



UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**"ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE
FERMENTACIÓN EN MELAZA CLARIFICADA Y
MELAZA SIN CLARIFICAR EN LA
PRODUCCIÓN DEL ALCOHOL ETÍLICO"**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

Bach. JERI AMAO LISSETTE VICTORIA

ASESORADO POR:

MSc. Ing. HERNÁNDEZ ORÉ JOSÉ ENRIQUE

LAMBAYEQUE - PERÚ

2015



Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE FERMENTACIÓN EN
MELAZA CLARIFICADA Y MELAZA SIN CLARIFICAR EN LA PRODUCCIÓN
DEL ALCOHOL ETÍLICO”.**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO QUIMICO

PRESENTADO POR:

Bach. JERI AMAO LISSETTE VICTORIA

ASESORADO POR:

MSc. Ing. HERNÁNDEZ ORÉ JOSÉ ENRIQUE

LAMBAYEQUE-PERU

2015

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE FERMENTACIÓN EN
MELAZA CLARIFICADA Y MELAZA SIN CLARIFICAR EN LA PRODUCCIÓN
DEL ALCOHOL ETÍLICO”.**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUIMICO

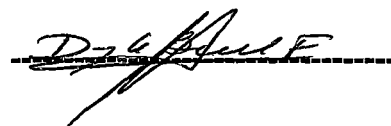
PRESENTADO POR:

Bach. JERI AMAO LISSETTE VICTORIA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado

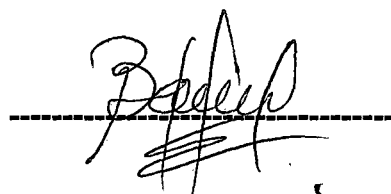
Ing. M. Sc. Doyle Isabel Benel Fernández

Presidente



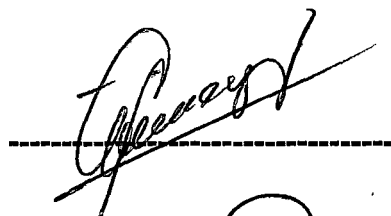
Ing. Ada Patricia Barturén Quispe

Secretaria



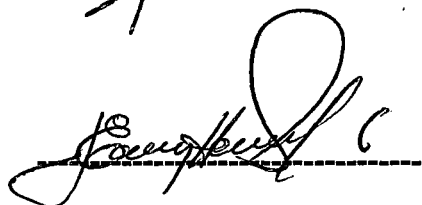
Ing. Rodolfo Pastor Tineo Huancas

Vocal



Ing. M. Sc. José Enrique Hernández Ore

Asesor



A Dios.

***Por haberme bendecido en mi formación académica haciendo que
haga realidad mis más grandes anhelos.***

A mi Amiga Sissi del Rocío Arriaga Campodónico.

***Quien me enseñó que la vida es una constante lucha para lograr nuestras
metas, a valorarla y aprender lo positivo de cada experiencia vivida.***

Q.E.P.D. querida amiga.

Agradecimiento

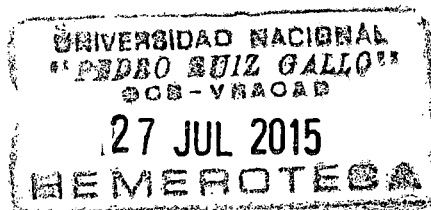
El presente trabajo de tesis me gustaría agradecer de manera especial a mi familia por haberme educado en conocimientos y valores para lograr uno de mis más grandes objetivos en mi vida.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi asesor de tesis, MSc. Ing. José Enrique Hernández Oré por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito.

Y por último a mis jefes de trabajo Ing. Gladys Miñope Gómez y el Lic. Martin Asmat Mundaca, quienes son un gran ejemplo para mí, los cuales me han motivado durante mi formación profesional.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida.



ÍNDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I: MARCO TEORICO	3
1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA:.....	4
1.2. MATERIA PRIMA: MELAZA	8
1.2.1. Propiedades físicas y químicas	9
1.2.2. Composición	11
1.2.3. Producción de la melaza de la caña de azúcar	15
1.2.4. Clasificación de la melaza	18
1.2.5. Propiedades físico-químicas	20
1.2.6. Tratamiento previo de la melaza antes de la fermentación	22
1.2.7. Ventajas del uso de melazas de caña como sustrato	24
1.2.8. Contaminación bacteriana de la melaza	27
1.2.9. Tratamiento de la contaminación bacteriana	29
1.2.10. Usos generales de la melaza de caña	30
1.3. FERMENTACION ALCOHOLICA.....	31
1.3.1. Proceso de fermentación	31
1.3.2. Factores que afectan a la levadura en la fermentación alcohólica ...	32
1.4. PRODUCCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO	41
CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS	42
2.1. ÁREA DE EJECUCIÓN	43
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	43
2.2.1. Población	43
2.2.2. Muestra	43
2.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	43
2.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	44
2.4.1. Prueba fermentativa de melaza sin tratar	45
2.4.2. Prueba fermentativa de melaza tratada o clarificada.	47

2.5. VARIABLES DE ESTUDIO.....	49
2.5.1. Variable Independiente.....	49
2.5.2. Variable Dependiente.....	49
2.5.3. Variable Intermitente.....	49
2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	50
CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSION.....	51
3.1. PROMEDIO DE LA EFICIENCIA DE FERMENTACION PARA LA MELAZA SIN CLARIFICAR	52
3.2. PROMEDIO DEL RENDIMIENTO DE ALCOHOL ETILICO PARA LA MELAZA CLARIFICADA	54
3.3. PORCENTAJE DE LODOS DURANTE LA CLARIFICACIÓN DE LA MELAZA.....	57
3.4. ANALISIS DE DISEÑO FACTORIAL CON DOS FACTORES	60
CAPITULO IV: CONCLUSIONES.....	63
CAPITULO V: RECOMENDACIONES	65
CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
CAPITULO VII: APENDICE	71

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°01: Composición promedio de la melaza de remolacha y de caña.....	4
Cuadro N°02: Influencia del proceso de extracción en la microflora en el jugo crudo de la industria azucarera.....	6
Cuadro N°03: Características de la melaza.....	10
Cuadro N°04: Composición aproximada de la melaza de la caña de azúcar.....	11
Cuadro N°05: Composición típica de una miel tipo A.....	18
Cuadro N°06: Composición típica de una miel tipo B.....	19
Cuadro N°07: Composición típica de una miel tipo C.....	19
Cuadro N°08: Aspectos positivos de la melaza de caña.....	25
Cuadro N°09: Aspectos negativos de la melaza de caña.....	26
Cuadro N°10: Parámetros a tener en cuenta en la fermentación.....	33

INDICE DE FIGURAS

Figura N°01: Proceso de la obtención de la melaza.	17
--	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°01: Análisis de miel final.....	44
Tabla N°02: Azúcares invertidos de la melaza.....	45
Tabla N°03: Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH para la Melaza sin clarificar.....	52
Tabla N°04: Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH para la Melaza clarificada.....	54
Tabla N°05: Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH para cada tipo de tratamiento de la melaza.....	56
Tabla N°06: Promedio del volumen los lodos en ml durante la clarificación de la melaza.....	57
Tabla N°07: Promedio del porcentaje los lodos en ml durante la clarificación de la melaza	59
Tabla N°08: Análisis (ANOVA) para el diseño factorial con dos factores.....	61
Tabla N°09: Análisis (ANOVA) de Diseño Factorial para determinar el efecto de la concentración de pH, para cada tipo de tratamiento de la melaza en la eficiencia de fermentación.....	61

