y 10 manos, cada una con un número de frutos que fluctúan entre 11 y 13, dispuestos en dos filas virtualmente paralelas. Los frutos tienen forma curvada con un ángulo cerca de 90 grados en su parte basal. (Tazón L. 2003)

Es muy característico en esta variedad la presencia de las flores masculinas y de las brácteas que las cubren, las que paulatinamente se van secando y arrugando pero permanecen adheridas al raquis con el resto de la bellota hasta la cosecha del racimo. Los pedicelos que lo unen a la corona en el raquis son un tanto alargados y medianamente gruesos. El extremo del fruto es bastante achatado. La pulpa al madurar, toma un color crema. (Tazón L. 2003)

#### **2.1.4. Características morfológicas de Barraganete**

Subgrupo plátano AAB.

Es, después del Dominico, el plátano de producción y de consumo más extendido en el litoral ecuatoriano, en un nivel estimado en 35 %, con tendencia a incrementarse por el aumento de las cifras de exportación y de elaborados de consumo domésticos “chifles, bolones”, para los que se prefiere esta variedad.

Es además la única variedad destinada a la exportación por ser la preferida de la población de origen caribeño que reside en Estados Unidos y por las etnias africanas emigradas a Europa. (Tazón L. 2003)

Las principales características morfológicas son las siguientes:

##### **2.1.4.1. Pseudotallo**

Generalmente es más alto que el del Dominico. Su color es verde claro sin las tonalidades rojizas en los bordes de las vainas foliares. (Tazón L. 2003)

##### **2.1.4.2. Hojas**

Muy similar a las del Dominico en su estructura general. El tono del color verde puede adquirir diversos matices por influencias locales de nutrición de la planta y de la intensidad de la luminosidad o brillo de la luz solar. (Tazón L. 2003)

##### **2.1.4.3. Racimo**

Tiene un menor número de manos que el Dominico, igualmente, menor número de frutas. Solo la primera mano tiene doble hilera de frutos, los que son menos curvados que los del Dominico, pero más largos y gruesos; a la maduración se proyectan horizontalmente. (Tazón L. 2003)

El pedicelo es más corto y más grueso que el Dominicano y el extremo libre menos achatado. Mucho antes de la madurez de los frutos se han secado y caído las flores masculinas y las brácteas que las protegían. (Tazón L. 2003)

### 2.1.5. Industrialización del plátano

Cuando se cosecha el racimo, solo se ha venido utilizando del 20 al 30%, es decir solo el fruto, quedando de un 70 a 80% por utilizar, lo que ha generado una de las principales problemáticas ambientales, puesto que en la mayoría de los casos son incinerados o vertidos a los cuerpos receptores sin tratamiento previo, contribuyendo a la degradación del ecosistema; aunque, algunos productores aprovechan los residuos en la plantación en forma de abono verde y alimentación animal. (Callejo G.M.J, 2002)

Este cultivo ha incrementado su valor social y económico, lo que implica la necesidad de introducir alternativas tecnológicas mediante el aprovechamiento eficiente de su cáscara, residuo no utilizado y desechado. (Callejo G.M.J, 2002)

### 2.1.6. Composición química del plátano

**Cuadro N°1**  
**Composición del plátano por cada 100 gr.**

<b>Agua</b>	74, 2 gr.	<b>Magnesio</b>	29 mg
<b>Energía</b>	92 kcal.	<b>Calcio</b>	6 mg
<b>Grasa</b>	0, 48 gr.	<b>Zinc</b>	0,16 mg
<b>Proteína</b>	1. 03 gr.	<b>Selenio</b>	1,1 mg
<b>Hidratos de c</b>	23, 43 gr.	<b>Vitamina C</b>	9,1 mg
<b>Fibra</b>	2, 4 gr.	<b>Vitamina A</b>	81 IU
<b>Potasio</b>	396 mg	<b>Vitamina B1</b>	0, 045 mg.
<b>Fósforo</b>	20 mg	<b>Vitamina B2</b>	0,10 mg
<b>Hierro</b>	0, 31 mg	<b>Vitamina E</b>	0,27 mg
<b>Sodio</b>	1 mg	<b>Niacina</b>	0.54 mg

Fuente: INIAP. Ecuador. 2004.

### 2.1.7. Composición química de la cáscara del plátano

**Cuadro N° 2**  
**Composición química de la cáscara de plátano, en dos estados de maduración**

Composición	Verde	Amarillo
Fibra (%)	8.6	9.0
Azucares totales (%)	6	16
Azucares reductor (%)	4	13
Almidón (%)	52	42
Nitrógeno (%)	1.4	1.4
Fosforo (%)	0.18	0.16
Potasio (%)	3.4	3.7
Calcio (%)	0.21	0.23
Magnesio (%)	0.08	0.10
Manganeso(ppm)	11	15
Zinc (%)	16	18
Cobre (%)	11	9
Hierro (%)	102	149

Fuente: CITA. 1997

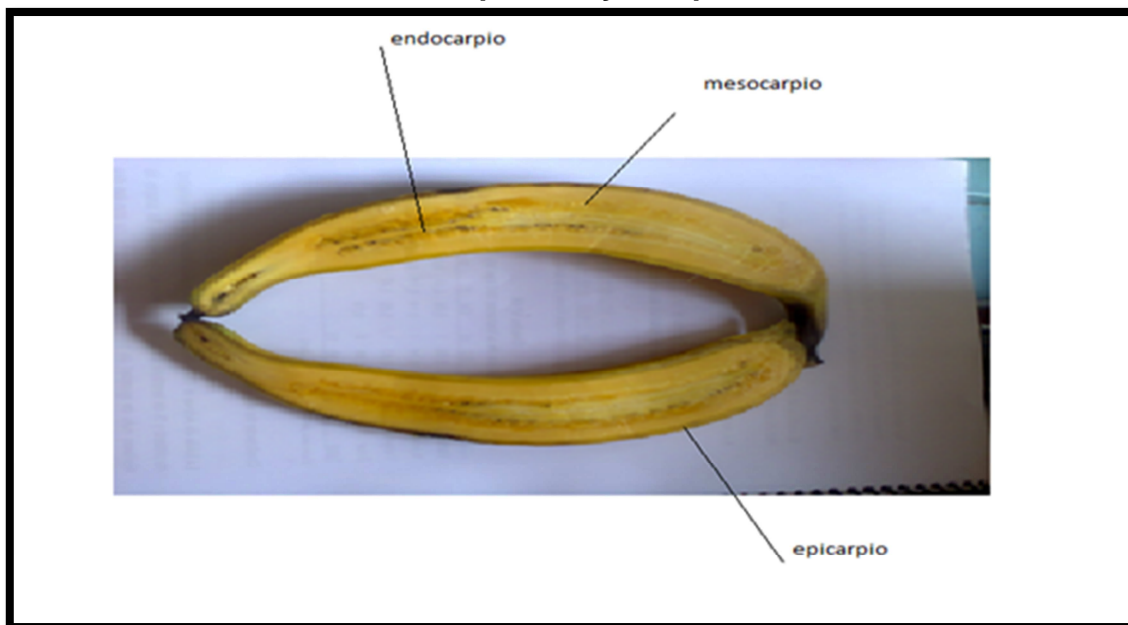
### 2.1.8. Cáscara de plátano

En las etapas de cosecha y postcosecha, se generan grandes cantidades de residuos foliares, pseudotallos, bellotas, raquis, calidades segundas y terceras y cáscaras de frutos, que al carecer de un tratamiento o disposición adecuada, se convierten en contaminantes para el medio ambiente. Esta problemática, es abordada en este estudio que, en primera instancia, efectuó un diagnóstico, cuyos resultados fueron consignados en un sistema de información desarrollado para la cadena productiva del plátano en el Departamento de Caldas.

Posteriormente, se realizó una caracterización físico-química a los residuos antes mencionados, lo que permitió proponer alternativas de aprovechamiento, a saber: obtención de papel a partir del pseudotallo, obtención de harina del Raquis con fines alimenticios en productos como galletas, coladas y apanados,

y obtención de almidón a partir de las segundas y terceras calidades de plátanos en estado verde. (NTC. 2799, Harina de plátano).

**Grafico N°3**  
**Fruto de plátano y sus partes**



Fuente: Magaly Ponce

## 2.2. Etanol

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, consiste en la depuración de las bebidas fermentadas. El alcohol etílico; no solo es el producto químico orgánico sintético más antiguo empleado por el hombre, si no también uno de los más importantes. Sus usos más comunes son industriales, domésticos y medicinales. La industria emplea mucho el alcohol etílico como disolventes para lacas, barnices, perfumes y condimentos; como medio para reacciones químicas, y para re cristalizaciones. Además es una materia prima importante para síntesis; su obtención puede darse de dos maneras fundamentalmente: Preparamos alcohol etílico o bien por

fermentación de melazas; por tanto, sus fuentes primarias son el petróleo, la caña de azúcar y varios granos.

El sabor especial de las bebidas alcohólicas no se debe al alcohol etílico, sino a otras sustancias especiales que se usan en la elaboración de estas bebidas. Medicinalmente, el alcohol etílico se clasifica como hipnótico (que produce sueño); es menos tóxico que otros alcoholes (el metanol por ejemplo, es muy venenoso: tomarlo, respirarlo por periodos prolongados o dejarlos por mucho tiempo en contacto con la piel, puede causar daños graves a los seres humanos. Las bebidas alcohólicas, prácticamente todo el alcohol etílico que se consume es una mezcla de 95% de alcohol y el 5% de agua. (IICA, JICA 2004)

### **2.2.1. Características del etanol**

- Es un líquido inflamable, incoloro y es el alcohol de menor toxicidad.
- Es usado como desinfectante o solvente.
- Posee un alto octanaje y una mayor solubilidad en gasolina que el metanol.
- Puede ser utilizado como un combustible alternativo.
- Además es usado como un aditivo que se le añade a la gasolina para oxigenarla, el cual ayuda a que se produzca una mejor y limpia combustión.
- Cholota, L y Mora, O. (2010).

### **2.2.2. Usos del etanol**

El etanol o alcohol es un líquido incoloro y volátil que está presente en diversas bebidas fermentadas.

Además de usarse con fines culinarios (Bebida alcohólica), el etanol se utiliza ampliamente en muchos sectores industriales y en el sector farmacéutico, como principio activo de algunos medicamentos y cosméticos (es el caso de alcohol antiséptico 70° GL y en la elaboración de ambientadores y perfumes). Cholota, L y Mora, O. (2010).

Es un buen disolvente, y puede utilizarse como anticongelante.

La industria química lo utiliza como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos, como el acetato de etilo (un disolvente para pegamentos, pinturas, entre otros), el éter di etílico, entre otros. Cholota, L y Mora, O. (2010).

Se emplea como combustible industrial y doméstico. En el uso doméstico, se emplea el alcohol de quemar. Cholota, L y Mora, O. (2010).

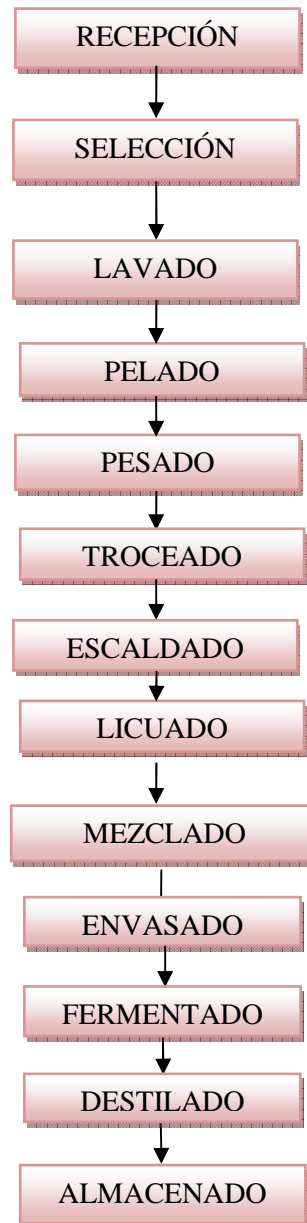
### **2.2.3. El proceso productivo del etanol**

El etanol es el alcohol etílico producido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales (cereales, caña de azúcar, remolacha) combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa. Dependiendo de su fuente de obtención, su producción implica fundamentalmente el proceso de separación de los azúcares, y la fermentación y destilación de las mismas. (IICA, JICA 2004)



#### 2.2.4. Diagrama de flujo general

Gráfico N°4



#### 2.3. Enzimas

En Japón, la producción a gran escala de etanol ha sido llevada a cabo creciendo células inmovilizadas de levadura *Saccharomyces*. Las células se inmovilizan por reacción fotoquímica con un gel entrecruzante. El biorreactor,

que produce más de 1,5 mol/l. de etanol ha sido operado con éxito durante largos períodos de tiempo (M, Cruz 2006)

Las enzimas son biocatalizadores de naturaleza proteica. Todas las reacciones químicas del metabolismo celular se realizan gracias a la acción de catalizadores o enzimas.

Las enzimas son proteínas que ayudan a que las reacciones químicas ocurran con mayor rapidez.

### **2.3.1. Clasificación de las enzimas**

- Óxido-reductasas (Reacciones de óxido-reducción.)
- Transferasas (Transferencia de grupos funcionales)
- Hidrolasas (Reacciones de hidrólisis)
- Liasas (Adición a los dobles enlaces)
- Isomerasas (Reacciones de isomerización)
- Ligasas (Formación de enlaces, con aporte de ATP)

### **2.3.2. Propiedades de las enzimas**

Por ser catalizadores:

- Eficientes en pequeñas cantidades.

- No se modifican durante la reacción.
- No afectan el equilibrio de la reacción.

Por ser catalizadores biológicos:

- Composición química específica: son proteínas con estructura terciaria y cuaternaria.
- Componentes del citoplasma vivo y sintetizado en el mismo.
- Específicas: para cada reacción hay una enzima determinada.
- Sujetas a regulación: están reguladas en cantidad y función<sup>1</sup>.

#### **2.4. Levaduras.**

Levadura, cualquiera de los diversos hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la fermentación de hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias. Las levaduras son abundantes en la naturaleza, y se encuentran en el suelo y sobre las plantas. La mayoría de las levaduras que se cultivan pertenecen al género *Saccharomyces*, como la levadura de la cerveza, que son cepas de la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Cholota, L y Mora, O. (2010).

Las levaduras se han utilizado desde la prehistoria en la elaboración del pan y del vino, pero los fundamentos científicos de su cultivo y uso en grandes cantidades fueron descubiertos por el microbiólogo francés Louis Pasteur en el siglo XIX. Hoy se utilizan en distintos tipos de fermentación. Los diferentes usos de las levaduras son: como fuente de vitaminas del complejo B y de tiamina, en

---

<sup>1</sup> Potter, N.-La ciencia de los alimentos.[www.forest.ula.ue/\\_rubenhg/enzimas/](http://www.forest.ula.ue/_rubenhg/enzimas/)

algunas fases de la producción de antibióticos y hormonas esteroides, y como alimento para animales y seres humanos. Cholota, L y Mora, O. (2010).

Las cepas puras de levaduras se cultivan en un medio con azúcares, compuestos nitrogenados, sales minerales y agua. El producto final puede aparecer en forma de células secas de levadura o prensado en pastillas con algún material excipiente. Cuando se termina de utilizar un lote de levaduras destinadas a la fabricación del pan, a usos médicos, o para fabricación de alimentos, el medio de cultivo en el que han crecido se desecha. Sin embargo en la elaboración de vinos, cervezas, licores y alcoholes industriales, el medio de cultivo es el producto final, y en este caso son las propias levaduras las que se desechan, o bien se utilizan como pienso o alimento para animales. Cholota, L y Mora, O. (2010).

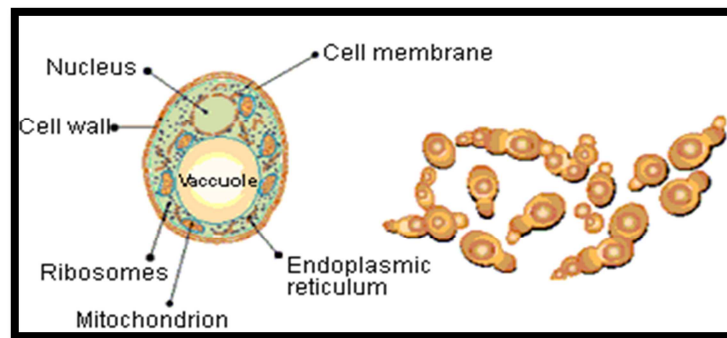
La familia de las sacaromicetáceas está formada por varios géneros, entre ellos el *Saccharomyces*, que comprende numerosas especies, casi todas ellas capaces de producir en mayor o menor grado la fermentación alcohólica. Todas ellas tienen propiedades bastante análogas; producen la fermentación de la glucosa, fructosa, manosa, maltosa, sacarosa, etc.; no producen la fermentación de la lactosa y sólo parcialmente la de galactosa y rafinosa, siendo sus características biológicas, morfológicas y reproductoras muy iguales. Cholota, L y Mora, O. (2010).

#### **2.4.1. Características generales de las levaduras**

Las levaduras se clasifican en base a sus caracteres morfológicos, aunque para algunos microbiólogos, sus propiedades fisiológicas tienen mayor importancia. La mayoría de las levaduras son hongos unicelulares sencillos microscópicos, la mayoría se reproducen asexualmente por gemación, y otras especies lo hacen por fisión múltiple. Las levaduras que pueden reproducirse sexualmente se conocen como “verdaderas”, este proceso implica la formación

de ascosporas, sirviendo la propia levadura como asca, de aquí que ellas se clasifican como Ascomicetos; por el contrario las “falsas” que no producen ascosporas, pertenecen a los hongos imperfectos. Cholota, L y Mora, O. (2010)

**Gráfico N°5**  
**Estructura de la levadura**



Fuente: <http://alezamora.galeon.com/aficiones1893538.html>

#### 2.4.2. Características morfológicas

Los caracteres morfológicos de las levaduras se determinan mediante su observación microscópica. Además, los criterios morfológicos se basan en el modo de reproducción vegetativa de la morfología celular. La forma de la levadura puede ser desde esférica a ovoide, en forma de limón, piriforme, cilíndrica, triangular, e incluso alargada formando un verdadero micelio o un falso micelio. También se diferencian en cuanto a su tamaño, miden de 1-10  $\mu\text{m}$  de ancho por 2-3  $\mu\text{m}$  de longitud.

Son partes observables de su estructura, la pared celular, el citoplasma, las vacuolas, los glóbulos de grasa, y los gránulos, los cuales pueden ser metacromáticos, de albúmina o de almidón. Para poder observar el núcleo es preciso utilizar tinciones especiales. El núcleo está rodeado de una membrana que persiste durante la división celular. El número de cromosomas es variable de unas a otras. Las levaduras en ningún caso son móviles. Cholota, L y Mora, O. (2010).

## 2.5. Fermentación

La palabra fermentación se deriva etimológicamente de la palabra latina “ferver, que significa ebullición, burbujeo” (Palacios1956: 85) y se lo aplica desde tiempos inmemoriales, con la transformación que experimentaba el mosto de uva a vino, Y esta actividad se lo realizaba hace más o menos 1000 años Los estudios de Gay Lussac, defendió al término fermentación como el desdoblamiento del azúcar en alcohol y monóxido de carbono. Posteriormente los estudios de Pasteur, demostraron el papel de la levadura en esta reacción y la palabra fermentación llegó a relacionarse con los microorganismos y más tarde con las enzimas. (Tirira.Ch. F, 2006).

La fermentación se define como el conjunto de reacciones químicas que sufre una sustancia orgánica de origen vegetal libre de nitrógeno, entre ellas están los hidratos de carbono o sus derivados, por medio de ciertos microorganismos (bacterias, bacilos, levaduras o mohos), y que generalmente van acompañadas de un desprendimiento gaseoso y producción de energía.

La fermentación es un proceso anaeróbico de oxidación incompleta que realiza la transformación de moléculas complejas en sencillas, la fermentación típica es llevada a cabo por las levaduras, algunos metazoos y protistas también capaces de realizarla (Wikipedia, 2010).

Los procesos empleados en la fabricación de alcohol etílico por fermentación, dependen de la naturaleza de la materia prima. Las materias sacaroideas requieren por lo general de algún tratamiento o a veces de ninguno, mientras que las materias celulósicas deben ser hidrolizadas a azúcares fermentables antes de que las bacterias actúen sobre ellas.

Ésta etapa del proceso se realiza por medio de bacterias fermentativas, levaduras, bacterias ácido lácticas y algunos hongos que se encargan de

procesar los hidratos de carbono, en éste caso la fermentación de la glucosa liberada a partir de la celulosa, así como la de los azúcares procedentes de la hemicelulosa que se han liberado durante los pre tratamientos anteriores (Suarez, 2008).

La fermentación más ampliamente conocida es la escisión de glucosa para formar etanol y CO<sub>2</sub>, en especial predominante en levaduras. Las levaduras utilizan las mismas reacciones del mecanismo Embden – Meyerhof hallado en animales para producir piruvato.

El piruvato es dextracarboxilado en levaduras por una enzima que utiliza pirofosfato de tiamina como coenzima. El derivado hidroximetiltiamina intermedio se descompone para liberar acetaldehído al medio, el cual es entonces reducido por NADH a etanol (Restrepo *et al*, 2007).

Cabe subdividir el mecanismo anaerobio de la glucosa en estas etapas:

- Fosforilación inicial
- Síntesis de glucógeno
- Conversión en triosa
- Etapa oxidativa
- Formación del lactato o etanol

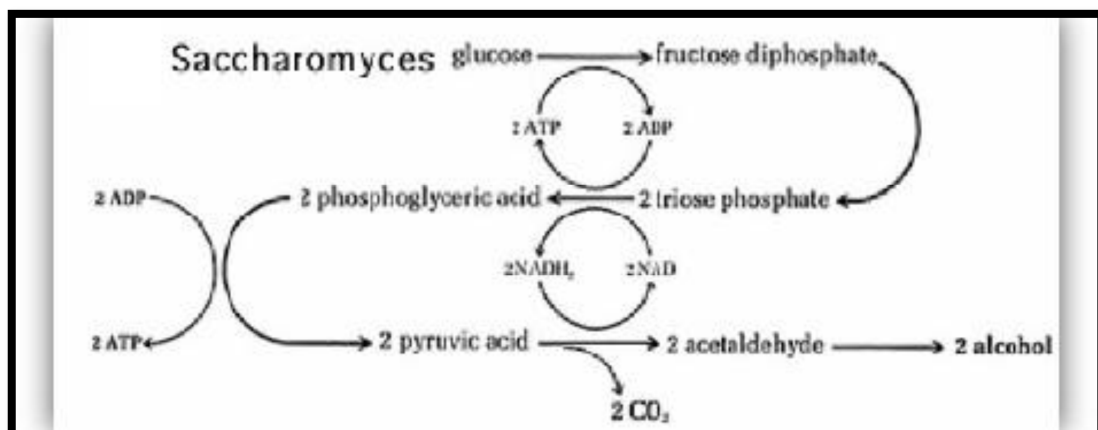
Según H. Palacio se presenta las reacciones que son base de la fermentación alcohólica en un esquema, con las enzimas que rigen cada reacción, a veces llamado esquema de Embden- Meyerhof (Restrepo *et al*, 2007).

