



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD DEL  
COMPLEJO CATALIZADOR EFFYMOL+ EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA  
FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE MELAZA**

**Roberto Federico Peitzner Rosal**

Asesorado por la Msc. Inga. Claudia Anahite Ovando Gómez

Guatemala, febrero de 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD DEL  
COMPLEJO CATALIZADOR EFFYMOL+ EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA  
FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE MELAZA**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ROBERTO FEDERICO PEITZNER ROSAL**

ASESORADO POR LA MSC. INGA. CLAUDIA ANAHITE OVANDO GÓMEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Eduardo Calderón García
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl De León De Paz
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD DEL COMPLEJO CATALIZADOR EFFYMOL+ EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE MELAZA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 22 de enero de 2013.



**Roberto Federico Peitzner Rosal**





Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142

**AGS-MGIPP-0008-2013**

Guatemala, 22 de enero de 2013.

Director:  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Escuela de Ingeniería Químico  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Roberto Federico Peitzner Rosal** con carné número **1997-13146**, quien opto la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

*Claudia Anahite Ovando Gómez MSc*  
Ingeniero Químico  
Colegiado 1,016

Msc. Inga. Claudia Anahite Ovando G.  
Asesor (a)

*Cesar Akú Castillo MSc.*  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO No. 4,073

Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo  
Coordinador de Área  
Gestión y Servicios

*Mayra Virginia Castillo Montes*  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de  
Postgrado

Cc: archivo  
/la





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **ROBERTO FEDERICO PEITZNER ROSAL** titulado: "**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD DEL COMPLEJO CATALIZADOR EFFYMOL+ EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE MELAZA**".  
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2013

Cc: Archivo  
VMMV/ale

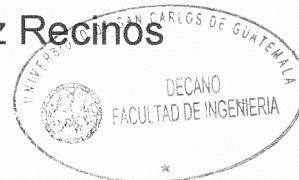




El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DE EFECTIVIDAD DEL COMPLEJO CATALIZADOR EFFYMOL+ EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE MELAZA**, presentado por el estudiante universitario **Roberto Federico Peitzner Rosal**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, febrero de 2013

/cc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Jesús</b>	El pilar que sostiene mi vida.
<b>Mis padres</b>	Juan Peitzner y Alma Rosal, sobran las palabras, estoy orgulloso de ser su hijo.
<b>Mi abuela</b>	Eugenia Borja (q.e.p.d.), por todo tu amor.
<b>Mi tío</b>	Juan Fernando Armas, porque cada año guardó su traje, esperando que llegara esta fecha.
<b>Mis hermanos</b>	Willy Peitzner y Franz Peitzner, los mejores del mundo.
<b>Mi novia</b>	Mariajosé Contreras, junto a nuestra pequeña, eres el motor que me inspira a ser mejor persona y salir adelante cada día.





## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Jesús</b>	Porque nunca dejaste de creer en mí, aunque tantas veces me aleje de ti.
<b>Inga. Claudia Ovando</b>	Más que asesora, una verdadera amiga.
<b>Ing. Jorge Flores</b>	Un ejemplo de vida.
<b>Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por la oportunidad de formarme como profesional y permitirme alcanzar una meta más.
<b>Mag Alcoholes, S.A.</b>	La calidad humana de su gente no tiene precio.
<b>Mis amigos</b>	Eddy Cajas, Vilmo Ramazzini, Fernando Romero y Otto Donis. Gracias por su apoyo incondicional a lo largo del tiempo.
<b>Mis compañeros de trabajo</b>	Abel Lima, Berner Fajardo, José Fernando Asencio, Jean Nájera, Josué Santiz, Saúl Godoy y Luis Nájera, Humberto Mazariegos, Luis Romero, Luis Romero, Marcela Cárcamo, Evelin Castellanos, Sonia Vásquez, Mónica Morales y Julio Mazariegos, muchas gracias.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. OBJETIVOS .....	7
4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	9
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	11
6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	13
6.1. Caña de azúcar y sus derivados.....	13
6.1.1. Levaduras y fermentación.....	13
6.1.2. Azúcares y fermentación de azúcares .....	15
6.2. Proceso de fermentación .....	16
6.2.1. Melazas como sustrato de fermentación .....	17
6.2.2. Contaminación bacteriana en melaza.....	17
6.2.3. Fuentes de contaminación.....	18
6.2.4. Pérdidas de sacarosa .....	18
6.2.5. Bacterianas lácticas como contaminantes .....	19

6.2.6.	Subproductos que pueden afectar la calidad del producto .....	19
6.3.	Tratamiento de contaminación bacteriana .....	20
6.3.1.	Antibióticos .....	21
6.3.2.	Complejos catalizadores enzimáticos.....	22
6.4.	Producción industrial del alcohol .....	24
6.5.	Indicadores de productividad del proceso fermentación .....	26
6.5.1.	Productividad.....	26
6.5.2.	Índices de productividad.....	27
7.	HIPÓTESIS.....	29
8.	CONTENIDO QUE TENDRÁ EL INFORME .....	31
9.	MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	33
10.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	37
11.	RECURSOS.....	39
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	41

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Representación gráfica del Reino Protista..... 14

### TABLAS

- I. Presupuesto de gastos del proyecto ..... 40



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH</b>	Alcohol etílico
<b>mg/L</b>	Concentración en gramos por litro de solución
<b>ppm</b>	Concentración en partes por millón
<b>GC</b>	Cromatografía de gases
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>°GL</b>	Grados Gay-Lussac
<b>gr</b>	Gramos
<b>L</b>	Litro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>ml</b>	Mililitro
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno
<b>%</b>	Porcentaje
<b>% w/v</b>	Porcentaje peso/volumen
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno





## GLOSARIO

<b>Acidez volátil</b>	La acidez volátil se define como el conjunto de ácidos grasos de la serie acética que se hallan en el vino (ácido acético, fórmico, propiónico, butírico), disociados o no, ya sea al estado libre o combinados en forma de sales.
<b>Alcohol etílico</b>	El compuesto químico, también conocido como etanol, es un alcohol que se presenta en condiciones normales de temperatura y presión como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C.
<b>Antibiótico</b>	Sustancia química producida por un ser vivo o derivada sintética de ella que mata o impide el crecimiento de ciertas clases de microorganismos sensibles, generalmente bacterias.
<b>Catalizador</b>	Sustancia (compuesto o elemento) capaz de acelerar o retardar una reacción química. Cuando acelera la reacción se llama catalizador positivo y al retardarla, se conoce como catalizador negativo.
<b>Cromatografía</b>	Técnicas basadas en el principio de retención selectiva, cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla, permitiendo identificar y determinar las cantidades de dichos componentes.

**Cromatografía de gases**

Técnica cromatográfica en la que la muestra se hace volátil y se inyecta en una columna cromatográfica. La muestra es arrastrada por el flujo de una fase móvil de gas inerte, sin que la fase móvil interactúe con las moléculas de la muestra.

**Destilación**

Es la operación de separar, mediante vaporización y condensación en los diferentes componentes líquidos, sólidos o gases licuados de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada una de las sustancias.