INDICE DE GRAFICOS

Grafico N°01: Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH para la Melaza sin clarificar.....	53
Grafico N°02: Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH para la Melaza clarificada.....	55
Grafico N°03: Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH para cada tipo de tratamiento de la melaza.....	58
Grafico N°04: Promedio del volumen de lodos en ml durante la clarificación de la melaza.....	58
Grafico N°05: Promedio del Porcentaje de lodos en ml durante la clarificación de la melaza.....	59

INDICE DE TABLAS DEL APENDICE

Tabla N°01: Porcentaje alcohólico (%OH-) según concentración de pH.....	72
Tabla N°02: Eficiencia de fermentación según pH y tipo de tratamiento de la melaza.....	79
Tabla N°03: ANOVA para el diseño factorial con dos factores.....	80
Tabla N°04: Sumatoria de las eficiencias de fermentación según pH y tipo de tratamiento de la melaza.....	81
Tabla N°05: Volumen de lodos en ml durante la clarificación de la melaza.....	85

Tabla N°06: Porcentaje de lodos durante la clarificación de la melaza.....	88
---	-----------

I

INDICE DE ANEXO

Rendimiento alcohólico según pH y tipo de tratamiento de la melaza.....	106
Hoja técnica del ácido sulfúrico.....	107
Percentiles de la distribución de F.....	109

RESUMEN

La presente investigación se realizó a nivel laboratorio en la Destilería Naylamp E.I.R.L., con el fin de comparar el porcentaje de eficiencia en fermentación entre la melaza clarificada y melaza sin clarificar con la misma cantidad de floculante AT-50 y a diferentes concentraciones de pH para determinar si el proceso de clarificación de la melaza mejora el porcentaje de eficiencia de fermentación y por ende el rendimiento alcohólico; además determinar el porcentaje de lodos en la clarificación.

El trabajo consistió en acondicionar la materia prima, diluyendo 333 g de melaza con agua destilada hasta un 1 l para obtener un aproximado de 15°Bé y un aproximado de 27°Bx a la que previamente se le ha agregado H_2SO_4 y floculante AT-50, se mezcló la levadura activada previamente, luego de iniciada la fermentación por un periodo de 70-75h/muestra hasta obtener un aproximado de 5°Bé, luego destilar y medir el grado alcohólico y obtener la eficiencia de fermentación.

Se realizó 6 ensayos de 10 pruebas cada una variando la concentración pH de 5.5, 5.3 y 5.2 por cada tipo de tratamiento de la melaza (melaza sin clarificar y melaza clarificada).

Los ensayos se realizaron con las mismas condiciones físicas de temperatura y presión obteniendo el resultado en % de eficiencia de fermentación. La óptima eficiencia de fermentación para la producción de alcohol etílico es de 84.04 % y corresponde a la fermentación con melaza clarificada a un pH de 5.2

El porcentaje de lodos que se obtuvo durante el tratamiento de clarificación de la melaza fue 2.19%, 2.39% y 2.66% a una concentración pH de 5.5, 5.3 y 5.2 respectivamente.

ABSTRAC

This research was conducted at laboratory level in Naylamp EIRL Distillery, in order to compare the percentage of efficiency in the clarified fermentation from molasses and molasses without clarifying with the same amount of flocculant AT-50 at different pH levels to determine whether the clarification process improves molasses fermentation efficiency percentage and therefore the alcohol yield; further determining the percentage of sludge in the clarification.

The work consisted of conditioning the raw material, 333 g of molasses diluted with distilled water to a 1 l for approximately 15°Bé and approximately 27°Bx which previously has been added H₂SO₄ and flocculant AT-50, previously activated yeast after fermentation has started a period of 70-75h / sample until approximately 5°Bé, then distill and measure the alcohol content and fermentation efficiency get mixed. 6 tests 10 tests each concentration varying pH 5.5, 5.3 and 5.2 for each type of treatment of molasses (molasses unclarified and clarified molasses) was performed. Assays were performed with the same physical conditions of temperature and pressure to obtain the result in% efficient fermentation. The optimum efficiency of fermentation for ethanol production is 84.04% and corresponds to clarified molasses fermentation at pH 5.2

The percentage of sludge was obtained during clarification treatment molasses was 2.19%, 2.39% and 2.66% concentration to a pH of 5.5, 5.3 and 5.2 respectively.