La glucosa y otros azúcares experimentan fosforilación obligada como primer paso del metabolismo. Esta fosforilación es catalizada por una subclase de un grupo de enzimas, las “quinasas irreversibles”; el producto de la reacción de ATP y glucosa en presencia de la cinasa adecuada y  $Mg^{++}$  es glucosa-6-fosfato, la irreversibilidad de esta reacción se explica por la formación de un éster fosfato a expensas del enlace de fosfato rico en energía, este paso es importante porque a partir de la glucosa-6-fosfato se generan muchas rutas metabólicas (Restrepo *et al*, 2007).

La formación de ácido láctico, producto terminal del metabolismo anaerobio de la glucosa va precedida de desdoblamiento del esqueleto de la hexosa en triosa. La primera reacción que experimenta la glucosa -6-fosfato, en esta vía metabólica es su conversión en fructosa -6-fosfato, reacción catalizada por la fosfohexosaisomerasa (Manquilef, 2006).

En las células de las levaduras hay una pirucod Descarboxilasa anaerobia que desdobla el ácido piruvico en  $CO_2$  y acetaldehído, el cual se reduce a etanol; el producto terminal de la fermentación alcohólica, por acción de la alcoholdehidrogenasa actúa en sentido inverso. El NADH necesario para esta reducción proviene de la etapa oxidativa (Restrepo *et al*, 2007).

**Gráfico N°6**  
**Mecanismo de *S. cereviceae* en la fermentación alcohólica**

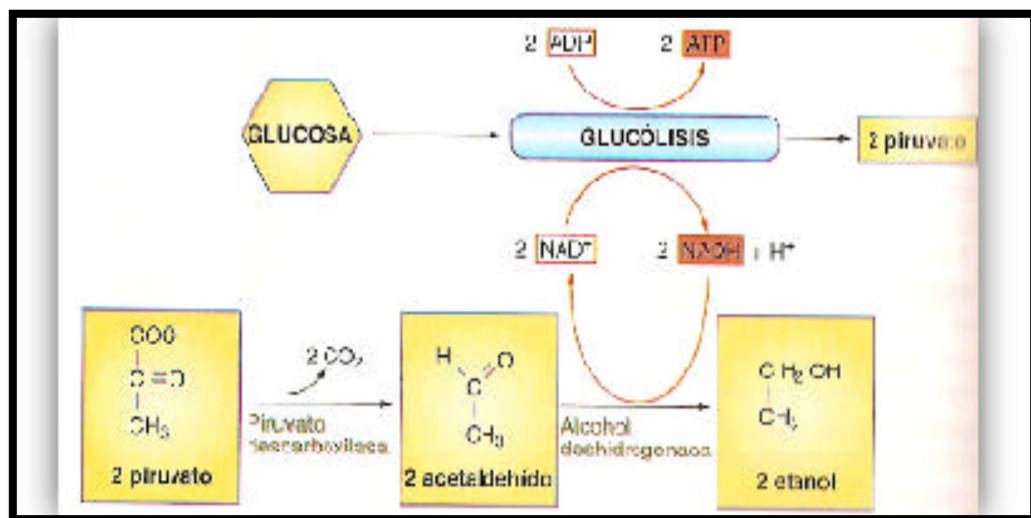


Fuente: Kenneth, 2008



Los microorganismos (*Zymomonas mobilis*, *Leuconostoc dextranicum* y *Clostridium thermocellum*) contienen una enzima llamada invertasa, que actúa como catalizador ayudando a transformar los azúcares en glucosa y fructuosa. (Kenneth, 2008)

**Gráfico N°7**  
**Mecanismo de fermentación alcohólica**



**Fuente:** Molinero, 2009

Todo lo anterior se refiere a la fermentación de la glucosa. Cuando se van a fermentar disacáridos, se admite la existencia de una hidrolasa que realiza la hidrólisis correspondiente para luego empezar el proceso normal.

El éxito en cualquier proceso, depende de la eficiencia del tratamiento preliminar, de la concentración del azúcar, del pH y de la temperatura óptima.

El rendimiento teórico de la fermentación según Gay –Lussac es por 100 g de glucosa se obtendría 48,90% de dióxido de carbono y 51,10% de alcohol etílico. (Molinero, 2009)

Sin embargo, el rendimiento práctico que se alcanza en el proceso siempre es menor que el teórico ya que parte del azúcar presente inicialmente, es usada para la nutrición y reproducción de los microorganismos y además, porque siempre se forman aunque en pequeñas cantidades, algunos productos secundarios, tales como los aceites fusel (alcohol n-propílico, isopropílico, n-butílico), ácido succínico, glicerina, ácido láctico entre otros (Restrepo & Suarez, 2008).

Hay distintos tipos de fermentación, podemos encontrar la fermentación continua, discontinua y el proceso de fermentación alimentada

### **2.5.1. Fermentación discontinua**

Una fermentación discontinua puede ser considerada como un “sistema cerrado”. A tiempo cero, la solución esterilizada de nutrientes se inocula con microorganismos y se permite que se lleve a cabo la inoculación en condiciones óptimas de fermentación. A lo largo de toda la fermentación no se añade nada, excepto oxígeno (en forma de aire), un agente antiespumante y ácidos o bases para controlar el pH. La composición del medio de cultivo, la concentración de la biomasa y la concentración de metabolitos cambia generalmente en forma continua como resultado del metabolismo de las células. Después de la inoculación de una solución nutritiva estéril con microorganismos y su cultivo en condiciones fisiológicas se observan cuatro fases típicas de crecimiento: (M, Cruz 2006)

#### **2.5.1.1. Fase de latencia**

Durante esta fase los microorganismos se adaptan a su nuevo ambiente. Debido a esta transferencia al nuevo medio probablemente serán alterados por las células del inóculo varios parámetros: cambios en el valor del pH, aumento en el suministro de nutrientes, descenso en los inhibidores del crecimiento. En

las células deben ser inducidos nuevos sistemas de transporte. Fuera de la célula pueden difundir cofactores esenciales y las enzimas del metabolismo primario deben ajustarse a las nuevas condiciones. (M, Cruz 2006)

#### **2.5.1.2. Fase logarítmica**

Al final de la fase de latencia las células se han adaptado a las nuevas condiciones de crecimiento. El crecimiento de la masa celular puede ahora ser descrito cuantitativamente en función de la duplicación de número de células por unidad de tiempo o por la duplicación de la biomasa por unidad de tiempo. El nombre de esta fase viene porque representando el número de células o biomasa frente al tiempo en una gráfica semilogarítmica se obtiene una línea recta. (M, Cruz 2006)

Cuando se utilizan soluciones nutritivas complejas, frecuentemente se producen dos fases de logarítmicas separadas por una fase de latencia. Este proceso se denomina diauxia y se produce debido a que uno de los dos substratos se cataboliza preferentemente. Las enzimas para el catabolismo de los otros substratos se inducen sólo después de que el primer substrato haya sido completamente metabolizado. (M, Cruz 2006)

#### **2.5.1.3. Fase estacionaria**

Cuando el substrato es metabolizado o se han formado sustancias tóxicas, el crecimiento desciende o se detiene completamente. La biomasa aumenta sólo gradualmente o permanece constante en esta fase, aunque la composición de las células puede cambiar. Debido a la lisis se liberan nuevos sustratos que pueden servir como fuente de energía para el crecimiento lento de los supervivientes. (M, Cruz 2006)

#### **2.5.1.4. Fase de muerte**

En esta fase las reservas de energía de las células se agotan.

La longitud de tiempo entre la fase estacionaria y la fase de muerte dependen del organismo y del proceso utilizado. (M, Cruz 2006)

#### **2.5.2. El proceso de fermentación**

El proceso de fermentación se desarrolla en recipientes adecuados y refrigerados genéricamente denominados fermentadores pero que no son más que unos tanques metálicos, de acero negro recubierto o mejor aún de acero inoxidable, a los cuales llega el Mosto Frío junto con la cantidad de levadura calculada para el volumen de mosto a fermentar. La dosificación de levadura debe estar entre 0,3 a 0,5 litros de levadura por cada hectolitro de mosto y la temperatura debe controlarse permanentemente durante la fermentación para mantenerla entre los 6°C iniciales y un máximo de 12°C.

En épocas pretéritas la fermentación tenía una duración de unos 8 días pero por razones de productividad y rentabilidad los procesos han venido acelerándose y hoy por lo general la fermentación del mosto oscila entre 3 y 5 días. Un régimen de temperaturas 7/9°C conduce a fermentaciones de 7 días pero si queremos sacar una producción en sólo 3 - 5 días será necesario fermentar con un régimen térmico de 10/12°C. Alguna influencia tendrá también la concentración del mosto y la clase de levadura utilizada.

Fermentaciones a menores temperaturas, en todo caso, producirán cervezas de mejor sabor y calidad.

### 2.5.3. Clases de fermentaciones

**Fermentación Baja.-** Caracterizada por el hecho de que la levadura al terminar la fermentación se sedimenta yéndose al fondo del tanque.

**Fermentación Alta.-** Así llamada porque la levadura sube a la superficie del tanque al terminar la fermentación.

(*enciclopedia.us.es/index.php/Fermentación*)

### 2.5.4. Influencia de factores externos en el curso de la fermentación alcohólica

Como en otros microorganismos, la actividad vital de las levaduras se ve influida por factores externos:

**Agua.-** Para la vida de las levaduras se precisa una determinada cantidad de agua, aunque algún tiempo puede tolerar cierta desecación. En los últimos años, numerosos investigadores han estudiado la influencia del agua pesada sobre las levaduras. (Owen, W 1991)

**Oxígeno.-** Las levaduras son microorganismos anaerobios facultativas, aunque se ha probado que en escasa proporción son capaces de desarrollarse bajo condiciones anaerobias por completo. En presencia de oxígeno, el crecimiento de la levadura es mucho más vigoroso que en el cultivo bajo condiciones en que no es posible el acceso de oxígeno. (Desrosier, N. 1991)

**Temperatura.-** La temperatura óptima para la levadura baja cultivada que se utiliza en las cervecías se encuentran alrededor de los 25°C, y esta temperatura es el óptimo térmico aproximado para la mayor parte de las especies de levaduras. (Fellows, P. 2004)

**Luz.-** Se ha visto que los procesos reproductores no son influenciados por la iluminación débil pero que sufren una inhibición por medio de la luz diurna difusa. En la luz diurna o luz eléctrica, las células de *Saccharomyces cereviae* y *Saccharomyces ludwigii* sólo se multiplican a la mitad de intensidad que a la oscuridad. (Hansen, A. 1959)

Es, sobre todo la luz azul la que parece retardar la reproducción, mientras que la luz roja las células se multiplican a la misma o a mayor velocidad que en la oscuridad. (Hansen, A. 1959)

## **2.6. Destilación**

Es uno de los métodos más usados en la separación y purificación de líquidos. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. El éxito obtenido en el uso de las técnicas de destilación depende de varios factores (Uyazán *et al*, 2008).

Entre éstos se incluye la diferencia de presión de vapor (referido a la diferencia en el punto de ebullición) de los componentes presentes, de la cantidad de muestra, del equipo de destilación, de la posible destilación simultánea de dos componentes, o la formación de azeótropos, y del cuidado que tenga el experimentador (Uyazán *et al*, 2008).

Dado que el proceso de destilación se basa en el hecho de que el vapor procedente de una mezcla líquida es más rico en el componente más volátil, estando la composición controlada por las leyes de Raoult y Dalton

Existen dos métodos de destilación:

### 2.6.1. 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 ([Www.monografias.com/destilación.htm](http://Www.monografias.com/destilación.htm). noviembre/2010).

### 2.6.2. Industrial

**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. ([Www.monografias.com/destilación.htm](http://Www.monografias.com/destilación.htm). noviembre/2010).

La destilación es un proceso que consiste en la vaporización de un líquido, condensación del vapor y colección del condensado.

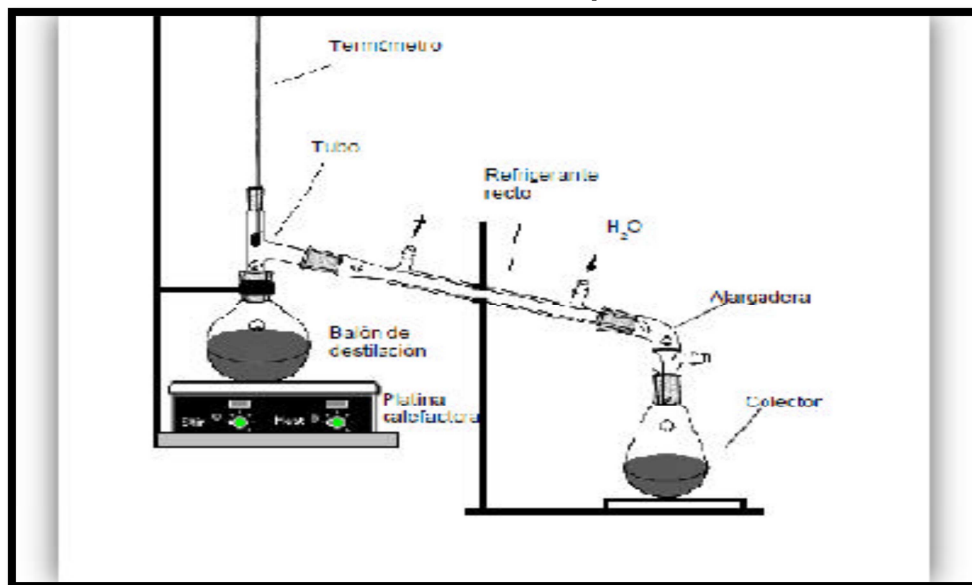
Cuando una sustancia líquida se contamina con pequeñas cantidades de impurezas, éstas pueden eliminarse por algún método de destilación. Se dice entonces que se efectúa una purificación.

Cuando dos o más sustancias líquidas se encuentran formando mezclas en proporción relativamente parecida, se dice que la destilación puede usarse para la separación de componentes.

- Para este experimento se debe utilizar 25 mL de líquido (cuando menos a la mitad) del matraz de destilación.
- Agregar cuerpos de ebullición, estos cuerpos son material poroso que sirve para que la ebullición sea uniforme y no haya proyecciones.
- Lubricar las juntas esmeriladas con grasa de silicón. Calentar el sistema con Baño de arena.
- Anote la temperatura a la cual empieza el líquido a destilar y reciba el destilado hasta que la temperatura llegue a ser constante (fracción 1). Al permanecer constante la temperatura, cambie inmediatamente de matraz para recibir ahora todo lo que destile a esa temperatura, luego deje en el matraz el residuo que ya no destila
- Entregue al auxiliar las fracciones separadas.



**Gráfico N°8**  
**Destilador simple**



Fuente: [http:// plantasquimicas.iespana.es/Aspiciadores/Agroindustrias.htm](http://plantasquimicas.iespana.es/Aspiciadores/Agroindustrias.htm)

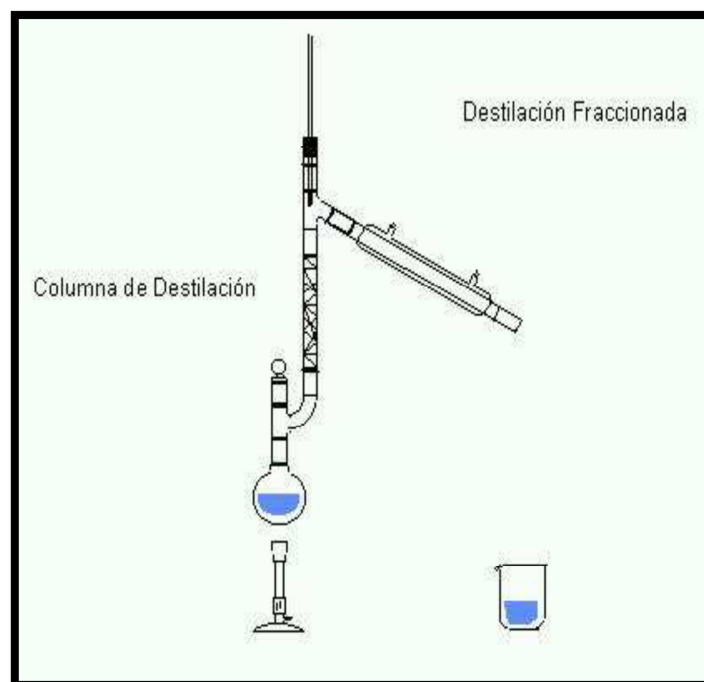
**Destilación fraccionada:** Si la diferencia entre las temperaturas de ebullición de los componentes de una mezcla es menor de 80°C, la separación de ambos se realiza por destilaciones sencillas repetidas de los sucesivos destilados, o utilizando columnas de destilación fraccionada mediante las que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

- Para este experimento se debe utilizar 25 mL de la mezcla (cuando menos a la mitad) del matraz de destilación y montar un equipo de destilación simple como se indica en la figura.
- Agregar cuerpos de ebullición, estos cuerpos son material poroso que sirve para que la ebullición sea uniforme y no haya proyecciones.
- Lubricar las juntas esmeriladas con silicón. Calentar el sistema con Baño de arena.

- Anote las variaciones de la temperatura de destilación por cada 2 mL de destilado obtenido
- Como base en estas variaciones separe cabeza, primer componente, segundo componente y cola de destilación.

Entregue al auxiliar las fracciones separadas.

**Gráfico N°9.  
Destilador fraccionado**



Fuente: Metepec, México, agosto de 2005.

## 2.7. Control de calidad

### 2.7.1. Medición de los grados Brix

Grados Brix mide el contenido de azúcar en una solución tal como zumo de fruta o jarabe. Un grado Brix es igual un gramo de azúcar por 100 gramos de solución de azúcar, 1 por ciento. Se mide con un refractómetro que da lecturas en grados Brix. Arévalo, J. y Arias, G. (2008).

Contenido de sólidos solubles determinado por el método refractómetro: concentración de sacarosa (en porcentaje de masa) en una solución acuosa, que tiene el mismo índice de refracción que el producto analizado, en condiciones de concentración y temperatura explicadas. Norma INEN 380.

### **2.7.2. Medición del pH**

Es la concentración de hidrogeno en algunos alimentos, también es una medida utilizada por la química para evaluar la acidez o alcalinidad de una sustancia por lo general en su estado líquido. (Murillo. 2004).

Para determinar el pH de una bebida alcohólica se debe desgasificar, filtrar y a temperatura de 20°C a 25°C. Según las Normas INEN

### **2.7.3. Medición de la acidez titulable**

La acidez titulable es el porcentaje de peso de los ácidos contenidos en el producto, se determina por medio del análisis conocido como titulación, que es la neutralización de los iones de hidrógenos del ácido con una solución de hidróxido de sodio de concentración conocida. La acidez titulable (expresa como ácido cítrico). Según norma del Codex Alimentarius creada por la FAO Y OMS.

Además es la suma de los ácidos valorables obtenida cuando se lleva la bebida alcohólica a neutralidad (pH: 7), por adición de una solución alcalina. Según las Normas INEN de acidez de bebidas alcohólicas.

### **2.7.4. Medición de los grados alcohólicos**

Es el volumen de alcohol etílico, expresado en centímetros cúbicos, contenido en 100cm<sup>3</sup>, a una temperatura determinada.

Es el grado de una mezcla hidroalcoholica pura, indica por el alcoholímetro centesimal de Gay Lussac en una temperatura diferente a la de referencia. La lectura de un grado aparente debe darse siempre indicando la temperatura a la cual dicha lectura fue tomada. Los grados alcohólicos se mide con el alcoholímetro de Gay Lussac, calibrado a 15°C y 20° C graduados en decimas de grado alcohólico, de calidad certificada. Según las Normas INEN de grados alcohólicas.

### **2.7.5. Balance de energía y materia**

Los balances de materia y energía son útiles para:

- Evaluar composiciones finales tras un mezclado separación
- ¿Para qué sirven?
- Determinar rendimientos y eficacias en procesos de: separación, reacción, mezcla ...
- Diseño de equipos
- La información sobre las corrientes de E y S de la unidad de proceso es fundamental de cara al diseño de la misma.

Además, debido a la imposibilidad práctica de medir todas las corrientes de un proceso, a partir de información conocida de algunas de ellas y mediante balances, se pueden calcular el resto.

Los balances de energía serán esenciales por ejemplo para el diseño de sistemas que impliquen calentamientos y enfriamientos, para asegurar que los fluidos utilizados en el intercambio de calor son dimensionados adecuadamente para cumplir las especificaciones del diseño.

La aplicación conjunta de ambos tipos de balances se usarán en el caso en que durante el proceso existan variaciones de fase o aparición de otras nuevas (evaporaciones, condensaciones, etc...)

### **Balance de Energía**

El balance de energía del proceso total determina su viabilidad económica ya que el etanol se produce como fuente de energía. La etapa de recuperación del producto (destilación del etanol), es la que exige mayor energía de todo el proceso. Por ello, las adecuaciones en el proceso de destilación tendrán mayor influencia en el éxito del proceso final que las mejoras en la propia fermentación. Si el rendimiento de energía del etanol producido se relaciona con el aporte total de energía de las distintas etapas del proceso, existe un balance aproximado o una pérdida neta de energía. Esto demuestra la importancia de optimizar al máximo todas las etapas del proceso (Mosquera, 2008).