**Enzima**

Son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas, es decir, transcurre a mayor velocidad que sin la presencia de la enzima. La actividad de las enzimas puede ser afectada por factores fisicoquímicos como la temperatura, el pH y la concentración del medio, entre otros.

**Fermentación alcohólica**

Es un proceso biológico en plena ausencia de aire, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los azúcares para obtener alcohol etílico y dióxido de carbono gaseoso. El etanol resultante se emplea para la elaboración de bebidas alcohólicas y otros usos.

**Melaza**

Es un producto líquido espeso, derivado de la caña de azúcar, obtenido del residuo restante en las máquinas centrífugas donde se extrae el azúcar. Nutricionalmente tiene un altísimo contenido de carbohidratos, minerales y vitaminas del grupo B.

**Levadura**

Así se denomina a cualquiera de diversos hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la descomposición mediante fermentación de diversos cuerpos orgánicos, produciendo distintas sustancias.

**pH**

El potencial hidrógeno, "pH", es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. La escala de pH generalmente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 y alcalinas las que tienen valores mayores a este valor.



## RESUMEN

En este trabajo de investigación se utilizará un complejo catalizador, effymol+, elaborado a base de enzimas, para evaluar su efectividad en la productividad de la fermentación de melazas, para producir alcohol etílico industrial.

Para llevar a cabo esto, se desarrollará un procedimiento experimental en el que se realizarán fermentaciones por lotes, empleando melaza proveniente de dos diferentes ingenios, realizando ensayos con el catalizador a fin de estudiar el efecto sobre la productividad del sistema. Durante los experimentos, se recogerán muestras de los reactores de propagación, prefermentadores y fermentadores, a fin de conocer parámetros de control de proceso como la temperatura, el pH, la concentración de azúcares del sustrato y el grado alcohólico que se alcanza. El alcohol etílico producido será sometido a ensayos de densitometría y cromatografía por gases, para conocer las características de los compuestos de la fermentación.

La concentración del catalizador se mantendrá constante durante el experimento, por lo que se construirán tablas y gráficas que describirán el comportamiento de la fermentación para las melazas provenientes de ambos ingenios.

Toda la experimentación, así como los análisis necesarios, se llevarán a cabo en las instalaciones de la destilería Mag Alcoholes, S.A., ubicada en el municipio de La Democracia, Escuintla. Los ensayos se harán a temperatura ambiente, durante los meses de enero a marzo del 2013.



# 1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, la producción de alcohol etílico industrial está ligada a la agroindustria, proveniente de la cosecha de la caña de azúcar y materiales derivados. Esta investigación trata sobre los factores que afectan la productividad del proceso de fermentación de melaza para la fabricación de alcohol. El problema radica en que el proceso actual en el Ingenio Magdalena, aumenta el tiempo de retención de las masas, a fin de extraer la mayor cantidad de cristales de azúcar durante la centrifugación, por lo que la destilería recibe melazas agotadas y con contaminación bacteriana moderada. Estas bacterias compiten con las levaduras durante el proceso de fermentación, para convertir el azúcar en alcohol etílico y dióxido de carbono.

El objetivo general que persigue esta investigación es evaluar el uso del complejo catalizador Effymol+, para conocer el efecto sobre la productividad del proceso de fermentación industrial de melaza. Con los objetivos específicos se pretende establecer el efecto sobre las variables del proceso que influyen en los indicadores de productividad y calcular la relación beneficio costo por el uso del mismo.

Las mediciones de interés se realizarán en la destilería Mag Alcoholes, S.A., ubicada en el municipio de la Democracia, departamento de Escuintla, durante los meses de enero a marzo del 2013.

La hipótesis de la investigación se basa en el hecho de llegar a conocer si el catalizador que se adicionará al proceso de fermentación afectará los índices de productividad del proceso de fermentación, para entonces discutir si es rentable o no emplearlo en forma rutinaria. Los capítulos a desarrollar son los siguientes:

Capítulo 1: diagnóstico de la empresa. Se hará una reseña histórica de la empresa Mag Alcoholes, S.A., describiendo la misión, visión, política y objetivos de la empresa, así como los procesos productivos (fermentación, destilación, generación de gas metano) que se realizan en la destilería.

Capítulo 2: caña de azúcar y sus derivados. Se desarrollarán conceptos relacionados con la agroindustria en Guatemala, entre ellos, los jugos y melazas de caña.

Capítulo 3: fermentación industrial de melaza. En este capítulo se hará énfasis en la fabricación de alcohol industrial a partir de melazas.

Capítulo 4: tratamiento de la contaminación bacteriana. En este capítulo se estudia el uso de antibióticos, catalizadores y derivados para mejorar el rendimiento productivo de la fermentación alcohólica.

Capítulo 5: índices de productividad de una destilería. En este capítulo se describirán los índices de productividad que se evaluarán durante la investigación.



## 2. ANTECEDENTES

Durante el proceso de fermentación alcohólica, se adiciona levadura a las melazas, para que el azúcar presente en ellas, sea transformado en alcohol etílico. La melaza posee una contaminación bacteriana moderada, por lo que generalmente se utilizan antibióticos y recientemente, complejos enzimáticos para el control bacteriológico del proceso y aumentar la productividad.

Estos catalizadores buscan reducir la formación excesiva de acidez acética y láctica, ya que la misma puede jugar un rol importante en la calidad del alcohol etílico industrial que produce la destilería y en los rendimientos productivos de la fermentación. A continuación se presentan varios estudios sobre el tema:

Sánchez, Lara, Mejía, y Martínez (2001), estudiaron la influencia de los ácidos orgánicos en la fermentación alcohólica, concluyendo que la adición de ácido cítrico y ácido fórmico son desfavorables en la fermentación alcohólica. La adición de ácido láctico o succínico es favorable para el proceso, toda vez sea llevada a cabo bajo condiciones controladas.

Deli, Rinaldi y Debordeu (2003), estudiaron la influencia del nitrógeno libre sobre la producción de acidez volátil, por fermentaciones con *Saccharomyces cerevisiae*, a alta concentración de azúcares, determinando que el momento óptimo para adicionar nutrientes era al inicio de la fermentación alcohólica, para evitar un incremento de la acidez al final de la misma.

Hoyos y Carrera (2004), estudiaron la obtención de un complejo enzimático, a partir del hongo *Rhizopus niveus*, para luego emplearlo en la fermentación alcohólica de melazas para evaluar el incremento de la producción de alcohol. Los resultados, a nivel de laboratorio, demostraron que el uso de este complejo enzimático, incrementan significativamente los grados alcohólicos obtenidos al final de la fermentación.

Rückle y Senn (2006), elaboraron un estudio a nivel laboratorio en donde determinaron que el uso de ácidos de lúpulo constituye una alternativa factible para reemplazar el uso de antibióticos en la fermentación alcohólica de mostos de remolacha.