INTRODUCCION

Las destilerías de alcohol etílico buscan obtener mayores rendimientos en su producción. Una de las causas más importantes que afectan a ésta; es el contenido de sales disueltas, materia en suspensión, población bacteriana alta de la melaza; asimismo su inadecuado almacenaje. Todo esto influye negativamente cuando es utilizada para fines de fermentación en la producción de alcohol etílico.

La melaza o miel final (miel C) es un subproducto final de la elaboración del azúcar de caña. Este subproducto ha sido tradicionalmente utilizado como un sustrato adecuado y económico para la producción de etanol.

Sin embargo la melaza contiene compuestos suspendidos; los cuales pueden causar el bloqueo de las columnas de destilación. El principal problema es la presencia de compuestos de calcio que se derivan de la adición de cal en el proceso de clarificación del jugo de caña; generalmente la especificación para las melazas es no contener más del 10% de cenizas sulfatadas que pueden causar problema en el escalamiento.

Por lo tanto es necesario un tratamiento previo antes de la etapa de fermentación llamada clarificación de la melaza; la cual consiste en la acidificación de melazas diluidas con ácido sulfúrico para convertir las sales de calcio en sulfato de calcio y las de magnesio en sulfato de magnesio, compuesto insoluble que se sedimenta formando los lodos y puede ser removido con ayuda de la centrífuga antes del enfriamiento para ingresar a los tanques de fermentación.

Este proceso es de gran importancia ya que el ácido sulfúrico también ayuda a combatir la contaminación bacteriana; cuyo metabolismo en términos de producción de ácidos orgánicos implica la disminución de la actividad de la *Saccharomyces cerevisiae* y por ende la disminución del rendimiento de alcohol a partir de la melaza. Por tal motivo se reunirá muestras de melaza clarificada y sin clarificar para determinar la diferencia entre sus eficiencias de fermentación. En el proceso de clarificación de la melaza se le agrega ácido sulfúrico en la etapa de fermentación con la finalidad que

precipite el sulfato de calcio y magnesio, se reduzca el pH y se hidrolice la sacarosa, esto se hace en caliente y puede llegar a una pasteurización para tratar de reducir la contaminación bacteriana.

Por lo tanto; se desea realizar pruebas de fermentación con melaza clarificada y melaza sin clarificar con el objetivo de comparar la eficiencia de fermentación que podemos obtener de cada una de estas muestras y así determinar si el proceso de clarificación es una opción para mejorar el rendimiento alcohólico a partir de la melaza. Hay que tener en cuenta que el lodo de la melaza clarificada es un peso que al final se pierde en el tratamiento.

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA:

➤ **VON LILLIENSKIOLD, M. & BECKER, D. (1955), Zucker 8, Página 411.**

Las sales disueltas afectan la presión osmótica del medio de cultivo y por ende de la levadura, disminuyendo la actividad de la misma, por ello se requiere un bajo contenido de cenizas en las mieles a utilizar.

Los elementos que conforman la materia inorgánica son: calcio, potasio, sílice, hierro, manganeso, óxidos, nitratos, compuestos clorados.

Generalmente las mieles con alta relación de azúcares fermentables a azúcares no fermentables poseen bajo contenido de ceniza. En la siguiente tabla el autor afirma que la melaza posee 8 % de cenizas sulfatadas.

En el Perú la melaza de la Azucarera Agro Pucalá contiene cenizas sulfatadas que llegan al 20% y esto reduce la capacidad fermentativa de la melaza.