### **Ecuación general del balance de energía**

La ecuación general del balance de energía se expresa de la siguiente forma:

Acumulación de energía = **transferencia de energía**  $_$  **transferencia de energía**

<b>Dentro del sistema</b>	a través de la frontera del sistema	fuera de la frontera del sistema
	+ energía generada dentro del sistema	- energía consumida dentro del sistema

## **Balance de Materia**

El balance de materia se basa en la Ley de conservación de la masa anunciada por Lavoisier. “en cada proceso hay la misma cantidad de sustancias presentes antes y después de que el proceso haya sucedido. Solo se transforma la materia.

## **Ecuación General de Balance**

ENTRA + GENERA - DESAPARECE - SALE = ACUMULA

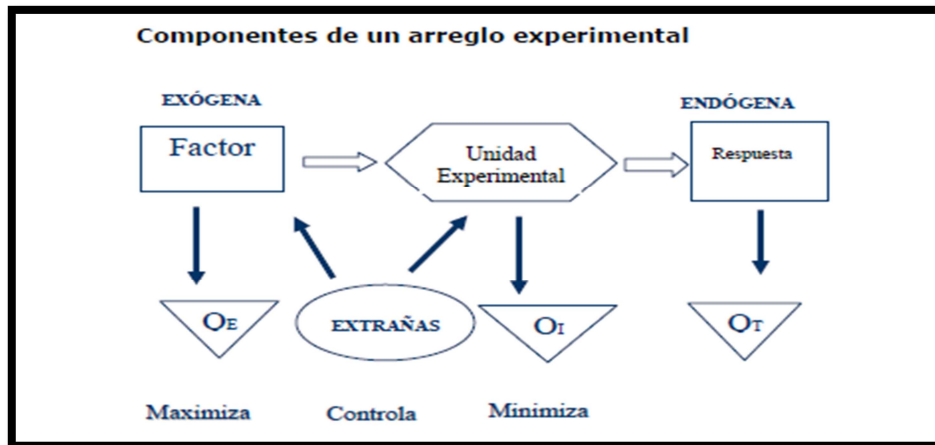
### **2.7.6. Diseño Experimental**

Es una secuencia de pasos tomados de antemano para asegurar que los datos se obtendrán adecuadamente, lo que permitirá un análisis objetivo conducente a conclusiones validas del problema investigado.

#### **Objetivo**

Es el arreglo de unidades experimentales y la asignación de tratamientos.

**Gráfico N°10**  
**Arreglo Experimental**



Fuente: Magaly Ponce

### Principios básicos del diseño experimental

Son tres los principios del diseño experimental:

- Replicación
- Aleatorización
- Control local

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Aspectos metodológicos del estudio**

##### **3.1.1 Ubicación**

La presente investigación se realizó en la provincia de Sucumbíos, en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior “CRECERMÁS.

##### **3.1.2. Tipo de investigación**

El tipo y nivel de investigación es EXPERIMENTAL – DESCRIPTIVA – NO OBSERVACIONAL.

###### **3.1.2.1. Experimental**

Se aplicara diferentes pruebas que permitirán aceptar, rechazar o modificar las hipótesis teóricas que se plantean para lograr el objetivo deseado. Es decir que la no existencia de etanol a partir de este desecho como es la cascara de plátano se relaciona con la falta de industrialización aplicables a la elaboración de este producto, lo cual se permite su solución con la aplicación de procedimientos industriales.

###### **3.1.2.2. Descriptiva**

Porque se va a demostrar y describir todo lo referente a la investigación



### 3.1.2.3. No observacional

Porque las variables de estudio van a ser modificadas para obtener diferentes resultados, y de esta manera elegir el más óptimo.

### 3.1.3. Métodos de investigación

Esta investigación requiere de métodos empíricos y teóricos para alcanzar los objetivos deseados los cuales son los siguientes.

**Método observación científica.-** La aplicación de este método permitió obtener resultados de los objetivos planteados en la investigación.

**Método de analítico.-** el cual nos permite analizar diferentes parámetros para llegar al objetivo final y de esta manera obtener un producto de calidad.

Tiene la finalidad fundamental de examinar en profundidad las características internas del objetivo del estudio

**Método estadístico.-** Mediante la aplicación del diseño experimental, sirvió para realizar conclusiones de la investigación.

**Método inductivo.-** Debido a que se inicia con la observación del problema con la finalidad de dar solución al mismo realizado una amplia investigación. Se caracteriza por utilizar la inducción como el procedimiento metodológico fundamental y el experimento como punto de partida para la elaboración de la teoría explicativa del fenómeno.

### 3.1.4. Técnicas e instrumentos de investigación

Se aplicaran algunas técnicas de investigación tales como:

- Encuestas
- Recopilación de información en internet, consulta a expertos
- Revisión de documento, libros, tesis, normas y folletos.

## **3.2. Variables**

### **3.2.1. Variables para la obtención de etanol**

#### **Variables dependientes**

- Características físicas.
- Características químicas
- Grado alcohólico

#### **Variables independientes**

- Variedades de plátano
- Porcentaje de levadura

## **3.3. Tratamiento de los datos**

Se van a analizar y a determinar cuál es el mejor tratamiento de acuerdo a sus características, con dos variables que son: variedades de plátanos y porcentaje de levadura.

### 3.3.1. Factores en estudio

**Cuadro N°3**  
**Factores de Estudio**

<b>Factor: A</b>	<b>Factor: B</b>
A= VARIEDAD.	B= % DE LEVADURA.
A0 = dominico. A1 = barraganete.	B0= 0,5%. B1= 1%.

Fuente: Magaly Ponce. UTE – 2012

### Tratamientos a evaluar

En el cuadro a continuación se observa los tratamientos a evaluar en la investigación.

**Cuadro N°4**  
**Tratamientos a evaluar**

TRATAMIENTOS	FACTOR A VARIEDAD.	FACTOR B % DE LEVADURA	INTERACCIONES
T1	A0 DOMI	B0 0,5%	A0B0
T2	A0 DOMI	B1 1%	A0B1
T3	A1 BARRA	B0 0,5%	A1B0
T4	A1 BARRA	B1 1%	A1B1

Fuente: Magaly Ponce. UTE – 2012

Número de tratamientos: 4

Repeticiones: 4

Que nos da un total de 16 unidades experimentales.

## Diseño Experimental

Para evaluar los datos obtenidos se emplea el diseño completamente al azar (DCA) y arreglo combinatorio A x B con cuatro repeticiones.

**Prueba de significación:** Se realizará el análisis del ADEVA y pruebas de significación al 0.05 (TUKEY)

**Cuadro N° 5**  
**Esquema del ADEVA**

F. de V.	GL
Total	15
FA	1
FB	1
A x B	1
Repeticiones	3
E. Experimental	9

Fuente: Magaly Ponce. UTE – 2012

**3.4. Materiales, equipos y reactivos utilizados y necesarios para la Utilización de cáscara de plátano barraganete y dominico para la obtención de etanol.**

### 3.4.1. Materiales

- Tinas plásticas
- Ollas
- Cucharas de palo
- Cucharas de aluminio grande y pequeña
- Botellones de 5lit
- Cuchillo

- Colador
- Mesas
- Papel de cocina
- Tabla para picar
- Mangueras
- Silicona
- Taype
- Balones aforados (250ml y 100ml).
- Buretas.
- Cápsulas y crisoles de porcelana
- Embudo.
- Matraz Erlenmeyer (200 ml, 500ml, 100ml).
- Pipetas.
- Probetas
- Vasos de precipitación (50ml, 100ml, 250ml).
- Peras

### **3.4.2. Equipos**

- Equipo de medición para acidez
- Refractómetro
- Peachimetro
- Licuadora
- Cocina industrial

- Balanza
- Termómetro
- Reloj o cronómetro
- Alcoholímetro
- Equipo de Destilación completo

### **3.4.3. Reactivos**

- Hidróxido de Sodio al 1,25% (NaOH)
- Fenolftaleína
- Ácido cítrico
- Levadura
- Fosfato de amonio

### **3.4.4. Materia Prima**

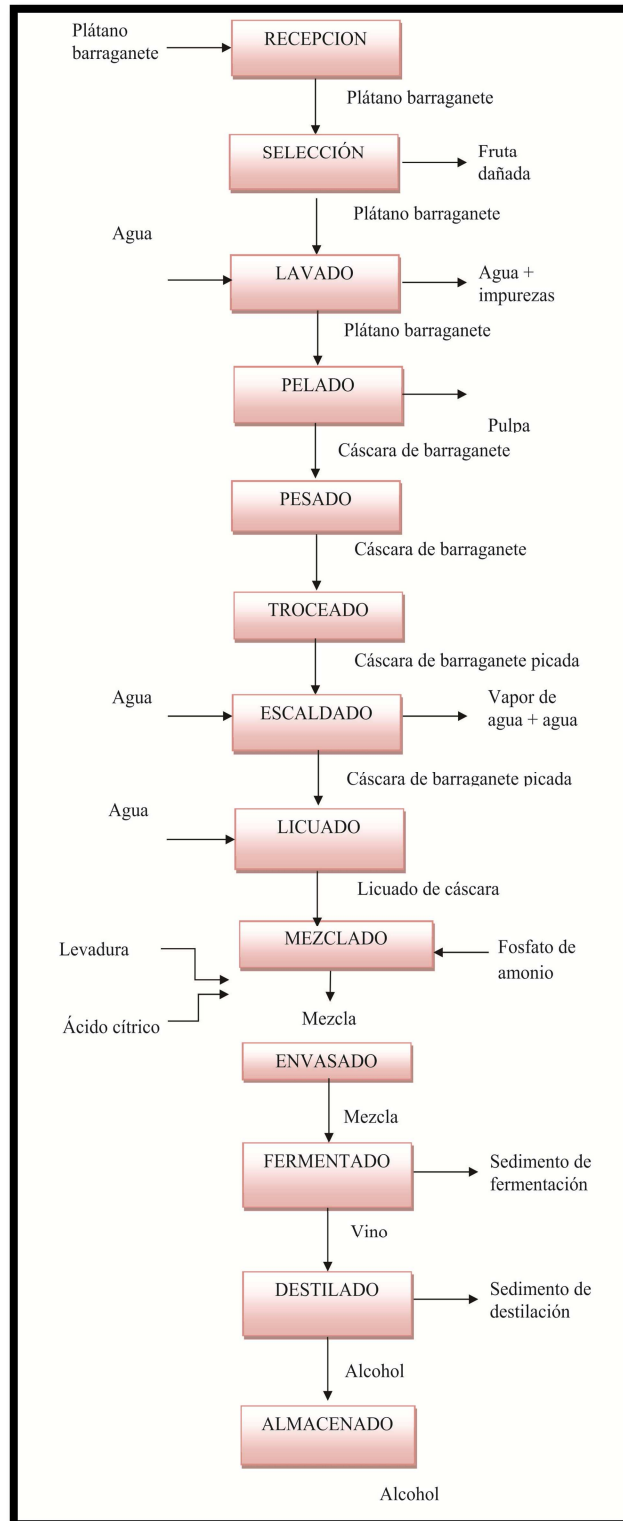
- Cáscara de plátano
- Agua destilada
- Agua potable

## **3.5. Utilización de cáscara de plátano barraganete y dominico para la obtención de etanol**

El etanol de la cáscara de plátano es muy agradable por su sabor característico y se lo obtiene mediante la fermentación para lo cual se utilizó levadura *Saccharomyces cerevisiae*, añadiendo ácido cítrico para conseguir un resultado positivo, luego se procede a la destilación del producto.

### 3.5.1. Diagrama de flujo para la utilización de cáscara de plátano barraganete y dominico para la obtención de etano

**Grafico N° 11**  
**Diagrama de Flujo**



Fuente: Magaly Ponce

### 3.5.2. Descripción del proceso de la extracción de etanol de la cáscara de plátano de dos variedades

#### 3.5.2.1. Recepción de los plátanos

En la recepción se procede a contar la materia prima para determinar el monto a pagar al suministrador, se comprará la fruta en la feria libre del cantón Lago Agrio, también se realiza un control de calidad para aceptar o rechazar la fruta.

**Cuadro N° 6**  
**Parámetros físico químicos de la cáscara de plátano**

<b>° Brix</b>	<b>pH</b>	<b>Acidez</b>	<b>Humedad</b>
<b>13.5</b>	<b>4.47</b>	<b>9.2</b>	<b>0.861</b>

Fuente: Magaly Ponce

#### 3.5.2.2. Selección

La materia prima para la extracción de etanol de la cáscara de plátano de dos variedades debe de ser, frutas sanas, maduras, exentas de heridas, plagas y enfermedades todo esto es importante por lo que se asegurara la calidad del producto final.

#### 3.5.2.3. Lavado

El lavado se realizó con agua potable con la finalidad de eliminar las impurezas y desinfectar para disminuir la carga bacteriana; así tendremos frutas listas para el procesamiento.

Además el lavado es muy importante para que ayude a alargar la vida útil del producto es por eso que se recomienda hacer este paso a todas las frutas a industrializarse.



#### **3.5.2.4. Pelado**

El pelado se realizó luego del lavado de la fruta, porque en si lo que se utilizó para elaborar el producto es la cáscara del plátano por lo que tenía que estar limpia y en buenas condiciones.

#### **3.5.2.5. Escaldado**

El escaldado consiste en la inmersión del producto en este caso la cáscara al agua a una temperatura de 80°C por un tiempo de 5 minutos. Con el escaldado se quiere alcanzar la inactivación de las enzimas, mantener el color natural de las cáscaras evitando el pardeamiento enzimático, reducción parcial de microorganismo presentes.

#### **3.5.2.6. Cortado**

El cortado de la cáscara de plátano lo realice a mano en una tabla de picar, los cortes fue en cuadritos para un fácil licuado.

#### **3.5.2.7. Pesado**

El pesado de la cáscara lo realice al inicio, para saber cuánto se pierde en el transcurso del proceso, el segundo pesado fue después del escaldado y pelado, para luego proceder con el licuado con un peso exacto para cada uno de los tratamientos.

#### **3.5.2.8. Licuado**

El licuado se realiza utilizando agua potable para obtener una mezcla homogénea que permite liberar los azúcares disueltos para facilitar el proceso de fermentación.

### **3.5.2.9. Envasado**

Una vez que la cáscara ya está licuada procedemos a envasar en botellones de 5 litros, además le agregue el fermento, ácido cítrico y el fosfato de amonio.

### **3.5.2.10. Sellado**

El sellado se lo realizo luego del envasado se apretó muy bien las tapas para impedir el ingreso de oxígeno, una vez selladas, en las tapas se realizó unos agujeros para luego colocar unas mangueras, una para ir extrayendo las muestras día a día y la otra para introducirlas en un botellón de agua para que la mezcla se oxigene a través del agua, porque si no puede explotar a causa de la fermentación.

### **3.5.2.11. Fermentación**

La levadura variedad *Saccharomyces* es la responsable de la producción los modificadores bioquímicos para la obtención de etanol.

En esta investigación se utilizó levadura de panificación como fuente de *Saccharomyces*, además se fortaleció su crecimiento adicionando fosfato de amonio como fuente de nitrógeno y ácido cítrico como regulador de pH.

La Fermentación se realizó con 10gr levadura en 5lit de mezcla y se obtuvo etanol, almacenando hasta los 14 días y luego se procedió a destilar dicha mezcla.

### **3.5.2.12. Destilado**

La destilación se realizó con un destilador utilizando el método de destilación simple que consiste en calentar el producto a una temperatura de 80°C para

poder extraer el etanol.

### **3.5.2.13. Almacenamiento**

El almacenamiento es colocar en un lugar seguro y frescos por el lapso de tiempo que uno dese.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4. Resultados de los datos estadísticos

##### 4.1. Análisis estadístico del pH

**Cuadro N°7**  
**Tabla de Análisis de Varianza para el Variable pH**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH	16	0,11	0,00	13,91

Elaborado por: Magaly Ponce UTE- 2012

**Cuadro N°8**  
**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Variedad	0,08	1	0,08	0,25	0,6271	ns
% levadura	0,02	1	0,02	0,05	0,8243	ns
Variedad*% levadura	0,11	1	0,11	0,35	0,5669	ns
Error	2,69	9	0,30			
<b>Total</b>	<b>3,01</b>	<b>15</b>				

Elaborado por: Magaly Ponce UTE- 2012

La tabla de Adeva al 5% indica no significancia estadística para la variedad de plátano y % de levadura, de igual forma para su interacción. Se acepta la hipótesis nula de igualdad de tratamientos. La fermentación de las dos variedades de plátano y dos dosis de levadura, no afecta en el pH del etanol.

**Cuadro N°9**  
**Medias para la Interacción Variedad por Levadura**

<u>Variedad</u>	<u>% levadura</u>	<u>Medias</u>
2,00	2,00	4,05
1,00	1,00	3,98
2,00	1,00	3,95
<u>1,00</u>	<u>2,00</u>	<u>3,75</u>

**Elaborado por:** Magaly Ponce UTE- 2012

Estadísticamente todos los tratamientos son iguales, sin embargo numéricamente si existe variación. La variedad barraganete y 1% de levadura permite obtener el valor más alto de pH, con un promedio de 4.05. El valor más bajo se logra al utilizar la variedad dominico y 1% de levadura con un promedio de 3.75 de pH.

El coeficiente de variación es de 13.91%, indica un manejo aceptable del experimento a nivel de laboratorio.

#### 4.2. Análisis estadístico de acidez

**Cuadro N°10**  
**Análisis de Varianza para la Variable % de acidez**

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
<u>% Acidez</u>	<u>16</u>	<u>0,51</u>	<u>0,19</u>	<u>20,26</u>

**Elaborado por:** Magaly Ponce UTE- 2012

**Cuadro N°11**  
**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedad	0,58	1	0,58	7,81	0,0209*
% levadura	3,9E-03	1	3,9E-03	0,05	0,8240ns
Variedad*% levadura	0,08	1	0,08	1,11	0,3195ns
Error	0,67	9	0,07		
<b>Total</b>	<b>1,37</b>	<b>15</b>			

**Elaborado por:** Magaly Ponce UTE- 2012

En la tabla de Adeva al 5% se obtuvo los siguientes resultados; el factor variedad es significativo por lo cual se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la nula. El % de levadura y la interacción presentaron no significancia estadística. En este caso la variedad de plátano afecta en el % de acidez del vino, no así el % de levadura y la interacción.

**Cuadro N°12**  
**Prueba de Tukey para la variable Variedad de Plátano**

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,30863**

**Error: 0,0745 gl: 9**

Variedad	Medias	n	E.E.
1,00	1,54	8	0,10
2,00	1,16	8	0,10

**Elaborado por:** Magaly Ponce UTE- 2012

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

La variedad domínico presenta mayor % de acidez que la variedad barraganete, con promedios de 1.54 y 1.16 % de acidez.

**Cuadro N°13**  
**Medias para la Interacción Variedad por Levadura**

<u>Variedad</u>	<u>% levadura</u>	<u>Medias</u>
1,00	1,00	1,63
1,00	2,00	1,45
2,00	2,00	1,21
2,00	1,00	1,10

**Elaborado por:** Magaly Ponce UTE- 2012

Estadísticamente todos los tratamientos son iguales. Los valores más bajos de acidez se obtienen con los alcoholes elaborados con plátano barraganete con cualquiera de las dos dosis de levadura.

Todos los tratamientos se encuentran dentro del rango que especifica la norma INEN 374 para vinos de frutas, cuyo valor máximo es de 2% como ácido acético.

El coeficiente de variación esa de 20. 26%, indica un manejo aceptable para este tipo de experimentos.

#### **4.3. Análisis estadísticos de °alcohólicos**

**Cuadro N°14.**  
**Análisis de Varianza para la Variable °alcohólicos**

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
°Alcohólicos	16	0,47	0,12	26,20

**Elaborado por:** Magaly Ponce UTE- 2012

**Cuadro N°15**  
**Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Variedad	0,46	1	0,46	0,47	0,5115	ns
% levadura	2,48	1	2,48	2,54	0,1452	ns
Variedad*% levadura	2,81	1	2,81	2,88	0,1241	ns
Error	8,78	9	0,98			
<b>Total</b>	<b>16,63</b>	<b>15</b>				

**Elaborado por:** Magaly Ponce UTE- 2012

La tabla de Adeva al 5% indica nos significancia estadística para la variedad de plátano y % de levadura, de igual forma para su interacción. Se acepta la hipótesis nula de igualdad de tratamientos. La fermentación con las dos variedades de plátano y dos dosis de levadura, producen los mismos grados alcohólicos en la solución etanólica.

**Cuadro N°16**  
**Medias para la Interacción Variedad por Levadura**

Variedad	% levadura	Medias
2,00	1,00	4,75
1,00	2,00	3,63
1,00	1,00	3,58
<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	<b>3,13</b>

**Elaborado por:** Magaly Ponce UTE- 2012

La variedad barraganete y 0.5% de levadura permite obtener el valor más representativo en ° alcohólicos, con un promedio de 4.75° alcohólicos. Esta misma variedad al elevar la cantidad de levadura al 1% produce el promedio más bajo de 3.13° alcohólicos.

La norma INEN 374 para vino de frutas especifica un rango de mínimo 5 y máximo 18 ° alcohólicos. Cerca de este rango se encuentra el tratamiento que utiliza la variedad barraganete y 0.5% de levadura, considerado como el



mejor tratamiento.

El coeficiente de variación es de 26%, indica un manejo aceptable para este tipo de experimentos.

#### 4.4. Análisis estadístico de °Brix

**Cuadro N° 17.**  
**Análisis de Varianza para °Brix**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Brix	16	0,50	0,17	11,08

Elaborado por: Magaly Ponce UTE- 2012

**Cuadro N° 18**  
**Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Variedad	0,08	1	0,08	0,43	0,5281 ns
% levadura	0,14	1	0,14	0,80	0,3942 ns
Variedad*% levadura	0,60	1	0,60	3,42	0,0975 ns
Error	1,58	9	0,18		
Total	3,16	15			

Elaborado por: Magaly Ponce UTE- 2012

Coeficiente de variación %:11,08

La tabla de Adeva al 5% indica no significancia estadística para la variedad de plátano y % de levadura, de igual forma para su interacción. Se acepta la hipótesis nula de igualdad de tratamientos. La fermentación con las dos variedades de plátano y dos dosis de levadura, producen solución etanólica de igual °brix.