Arshad, Khan, Rehman, Shah y Rajoka (2008), realizaron un estudio de optimización de las variables del proceso (temperatura, fuente de nitrógeno, fósforo, azufre y minerales) que intervienen en la fermentación alcohólica. Su estudio determinó que mediante un adecuado control de estos parámetros, se puede incrementar el rendimiento alcohólico (8,2 % v/v) y reducir la formación de subproductos (metanol, alcoholes superiores, ácidos volátiles y aldehídos), reduciendo costos del proceso y mejorando la calidad del producto final.

Hazelwood, Walsh, Pronk y Dara (2010), realizaron un estudio de los alfa ácidos de lúpulo, extraídos de la planta *Humulus lupulus L.*; el propósito de su estudio fue determinar cómo afecta la concentración de alfa ácido de lúpulo el mecanismo de crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la tolerancia del mismo. Su investigación determinó que los alfa ácidos de lúpulo afectan la membrana celular y actúan como agentes quelantes de hierro y zinc, protegiendo la salud del microorganismo.

Hurtado, Ramos, Parado y Guzmán (2011), realizaron el aislamiento e identificación de bacterias ácido acéticas en la materia prima y tren de fermentación, concluyendo que el aumento de bacterias productoras de ácido acético reduce la cantidad de azúcares fermentables presentes y afecta negativamente los rendimientos esperados en la fermentación alcohólica de mieles.



### **3. OBJETIVOS**

#### **General**

Evaluar la efectividad del complejo catalizador Effymol+ en la productividad de la fermentación alcohólica de melaza.

#### **Específicos**

1. Determinar el efecto del complejo catalizador sobre los indicadores de productividad del proceso de fermentación alcohólica.
2. Establecer el efecto del complejo catalizador sobre los tiempos de fermentación alcohólica de melazas, pH y azúcares residuales.
3. Calcular la relación beneficio-costos por el uso del coadyuvante en la fermentación de melazas.



## 4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente, la eficiencia global de una planta productora de alcohol es determinada por cuán efectiva es para transformar su materia prima (melaza) en alcohol etílico, durante la fermentación. Dado que durante el proceso actual de cristalización para la fabricación de azúcar del ingenio, ha aumentado el tiempo de retención de las masas, las melazas que recibe la destilería tienen bastantes bacterias que incrementan la acidez volátil y láctica durante la fermentación, lo cual ocasiona pérdidas por los bajos rendimientos y el uso de sustancias costosas, como los antibióticos, para combatir las infecciones. El motivo primordial para llevar a cabo esta investigación es evaluar si el complejo catalizador tiene un efecto sobre la productividad de la fermentación alcohólica.

Se espera que este complejo cumpla con la función de potenciar la levadura y reduciendo la acidez del medio, a fin de optimizar el proceso de fermentación a escala industrial, es decir, aumentando la productividad. El aumento de productividad permitirá un ahorro significativo en nutrientes, uso de antibióticos y principalmente, en el aspecto organoléptico del producto obtenido, ya que el incremento en la acidez durante la fermentación está ligado al sabor picante del alcohol, el cual juega un factor determinante en el precio de venta del alcohol. Los beneficiarios serán las destilerías de Guatemala y la región centroamericana, dado que operan con melaza como sustrato principal de la fermentación para la producción de alcohol etílico industrial.





## 5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema de trabajar con melazas para la producción de alcohol etílico industrial radica en que las mismas tienen una contaminación bacteriana moderada, que va en aumento conforme transcurre la fermentación y las bacterias compiten con la levadura para producir alcohol etílico, por lo que pueden disminuir la productividad del proceso de fermentación alcohólica. Con la siguiente investigación se pretende evaluar la efectividad del complejo catalizador Effymol+, sobre la productividad del proceso de fermentación alcohólica de melaza. Por tal razón, es necesario plantear el siguiente cuestionamiento que constituye la pregunta de investigación:

¿El uso del complejo catalizador Effymol+ disminuye la acidez presente en el medio fermentativo, a fin de que la levadura transforme el mayor porcentaje de azúcares de la melaza en alcohol etílico?

Para ampliar la pregunta de investigación también se hacen los siguientes cuestionamientos.

¿Cuál será el impacto en los indicadores de productividad que tiene actualmente la planta?

¿Se verán afectadas las características organolépticas del producto obtenido?

¿Cuál será la relación beneficio-costos al emplear de forma rutinaria el complejo catalizador en la fermentación alcohólica?

El presente estudio se realizará en la destilería Mag Alcoholes, ubicado dentro del complejo industrial del Ingenio Magdalena, en el kilómetro 99 carretera a La Democracia, departamento de Escuintla, durante el período de zafra comprendido de los meses de noviembre 2012 a julio 2013.

## **6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **6.1. Caña de azúcar y sus derivados**

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es sembrada en áreas de la costa sur de Guatemala, en áreas que comprenden de 0 a 1 200 metros sobre el nivel del mar, principalmente en suelos de origen volcánico. Generalmente, se obtienen rendimientos de 90 toneladas de caña por manzana de terreno (1,43 manzanas por hectárea) Aunque existe la cosecha mecanizada, la mayor parte se lleva a cabo manualmente, constituyéndose como una importante fuente de trabajo en el área rural del país (Cengicaña, 2012).

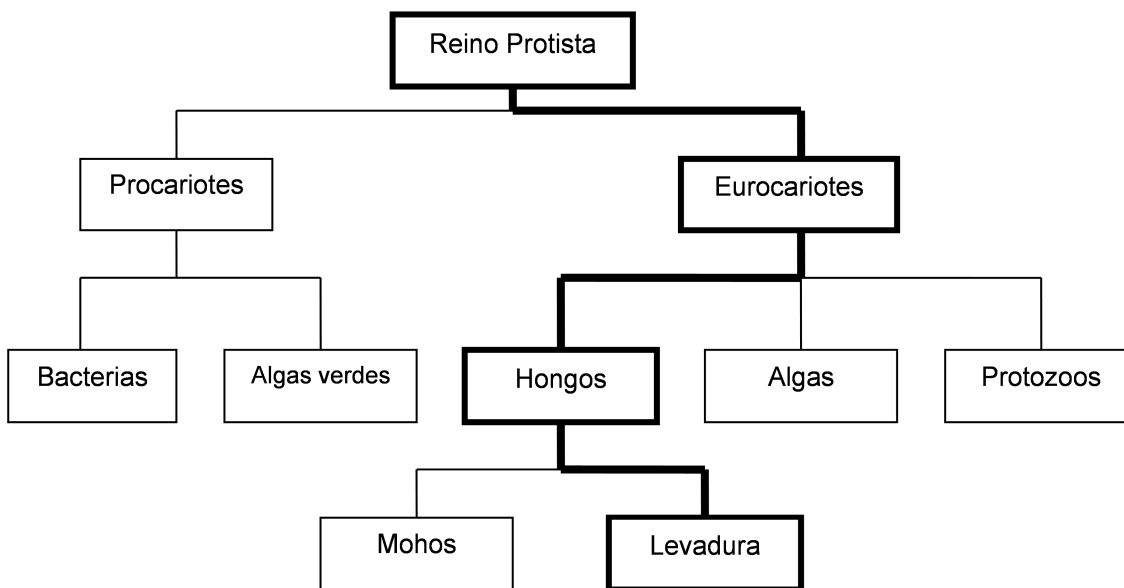
Luego de su cosecha, la caña de azúcar es trasladada al ingenio -fábrica de azúcar-en donde se muele y se extraen jugos ricos en azúcar. Estos jugos de caña, al igual que las mieles que se producen durante el proceso, pueden emplearse para la fabricación de alcohol. Al jugo se le extrae la mayor parte del azúcar que contiene y los azúcares no cristalizables por métodos convencionales forman melaza (líquido denso y viscoso de color café) que también es utilizada para hacer alcohol (Chen, 2001).