CUADRO N° 01: COMPOSICION PROMEDIO DE LA MELAZA DE REMOLACHA Y DE CAÑA

Constituent	Beet molasses (%)		Cane molasses %	
Water	16.5		20.0	
<i>Organic constituents</i>				
Sugars: Saccharose	51.0	53.0	32.0	62.0
Glucose	—		14.0	
Fructose	—		16.0	
or Invert sugar	1.0		—	
Raffinose	1.0		—	
Nonsugars: Nitrogenous materials, free and bound acids, soluble gummy substances	19.0		10.0	
<i>Inorganic constituents (ash)</i>				
SiO ₂	0.1	~ 11.5	0.5	8.0
K ₂ O	3.9		3.5	
CaO	0.26		1.5	
MgO	0.16		0.1	
P ₂ O ₅	0.06		0.2	
Na ₂ O	1.3		0.2	
Fe ₂ O ₃	0.02		0.2	
Al ₂ O ₃	0.07		0.2	
Soda and carbonate residue (as CO ₂)	3.5		1.6	
Sulfate residue (as SO ₃)	0.55		0.4	
Chlorides	1.6			
	100.0		100.0	

Fuente: Von Lillienkiold, M. & Becker, D., Zucker 8

➤ **OLBRICH HUBERT. (1963), The molasses- Influencia de la microflora en los carbohidratos de melaza, (página 11). Ciudad: Berlín**

La Kestosa es uno de una serie de productos de oligosacáridos que se forman debido a la influencia de la actividad microbiana durante el proceso de fabricación.

Los oligosacáridos también se pueden encontrar especialmente en jugos crudos obtenido a partir de remolachas que han sido dañadas e infectadas a través del efecto transfructosidasa sobre la proporción de glucosa a fructosa y puede afectar esta relación en el jugo crudo.

La actividad de la microflora provoca la formación de una mezcla de azúcar invertido no equimolar en las estaciones de jugo, pero esta actividad sólo desempeña un menor papel en esta parte de la operación de fabricación en que afecta a la relación glucosa fructosa porque una parte predominante del azúcar invertido se destruye cuando se purifica el jugo.

El crecimiento de los microorganismos que intervienen aquí se debe principalmente al metabolismo de sus carbohidratos y por lo tanto implica una pérdida de azúcar.

Los microorganismos presentes en la melaza se traen con las remolachas y se llevan necesariamente junto con el suelo que se adhiere a las rebanadas.

Puesto que es bien sabido que cada gramo de suelo lleva varios miles de millones de micro-organismos, los recuentos de altos germinales se encuentran en el jugo crudo incluso de remolacha bien limpia. Un conteo de 1 millón/ml se acepta como normal, y esta cifra podría aumentar a 20 millones/ml o superior cuando la remolacha está sucia.

El método por el que el jugo es preparado es de influencia en la composición de la microflora en el jugo crudo y, por lo tanto, en cierta medida, también es el factor determinante para las especies de organismos que aparecen en la melaza.

➤ HUBERT OLBRICH, (Berlin 1956), "Die Melasse"

CUADRO N° 02: INFLUENCIA DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN EN LA MICROFLORA EN EL JUGO CRUDO DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

Organisms identified by WINDISCH, Berlin	Number of isolated strains in the starting cultures		Remarks
	Battery diffusion	Tower diffusion	
<i>Bacillus subtilis</i>	13	4	Protein and saccharose decomposers
<i>Bacillus pumilus</i>	5	3	
<i>Bacillus megatherium</i>	1	1	
<i>Leuconostoc</i>	—	9	Powerful saccharose-decomposing and mucus-forming
<i>Streptococcus faecalis</i>	—	2	
<i>Candida krusei</i>	—	2	
<i>Saccharomyces fragilis</i>	—	1	Probably introduced accidentally
<i>Endomyces lactis</i>	—	1	
<i>Alcaligenes marshalli</i> (powerful acid- consuming bacteria)	—	1	
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i> (cause of swine erysipelas)	1	—	

Fuente: Olbrich Hubert. Die Melasse

La relación de *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus* y *Bacillus megatherium* en los jugos crudos de baterías y torres extractoras es 13:4, 5:3 y 1:1. Probablemente otros microorganismos no identificados, que no han proliferado, también están presentes en los zumos de crudo. Esto es cierto, por ejemplo, de los lactobacilos. Entre estos organismos las células vegetativas son resistentes a 90°C.