**Cuadro N°19**  
**Medias para la Interacción Variedad por Levadura**

<u>Variedad</u>	<u>% levadura</u>	<u>Medias</u>
2,00	2,00	4,00
1,00	1,00	3,95
1,00	2,00	3,75
<u>2,00</u>	<u>1,00</u>	<u>3,43</u>

**Elaborado por:** Magaly Ponce UTE- 2012

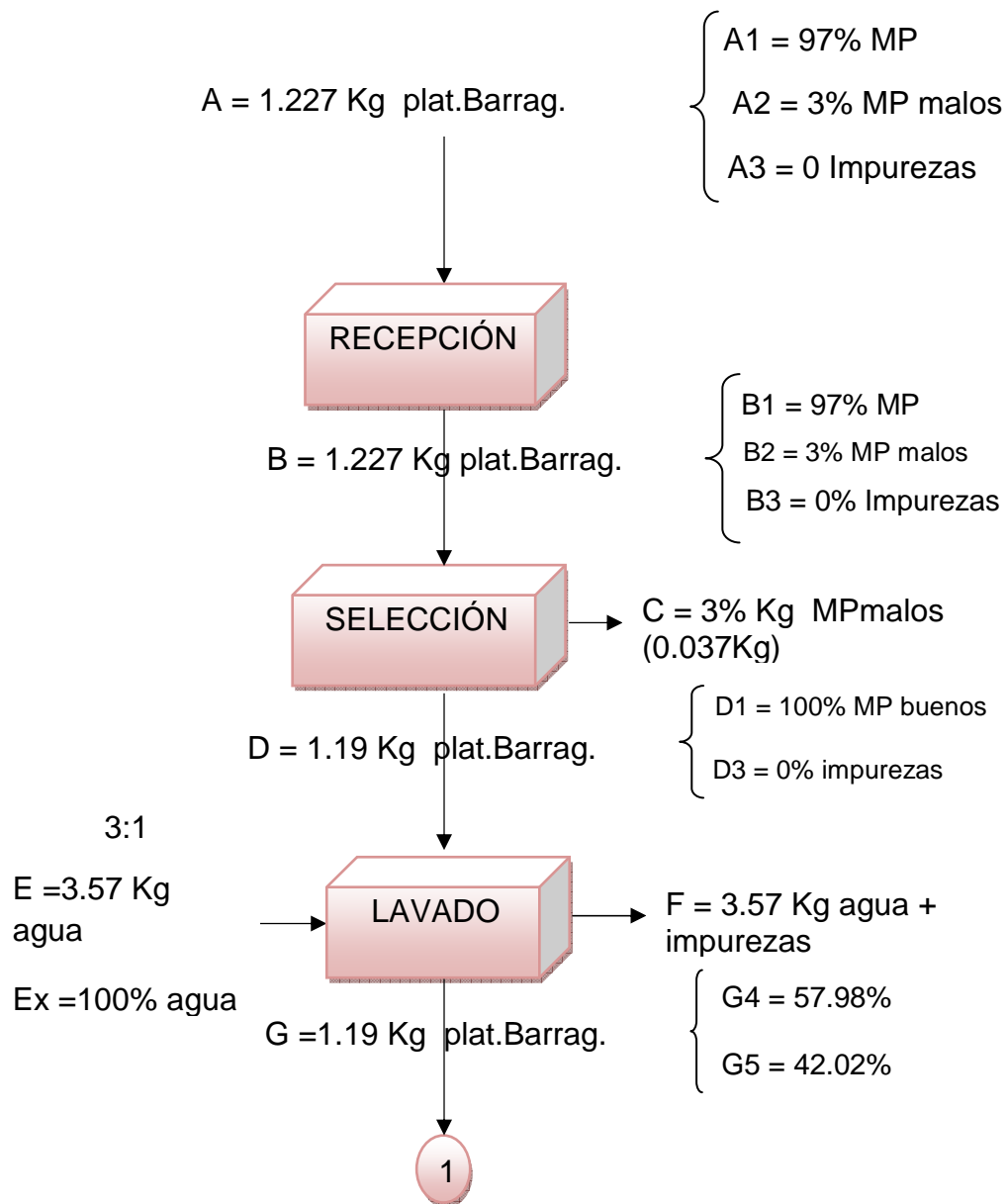
En la tabla de medias se observa que la variedad barraganete y 2% de levadura alcanza un promedio del 4 °Brix. La misma variedad barraganete con 0.5 de levadura obtiene el valor más bajo con 3.43% de °Brix.

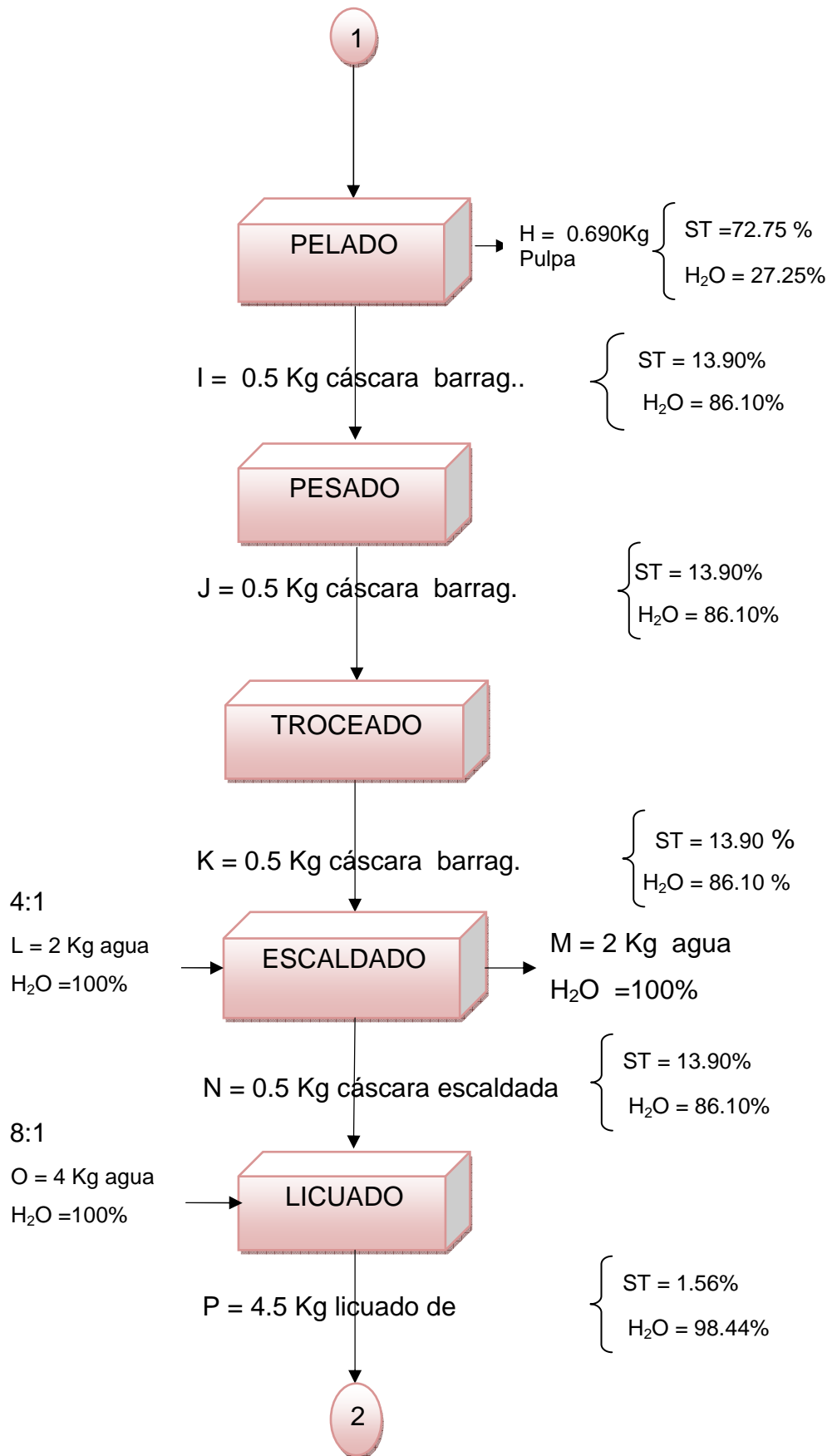
Todos los tratamientos se encuentran dentro del rango especificado para un vino semidulce que contiene de 30g a 50g por litro o de 3 a 5% azúcar.

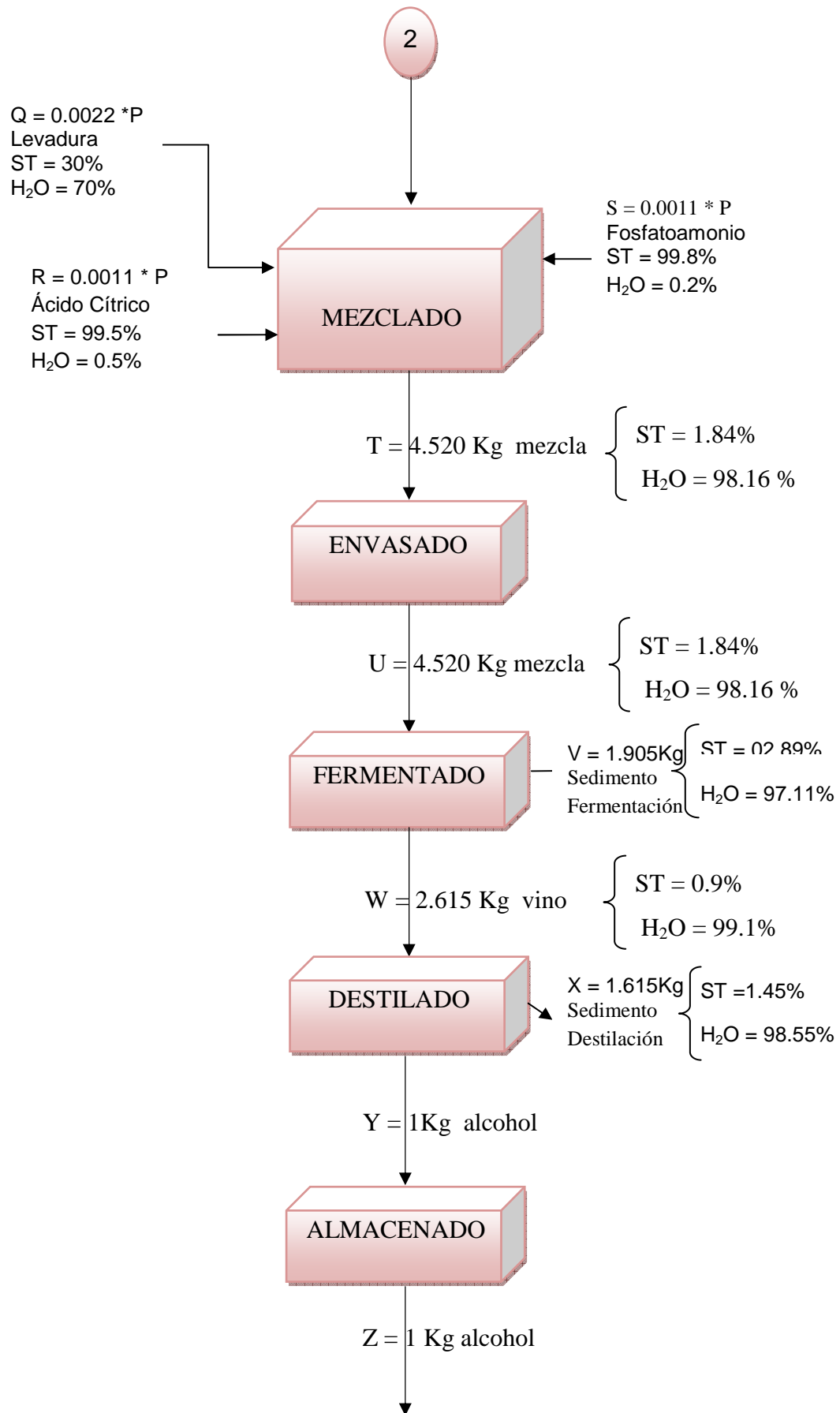
#### 4.5. Balance de materia y energía

##### 4.5.1. Diagrama de flujo cuantitativo de la utilización de cáscara de plátano barraganete para la obtención de etanol

**Gráfico N°12**  
**Base de cálculo 1.227kg de plátano barraganete**



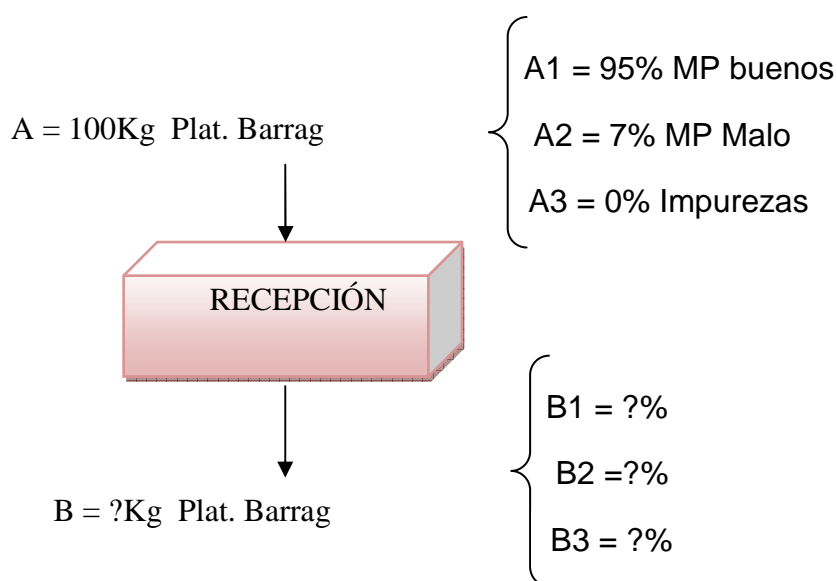




#### 4.6. Balance de materia de la utilización de cáscara de plátano barraganete para la obtención de etanol a nivel piloto

Base de cálculo de 100kg de plátano barraganete

##### Balance de recepción



##### Balance general

$$A = B$$

B = 100Kg Plátano barraganete

##### Balance parcial MP buenos

$$A(A1) = B(B1)$$

$$100\text{Kg} (0.97) = 100\text{Kg} (B1)$$

$$B1 = \frac{100\text{Kg}(0.97)}{100\text{Kg}}$$

$$B1 = 0.95 * 100$$

$$B1 = 95\%$$

##### Balance parcial MP malos

$$A(A2) = B(B2)$$

$$100\text{Kg} (0.03) = 100\text{Kg} (B2)$$

$$B2 = \frac{100\text{Kg}(0.03)}{100\text{Kg}}$$

$$B2 = 0.03 * 100$$

$$B2 = 3\%$$

### Balance parcial de impurezas

$$A(A3) = B(B3)$$

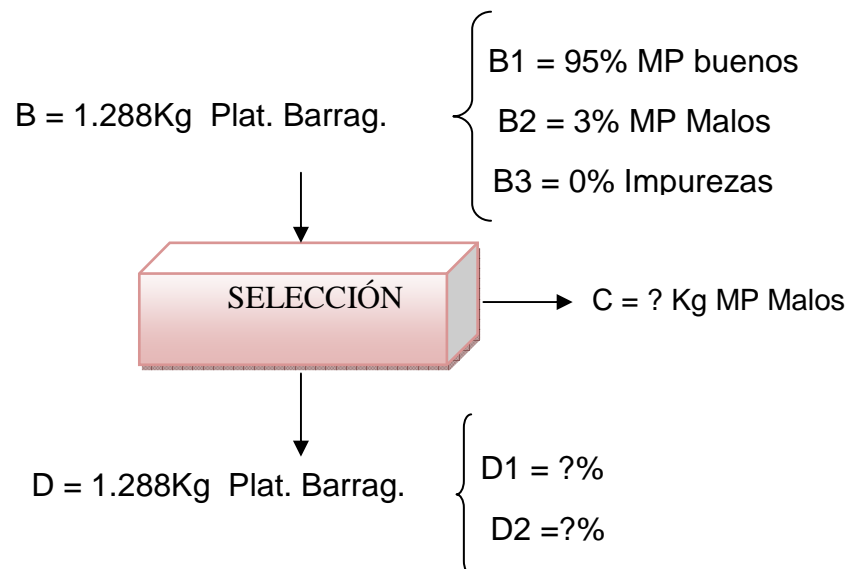
$$1.288\text{Kg} (0.05) = 1.288\text{Kg} (B3)$$

$$B3 = \frac{1.288\text{Kg}(0.0)}{1.288\text{Kg}}$$

$$B3 = 0.0 * 100$$

$$B3 = 0\%$$

### Balance en selección



### Cálculo para la cantidad de impurezas

$$C = B (B3)$$

$$C = 100\text{Kg} (0.03)$$

$$C = 3 \text{ Kg}$$

### Balance general

$$B = C + D$$

$$D = B - C$$

$$D = (100 - 3)\text{Kg}$$

$$D = 97 \text{ Kg}$$

### Balance parcial de MP buenos

$$B(B1) = D(D1)$$

$$100\text{Kg} (0.97) = 97\text{Kg} (D1)$$

$$D1 = \frac{97\text{Kg}}{1.224\text{Kg}}$$

$$D1 = 0.1 * 100$$

$$D1 = 100\%$$

### Balance parcial de impurezas

$$B(B3) = D(D3)$$

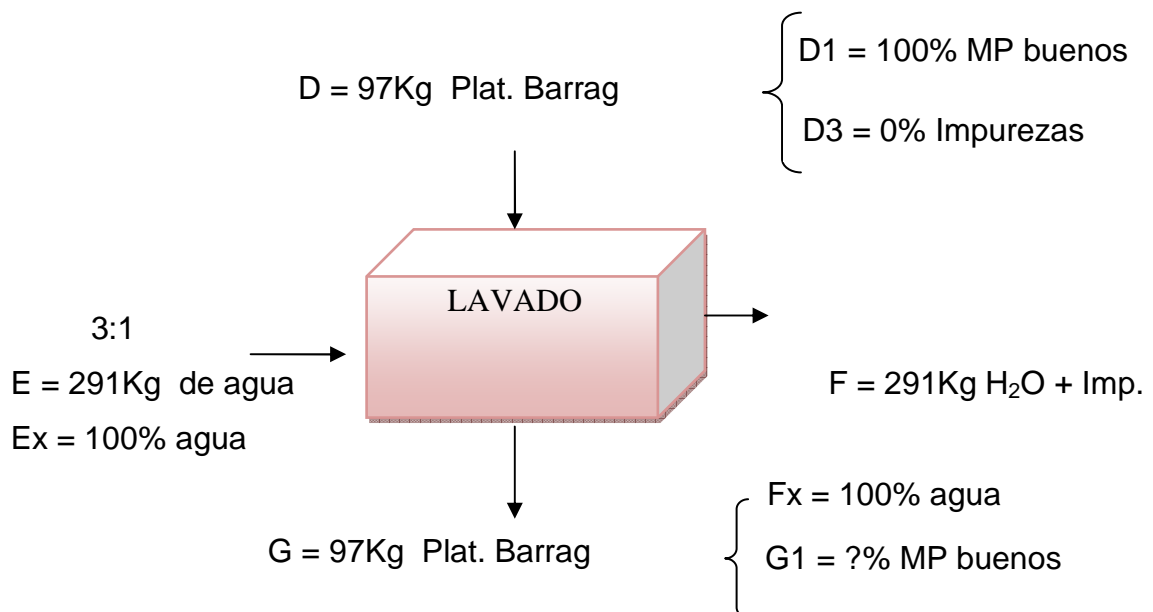
$$1.288\text{Kg} (0.0) = 1.224\text{Kg} (D2)$$

$$D2 = \frac{0}{1.224\text{Kg}}$$

$$D2 = 0 * 100$$

$$D2 = 0\%$$

### Balance en lavado



### Balance general

$$D + E = F + G$$

$$G = D + E - F$$

$$G = (97 + 291 - 291)\text{Kg}$$

$$G = 97 \text{ Kg plátano barraganete}$$



### Balance parcial MP buenas

$$D(D1) + E(Ex) = F(Fx) + G(G1)$$

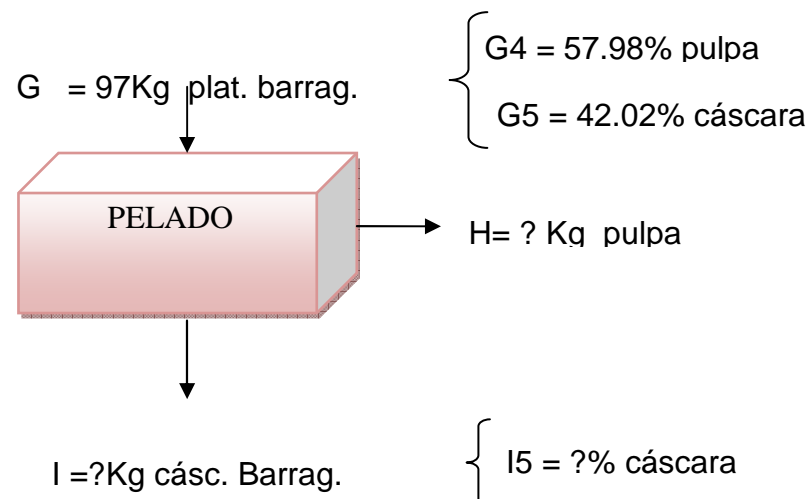
$$97\text{Kg} (1) + 291\text{Kg} (1) = 291\text{Kg} (1) + 97(G1)$$

$$G1 = \frac{(97 + 291 - 291)\text{Kg}}{97\text{Kg}}$$

$$G1 = 1 * 100$$

$$G1 = 100\%$$

### Balance en pelado



### Cálculo para la cantidad de pulpa

$$H = G (G4)$$

$$H = 97\text{Kg} (0.5798)$$

$$H = 56.25 \text{ Kg}$$

### Balance general

$$G = H + I$$

$$I = G - H$$

$$I = (97 - 56.25) \text{Kg}$$

$$I = 40.75 \text{ Kg Cáscara}$$

### Balance parcial de cáscara

$$G(Gx) = I(I5)$$

$$97 \text{Kg} (0.4202) = 40.75 \text{Kg} (I5)$$

$$I5 = \frac{(40.75) \text{Kg}}{40.75 \text{Kg}}$$

$$I5 = 1 * 100$$

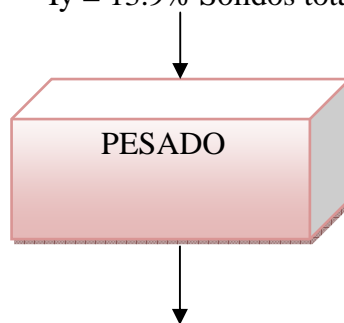
$$I5 = 100\%$$

### Balance en pesado

$I = 40.75 \text{Kg}$  cáscara barrag.