#### **6.1.1. Levaduras y fermentación**

Las levaduras son microorganismos que pertenecen al género de los hongos, contienen clorofila, tienden a ser multicelulares y bastante complejos. Generalmente, la levadura se reproduce por fisión y mitosis. El crecimiento de la levadura se ve afectado por factores como el pH, temperatura, presión

osmótica, calidad del sustrato (azúcares) y concentración alcohólica en el producto, compuestos inhibidores, etcétera (Jacques *et al*, 2003).

Figura 1. **Representación gráfica del Reino Protista**



Fuente: elaboración propia, con base en The alcohol textbook. p. 92.

El ciclo de crecimiento es de forma exponencial, compuesto por 4 fases:

- Fase de crecimiento (adaptación al medio ambiente)
- Fase logarítmica (la levadura se multiplica exponencialmente)
- Fase estacionaria (se detiene el crecimiento, debido al exhausto)
- Fase de deceso (la levadura muere, debido a la falta de nutrientes)

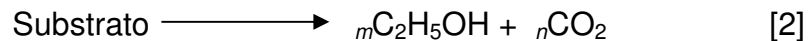
Durante la fase de crecimiento, la levadura requiere de una fuente de carbohidratos (glucosa), oxígeno (aire), nitrógeno, fósforo y micronutrientes. Los micronutrientes incluyen trazas de minerales y factores orgánicos de

crecimiento, los cuales son proporcionados por el sustrato (Jacques *et al*, 2003).

Un aspecto del metabolismo de las levaduras es de primordial importancia, ya que indica el origen de la fermentación. Todas las levaduras metabolizan los alimentos, el sustrato, por respiración, es decir, por reacción de oxidación:



Sin embargo, algunas levaduras (una pequeña minoría) también tienen la habilidad de alcanzar una forma anaeróbica de metabolismo que puede producir el etanol. Esta reacción puede representarse así:



Estas dos reacciones compiten, aunque la primera libera mucha más energía, pero al excluir el oxígeno, la reacción de fermentación puede hacerse dominante causando la exclusión virtual de la reacción de oxidación. El agente que promueve la fermentación no es realmente la levadura sino una enzima. Las enzimas son compuestos proteínicos complejos que aceleran muchas reacciones en la materia orgánica (Jacques *et al*, 2003).

### **6.1.2. Azúcares y fermentación de azúcares**

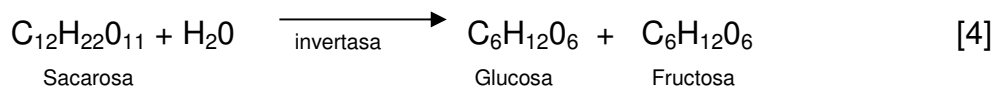
Los azúcares más simples son los monosacáridos, que son los únicos azúcares que pueden fermentarse directamente. Además, son los bloques constituyentes de los azúcares más complejos (Morrison, 1998).

Como su nombre lo indica, un disacárido es un azúcar compuesto por dos monosacáridos. El ejemplo más conocido es la sacarosa o azúcar de caña, que contiene residuos de fructosa y glucosa (Morrison, 1998).

De forma natural, los únicos azúcares que pueden fermentarse por las enzimas producidas por las levaduras son la manosa, galactosa, glucosa y fructosa. Así, la glucosa y la fructosa son fermentadas por la enzima zimasa (Morrison, 1998).



La fermentación de un disacárido es más complicada porque antes de la fermentación se requiere una hidrólisis propiciada por la hidrolasa. La hidrólisis de la sacarosa se efectúa mediante una hidrolasa llamada invertasa, a partir de la cual ocurre la fermentación de la glucosa y fructosa (Morrison, 1998).



La mezcla de glucosa y fructosa en equilibrio se conoce como azúcar invertida, porque rota la luz polarizada en dirección opuesta a la sacarosa (Morrison, 1998).

## 6.2. Proceso de fermentación

La fermentación se refiere a la descomposición de sustancias orgánicas complejas (tales como la sacarosa) en moléculas relativamente simples (como etanol o ácido acético) por la acción anaeróbica de los microorganismos. Sin

embargo, en la actualidad muchos de los productos de fermentación industrial, como la penicilina y otros antibióticos, tienen estructuras complejas y difícilmente pueden clasificarse como moléculas orgánicas simples. Por lo tanto, es conveniente ampliar la definición de fermentación para incluir cualquier proceso controlado que involucre el uso de microorganismos para producir productos útiles (Pandey, 2009).

### **6.2.1. Melazas como sustrato de fermentación**

Las melazas de caña son el principal subproducto de la industria azucarera y son la fuente de azúcares fermentables sin pre tratamientos complejos, el azúcar de estas materias primas se encuentra como sacarosa, un disacárido que en contacto con agua se hidroliza y genera moléculas de glucosa y fructosa, cuya inversión se constituye en el sustrato listo para arrancar la fermentación (Chen, 2001).

### **6.2.2. Contaminación bacteriana en melaza**

Debido al tratamiento que reciben las melazas durante el proceso de cristalización y por la naturaleza misma de la caña, este sustrato puede contener varias formas de contaminación bacteriana cuyo metabolismo, en términos de producción de ácidos orgánicos implica la disminución en la actividad de *Saccharomyces cerevisiae* y por lo tanto la disminución en el rendimiento de alcohol a partir del sustrato, así como también, la generación de características indeseables en el producto final (Rückle 2005).

### **6.2.3. Fuentes de contaminación**

Las melazas de caña por si mismas actúan como un reservorio de contaminantes importante desde el cultivo de la caña, por su contenido de azúcar, constituyen en un medio de cultivo por naturaleza para flora microbiana oportunista, además, durante su procesamiento y/o limpiezas poco eficientes conducen al mantenimiento eficiente de microorganismos indeseables e incluso incontrolables a nivel de fermentación alcohólica (Jacques *et al*, 2003).

Igualmente los residuos de materia prima que se adhieren a las líneas y la recirculación y/o la propagación continua de levadura, favorecen la contaminación pues se proporcionan contantemente las condiciones adecuadas para el crecimiento microbiano, la inoculación de bacterias paralelo a la levadura en los fermentadores constituye quizás uno de los más graves problemas en las destilerías, pues después que un tipo bacterias logra colonizar un sistema, es difícilmente removible y controlable, de ahí que los mecanismos de prevención y control deban tenerse en cuenta de manera constante, principalmente en los sistemas de fermentación continuos (Calderón, 2007).