Los cocos que están bien protegidos contra influencias térmicas y químicas por una película mucosa resisten, al igual que las esporas, las operaciones de fabricación y todavía están presentes en la melaza.

La función primaria del sistema de difusión es lograr una buena extracción y eficiente de la rodajas de remolacha. Desde ciertas temperaturas de funcionamiento se prescriben, es inevitable que las condiciones serán creadas en el equipo de difusión que puede ser favorable para el crecimiento de bacterias.

Se encontraron relaciones divergentes en la microflora con respecto a las cantidades de ácido láctico formado en ocho fábricas de la Corporación Azucarera británica, según el equipo de extracción utilizado (por ejemplo, la batería de difusión, tambores RT, es decir, los tambores Tirlemont, así como tanques rápidos).

La melaza procedentes de las fábricas con R.T. tambores contenían 2.5 g de ácido láctico/100 kg de azúcar como un promedio, aquellos con baterías de difusión mostró 3.4 g, y fábricas con tanques rápidos tenido un contenido medio de 3.6 g de ácido láctico/100 kg de azúcar. Sin embargo, la regularidad absoluta no puede deducirse de estos hallazgos, ya que una de las fábricas con la difusión de la batería tenía casi el contenido de ácido láctico más bajo en la melaza.

La microflora típica en melaza incluye bacilos y hongos. Para la mayor parte de los microorganismos en la melaza puede ser considerado como infecciones accidentales. Por ensayos apropiados con soluciones diluidas de melaza se demostró que la melaza, a pesar de su bajo contenido de fosfato, es, sin embargo, un medio bueno de nutrientes para un buen número de organismos, incluyendo levaduras, mohos y bacterias.

➤ **HUBERT OLBRICH, (Berlin 1963), "The Molasses", página 13**

Varios informes han sido emitidos en relación con el tipo y el alcance de la infección de la melaza. Las muestras de la melaza de caña tomadas de los tanques de melaza contenían 3000 a 310000 mesofílico bacterias/g (15°C-40°C) y 1200 a 16500 bacterias termófilas (40°C-60°C). El mesófilo organismos prospera durante la dilución de la melaza. Otros han informado de 29-500 million/g melaza; organismos levaduriformes y bacilos predominaron mientras que las micro y diplococos estuvieron presentes en menor número. Organismos productores de amoníaco, sulfuro de hidrógeno, mercaptanos y eran aislado, así como los que dan lugar a butírico, acético y ácido láctico;

También las bacterias desnitrificantes y, en algunos melaza, también bacterias anindolicum coli.

Si se mantienen las temperaturas por encima de 70°C y de trabajo rápido, el metabolismo bacteriano incipiente se impide durante los procesos operativos y las pérdidas de sacarosa se mantienen bajos. Pequeñas cantidades de productos metabólicos que se forman se llevan a través de las etapas de fabricación en la melaza. Estos productos de infección también incluyen los polisacáridos de elevado peso molecular conocidos como dextrano y levulosano que resultan de la acción de Leuconostoc.

Estos microorganismos son nocivos en la fermentación alcohólica, por eso es necesario hacer el tratamiento térmico de pasteurización o esterilización para reducir drásticamente el consorcio bacteriano que tiene e impedir la reducción de los azúcares por la acción de estos contaminantes.

1.2. MATERIA PRIMA: MELAZA

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 en estas materias primas se encuentra como sacarosa, un disacárido que en contacto con agua se hidroliza y genera moléculas libres de glucosa y fructosa, cuya inversión se constituye en el sustrato listo para iniciar la fermentación. (Jacques et al, 1999).

La NORMA ICONTEC 587 de 1994, define como miel final o melaza (no cristalizable) al jarabe o líquido denso y viscoso, separado de la misma masa cocida final y de la cual no es posible cristalizar más azúcar por métodos usuales (ICONTEC, 1994).