$I_x = 86.1\%$  Agua

$I_y = 13.9\%$  Sólidos totales



$J = ? \text{Kg}$  cáscara barrag.

$J_x = 86.1\%$  Agua

$J_y = 13.9\%$  Sólidos totales

**Balance general**

$$I = J$$

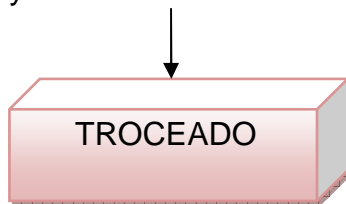
$$J = 40.75 \text{Kg cáscara barraganete}$$

**Balance en el troceado**

$$J = 40.75 \text{Kg cáscara barraganete}$$

$$J_x = 86.1\% \text{ agua}$$

$$J_y = 13.9\% \text{ sólidos totales}$$



$$K = ? \text{Kg cáscara barraganete}$$

$$K_x = ? \% \text{ agua}$$

$$K_y = ? \% \text{ sólidos totales}$$

**Balance general**

$$J = K$$

$$K = 40.75 \text{Kg cáscara barraganete}$$

**Balance parcial de agua**

$$J(J_x) = K(K_x)$$

$$40.75 \text{Kg} (0.861) = 40.75 \text{Kg} (K_x)$$

$$K_x = \frac{35.08 \text{Kg}}{40.75 \text{Kg}}$$

$$K_x = 0.861 * 100$$

$$K_x = 86.1\%$$

### Balance parcial de sólidos totales

$$J(Jy) = K(Ky)$$

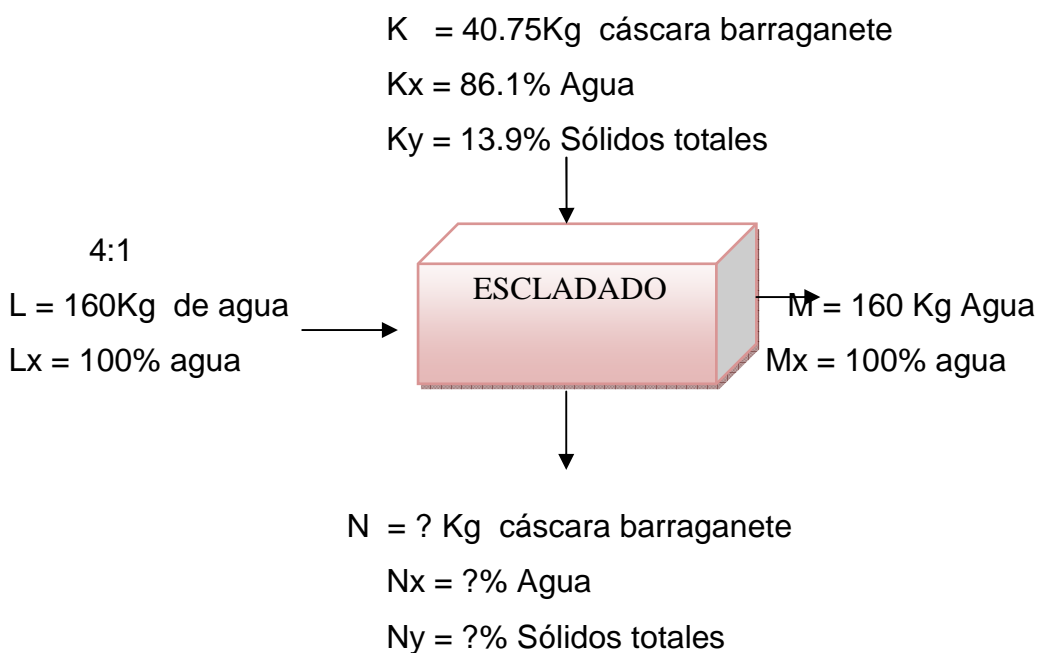
$$40.75\text{Kg} (0.139) = 40.75\text{Kg} (Ky)$$

$$Ky = \frac{5.66\text{Kg}}{40.75\text{Kg}}$$

$$Ky = 0.139 * 100$$

$$Ky = 13.9\%$$

### Balance en escaldado



### Balance general

$$K + L = M + N$$

$$N = K + L - M$$

$$N = (40.75 + 160 - 160)\text{Kg}$$

$$N = 40.75\text{ Kg}$$
 cáscara barraganete

### Balance parcial de agua

$$K(K_x) + L(L_x) = M(M_x) + N(N_x)$$

$$40.75\text{Kg} (0.861) + 160\text{Kg} (1) = 160\text{Kg} (1) + 40.75 (N_x)$$

$$N_x = \frac{(35.09 + 160 - 160)\text{Kg}}{40.75\text{Kg}}$$

$$N_x = 0.861 * 100$$

$$N_x = 86.1\%$$

### Balance parcial de sólidos totales

$$K(K_y) + L(L_y) = M(M_y) + N(N_y)$$

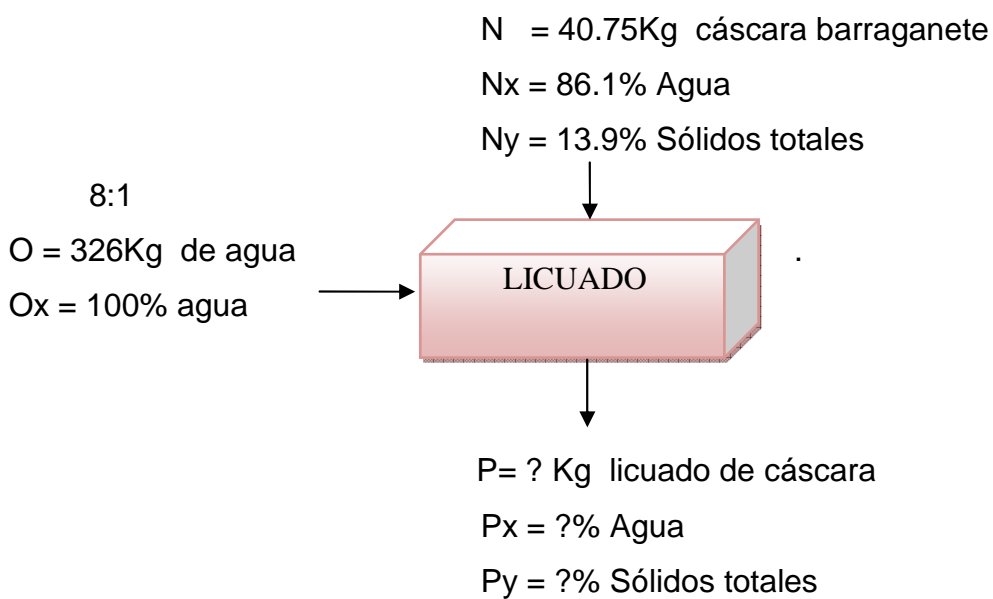
$$40.75\text{Kg} (0.139) + 160\text{Kg} (1) = 160\text{Kg} (1) + 40.75 (N_y)$$

$$N_y = \frac{(5.66 + 160 - 160)\text{Kg}}{40.75\text{Kg}}$$

$$N_y = 0.139 * 100$$

$$N_y = 13.9\%$$

### Balance en licuado



### Balance general

$$N + O = P$$

$$N = (40.75 + 326)\text{Kg}$$

$$G = 366.75 \text{ Kg}$$

### Balance parcial de agua

$$N(N_x) + O(O_x) = P(P_x)$$

$$40.75\text{Kg} (0.861) + 326\text{Kg} (1) = 366.75(P_x)$$

$$P_x = \frac{(35.09 + 326)\text{Kg}}{366.75\text{Kg}}$$

$$P_x = 0.9846 * 100$$

$$P_x = 98.46\%$$

### Balance parcial de sólidos totales

$$N(N_y) + O(O_y) = P(P_y)$$

$$40.75\text{Kg} (0.139) + 326\text{Kg} (0) = 366.75(P_y)$$

$$P_y = \frac{(5.66 + 0)\text{Kg}}{91\text{Kg}}$$

$$P_y = 0.0154 * 100$$

$$P_y = 1.54\%$$

### Balance en mezclado

$$Q = 0.0022 * P$$

Levadura

$$Q_x = 70\% \text{H}_2\text{O}$$

$$Q_y = 30\% \text{ST}$$

$$R = 0.0011 * P$$

Ácido Cítrico

$$R_x = 0.5\%$$

$$R_y = 99.5\% \text{ST}$$

$$P = 366.75 \text{ licuado de cáscara}$$

$$P_x = 98.46\% \text{H}_2\text{O}$$

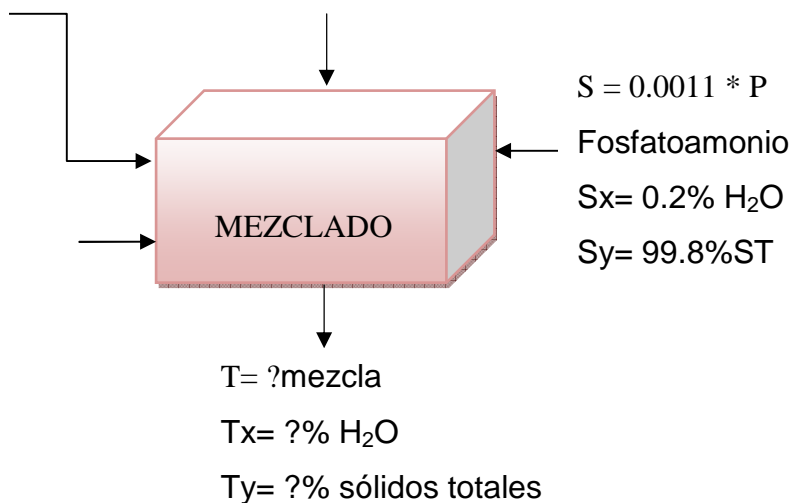
$$P_y = 1.54 \text{ sólidos totales}$$

$$S = 0.0011 * P$$

Fosfatoamonio

$$S_x = 0.2\% \text{H}_2\text{O}$$

$$S_y = 99.8\% \text{ST}$$



**Balance en levadura**

$$Q = 0.0022 * P$$

$$Q = 0.0022 * 366.75 \text{ Kg}$$

$$Q = 0.81 \text{ Kg}$$

**Balance en ácido cítrico**

$$R = 0.0011 * P$$

$$R = 0.0011 * 366.75 \text{ Kg}$$

$$R = 0.40 \text{ Kg}$$

**Balance en fosfato de amonio**

$$S = 0.0011 * P$$

$$S = 0.0011 * 366.75 \text{ Kg}$$

$$S = 0.40 \text{ Kg}$$

**Balance general**

$$P + Q + R + S = T$$

$$T = (366.75 + 0.81 + 0.40 + 0.40) \text{ Kg}$$

$$T = 368.36 \text{ Kg de mezcla}$$

**Balance parcial de agua**

$$P(P_x) + Q(Q_x) + R(R_x) + S(S_x) = T(T_x)$$

$$366.75\text{Kg} (0.9846) + 0.81\text{Kg}(0.7) + 0.4\text{Kg}(0.005) + 0.4\text{Kg}(0.002) = 368.36(T_x)$$

$$T_x = \frac{(361.1 + 0.567 + 0.002 + 0.0008)\text{Kg}}{368.36\text{Kg}}$$

$$T_x = 0.9818 * 100$$

$$T_x = 98.18\%$$

**Balance parcial de sólidos totales**

$$P(P_y) + Q(Q_y) + R(R_y) + S(S_y) = T(T_y)$$

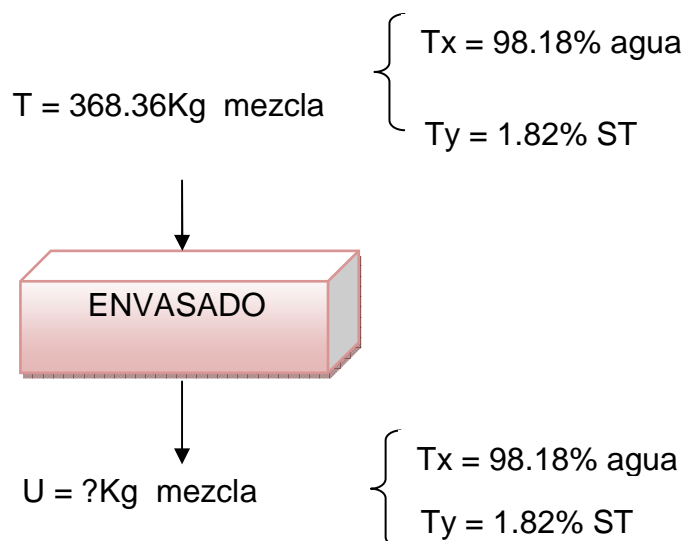
$$366.75\text{Kg} (0.0154) + 0.81\text{Kg}(0.3) + 0.4\text{Kg}(0.995) + 0.4\text{Kg}(0.998) = 368.36(T_y)$$

$$T_y = \frac{(5.65 + 0.243 + 0.398 + 0.3992)\text{Kg}}{368.36\text{Kg}}$$

$$T_y = 0.0182 * 100$$

$$T_y = 1.82\%$$

### Balance en envasado

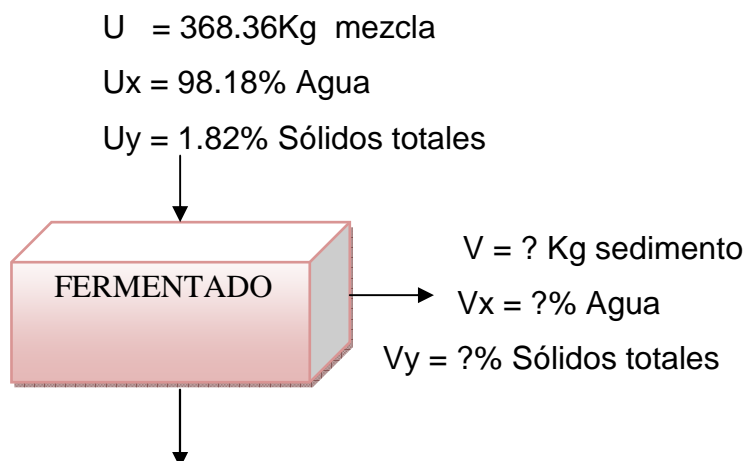


### Balance general

$$T = U$$

$$U = 368.36\text{Kg}$$
 mezcla

### Balance en fermentado





$$W = 213.1\text{Kg vino}$$

$$W_x = 99.1\% \text{ Agua}$$

$$W_y = 0.9\% \text{ Sólidos totales}$$

### **Balance general**

$$U = V + W$$

$$V = U - W$$

$$V = (368.36 - 213.1)\text{Kg}$$

$$V = 155.26 \text{ Kg vino}$$

### **Balance parcial de agua**

$$U(U_x) = V(V_x) + W(W_x)$$

$$368.36\text{Kg} (0.9818) = 155.26\text{Kg} (V_x) + 213.1\text{Kg} (0.991)$$

$$V_x = \frac{(361.65 - 211.18)\text{Kg}}{155.26\text{Kg}}$$

$$V_x = 0.9691 * 100$$

$$V_x = 96.91\%$$

### **Balance parcial de sólidos totales**

$$U(U_y) = V(V_y) + W(W_y)$$

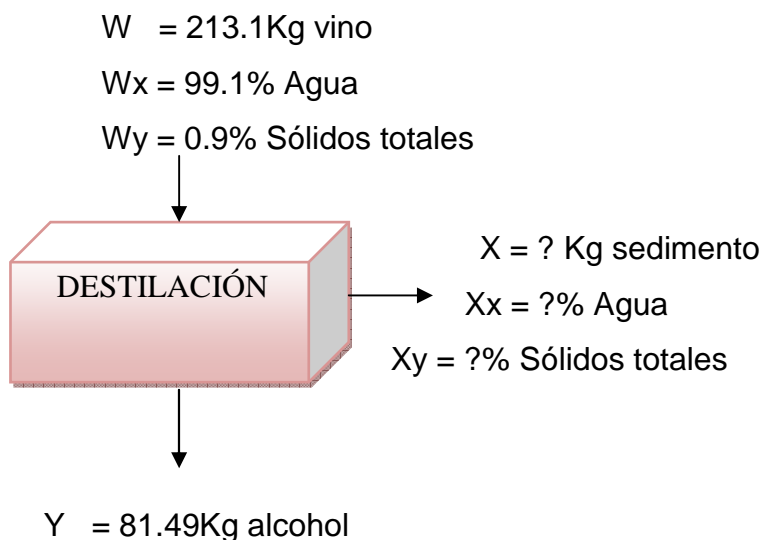
$$368.36\text{Kg} (0.0182) = 155.26\text{Kg} (V_y) + 213.1\text{Kg} (0.009)$$

$$V_y = \frac{(6.70 - 1.92)\text{Kg}}{155.26\text{Kg}}$$

$$V_y = 0.0309 * 100$$

$$V_y = 3.09\%$$

### Balance en destilación



### Balance general

$$W = X + Y$$

$$X = W - Y$$

$$X = (213.1 - 81.49)\text{Kg}$$

$$X = 131.61 \text{ Kg sedimento de destilación}$$

### Balance parcial de agua

$$W(W_x) = X(X_x) + Y(Y_x)$$

$$213.1\text{Kg} (0.991) = 131.61\text{Kg} (V_x) + 81.49\text{Kg} (1)$$

$$V_x = \frac{(211.18 - 81.49)\text{Kg}}{131.61\text{Kg}}$$

$$Y_x = 0.9854 * 100$$

$$Y_x = 98.54\%$$

### Balance parcial de sólidos totales

$$W(Wy) = X(Xy) + Y(Yy)$$

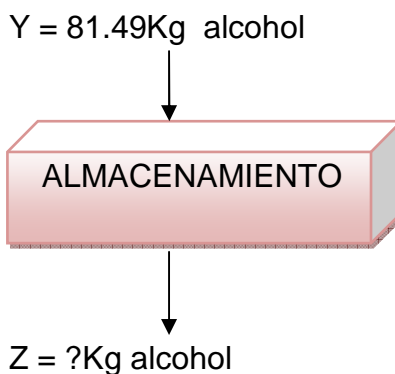
$$213.1\text{Kg} (0.009) = 131.61\text{Kg} (Yy) + 81.49\text{Kg} (0)$$

$$Yy = \frac{(1.92)\text{Kg}}{131.61\text{Kg}}$$

$$Yy = 0.0146 * 100$$

$$Yy = 1.46\%$$

### Balance en almacenamiento



### Balance general

$$Y = Z$$

$$Z = 81.49\text{Kg alcohol}$$

### 4.7. Balance de energía de la utilización de cáscara de plátano barraganete para la obtención de etanol

#### Balance de energía en el escaldado

**Datos:**

$$M_{\text{cáscara}} = 0.5 \text{ Kg}$$

$$M_{\text{agua}} = 2 \text{ Kg}$$

$$C_{p\text{cáscara barraganete}} = 3.80 \text{ KJ/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p\text{agua}} = 4.18 \text{ KJ/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (80 - 28) ^\circ\text{C} = 52^\circ\text{C}$$

$$M_{\text{gas}} = 0.1 \text{ Kg}$$

$$\text{Pot.cal}_{\text{gas}} = 61692.91 \text{ KJ/ Kg}$$

### Calor específico de la cáscara del plátano barraganete

$$\% \text{ Humedad} = 86.10\%$$

$$\% \text{ sólidos} = 13.90 \%$$

$$C_{p\text{agua}} = 4.19 \text{ KJ / Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p\text{Sólido}} = 1.38 \text{ KJ / Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p\text{cáscara barraganete}} = \frac{M_{H_2O}}{M} * C_{pH_2O} + \frac{M_{\text{sólido}}}{M} C_{p\text{Sólido}}$$

$$C_{p\text{cáscara barraganete}} = \frac{86.10}{100} * 4.19 \text{ KJ/Kg. } ^\circ\text{C} + \frac{13.90}{100} * 1.38 \text{ KJ / Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p\text{cáscara barraganete}} = 3.80 \text{ KJ/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$QT = Q_{\text{cáscara barraganete}} + Q_{\text{Beffer}}$$

$$Q_{\text{cáscara barraganete}} = m_{\text{cáscara barraganete}} * C_{p\text{cáscara barraganete}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{cáscara barraganete}} = 0.5 \text{ Kg} * 3.80 \text{ KJ/Kg. } ^\circ\text{C} * 52^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{cáscara barraganete}} = 98.8 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{Beffer}} = 2 \text{ Kg} * 4.19 \text{ KJ / Kg. } ^\circ\text{C} * 52^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Beffer}} = 435.76 \text{ KJ}$$

$$QT = (98.8 + 435.76) \text{ KJ}$$

$$QT = 534.56 \text{ KJ}$$

---

<sup>2</sup> BATTY, J. Clair, FOLKMAN, Steven. Fórmula de Calor específico de los productos alimentarios. Fundamentos de la ingeniería de los alimentos. Pág. 104.

$$Q_{\text{suministrado}} = m_{\text{gas}} * P_{\text{cal.}}$$

$$Q_{\text{suministrado}} = 0.1 \text{ Kg} * 61692.91 \text{ Kj/ Kg}$$

$$Q_{\text{suministrado}} = 6169.29 \text{ Kj}$$

Debido a que existe una disipación de calor en el aire (80 a 70%) se le multiplica por (20 – 30%) que es lo que se aprovecha.

$$Q_{\text{suministrado}} = 6169.29 \text{ Kj} * 0.20$$

$$Q_{\text{suministrado}} = 1233.86 \text{ Kj}$$

$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{suministrado}} - Q_{\text{T}}$$

$$Q_{\text{perdido}} = 1233.86 \text{ Kj} - 534.56 \text{ Kj}$$

$$Q_{\text{perdido}} = 699.3 \text{ Kj}$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\text{Calor total (QT)}}{Q_{\text{suministrado}}} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{534.56 \text{ Kj}}{1233.86 \text{ Kj}} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = 43.32 \%$$