### **6.2.4. Pérdidas de sacarosa**

Una vez ocurre el corte de caña y se deterioran las estructuras vegetales externas que sirven protección inician las pérdidas de sacarosa a causa de altas temperaturas, causas o reacciones químicas, deficiencias operativas y por supuesto por acción microbiana, más aun en épocas de lluvia, donde la humedad favorece el desarrollo de microorganismos indeseables (Chen, 2001).



Múltiples estudios han demostrado que la acción microbiana es una de las causas principales de pérdidas de sacarosa en caña de azúcar y que el principal microorganismo causante es *Leuconostoc mesenteriodes*, el cual induce la inversión y descompone la glucosa en diversos productos como ácido acético y/o láctico, los cuales disminuye el pH del jugo o miel, además de producir la enzima dextranasa la cual polimerización de unidades de glucosa produciéndose la llamada dextrana (Chen, 2001).

La dextrana es una sustancia mucilaginosa cuyo efecto perjudicial consiste en la pérdida de azúcar fermentable y la generación de una especie de película superficial al mismo tiempo aumenta la viscosidad del mosto de fermentación y su producción excesiva puede ocasionar serios taponamientos de líneas y equipos de producción (Chen, 2001).

En cuanto a la acción térmica como tratamiento a los jugos de caña, esta puede eliminar la mayoría de los microorganismos pero ocasiona la descomposición de la sacarosa para formar compuestos poliméricos y/ o coloreados mediante reacción de Maillard que constituye los denominados infermentables o amino azúcares en jugos y mieles de caña perjudiciales en cuanto a rendimiento se trata, tanto en producción de azúcar como fermentación para la producción de alcohol (Chen, 2001).

#### **6.2.5. Bacterianas lácticas como contaminantes**

El grupo de bacterias lácticas está constituido por cocos y bacilos que comparten propiedades fisiológicas y bioquímicas y cuyo metabolismo generador de energía es fermentativo. Los sustratos fermentables son azúcares que incluyen variedad de monosacáridos, disacáridos y polialcoholes cuyo producto final principal es el ácido láctico y en algunos casos el único

dependiendo de la ruta metabólica que utilicen para convertir los carbohidratos, de ahí que las bacterianas lácticas pueden dividirse en dos grupos según los productos resultantes de la fermentación de glucosa (Jacques *et al*, 2003).

Las necesidades nutricionales de las bacterianas lácticas son muy similares a las de las levaduras convirtiéndose así en sus principales antagonistas por nutrientes esenciales y factores de crecimiento que algunas veces están presentes en cantidades limitadas en los sustratos de fermentación, así como que son capaces de metabolizar las mismas fuentes de carbón o para realizar su tipo de fermentación (Jacques *et al*, 2003).

#### **6.2.6. Subproductos que pueden afectar la calidad del producto**

La producción de algunos compuestos por bacterias contaminantes constituye a la disminución de la calidad del producto final de la fermentación así como el desarrollo mismo del proceso pues el microorganismo fermentador puede ver afectada su fisiología por la presencia de sustancias extrañas y/o en altas cantidades (Jacques *et al*, 2003).

### **6.3. Tratamiento de contaminación bacteriana**

Los procedimientos de limpieza y sanitización para la remoción de contaminación bacteriana deben realizarse periódicamente y de acuerdo a las condiciones y necesidades del proceso. En sistemas de fermentación por lotes es más sencillo disminuir niveles de contaminantes que en un sistema de tipo continuo, en el último se ocasiona un efecto residual de diversos materiales en los tanques y cualquier sustancia, masa o partícula contaminada que no se

remueva a tiempo, constituye una fuente potencial de contaminación que se transmite al sustrato fresco que ingresó (Calderón, 2007).

En la actualidad, las destilerías utilizan diversos procedimientos para lograr una disminución de los efectos de la contaminación bacteriana y por ende su efecto en el desarrollo mismo del proceso dentro de estos procedimientos se encuentra el uso de las sustancias básicas, hipoclorito de sodio, aminas cuaternarias en el lavado de los tanques y la adición de agentes antimicrobianos que actúan selectivamente sobre las bacterias y no tienen efecto sobre la levadura (Calderón, 2007).

Las sustancias más utilizadas en los procesos fermentativos son los antibióticos, que adicionados en concentraciones adecuadas ayudan al control de los principales contaminantes en el proceso, sin embargo, la resistencia que generan estos microorganismos tras la constante exposición a estos compuestos constituye uno de los principales motivos de estudio y ha permitido incursionar en la obtención de otros compuestos que puedan completar el tratamiento. En general, se recomienda hacer una rotación de los mismos (antibióticos) para evitar la generación de dicha resistencia (Calderón, 2007).

### **6.3.1. Antibióticos**

Además de los factores de control conocidos como la calidad de las materias primas, pasteurización del mosto, higiene en la manipulación, sanitización y buen mantenimiento, los antibióticos son utilizados como medida complementaria durante la fermentación de alcohol (Rückle, 2006).

Los antibióticos son compuestos naturalmente producidos por algunos microorganismos con el propósito de inhibir a otros microorganismos, su objetivo en la naturaleza es la competencia por nutrientes como mecanismos de supervivencia. Son producidos industrialmente para ser utilizados en el tratamiento de infecciones tanto en humanos como animales, así como en procesos industriales donde una contaminación constituye pérdidas en cuanto a rendimiento se refiere (Rückle, 2006).

Los agentes antimicrobianos actúan por una serie de mecanismos muy diferentes entre ellos y cuyos blancos se encuentran en diferentes regiones de la célula atacada. Las diversas regiones de ataque antibacteriano se consideren en general: pared celular, membrana celular y síntesis de ácidos nucleicos (Jacques *et al*, 2003).

### **6.3.2. Complejos catalizadores enzimáticos**

A raíz de los costos que implica el tratamiento de los contaminantes bacterianos en las fermentaciones alcohólicas se han buscado nuevas alternativas diferente al calentamiento debido a su costo y a las pérdidas de azúcar que implica, además, la inquietud en cuanto al uso de antibióticos en aplicaciones técnicas y agrícolas va en aumento ante el surgimiento de resistencias múltiples a los antibióticos y bacterias patogénicas, esto ha creado u a fuerte demanda por alternativas naturales e inocuas pues los coproductos de la fermentación, ofrecen una contribución importante a la eficiencia económica de las destilerías y los productores de etanol agregan vapor declarando que sus coproductores son libre de antibióticos (Jacques *et al*, 2003).

Ejemplo de ello es la Unión Europea (UE) donde los productos que se usen para alimento animal no pueden contener ningún tipo de antibiótico, de hecho, a raíz de estos cambios en la legislación de la UE, en EEUU también se está replanteando la utilización de antibióticos en alimentación animal. Concretamente, a partir del Reglamento CE.2821/98 del Consejo del 17/12/1998 y del Reglamento 2205/01 de la Comisión del 15/11/2001 se ha prohibido el uso de Bacitracina de Zinc, Espiramicina, Virginamicina y Tilosina (Jacques *et al*, 2003).