### Balance de energía en la destilación

Datos:

$$M_{\text{fermentada}} = 2.615 \text{ Kg}$$

$$C_{p_{\text{fermentado}}} = 4.16 \text{ Kj/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (85 - 25) ^\circ\text{C} = 60 ^\circ\text{C}$$

$$M_{\text{gas}} = 1.06 \text{ Kg}$$

$$Pot. cal_{\text{gas}} = 61692.91 \text{ Kj/ Kg}$$

## Calor específico del fermentado

$$\% \text{ Humedad} = 99.1\%$$

$$\% \text{ sólidos} = 0.9 \%$$

$$C_p \text{ agua} = 4.19 \text{ KJ / Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ Sólido} = 1.38 \text{ KJ / Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p \text{ cáscara barraganete}} = \frac{M_{H_2O}}{M} * C_{p H_2O} + \frac{M_{\text{sólido}}}{M} C_{p \text{ Sólido}}^3$$

$$C_{p \text{ cáscara barraganete}} = \frac{99.1}{100} * 4.19 \text{ KJ/Kg. } ^\circ\text{C} + \frac{0.9}{100} * 1.38 \text{ KJ / Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p \text{ cáscara barraganete}} = 4.16 \text{ KJ/Kg. } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{necesario}} = m_{\text{ fermentada}} * C_{p \text{ fermentado}} * \Delta T$$

$$Q_{\text{necesario}} = 2.615 \text{ Kg} * 4.16 \text{ KJ/Kg. } ^\circ\text{C} * 60^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{necesario}} = 652.70 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{ suministrado}} = V * I$$

$$Q_{\text{ suministrado}} = 4 * 120 \text{ Watts} = \text{J/S}$$

$$Q_{\text{ suministrado}} = 480 \text{ J/S} * 12 \text{ horas} * 3600 \text{ S/h} * 1 \text{ KJ}^4 / 1000 \text{ J} = 20736 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{ suministrado}} = 20736 \text{ KJ} * 0.20$$

$$Q_{\text{ suministrado}} = 4147.2 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{ perdido}} = Q_{\text{ suministrado}} - Q_{\text{ necesario}}$$

$$Q_{\text{ perdido}} = 4147.2 \text{ KJ} - 652.70 \text{ KJ}$$

$$Q_{\text{ perdido}} = 3494.5 \text{ KJ}$$

---

<sup>3</sup> BATTY, J. Clair, FOLKMAN, Steven. Fórmula de Calor específico de los productos alimentarios. Fundamentos de la ingeniería de los alimentos. Pág. 104

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{\text{Calor total ( QT)}}{\text{Q suministrado}} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = \frac{652.7 \text{ Kj}}{3494.5 \text{ Kj}} * 100$$

$$\% \text{Eficiencia} = 18.68 \%$$

#### 4.8. Diseño de destilación

##### Cálculo para el diseño del calentador

Material: Acero inoxidable

Espesor: 2.5mm

Altura de resistencia eléctrica: 1 cm

Potencia resistencia eléctrica: 1000w

Corriente eléctrica: 120v

$$VI = VR + \text{Factor} * VR$$

$$VI = 8000 \text{cm}^3 + 0.18 * 8000 \text{cm}^3$$

$$VI = 9440 \text{ cm}^3$$

$$9440 = \frac{\pi}{4} (2h)^2$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{9440 \text{ cm}^3}{\frac{\pi}{4} * 4}}$$

$$h = \sqrt{3006.36}$$

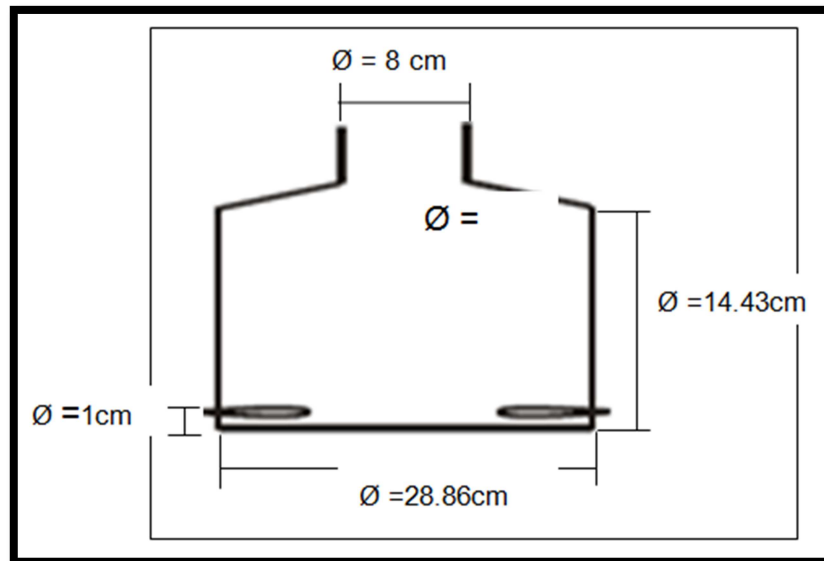
$$h = 14.43 \text{ cm}$$

$$\emptyset = 2h$$

$$\emptyset = 2(14.43)$$

$$\emptyset = 28.86 \text{cm}$$

**Grafico N° 13**  
**Calentador**



**Fuente:** Ponce Magaly/ UTE, 2013

Material: Acero inoxidable

Diámetro: 11mm

Espesor: 3mm

Diámetros de los agujeros: 0.47cm

Número de perforaciones: 85

$$A_{\text{Plato}} = \pi r^2$$

$$A_{\text{Plato}} = \pi(4.5\text{cm})^2$$

$$A_{\text{Plato}} = 63.62 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{Perforación}} = \pi r^2$$

$$A_{\text{Perforación}} = \pi(0.235\text{cm})^2$$

$$A_{\text{Perforación}} = 0.1735\text{cm}^2$$

$$N_{\text{Perforación}} = \frac{A_{\text{Plato}}}{A_{\text{Perforación}}}$$

$$N_{\text{Perforación}} = \frac{63.62 \text{ cm}^2}{0.1735 \text{ cm}^2}$$

$$N_{\text{Perforación}} = 366$$

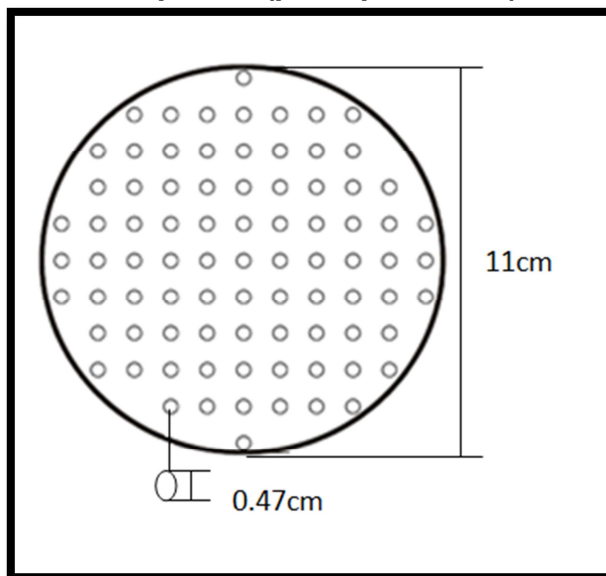
$$ff = \frac{NPT}{NP}$$

$$ff = \frac{85}{366}$$

$$ff = 0.232$$



**Gráfico N°14**  
**Soportes (plato perforado)**



Fuente: Ponce Magaly/ UTE, 2013

### Dimensionamiento de las abrazaderas

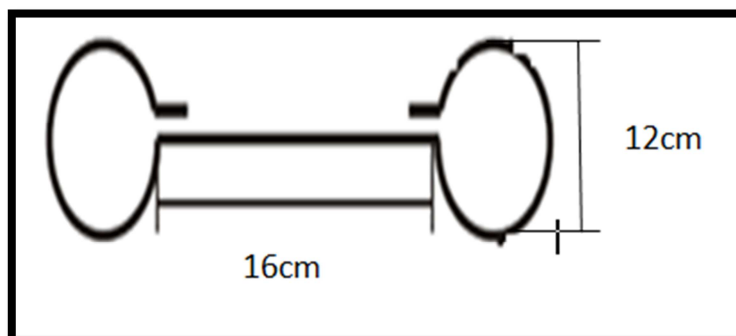
Material: Hierro fundido

Ancho: 3cm

Espesor: 3mm

Diámetro de las abrazaderas: 12cm Longitud de separación: 16cm

**Gráfico N° 15**  
**Abrazaderas**



Fuente: Ponce Magaly/ UTE, 2013

## Dimensionamiento de tramo de la torre de destilación

**Cuadro N°20**  
**Espacio entre platos**

Diámetro de torre	Espaciado del plato
0.8m(2.6) o menos	0.15m (6) a 0.13m mínimo
1.2m (4) 0 1m (3.3)	0.45 a 0.50m (18 a 20)
1.8 a 3.0m (6 a 10)	0.6 m (24)
3.6 a 7.3 m (12 a 24)	0.9 m (36)

Fuente:<http://plantasquímicas.iespana.es/auspicadores/agroindustrias.ht>

**Cuadro N°21**  
**Altura del empaque**

Tamaño, mm	HETP, m
15.5(0.61pulg.)	0.3 mínimo
25(1 pulg.)	0.4 - 0.5
38(1½ pulg.)	0.6 - 0.75
50( 2 pulg.)	0.75 - 1.0

Fuente:<http://plantasquímicas.iespana.es/auspicadores/agroindustrias.ht>

$$h = 1.33$$

$$1002.2 = \frac{\pi}{4} \emptyset^2$$

$$\emptyset_{\text{menor}} = \sqrt[3]{\frac{1002.2 \text{ cm}^3}{\frac{\pi}{4} \cdot 1.33}}$$

$$\emptyset_{\text{menor}} = \sqrt[3]{959.43}$$

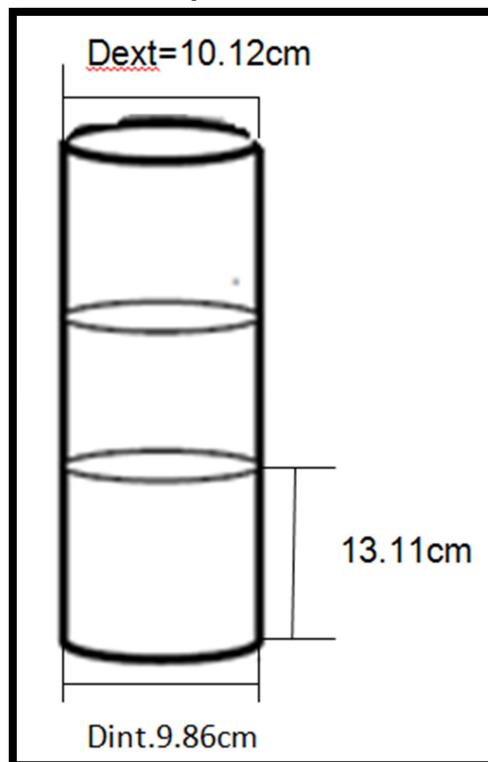
$$\emptyset_{\text{menor}} = 9.86 \text{ cm}$$

$$h = 1.33 \emptyset$$

$$h = 9.86 \cdot 1.33$$

$$h = 13.11 \text{ cm}$$

Gráfico N° 16  
Cuerpo de la Torre



FUENTE: Ponce Magaly/ UTE, 2013

Contenido de esferas de vidrio a una altura de 5 cm

Dato práctico de mínimo de esferas a una altura de 5 cm es 97 unidades

Diámetro de la esfera de vidrio = 1.6cm

$$V_{\text{Esfera}} = \frac{4\pi r^3}{3}$$

$$V_{\text{Esfera}} = \frac{4\pi(0.8\text{cm})^3}{3}$$

$$V_{\text{Esfera}} = 2.14\text{cm}^3$$

$$V_{\text{Cilindro}} = \pi r^2 h$$

$$V_{\text{Cilindro}} = \pi(4.93\text{cm})^2(5\text{cm})$$

$$V_{\text{Cilindro}} = 381.78\text{cm}^3$$

$$N_{\text{Esfera}} = \frac{V_{\text{Cilindro}}}{V_{\text{Esfera}}}$$

$$N_{\text{Esfera}} = \frac{381.78\text{cm}^3}{2.14\text{cm}^3}$$

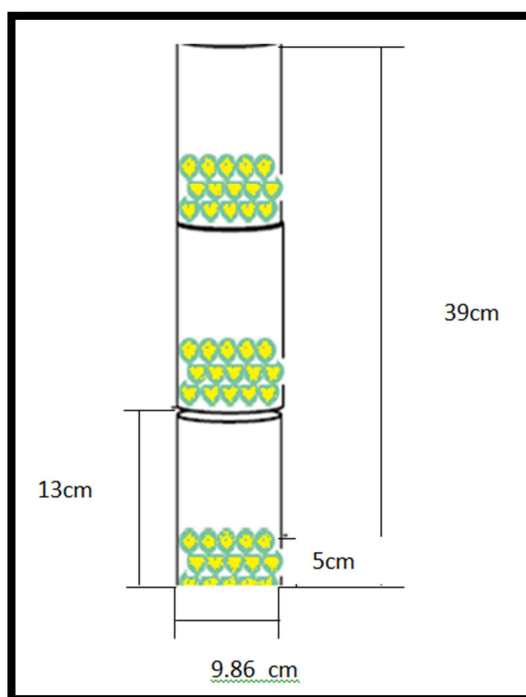
$$N_{\text{Esfera}} = 178.4$$

$$\text{Factor} = \text{NEP}/\text{NET}$$

$$\text{Factor} = \frac{97}{178.4}$$

$$\text{Factor} = 0.54$$

**Gráfico N° 17**



**Fuente:** Ponce Magaly/ UTE, 2013

**Nota:** El diseño de la torre es de seis unidades de transferencia, es decir el doble de las gráficas anteriores.

### Dimensionamiento del cuerpo del intercambiador de calor

$$V = 3490 \text{ cm}^3$$

$$h = 3.98 \text{ } \emptyset$$

$$V = \frac{\pi}{4} \emptyset^2 * h$$

$$3490 \text{ cm}^3 = \frac{\pi}{4} \emptyset^2 * (3.98 \emptyset)$$

$$\varnothing = \sqrt[3]{\frac{3490 \text{ cm}^3}{\frac{\pi}{4} \cdot 3.98}}$$

$$\varnothing = \sqrt[3]{1116.48 \text{ cm}^3}$$

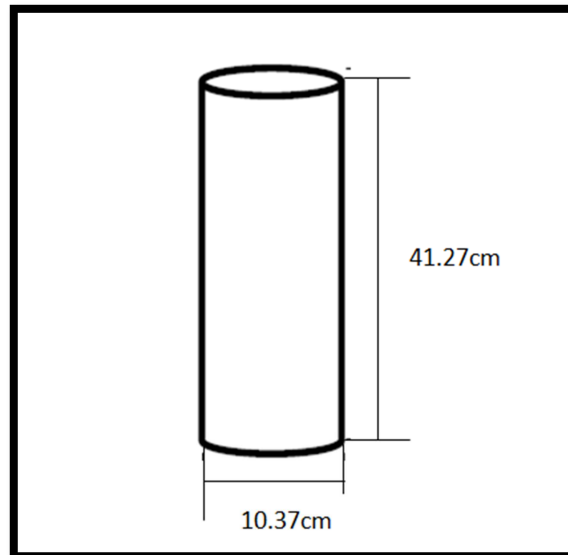
$$\varnothing = 10.37 \text{ cm}$$

$$h = 3.98 \varnothing$$

$$h = 3.98 (10.37 \text{ cm})$$

$$h = 41.27 \text{ cm}$$

**Gráfico N° 18**  
**Cuerpo del intercambiador de calor**



Fuente: Ponce Magaly/ UTE, 2013

### **Dimensionamiento del serpentín para el intercambiador de calor (enfriador)**

#### **Datos:**

Acero inoxidable: 304

$k = 237 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$

$\varnothing_{\text{Externo}} = 1.3 \text{ cm}$

$\varnothing_{\text{Interno}} = 1.1 \text{ cm}$

Espesor = 1.1m

### Agua a 90°C

$$\rho = 967 \text{Kg/m}^3$$

$$\mu = 3.185 \text{Kg/m-s}$$

$$h_{fg \ 90^\circ\text{C}} = 2283.2 \text{Kj/kg}$$

### Etanol 92°C

$$\rho = 762.8 \text{Kg/m}^3$$

$$C_p = 1.22 \text{Kj/Kg m}^3$$

$$\mu = 1.42 \cdot 10^{-5} \text{Kg/m-s}$$

$$k = 0.013 \text{W/m}^\circ\text{C}$$

$$h_{fg \ \text{Ebullicion}} = 855 \text{Kj/kg}$$

$$T_e = 29^\circ\text{C}$$

$$V = 0.015 \text{m/s}$$

$$FM = 5.14 \cdot 10^{-3} \text{m}^3/\text{hr}$$

$$M_{\text{Etanol} + \text{agua}} = 1.68 \text{Kg}$$

### Agua a 29°C

$$\rho = 998.3 \text{Kg/m}^3$$

$$C_p = 4180.2 \text{Kj/Kg m}^3$$

$$\mu = 8.501 \cdot 10^{-5} \text{Kg/m-s}$$

$$k = 0.61 \text{W/m}^\circ\text{C}$$

$$Pr = 5.81$$

$$h_{fg \ \text{Ebullicion}} = 2432.86 \text{Kj/kg}$$

$$V = 0.456 \text{m/s}$$

$$T_e = 29^\circ\text{C}$$

$$T_s = ?$$

### Cantidad de calor perdido por el alcohol

$$Q_{\text{Perdido}} = Q_{\text{hfg etanol}} + Q_{\text{etanol}} + Q_{\text{hfg etanol}}$$

$$Q_{\text{Perdido}} = (-1200.2\text{Kj}) + (-85.36\text{Kj}) + (-1162.2\text{Kj})$$

$$Q_{\text{Perdido}} = 2447.76\text{Kj}$$

### Datos experimentales de la temperatura de salida de agua

$$Q = M * C_p * \Delta T^a$$

$$T_e = 29$$

$$T_s = 32$$

### Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

### Cálculo de densidad y viscosidad del producto a 92°C

$$\bar{\rho}_p = (0.7)(762.82\text{Kg/m}^3) + (0.3)(967\text{Kg/m}^3)$$

$$\bar{\rho}_p = 824.07\text{ Kg/m}^3$$

$$\mu_p = (0.7)(1.42 \cdot 10^{-5}\text{Kg/m-s}) + (0.3)(3.185 \cdot 10^{-5}\text{Kg/m-s})$$

$$\mu_p = 1.99 \cdot 10^{-5}\text{ Kg/m-s}$$

### Cálculo del coeficiente de película en el producto

### Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{\bar{\rho} * D * V}{\mu} \quad b$$

$$Re = \frac{824.07\text{Kg/m}^3 * 0.015\text{m/s} * 0.011\text{m}}{1.987 \times 10^{-5}\text{ Kg/m.s}^2}$$

$$Re = 6843.05 \text{ Flujo turbulento}$$

### Cálculo del número de Prandt

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{K} \quad e$$

Datos:

$$C_p: 2.33 \text{Kj/Kg}^\circ\text{C}$$

$$K = 2.12 \times 10^{-4} \text{ Kg/m-s}$$

$$\mu_{90^\circ\text{C}} = 1.99 \times 10^{-5} \text{ Kg/m-s}$$

$$Pr = \frac{2.33 \text{Kj/Kg}^\circ\text{C} \cdot 1.99 \times 10^{-5} \text{ Kg/m-s}}{2.12 \times 10^{-4} \text{ Kg/m.s}^2}$$

$$Pr = 0.22^5$$

### Cálculo del número de Nusselt

*Para tubos largos la relación entre el diámetro y la longitud se hace muy pequeña y el número de Nusselt se aproxima a 4.*

$$Nu = 4$$

### Cálculo del coeficiente de convección del producto

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad e$$

**Datos:**

$$Nu = 4$$

$$K = 2.12 \times 10^{-4} \text{ Kg/m-s}$$

$$D = 0.011 \text{m}$$

$$h_1 = \frac{4 \cdot 2.12 \times 10^{-4} \text{ Kg/m-s}}{0.011 \text{m}}$$

---

<sup>5</sup> Clair B. Folkman S., 1990, Fundamentos de Ingeniería de Alimentos. Editorial Continental S.A., Mexico



$$h_1 = 0.077 \frac{KJ}{m^2 \cdot seg \cdot ^\circ C} * \frac{1000J}{1KJ} * \frac{1W}{1j/sg}$$

$$h_1 = 77w / m^\circ C$$

### **Cálculo del coeficiente de película del agua**

### **Cálculo del número de Reynold.**

$$Re = \frac{\delta * D * V * \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{998.3 \text{ Kg/m}^3 * 0.456 \text{ m/s} * 0.1016 \text{ m}}{8.501 \times 10^{-5} \text{ Kg/m} \cdot \text{s}^2}$$

$$Re = 544063.59$$

Re 2300 flujo laminar

### **Cálculo del número de Nuselt**

$$Nu = 0.023(Re)^{0.8} (Pr)^{0.3}$$

$$Nu = 0.023(544063.59)^{0.8} (5.81)^{0.3}$$

$$Nu = 0.023 (38772.10)(1.69)$$

$$Nu = 1507.07$$

### **Cálculo del coeficiente de convección del agua**

$$h_2 = \frac{Nu * k}{D} \quad g$$

Datos:

$$Nu = 1507.07$$

$$K = 0.61 \text{ W/m}^\circ C$$

$$D = 0.1016 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{1507.07 * 0.61 \text{ W/m}^2\text{C}}{0.1016 \text{ m}}$$

$$h_2 = 9048.35 \text{ W/m}^2\text{C}$$

### Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (interno)

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_2}} \text{ h}$$

Datos:

$$h_1 = 77 \text{ w /m}^2\text{C}$$

$$h_2 = 9048.35 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$K = 42.99 \text{ W/m}^2\text{C} \text{ ( acero inoxidable)}$$

$$\text{Espesor del tubo } \frac{1}{2} \text{ pulg. (x) = } 1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{77 \text{ w/m}^2\text{C}} + \frac{1 \times 10^{-3} \text{ m}}{42.99 \text{ W/m}^2\text{C}} + \frac{1}{9048.35 \text{ W/m}^2\text{C}}}$$