Una de estas nuevas alternativas consiste en la utilización de enzimas, las cuales poseen una propiedad conservante que los cerveceros han reconocido por más de mil años, a pesar que solo en la última década dichas propiedades han sido propiamente entendidas, la empresa Betatec HG produce una variedad de compuestos basados en lúpulo que han demostrado una capacidad para controlar el crecimiento de bacterias gram positivas en varias aplicaciones. Este tipo de productos antibacterianos naturales se obtienen del extracto de lúpulo con CO<sub>2</sub> mediante un proceso totalmente acuoso y contienen en esencia: ácidos de lúpulo y son muy activos contra una serie de bacterias que se encuentran típicamente durante la fermentación alcohólica como *Lactobacillus*, una concentración inhibitoria suficiente del antimicrobiano lograra impedir la generación de ácido láctico y ácido acético y por lo tanto contribuirá a prevenir las pérdidas en el rendimiento de etanol (Rückle, 2006).

Si adiciona una concentración bactericida al propagador es posible producir levadura limpia y como los complejos enzimáticos son muy selectivos y pueden eliminar bacterias sin que afecte el rendimiento de la levadura, el resultado es una mejor propagación de la misma y por ende una fermentación más rápida (Rückle, 2006).

#### **6.4. Producción industrial del alcohol**

Las destilaciones de alcohol a escala industrial se realizan en columnas de destilación continua. El líquido que se destila recorre constantemente, de arriba abajo los platos, encontrando los vapores que circulan en sentido inverso, de modo que se va evaporando el alcohol etílico contenido en el líquido y se enriquecen progresivamente los vapores que borbotan en soluciones alcohólicas cada vez más concentradas. Para ello, el contacto entre los vapores y el líquido ha de ser grande y las columnas se construyen para conseguirlo, existiendo diferentes formas de platos, generalmente circulares, que se componen de chimeneas, tuberías por las que llegan los vapores alcohólicos evaporados en el plato inmediatamente inferior; recubriendo la salida de las chimeneas están las campanas o válvulas, que recogen los vapores y los obligan a dispersarse borbotando a través de otra conducción que se llama rebosadero, situado a nivel ligeramente superior al fondo del plato, manteniendo así una cierta cantidad de líquido en este y asegurando la rectificación, que consiste en lograr que los vapores que salen de cada plato tengan mayor concentración de alcohol y que el líquido que cae en el plato inferior contenga, por tanto, menos alcohol que a su llegada (Kirschbaum, 1954).

Generalmente, en la destilación de vino, se alimenta la columna por un plato situado en la zona intermedia, a 1/3 de su parte superior; por encima de él está la zona de concentración (formada por 15 a 20 platos), ya que por el plato más alto de la columna sale el líquido más concentrado en alcohol, denominándose zona de agotamiento (formada por 22 a 28 platos) la inferior al plato de alimentación, porque los líquidos que por ella discurren tienen en cada etapa menos concentración alcohólica, de modo que por el plato más inferior salen las vinazas o líquidos “agotados” en alcohol. La unión de plato a plato

para el cierre, que se asegura con tornillos en las altas columnas industriales, conocidas como columnas de alto grado. Los vapores alcohólicos que se desprenden en el último plato de la columnas se llevan, por un lado, a un condensador calienta vino, cuya función es refrigerar parcialmente los vapores calentando el vino que alimenta a la columna, y por otro, a un condensador que condensa totalmente los vapores. Parte del líquido condensado debe volver a la columna para mantener la rectificación. Para obtener alcohol exento casi totalmente de impurezas, es necesario rectificar el alcohol que se obtiene por destilación. Esta clase de alcohol, conocido como “Neutro” se utiliza principalmente en la elaboración de licores, y en la obtención de esencias y perfumes (Vian 2008).

Las columnas que se utilizan para eliminar casi todas las impurezas, se distinguen de las anteriores solo en pequeños detalles y comprenden los siguientes elementos: a) Columna depuradora que separa los productos de cabeza, esto es aldehídos y sustancias de bajo punto de ebullición. b) Columna concentradora propiamente dicha, en la que se separan los productos de cola, como alcoholes superiores o aceites de fusel, con punto de ebullición superior al alcohol etílico. c) Columna repasadora o dispositivos de pasteurización que completa la separación de impurezas d) Columna rectificadora que completa el agotamiento de las vinazas y rectifica el alcohol. En la práctica, las operaciones de destilación del vino y rectificación de las flemas obtenidas se hacen en una sola operación (Kirschbaum, 1954).

En el fondo de la columna destrozadora quedan las vinazas, que son residuos que contienen los azúcares que no han reaccionado y materiales proteínicos que generalmente se recuperan por evaporación y se venden como alimentos para animales (Jacques *et al*, 2003).

No es posible producir alcohol puro en la columna rectificadora por simple destilación; la pureza más alta posible es del 95-96,5 % en peso de alcohol, debido a la formación del azeótropo de la mezcla. “Un azeótropo es una mezcla líquida de dos o más componentes que posee un único punto de ebullición y que al pasar al estado vapor se comporta como un líquido puro, o sea como si fuese un solo componente” (Vian 2008).

## **6.5. Indicadores de productividad del proceso fermentación**

Los indicadores de productividad del proceso de fermentación son aquellas variables del proceso que reflejan la efectividad en el uso de los recursos generales, ya sean materiales, humanos o energéticos, para conocer el aprovechamiento de los mismos (Perry, 2001).

### **6.5.1. Productividad**

Productividad puede definirse como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados. En la fabricación, la productividad sirve para evaluar el rendimiento de los talleres, las máquinas, los equipos de trabajo y los empleados (Perry, 2001).

$$\text{Productividad} = \text{Salida/Entradas}$$

- Entradas: mano de obra, materia prima, maquinaria, energía, capital.
- Salidas: productos



### 6.5.2. Índices de productividad

Con el fin de medir el progreso de la productividad, generalmente se emplea el Índice de Productividad (P) como un punto de comparación; la productividad observada es la productividad medida durante un periodo de tiempo definido (día, semana, mes, año), en un sistema conocido (taller, empresa, sector económico, departamento, mano de obra, energía, país). El estándar de productividad es la productividad base o anterior que sirve de referencia (Perry, 2001).

Con base a lo establecido anteriormente, se pueden obtener diferentes medidas de productividad, evaluar diferentes sistemas, departamentos, empresas, recursos como materias primas, energía, entre otros.

- Mano de obra

I= Litros de alcohol extra neutro producido/Total horas hombre empleadas

- Materia prima

I= Kilogramos de materia prima (melaza)/Litros de alcohol extra neutro producido.

- Costo unitario

I = Costo total de producción/Litros de alcohol extra neutro producido



## 7. HIPÓTESIS

Evaluar si el uso del complejo catalizador Effymol+ afecta los índices de productividad de la fermentación alcohólica de melaza.

Variable independiente: dosis de complejo catalizador Effymol+ que se utiliza en la fermentación industrial de melaza.

Variable dependiente: indicadores de productividad del proceso de fermentación alcohólica de mieles finales.

Hipótesis nula,  $H_0$ : no existe variación significativa en los índices de productividad del proceso de fermentación alcohólica al adicionar el complejo catalizador Effymol+.

Hipótesis alterna,  $H_a$ : existe variación significativa en los índices de productividad del proceso de fermentación alcohólica al adicionar el complejo catalizador Effymol+.



## **8. CONTENIDO QUE TENDRÁ EL INFORME**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA
  - 1.1. Reseña histórica de la empresa
  - 1.2. Misión y visión
  - 1.3. Política de Calidad
  - 1.4. Política de Seguridad y Salud Ocupacional
  - 1.5. Mercados
  
2. CAÑA DE AZÚCAR Y SUS DERIVADOS
  - 2.1. Levaduras
  - 2.2. Fermentación de azúcares
  
3. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE MELAZAS
  - 3.1. Melazas como sustrato de fermentación
  - 3.2. Contaminación bacteriológica durante la fermentación
  - 3.3. Efecto de las bacterias ácido lácticas
  - 3.4. Subproductos de la fermentación

4. TRATAMIENTOS DE CONTAMINACIÓN BACTERIANA
  - a. Uso de antibióticos
  - b. Complejos enzimáticos catalizadores
  - c. Derivados de lúpulo
  
5. PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DE ALCOHOL
  - 5.1. Producción de alcohol etílico extra neutro
  - 5.2. Producción de alcohol etílico deshidratado
  
6. ÍNDICES DE PRODUCTIVIDAD EN LA FERMENTACIÓN DE MELAZA
  - 6.1. Medición de productividad en la fermentación alcohólica
  - 6.2. Eficiencia del proceso de fermentación alcohólica de melaza
  - 6.3. Factores que afectan la productividad
  - 6.4. Indicadores de productividad
  - 6.5. Evaluación económica del uso de Effymol+

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

ANEXOS

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

## 9. MÉTODOS Y TÉCNICAS

El diseño de la investigación se hará con un enfoque cuantitativo, tipo exploratorio, ya que el propósito es evaluar el efecto del Effymol+ sobre la fermentación alcohólica de melaza, de forma experimental, en el que la variable independiente será el uso del complejo catalizador y las variables dependientes serán los índices de productividad del proceso, entre los que podemos incluir el consumo de materia prima por litro de alcohol producido, la calidad del alcohol que se produce, los grados alcohólicos al final de la fermentación, la acidez volátil del medio y el costo de fabricación por litro de alcohol.

La investigación será de tipo experimental; para su realización, se contará con el apoyo de varios colaboradores la empresa en cuestión, la Universidad de San Carlos de Guatemala, el investigador y su asesor. Las técnicas para recolectar información serán a través de la observación de los parámetros de fermentación alcohólica y la toma de muestras durante el proceso.

Para cumplir con los objetivos 1 y 2, se realizaran 8 fermentaciones industriales, utilizando melaza proveniente de 2 ingenios azucareros como sustrato principal, lo que dará como resultado un total de 32 tratamientos, distribuidos de la siguiente forma:

- Melaza A con coadyuvante
- Melaza A sin coadyuvante
- Melaza B con coadyuvante
- Melaza B sin coadyuvante

Cada fermentación durara un estimado de 32 a 34 horas. Se tomarán registros de las variables de proceso (levadura, temperatura, brix, pH y acidez volátil inicial de la melaza, dosificación de nutrientes, ácido sulfúrico y antiespumante). Se utilizarán las siguientes dosificaciones de complejo catalizador Effymol+: 0,5 ppm en los reactores de propagación, 1,5 ppm en los prefermentadores y 2,0 ppm en los fermentadores. La cantidad de melaza por fermentador será de 278 metros cúbicos.

Las melazas deberán ser diluidas hasta alrededor de un 15 % en peso de azúcar, para hacer una solución fermentable. En este momento se agregará ácido sulfúrico para ajustar el pH entre [4,0-4,9] y se adicionarán nutrientes (diamonio fosfato y bifluoruro de amonio) en las cantidades especificadas por tanque. Ésta mezcla constituye el mosto y a éste se le agregará la cantidad necesaria de levadura, que ha venido creciendo por etapas en los propagadores y tanques de crecimiento de levadura. La levadura constituye alrededor del 5 % del volumen total cargado al fermentador. La fermentación se llevará a cabo entre [32-34] °C y el tiempo desde el llenado hasta obtener el mosto fermentado (vino) tomará alrededor de 32 a 34 horas. La temperatura es un factor crítico, ya que la levadura puede morir por exceso de calor. Como la fermentación es exotérmica, los fermentadores cuentan con un sistema de calentadores de placas que trabajan como unidades de refrigeración. El dióxido de carbono que se generará durante la fermentación se recuperará y purificará, o en otros casos, se descargará a la atmósfera.

#### Recolección de datos durante la investigación

En primer lugar, se llevarán registros con las características fisicoquímicas de la materia prima (melazas).



Durante el proceso de llenado de prefermentadores y fermentadores, se harán análisis cada 4 horas de los siguientes parámetros: brix, pH, grado alcohólico y temperatura. El propósito de relacionar las variables de esta manera es el posterior análisis de los efectos generadores en el proceso de fermentación alcohólica de melazas. Al final de la fermentación, se anotarán los datos de grado alcohólico, azúcares residuales y acidez volátil total de cada fermentador.

Las muestras obtenidas de vino fermentado se analizarán mediante Cromatografía de Gases (GC), con el fin de determinar la concentración de los subproductos formados durante la fermentación y la calidad del alcohol. Cabe mencionar que los análisis serán llevados a cabo por el analista especial de laboratorio y no por el investigador, quien se encargará de registrar los datos y documentarlos, como evidencia de la investigación.

#### Construcción de tablas y gráficas explicativas

Una vez obtenidos los resultados de los análisis de grado alcohólico final, cromatografía de gases, azúcares residuales, pH y acidez volátil, éstos serán organizados para su estudio. A partir de los datos recolectados, se construirán tablas que presenten los resultados de forma ordenada, para su evaluación. Se construirá una tabla con el resumen de los resultados obtenidos según el tipo de sustrato utilizado.

Así, con estos datos, se construirán gráficas y se hará el cálculo de los indicadores de productividad del proceso (materia prima, mano de obra y costo de fabricación).

## Análisis estadístico de los resultados

Para el análisis estadístico de los resultados se hará un análisis de varianza unifactorial, con un nivel de significancia de 0,05, correspondiente a los grados alcohólicos finales, azúcares residuales, acidez volátil total y eficiencia de la fermentación. El cálculo se hará utilizando el programa SPSS.

Para alcanzar el objetivo 3, se hará un análisis beneficio costo, a partir de los gastos de fabricación involucrados en la fermentación de melaza.

## 10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



Fuente: elaboración propia.



## 11. RECURSOS

### 11.1. Recursos humanos

- Investigador: Roberto Federico Peitzner Rosal
- Asesora: Msc. Inga. Claudia Anahite Ovando Gómez
- Colaboradores: operador de sala de mandos de fermentación, ayudante de fábrica, analista de laboratorio (especialista en cromatografía de gases) e ingenieros de turno.