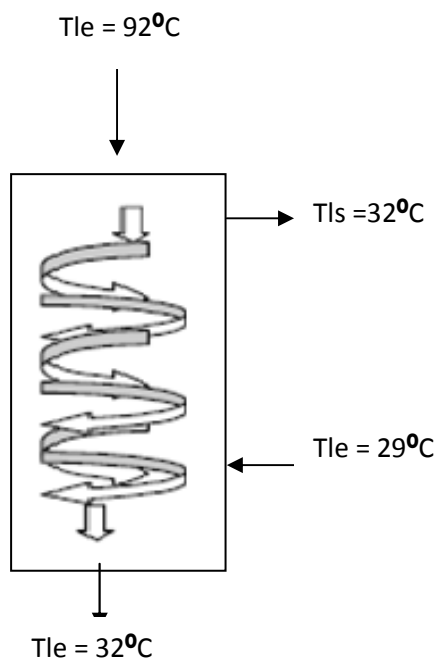
$$U_1 = \frac{1}{0.013 \text{ w/m}^2\text{C} + 2.33 \times 10^{-5} \text{ w/m}^2\text{C} + 1.105 \times 10^{-4} \text{ w/m}^2\text{C}}$$

$$U_1 = \frac{1}{0.013 \text{ w/m}^2\text{C}}$$

$$U_1 = 76.14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} * \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ W}} * \frac{1 \text{ KJ}}{1000 \text{ J}} * \frac{3600 \text{ sg}}{1 \text{ hr}}$$

$$U_1 = 274.10 \text{ Kj/hr m}^2 \text{ C}$$

### Cálculo de la temperatura media



$$LMTD = \frac{(T_{1e} - T_{2s}) - (T_{1s} - T_{2e})}{\ln \frac{(T_{1e} - T_{2s})}{(T_{1s} - T_{2e})}}$$

$$LMTD = \frac{(92 - 32)^\circ\text{C} - (32 - 29)^\circ\text{C}}{\ln \frac{(92 - 32)^\circ\text{C}}{(32 - 29)^\circ\text{C}}}$$

$$LMTD = \frac{(60)^\circ\text{C} - (3)^\circ\text{C}}{\ln \frac{(60)^\circ\text{C}}{(3)^\circ\text{C}}}$$

$$LMTD = \frac{57^\circ\text{C}}{2.99}$$

$$LMTD = 19.06^\circ\text{C}$$

### Cálculo del área de transferencia de calor

$$Q = U \cdot A_0 \cdot LMTD$$

$$A_0 = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_m}$$

Datos:

Calor = 2447.76Kj

$$U = 274.10 \text{ Kj/hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{LMTD} = 19.06 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_0 = \frac{2447.76 \text{ Kj}}{274.10 \text{ Kj/hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C} * 19.06 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$A_0 = 0.468 \text{ m}^3$$

### **Cálculo del número de tubos**

$$\text{N}^\circ \text{ de } - \text{ espirales} = \frac{\text{Longitud Total}}{\text{Longitud del tubo}}$$

#### **Datos:**

$$\text{Longitud total} = 1.46 \text{ m}$$

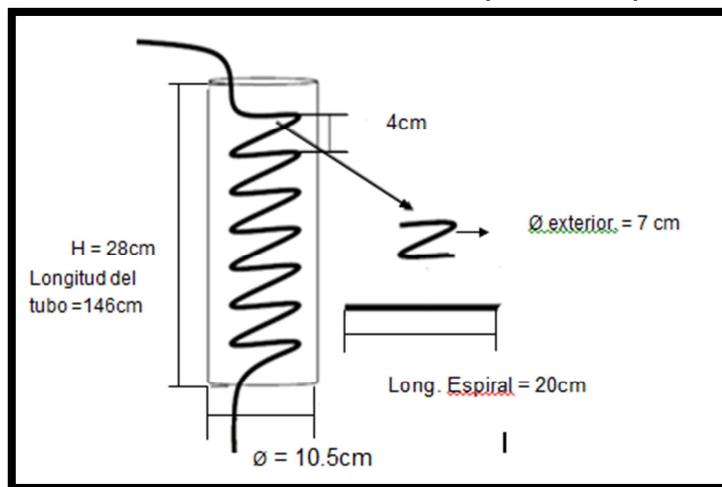
$$\text{Longitud del espiral} = 0.2 \text{ m}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de } - \text{ espirales} = \frac{1.46 \text{ m}}{0.2 \text{ m}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de } \text{ espirales} = 7.3$$

**Nota:** El total del espiral es 7, el tubo sobrante es los tubos son doblar en la parte superior e inferior del tubo de enfriamiento.

**Gráfica N° 18**  
**Intercambiador de calor (Enfriador)**



Fuente: Ponce Magaly/ UTE, 2013

#### 4.9. Análisis cromatografico del etanol

**Cuadro N° 22.**  
**Análisis cromatografico del etanol**

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
*Metanol	mg/100 cm <sup>3</sup> de alcohol anhidro	0.00	MAL 12/INEN 347
*Furfural	mg/100 cm <sup>3</sup> de alcohol anhidro	0.00	MAL-09/INEN 344
*Alcoholes superiores	mg/100 cm <sup>3</sup> de alcohol anhidro	100.23	MAL-10/INEN 345
*Grado alcohólico	SG.L	30	MAL05/INEN 340

Elaborado por: Universidad Central del Ecuador, 2013

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se utilizó la cáscara de dos variedades de plátano (dominico y barraganete) cuyas características físicas-químicas fueron las siguientes: H:83,69%; C:1,29; Gr:0,38; Pr:1,05; Fb: 1,14; Carbo Hidra: 12:45.
- Se determinó los parámetros de fermentación mediante la aplicación de diseño completamente al azar DCA y arreglo factorial A x B con cuatro repeticiones.
- Se determinó según prueba TUKEY que el mejor tratamiento correspondió al A<sub>1</sub>(Barraganete) y B<sub>1</sub> (levadura) con lo que se obtuvo una bebida 3,13%: Grados alcohólicos; 4,05%: pH; 4%: Brix; 1:16% Acidez, los mismos que se encuentran dentro de las NORMAS INEN de la elaboración de vino.
- Mediante prueba cromatográfica se determinó que el valor obtenido correspondió al etanol cuyos resultados se pueden ver en la tabla:
- Se concluye que para obtener 1 litro de alcohol, se debió realizar una mezcla de 5 litros (materia prima + levadura) y esperar 14 días en el proceso de fermentación.
- Se concluye que la elaboración de 1 litro de etanol tuvo un equivalente de \$10,80.

- Finalmente se realizó balance de materia y energía, además el equipo más importante de este proceso es el destilador.

## 5.2.- Recomendaciones

- Se recomienda que la materia prima cumpla con las condiciones de procesamiento y este libre de cualquier residuo o sustancias extrañas antes de ingresar al proceso de transformación para que no afecten al consumidor final.
- Para la manipulación de la materia prima se recomienda aplicar las buenas prácticas de manufactura para que el producto final sea de buena calidad y este libre de microorganismos dañinos para la salud.
- Se recomienda que la cáscara de plátano no se la vea como un desecho si no que se trate de aprovecharla como materia prima para la obtención de bebidas fermentadas tales como vinos, balanceados entre otros productos .
- Es muy recomendable hacer un escaldado inmediatamente luego de pelarlo al platano para evitar el pardeamiento enzimático de la cáscara para obtener un producto de calidad y muy vistoso.
- Es recomendable elaborar en grandes cantidades para que no se pierda económicamente ya que al elaborar poco no se tiene buenos resultados económicos.
- Se recomienda que se elabore etanol con cáscara de plátano de otras variedades y utilizando diferentes cantidades de levadura y menos tiempos de fermentación.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Albán, D.; Freire, D. (2009). Tesis: Obtención de Bioetanol a partir de residuos de naranja "*Citrus sinensis*" provenientes del proceso Agroindustrial en la Provincia de Bolívar, Ecuador. [Revisión de tesis]. (pp.70-80) Quito.
2. Barderas, Valiente. (1991) Problemas de balance de materia y energía en la industria alimentaria. Editorial Mc Graw-Hill. México
3. Batty, J. Clair, Folkman, Steven. Fórmula de número de Grasoft. Fundamentos de la ingeniería de los alimentos. Pág. 191.
4. Batty, J. Clair, Folkman, Steven. Fórmula de Calor específico de los productos alimentarios. Fundamentos de la ingeniería de los alimentos. Pág. 104.
5. Bozada M. Carlos S. Katty,(2005) Tesis Instalación y puesta en marcha de un enfriador del equipo de pasteurización para uso didáctico, UTE.
6. Cadena Agroindustrial– Etanol (2004) del Instituto Interamericano para la Cooperación de la Agricultura, Nicaragua.
7. Callejo G.M.J, (2002) Tesis. Industrias de cereales y derivados. Ediciones Mandí – Prensa. Madrid. Pág. 62- 67; 90-101; 191- 208; 222- 232, 24-35; 62-67; 90-101; 191-208; 222-232.
8. CITA (1997) Revista Alternativas de industrialización del plátano y banano. Costa Rica.
9. Clair B. Folkman S., (1990). Fundamentos de Ingeniería de Alimentos. Editorial Continental S.A., México
10. Cruz, M. (2006) Tesis. Proceso biotecnológico del alcohol
11. Cholota, L y Mora, O. (2010). Tesis. Diseño, construcción y pruebas de un sistema prototipo para la producción de etanol a partir de papa, zanahoria, remolacha y lacto suero. Riobamba. Ecuador. Pág. 4-5
12. Desrosieer, Norman. (1991) Tesis. Elementos de tecnología de Alimentos. México: Continental. Pág. 105-127.
13. Dobislaw E. (1981) Tesis. Formulario de Licorería. Editorial Reverte S.A. Zaragoza- España.

14. Fellows, Peter. (2004). Tesis. Tecnología del procesado de los alimentos Principios y Prácticas. Zaragoza: Acribia. Pág. 345-398.
15. Foster Dennis L. (1991) Revista. Análisis y bebidas: Operaciones, Métodos, Control de costos.
16. Hansen, Albert. (1959). Tesis. Microbiología de las fermentaciones industriales. Zaragoza: Acribia. Pág. 98-359
17. Holum, John. (1990). Tesis .Principios físico química, química orgánica y bioquímica. México: Limusa. Pág. 254-276.
18. Kenneth, S. (2008) Revista. Mecanismos de *S. cereviceae* en la fermentación alcohólica.
19. Lomas M. Carmen. (2002) Tesis. Introducción al Cálculo de los Procesos Tecnológicos de los Alimentos.
20. López. E. (2007) Tesis. Análisis de la cadena productiva de plátano para chifle. Morona Santiago, Cantón Gualaquiza. Pág. 1
21. Manual de análisis de alimentos, de laboratorio de química. Universidad Tecnológica Equinoccial. Santo Domingo de los Tsachilas.
22. Molinero, S. (2009) Tesis. Mecanismos de *S. cereviceae* en la fermentación alcohólica.
23. Owen, Wourd. (1991). Biotecnología de las fermentaciones. Zaragoza: Acribia. Pág. 186-211.
24. Palacios, LL. Hernán. (1956) "Fabricación del alcohol". Ed. Salva SA. Primera Edición. Barcelona - España. Pág.85
25. Potter, Norma. (1973). *La ciencia de los alimentos*. Ed. Harla. Primera Edición. México.
26. Quizhpi, L. Luis. (2008) Tesis. Obtención de Etanol a partir de los residuos orgánicos de la selección de frutas del Mercado Mayoritario de Riobamba. Ecuador. Pág. 37-40
27. Salomón Ch. (2007). Implementación de un destilador para la obtención de etanol a partir del jugo de caña de azúcar de UTE. Pag.43-56

28. Solórzano L. (2007) Elaboración de harina de Raquis de plátano para fabricación de galletas en el Cantón El Carmen- Manabí. Ec. Pág. 8 y 9.
29. Taiwán Tunkey Project Association. (2003) Tesis. Planta de producción de Alcohol etílico. Extraído el 3 de Septiembre, 2009, del sitio web: <http://www.tpcc.org.tw/index-english.asp>.
30. Tazón L. (2003), Tesis .El cultivo del plátano en el Ecuador/ Guayaquil Edid. Raíces. Pág. 14, 15,16.
31. Tirira.Ch, Fernanda. (2006) Tesis “Vodka a partir de la Papa) Ecuador. Pag. 50
32. [www.monografias.com/destilación.htm](http://www.monografias.com/destilación.htm).
33. <http://www.medicina/patologia/oral>.
34. <http://alezamora.galeon.com/aficiones1893538.html>
35. <http://www.verema.com/articulos-levaduras-y-la-fermentacion-alcoholicaii>
36. [http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE01\\_200612.pdf](http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE01_200612.pdf)
37. <http://www.alezamora.galeon.com/aficiones1893538.html>
38. <http://www.plantasnet.com/p/platano/platano.htm>
39. [www.euroresidentes.com/Alimentos/platano.htm](http://www.euroresidentes.com/Alimentos/platano.htm)).
40. [www.forest.ula.ue/\\_rubenhg/enzimas/htm](http://www.forest.ula.ue/_rubenhg/enzimas/htm)
41. <http://plantasquímicas.iespana.es/auspiciadores/agroindustrias.htm>
42. <http://plantasquimicas.iespana.es/Aspiciadores/Agroindustrias.htm>
43. [www.uru.edu/fondoeditorial/libros/pdf/manualdestatistix/cap1.pdf](http://www.uru.edu/fondoeditorial/libros/pdf/manualdestatistix/cap1.pdf)

# ANEXOS

**ANEXO 1****Fotografías del proceso de elaboración de etanol**

Recepción



Selección



Lavado



Pelado



## Pesado



## Troceado



Escaldado



Licuado





## Mezclado



## Envasado



## Fermentado



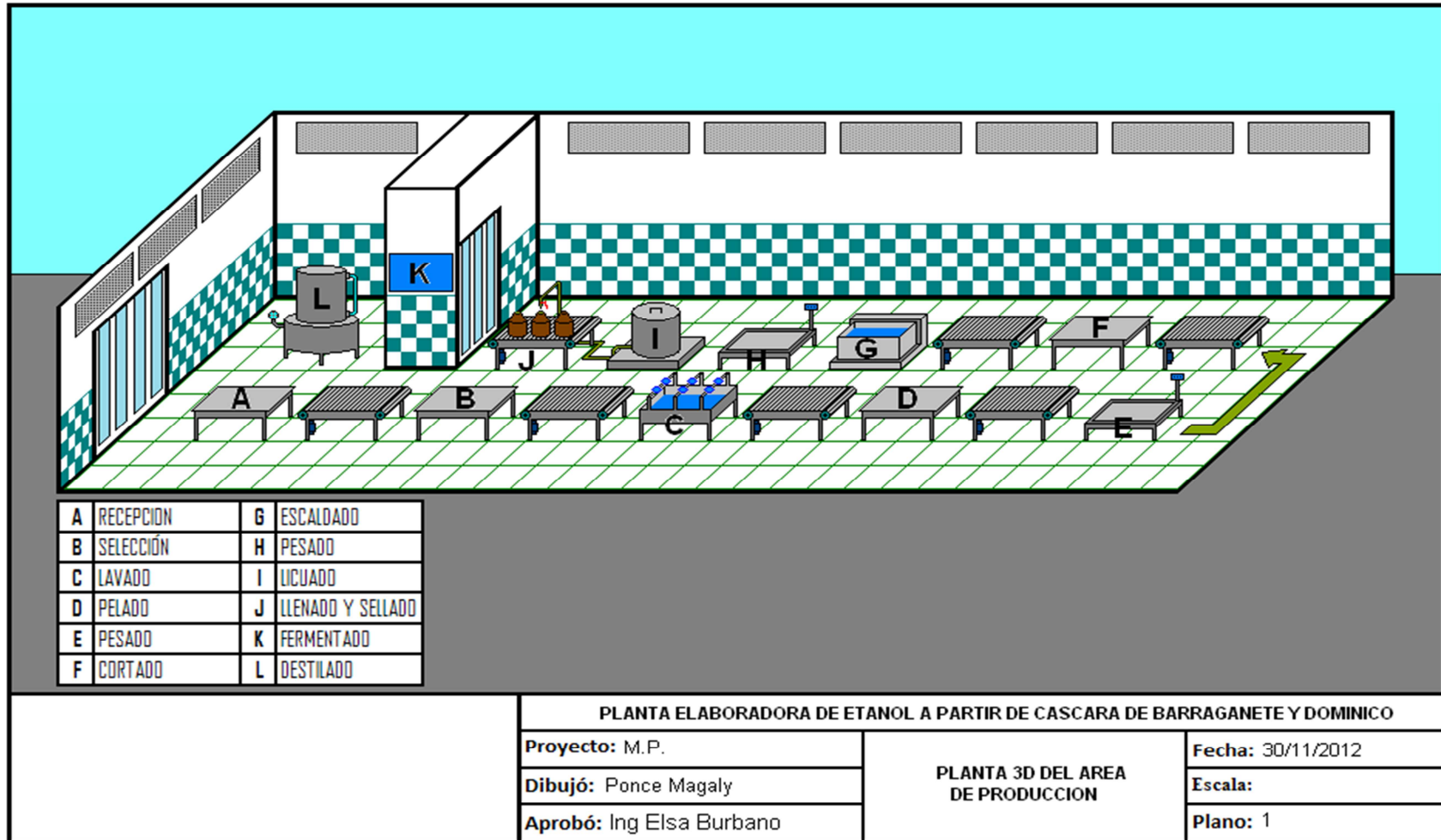
## Destilado



Etanol

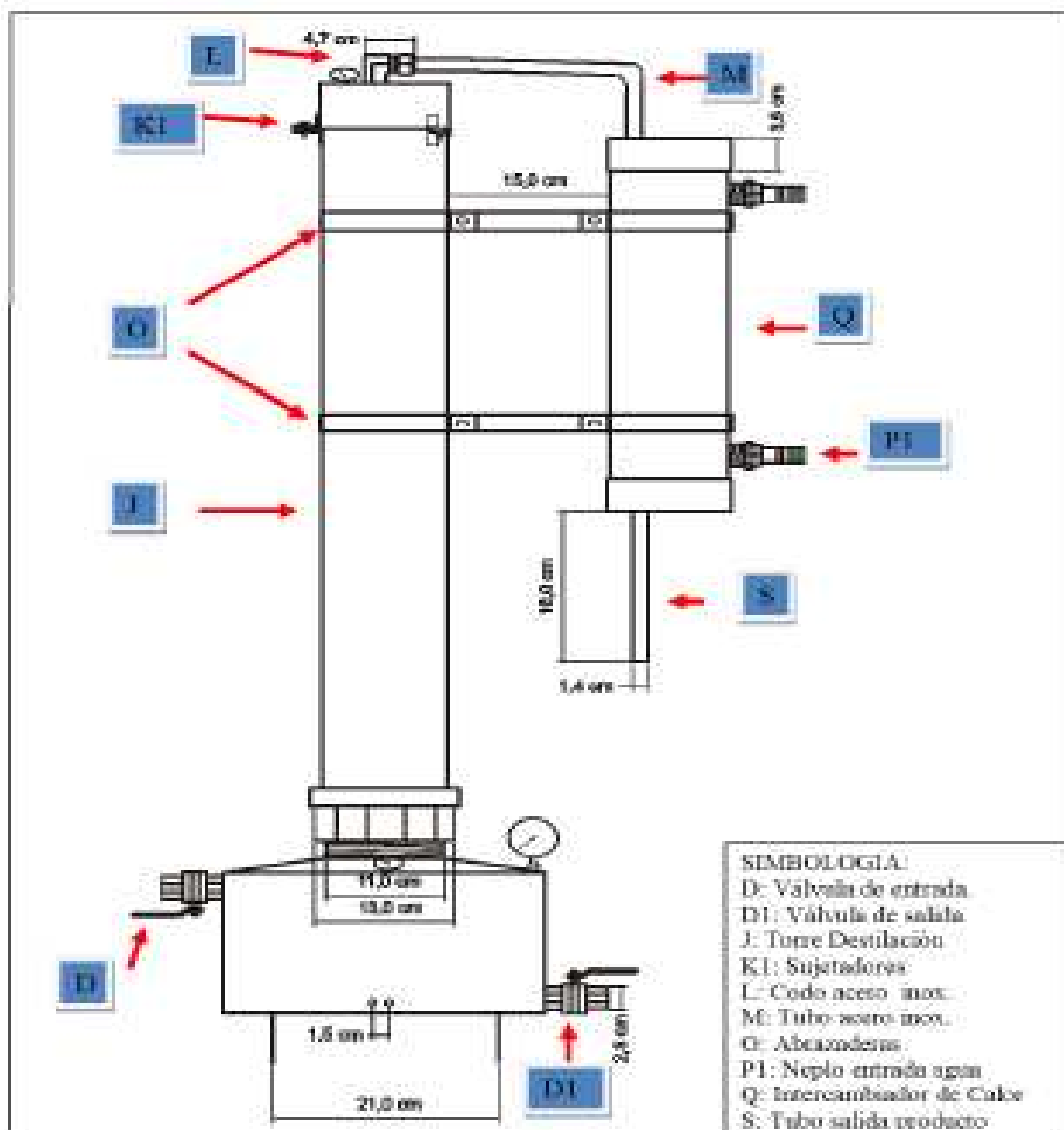


**Anexo 2**  
**Diseño de la planta para obtener etanol**



### Anexo 3

#### Diseño de Equipo



DESTILADOR DE ETANOL APARTIR DE CÁSCARA DE BARRAGANETE		
Proyecto: MP	DESTILADOR	Fecha: 10/01/2012
Dibujó: Ponce Magaly		Escala: 1.15
Aprobó: Ing. Elsa B.		Plano: 2

## Anexo 4

### Resultados del análisis Cromatográfico



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS**

**LABORATORIO DE ALIMENTOS**  
**CERTIFICADO CONTROL DE CALIDAD**

**INF-LAB-AL-19883**  
**ORDEN DE TRABAJO No 38617**

SOLICITADO POR:	PONCE MAGALY
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:	Lago Agrío via a Quito
MUESTRA:	Licor
DESCRIPCIÓN:	Etanol de la cáscara de Plátano
LOTE:	----
FECHA DE ELABORACIÓN:	----
FECHA DE VENCIMIENTO:	----
FECHA DE RECEPCIÓN:	19/10/2012
HORA DE RECEPCIÓN:	11:06
FECHA DE ANÁLISIS:	24/10/2012
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:	5/11/2012
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA</b>	
COLOR:	Característico
OLOR:	Característico
ESTADO:	Líquido
Contenido encontrado: 250 ml	Contenido declarado: 250ml
OBSERVACIONES:	
Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP.	
MUESTREADO POR:	Cliente

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
* Metanol	mg/100 cm <sup>3</sup> de alcohol anhidro	0.00	MAL-12/INEN 347
* Furfural	mg/100 cm <sup>3</sup> de alcohol anhidro	0.00	MAL-09/INEN 344
*Alcoholes Superiores	mg/100 cm <sup>3</sup> de alcohol anhidro	100.23	MAL-10/INEN 345
* Grado Alcohólico	°G.L.	30	MAL05/INEN 340



\* Bola Cifuentes  
 -Bioq. Ana María Hidalgo  
**JEFE ÁREA DE ALIMENTOS**



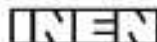
Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 33, 31  
 Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com



## Anexo 5

### Normas INEN

CDU: 663.5  
ICS: 3121



AL 04-02-302

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	BEBIDAS ALCOHOLICAS. DETERMINACIÓN DEL GRADO ALCOHOLICO.	NTE INEN 340: 1994 Primera revisión 1994-10
<b>1. OBJETO</b>		
1.1 Esta Norma establece el método para determinar el grado alcohólico en bebidas alcohólicas.		
<b>2. ALCANCE</b>		
2.1 Esta Norma se aplica a bebidas alcohólicas destiladas, alcohol etílico, materias primas y subproductos alcohólicos.		
<b>3. DEFINICIONES</b>		
3.1 Grado alcohólico. Es el volumen de alcohol etílico, expresado en centímetros cúbicos, contenido en 100 cm <sup>3</sup> de bebida alcohólica, a una temperatura determinada.		
3.2 Grado alcohólico. Es el grado de una mezcla hidroalcohólica pura, indicado por el alcoholímetro centesimal de Gay Lussac en una temperatura diferente a la de referencia. La lectura de un grado aparente debe darse siempre indicando la temperatura a la cual dicha lectura fue tomada. También se considera grado aparente la lectura alcoholimétrica de una mezcla que no sea pura, debido a la adición de sustancia que altera la densidad de la mezcla. En este caso, para determinar el grado alcohólico real, debe someterse a un proceso de destilación, hasta obtener una mezcla hidroalcohólica pura.		
<b>4. METODO DE ENSAYO</b>		
<b>4.1 Resumen</b>		
4.1.1 El método consiste en efectuar una destilación simple de la bebida alcohólica, llevar a un volumen inicial con agua destilada y determinar en el destilado hidroalcohólico, el grado alcohólico volumétrico, por alcoholimetría.		
<b>4.2 Instrumental</b>		
4.2.1 Alcoholímetro de Gay-Lussac, calibrado a 15°C y 20°C graduados en décimas de grado alcohólico, de calidad certificada.		
4.2.2 Termómetro graduado en décimas de grado Celsius (centígrados).		
4.2.3 Matraz volumétrico, de 250 cm <sup>3</sup> .		
4.2.4 Probeta de capacidad y diámetro adecuados para evitar rozamiento con el alcoholímetro.		
4.2.5 Aparato para destilación (ver figura 1), compuesto por:		
(Continúa)		
DESCRIPTORES: Bebidas espirituosas, alcoholes, aguardientes, licres, fermentación, destilación, infusión, percolación, maceración, método de ensayo.		