### 11.2. Recursos físicos

Dentro de los recursos físicos a emplear para poder realizar la investigación, podemos mencionar:

- Cristalería: beakers, frascos de plástico y vidrio con taparrosas, probetas graduadas, erlenmeyers, pipetas, balones, varilla de agitación.
- Equipo: balanzas, termómetro, medidor de pH, reactor de propagación, prefermentadores y fermentador, destilador enológico marca Raypa, Cromatógrafo de Gases (GC) marca Agilent, modelo N9805; densímetro Anton Paar, modelo D4500.
- Reactivos: fenolftaleína, hidróxido de sodio 0.1N, reactivos Fehling A y Fehling B, fosfato oxalato de sodio potasio, indicador azul de metileno 1% w/v, ácido sulfúrico, subacetato de plomo, hidróxido de sodio 1N.

### 11.3. Recursos financieros

En el siguiente cuadro se presenta un presupuesto estimado de los gastos que se efectuarán durante la realización del proyecto:

Tabla I. **Presupuesto de gastos del proyecto**

Descripción	Unidad de medida	Costo unitario (Q)	Cantidad	Costo total (Q)
Bolígrafos BIC	Caja	25	1	25
Marcadores para pizarra	Unidad	3	15	45
Hojas tamaño carta	Resma	40	3	120
Hojas tamaño oficio	Resma	50	1	50
Folder	Unidad	1	5	5
Cartucho de tinta negra	Unidad	2	250	500
Cartucho de tinta a colores	Unidad	1	250	250
Gastos de investigación	-	3 000,00	1	3000,00
Pago de asesor	-	2 500,00	1	2 500,00
Total				<u>6 495,00</u>

Fuente: elaboración propia, con base en proveedores locales.

Cabe mencionar que el costo del complejo catalizador Effymol+, melaza, electricidad, vapor y otros insumos, así como la mano de obra de los colaboradores involucrados en la recolección de muestras y ensayos de laboratorio corren a cuenta de la destilería Mag Alcoholes, S.A.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Arshad M., Z.M. Khan, Khalil-ur-Rehman, F.A. Shah y M.I. Rijoka (2008) Optimization of process variables for minimization of byproduct formation during fermentation of blackstrip molasses. [Artículo en línea] Letters in Applied Microbiology 47, (5), 410-414, Consultado el 19 de agosto de 2012 en la dirección: <http://web.ebscohost.com/ehost/detail?vid=5&hid=17&sid=713745b3-3042-4599-9af1-9f694a29fab4%40sessionmgr12&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#db=aph&AN=34805277>
2. Calderón P. Nayda (2007) Evaluación del uso de antibióticos como mecanismo para el control de contaminantes bacterianos en la fermentación para la producción de alcohol etílico. Tesis Microbiología Industrial. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 151 pp.
3. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. (2012) El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala. Guatemala: Artemis Edinter, 512 pp.
4. Chen, James. (2001) Manual del Azúcar de Caña. México: Limusa, 1200 pp.
5. Deli M., A. Rinaldi y D. Debordeu (2003). Influence of assimilable nitrogen on volatile acidity production by *Saccharomyces cerevisiae* during high sugar fermentation. [Artículo en línea] Journal of Bioscience

and Bioengineering, 96, (6) 507-512, Consultado el 4 de agosto de 2012 en la dirección: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172304701413>

6. Foust, et. al. (1998) Principios de Operaciones Unitarias., México, CECSA. 751 pp.
7. Hazelwood, L., M. Walsh, J. Pronk y J.M. Dara. (2010) Involvement of Vacuolar Sequestration and Active Transport in Tolerance of *Saccharomyces cerevisiae* to Hops- $\alpha$ -Acids. [Artículo en línea] Applied & Environmental Microbiology, 76 (1), 318-328 Consultado el 17 de agosto de 2012 en la dirección: <http://web.ebscohost.com/ehost/detail?vid=7&hid=17&sid=713745b3-3042-4599-9af1-9f694a29fab4%40sessionmgr12&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=aph&AN=47755905>
8. Hoyos J. y J. Carrera (2004). Desarrollo de un complejo enzimático por fermentación de sustrato sólido con *Rhizopus Niveus* para la optimización de la producción de alcohol etílico a partir de melaza. [Artículo en línea] Revista biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 2, (1), 33-42, Consultado en línea el 28 de agosto de 2012 en la dirección: [http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/index.php?option=com\\_content&task=view&id=13&Itemid=88](http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=88)
9. Hurtado M., I. Ramos, D. Parado y H. Guzmán (2011). Aislamiento e identificación de bacterias ácido acéticas en materia prima y tren de fermentación en el ingenio Providencia S.A. [Artículo en línea] Revista



Tecnicaña, 27, 4-10, Consultado en línea el 29 de agosto de 2012 en la dirección:[http://www.tecnicana.org/pdf/2011/tec\\_no27\\_2011\\_p6-12.pdf](http://www.tecnicana.org/pdf/2011/tec_no27_2011_p6-12.pdf)

10. Jacques, K.A. et. al. (2003) The Alcohol Textbook.4ta. Edición, Nottingham University Press, Inglaterra, 446 pp.
11. Kirschbaum, Emil. (1954)Destilación y Rectificación. Aguilar, S.A. de Ediciones, España. 454 pp.
12. Morrison J. y Boyd. (1998) Química Orgánica. 5ta. Edición, Pearson, México, 1474 pp.
13. Palacio, Hernán. (1956) Fabricación del alcohol. Salvat Editores, S.A., España, 815 pp.
14. Perry, Robert y Don Green. (2001) Manual del Ingeniero Químico. México: editorial McGraw Hill, 1572 pp.
15. Rein, Peter. (2012) Ingeniería de la Caña de Azúcar. Bartens, Alemania, 879 pp.
16. República de Guatemala. (1988) Ley de Alcoholes, Bebidas Alcohólicas y Fermentadas, su Reglamento y Anexos (Actualizado).Guatemala, 201pp.
17. Rückle L. y T. Senn (2006). Hops acids can efficiently replace antibiotics in ethanol production. [Artículo en línea] International Sugar Journal, 108, (1287), 137-149. Consultado el 25 de agosto de 2012 en la dirección:[http://67.199.119.167/files/Hop\\_Acids.doc](http://67.199.119.167/files/Hop_Acids.doc)

18. Sánchez O., A. Lara, M. Mejía, y J.L. Martínez (2001, septiembre). Estudio de la influencia de ácidos orgánicos en la fermentación alcohólica. [Artículo en línea] IX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Veracruz, México. Consultado el 2 de agosto de 2012 en la dirección:[http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA\\_II/CII-56.pdf](http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_II/CII-56.pdf)
19. Thompson, E.V. (1979) Introducción a la Ingeniería Química. McGraw Hill, México, 335 pp.
20. Vian A. y M. Romero. (1991) Destilerías y licores, Enciclopedia GER. Canal Social, Montané Comunicaciones S.L. Madrid, España. Agosto 2008 Consultado en línea el 31 de julio de 2012 [http://www.canalsocial.net/ger/ficha\\_GER.asp?id=4244&cat=ciencia](http://www.canalsocial.net/ger/ficha_GER.asp?id=4244&cat=ciencia)