CDU: 664.8

**INEN**

AL 02.01-302

Norma Técnica Ecuatoriana	CONSERVAS VEGETALES. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES. MÉTODO REFRACTOMÉTRICO.	NTE INEN 380 Primera revisión 1985-12
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece el método para determinar el contenido de sólidos solubles en conservas vegetales, mediante lectura refractométrica a 20°C.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Este método es aplicable particularmente a productos espesos, ricos en azúcares o que contienen material suspendido. Si los productos contienen otras sustancias disueltas, los resultados serán aproximados; sin embargo, por conveniencia, se puede considerar el resultado obtenido por este método como el contenido de sólidos solubles.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p>3.1 Contenido de sólidos solubles determinado por el método refractométrico: concentración de sacarosa (en porcentaje de masa), en una solución acuosa, que tiene el mismo índice de refracción que el producto analizado, en condiciones de concentración y temperatura especificadas.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. EQUIPOS Y MATERIALES</b></p> <p>4.1 Refractómetro con regulador de temperatura. Se puede usar en cualquiera de las modalidades siguientes:</p> <p>4.1.1 Refractómetro con escala para índice de refracción graduada en 0,001, de modo que permita estimar lecturas de hasta 0,0002. Este refractómetro será calibrado de tal manera que a 20°C registre un índice de refracción de 1,3330 para el agua destilada.</p> <p>4.1.2 Refractómetro con escala para porcentaje en masa de sacarosa, graduada en 0,50%, de modo que permita estimar lecturas de hasta 0,25%. Este refractómetro será calibrado de modo que a 20°C registre un contenido de sólidos solubles (sacarosa) de cero para el agua destilada.</p> <p>4.2 Vaso de precipitación de 250 cm<sup>3</sup></p> <p>4.3 Embudo de Buchner para filtración.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>		



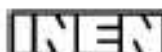
CDU 664.8

**INEN**

AL 02. 01 - 314

Norma Ecuatoriana	CONSERVAS VEGETALES DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACION DEL ION HIDRÓGENO (pH)	INEN 389 Primera Revisión 1985-12
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece el método potenciométrico para determinar la concentración del ion hidrógeno (pH) en conservas vegetales.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. INSTRUMENTAL</b></p> <p>2.1 Potenciómetro, con electrodos de vidrio.</p> <p>2.2 Vaso de precipitación de 250 cm<sup>3</sup>.</p> <p>2.3 Agitador.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA</b></p> <p>3.1 Si la muestra es líquida, homogeneizarla convenientemente mediante agitación.</p> <p>3.2 Si la muestra corresponde a productos densos o heterogéneos, homogeneizarla con ayuda de una pequeña cantidad de agua (recientemente hervida y enfriada) y mediante agitación.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. PROCEDIMIENTO</b></p> <p>4.1 Efectuar la determinación por duplicado sobre la misma muestra preparada.</p> <p>4.2 Comprobar el correcto funcionamiento del potenciómetro.</p> <p>4.3 Colocar en el vaso de precipitación aproximadamente 10 g ó 10 cm<sup>3</sup> de la muestra preparada, añadir 100 cm<sup>3</sup> de agua destilada (recientemente hervida y enfriada) y agitar suavemente.</p> <p>4.4 Si existen partículas en suspensión, dejar en reposo el recipiente para que el líquido se decante.</p> <p>4.6 Determinar el pH introduciendo los electrodos del potenciómetro en el vaso de precipitación con la muestra, cuidando que éstos no toquen las paredes del recipiente ni las partículas sólidas, en caso de que existan.</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p>		

CDU: 663.5



AL 04.01-403

Norma Técnica Ecuatoriana	BEBIDAS ALCOHOLICAS. VINO DE FRUTAS. REQUISITOS.	INEN 374 Segunda revisión 1987-07
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el vino de frutas.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. TERMINOLOGÍA</b></p> <p>2.1 <b>Vino de frutas.</b> Es el producto obtenido mediante fermentación alcohólica del mosto de uvas.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DISPOSICIONES GENERALES</b></p> <p>3.1 El vino de frutas debe provenir de frutas maduras, sanas y limpias.</p> <p>3.2 La fermentación debe realizarse con levaduras seleccionadas.</p> <p>3.3 Pueden efectuarse las prácticas enológicas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) mezcla de mostos entre sí,</li> <li>b) concentración del mosto,</li> <li>c) adición de mostos concentrados,</li> <li>d) adición de vinos a los mostos,</li> <li>e) uso de calor o frío,</li> <li>f) adición de ácidos tartárico, metatartárico, málico, tánico y cítrico,</li> <li>g) adición de anhídrido carbónico (sólo en vino de frutas gasificado),</li> <li>h) adición de anhídrido sulfuroso o sus sales,</li> <li>i) la neutralización con carbonato cálcico químicamente puro,</li> <li>j) adición de alcohol etílico rectificado (sólo para la elaboración de vino de frutas compuestos y extra-licorosos),</li> <li>k) adición del ácido L-ascórbico,</li> <li>l) la mezcla de dos o más vinos provenientes de distintas elaboraciones o frutas (no se deberán mezclar vinos de frutas no aptos para el consumo humano),</li> <li>m) adición de clarificantes y secuestrantes autorizados, y</li> <li>n) filtración y/o centrifugación.</li> </ul> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Casilla 17 41-3099 - Baquerizo Moreno EA29 y Almagro - Cuito-Ecuador - Prohibida la reproducción



CDU: 663.5

AL 04 03-302

Norma Técnica Ecuatoriana	BEBIDAS ALCOHÓLICAS DETERMINACION DE LA ACIDEZ	INEN 341 1978-03
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la acidez en bebidas alcohólicas destiladas.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Esta norma establece el método para determinar la acidez total, la acidez fija y la acidez volátil.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DEFINICIONES</b></p> <p>3.1 Acidez total. Es la suma de los ácidos valorables obtenida cuando se lleva la bebida alcohólica a neutralidad (pH: 7), por adición de una solución alcalina.</p> <p>3.2 Acidez volátil. Es la suma de los ácidos volátiles valorables por neutralización de la bebida alcohólica, usando una solución alcalina.</p> <p>3.3 Acidez fija. Es la suma de los ácidos fijos valorables por neutralización de la bebida alcohólica, usando una solución alcalina.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. RESUMEN</b></p> <p>4.1 Determinar la acidez total y la acidez fija mediante titulación con hidróxido de sodio y, por diferencia, establecer el valor de la acidez volátil.</p> <p style="text-align: center;"><b>5. INSTRUMENTAL</b></p> <p>5.1 Matraz Erlenmeyer, de 500 cm<sup>3</sup>.</p> <p>5.2 Crisol de platino, o de porcelana, de 50 cm<sup>3</sup>.</p> <p>5.3 Baño de vapor.</p> <p>5.4 Estufa, con regulador de temperatura.</p> <p>5.5 Bureta, de 10 cm<sup>3</sup> con graduación de 0.05 cm<sup>3</sup>.</p>		

## Anexo 6

**Propiedades termodinámicas de la materia, espesores más económicos  
para aislamientos de tuberías.**

Apéndice 1: Propiedades de gases( a 0,1 MPa y a 0 °C o a la temperatura de ebullición, si es mayor)

Sustancia	Fórmula	Masa molar <i>M</i> [kg/mol]	Temp. ebullición <i>T<sub>b</sub></i> [K]	Temp. crítica <i>T<sub>c</sub></i> [K]	Presión crítica <i>p<sub>c</sub></i> [MPa]	Capacidad térmica <i>c<sub>p</sub></i> [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Conduc. térmica <i>k</i> [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Viscosidad dinámica <i>μ</i> [μPa.s]
Acetileno (etino)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,026	189,5	309,2	6,28	1580	0,019	9,3
Agua	H <sub>2</sub> O	0,018	373,2	647,3	22,12	2050	0,025	12,1
Amoníaco	NH <sub>3</sub>	0,017	239	405,7	11,30	2200	0,022	9,3
Argón	Ar	0,040	87,4	151,2	4,86	523	0,016	21,0
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,078	353,3	562,7	4,92	1300	0,007	7,0
n-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,058	272,7	425,2	3,80	1580	0,014	7,0
n-Decano	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	0,142	447,3	619,4	2,12			
Dióx. de azufre	SO <sub>2</sub>	0,064	263,2	430	7,87	607	0,009	11,6
Dióx. de carbono	CO <sub>2</sub>	0,044	194,7	304,2	7,38	840	0,015	14,0
Dióx. de nitrógeno	NO <sub>2</sub>	0,046	294,5	431,0	10,1			
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,030	184,6	305,5	4,88	1700		
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	0,046	351,7	516,3	6,39	1520	0,013	14,2
Etileno (eteno)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,028	169,5	283,1	5,12	1470	0,018	9,6
Helio	He	0,004	4,2	5,3	0,23	5190	0,142	19,0
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0,002	20,1	33,2	1,32	14200	0,168	8,4
Metano	CH <sub>4</sub>	0,016	109,2	191,4	4,64	2180	0,031	10,3
Metanol	CH <sub>4</sub> O	0,032	338,1	513,2	7,98	1350	0,030	14,8
Monóx. de carbono	CO	0,028	81,7	132,7	3,50	1100	0,023	17,0
Monóx. de nitróg.	NO	0,030	121,2	180,3	6,55	996	0,038	29,4
Neón	Ne	0,020	26,2	44,4	2,70	1030	0,046	30,0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0,028	77,4	126,3	3,39	1040	0,024	16,6
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0,032	90,2	154,6	5,08	913	0,024	19,1
n-Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,072	309,2	469,8	3,38	1680	0,015	11,7
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,044	231,1	370,0	4,26	1570	0,015	7,4
Propileno	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0,042	225,4	364,9	4,62	1460	0,014	8,1
R-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0,121	243,0	387,7	4,01	573	0,008	
Tetracloruro de C	CCl <sub>4</sub>	0,154	349,7	556,4	4,56	862	0,017	16,0

Martínez I.: TERMODINAMICA BASICA Y APLICADA

Apéndice 2: Propiedades de líquidos (a 20 OC y 0,1 MPa o la presión de saturación, si es mayor, o a la temperatura de saturación, si es gas permanente).

Sustancia	Temp. fusión $T_f$ (K)	Temp. ebullición $T_b$ (K)	Densidad $\rho$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Entalpía de fusión ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	Entalpía de ebullición ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	Capacidad térmica $c_p$ ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	Conduc. térmica $k$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	Viscosidad dinámica $\mu$ ( $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ )
Acetileno (etino)	194 <sup>a</sup>	188 <sup>b</sup>	615	115	651			
Acetona $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	178	329	791	98	532	2150	0,18	330
Agua	273	373	998	334	2257	4180	0,60	1000
Amoníaco	195	240	697	332	1357	4601	0,50	266
Anilina $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$	276	457	1021	114	434	2140	0,17	4467
Benceno	279	353	879	126	394	1720	0,15	653
n-Butano	135	273	573	80	363	2415		282
Ciclohexano $\text{C}_6\text{H}_{12}$	280	354	778	31	360	1859		411
Cloroformo $\text{CHCl}_3$	210	335	1489		247	980	0,13	562
n-Decano	243	447	730	202	276	2000	0,15	920
Dióx. de azufre	198	263	1455	135	389		0,20	550
Dióx. de carbono	217 <sup>a</sup>	195 <sup>b</sup>	777	181	391		0,09	70
Ecano	90	185	572	95	520			257
Eranol	156	352	789	108	855	2840	0,18	1194
Eter etílico	157	308	715	99	351	2260	0,14	230
Etilenglicol $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$	262	471	1109	181	800	2400	0,26	20000
Etileno	104	169	577	120	483			310
Glicerina $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	293	454	1261		663	2430	0,30	1500000
n-Heptano	182	372	684	140	321	2220	0,13	409
n-Hexano	178	342	658	150	337	2259	0,12	320
Hidrógeno	14	20	71	59	448			10
Mercurio	234	630	13546	12	301	139	9,3	1550
Metano	91	112	555	58	555	3416		
Metanol	175	338	791	99	1100	2510	0,21	593
Nitrógeno	63	77	804	26	199		0,15	
n-Octano	217	399	703	181	306	2100	0,15	562
Oxígeno	54	90	1149	14	213			
n-Pentano	143	309	626	116	356	2177	0,14	229
Propano	83	231	585	80	430	2116		327
Propileno $\text{C}_3\text{H}_6$	88	225	612		437			
Queroseno		477	820			2000	0,15	2480
R-12 $\text{CCl}_2\text{F}_2$		243	1330		165	966	0,07	200
Sodio (a 1000 K)	371	1156	780	115		1250	60	200
Tetracloruro de C	250	350	1590	30	195	842	0,11	967

a) Punto triple. b) Sublimación.

Apéndice 3. Propiedades de sólidos (a 20 OC y 0,1 MPa).

Material	Temperatura de fusión $T_f$ (K)	Densidad $\rho$ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Capacidad térmica $c_p$ ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	Conductividad térmica $k$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	Absorptancia solar $\alpha_{\text{sol}}$	Emisividad bolométrica <sup>1</sup> $\epsilon$
Acero	1750	7830	500	45,3		0,2
Aluminio pulido	930	2710	896	205	0,09	0,05
Aluminio anodizado	930	2710	896	205	0,15	0,8
Arcilla		1000	920	1,3		0,95
Arena		1520	800	0,33		0,9
Asbesto fibra	1420	2400	1050	0,17		0,95
Asfalto		2110	920	0,74		0,9
Baquelita		1300	1500	17		0,94
Carbón	3810	1400	1000	0,17		0,95
Carbón de madera		240	840	0,05		0,95
Cemento Portland		1920	670	0,3	0,6	0,9
Ceniza de madera		640	800	0,07		
Cloruro sódico	1075	2164	860	7		
Cobre	1355	8910	390	393		0,03
Corcho		86	2030	0,05		
Cuero		1000	1500	0,16		
Diamante		2420	616	47		
Goma	400	1100	2000	0,1		0,9
Hielo a 273 K	273	921	2040	2,3		0,98
Hierro	1800	7210	500	47,7		
Hormigón		2300	653	0,9	0,6	0,8
Ladrillo		1970	800	0,7	0,6	0,9
Lana		110	1360	0,05		
Latón	1200	8780	400	150		0,1
Madera de roble		750	2390	0,17		0,9
Madera de pino		430	2700	0,15 <sup>b</sup>		0,9
Magnesio	925	1730	1000	160		
Mármol		2600	880	2,6		
Nieve	273		2000	0,1	0,25	0,85
Níquel	1730	8890	440	60		0,09
Papel		930	1300	0,13		0,95 <sup>c</sup>
Plata	1235	10500	235	425		0,02
Platino	2050	21470	130	70		0,09
Serrín		190		0,05		
Sílice (cuarzo)	1740	2650	1320	1,4		1,93
Silicio	1685	2330	703	150		
Titanio	2070	4530	610	22		
Vidrio crown	1400	2470	750	1		0,9
Vidrio flint		4280	490	1,4		
Vidrio pyrex		2230	840	1		0,8
Vidrio (lana)		52	657	0,038		
Wolframio	3655	19400	130	200	0,45	0,09
Yeso		2290	900	0,83		0,9

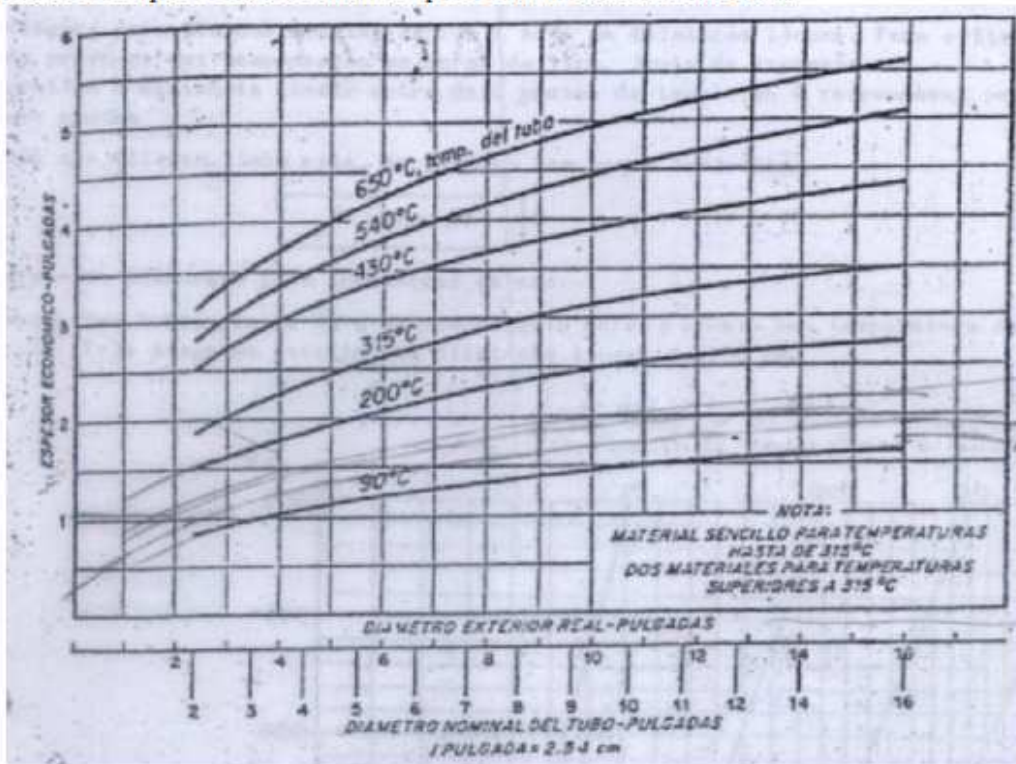
Apéndice 8: Propiedades útiles del agua.

*Propiedades del agua saturada*

<i>T, C</i>	<i>ρ, kg/m<sup>3</sup></i>	<i>C<sub>p</sub>, J/kg · K</i>	<i>k, W/m · K</i>	<i>μ, Pa · s</i>	<i>α, m<sup>2</sup>/s</i>	<i>Pr</i>
0	1002	4218	0.552	$17.9 \times 10^{-4}$	$1.31 \times 10^{-7}$	13.06
20	1001	4182	0.597	10.1	1.43	7.02
40	995	4178	0.628	6.55	1.51	4.34
60	985	4184	0.651	4.71	1.55	3.02
80	974	4196	0.668	3.55	1.64	2.22
100	960	4216	0.680	2.82	1.68	1.74
120	945	4250	0.685	2.33	1.71	1.45
140	928	4283	0.684	1.99	1.72	1.24
160	910	4342	0.680	1.73	1.73	1.10
180	889	4417	0.675	1.54	1.72	1.00
200	867	4505	0.665	1.39	1.71	0.94
220	842	4610	0.652	1.26	1.68	0.89
240	816	4756	0.635	1.17	1.64	0.88
260	786	4949	0.611	1.08	1.58	0.87
280	753	5208	0.580	1.02	1.48	0.91
300	714	5728	0.540	0.96	1.32	1.02

Fuente: Fundamentos de la ingeniería de alimentos, 1990

Apéndice 9: Espesor más económico para aislamientos de tuberías.



Por permiso de "Plant Engineering Handbook", W Stanler (ed), Mac Graw Hill Book Company.