La denominación melaza se aplica al efluente final obtenido en la preparación del azúcar mediante una cristalización repetida. El proceso de evaporación y

cristalización es usualmente repetido tres veces hasta el punto en el cual el azúcar invertido y la alta viscosidad de las melazas ya no permitan una cristalización adicional de la sacarosa. (Swan y Karalazos, 1990).

1.2.1. Propiedades físicas y químicas

La miel final o melaza es un líquido denso y viscoso de color oscuro, dulce y olor más o menos agradable que queda como residuo de la fabricación o refinación de la sacarosa procedente de la caña de azúcar. La importancia se debe casi exclusivamente a los carbohidratos, ya que carece de materia grasa y de celulosa

CUADRO N° 03: CARACTERISTICAS DE LA MELAZA

Parámetro	Concentración	Efecto
F/N: Fermentables/No fermentables	0.85 a 1.45 en miel final 1.15 en meladura	Alta relación favorece la fermentación. A mayor valor, permite la recirculación de no fermentables sin afectar el proceso y por lo tanto favorece la recirculación de vinaza.
Sólidos no fermentables	Máximo 17%	No se debe superar este valor porque la fermentación disminuye
Nitrógeno fermentable	200-300 ppm en mieles requerido entre 600 a 800 ppm	El N fermentable es requerido como nutriente de las levaduras en la fermentación.
Sólidos totales	75-80% w/w	Afecta la viscosidad y por lo tanto las propiedades del flujo.
Cenizas inorgánicas totales	7-14%. A mayores concentraciones pueden ocasionar toxicidad a la levadura.	
Ca como sulfato	0.5-4%	Causa incrustaciones. Valores alrededor del 2% se consideran normales.
Sólidos orgánicos precipitables	1.5-4%	Incrementa la presencia de puntos muertos, infección bacterial.
Capacidad buffer pH	4.8-8	Si es muy alto, incrementa los requerimientos de ácido para el proceso.
Características espumante	Prueba cualitativa	Si alto, se incrementa el uso del antiespumante.
Caramelo	0.1-7.0	Inhibe severamente las levaduras, afectan eficiencias y producción de alcohol.
Bacterias y levaduras salvaje	100-50000 UFC/g	Inhibe levadura.
Ácidos volátiles	2500-5000 ppm debe mantenerse en 2000 ppm en fermentador	Retarda el crecimiento de la levadura, la productividad y reduce el rendimiento.
Trazas de sustancias inhibidoras		Se requiere el uso de biocidas. El amonio cuaternario usado en los medios hasta concentraciones de 10 ppm no representa problemas. Existen biocidas que no son biodegradables con la temperatura pero pueden llegar a las mieles o meladura que impiden la fermentación.

Fuente: Gallego Clarita. Influencia de la acidez volátil en el proceso de Fermentación de la planta de alcohol del ingenio Risaralda S.A.

1.2.2. Composición

La composición de las melazas es muy heterogénea y puede variar considerablemente dependiendo de la variedad de caña de azúcar, suelo, clima, periodo de cultivo, eficiencia de la operación de la fábrica, sistema de ebullición del azúcar, tipo y capacidad de los evaporadores, entre otros. Por otro lado, la melaza de caña se caracteriza por tener grados Brix o sólidos disueltos de 68-75% y un pH de 5.0-6.1% (Castro, 1993).

CUADRO N° 04: COMPOSICION APROXIMADA DE LA MELAZA DE LA CAÑA DE AZUCAR

COMPONENTES	CONSTITUYENTES	CONTENIDO (P/P)
Componentes mayores	Materia seca	78%
	Proteínas	3%
	Sacarosa	60-63% p/p
	Azúcares reductores	3-5% p/p
	Sustancias disueltas (diferentes azúcares)	4-8% p/p
	Agua	16%
	Grasas	0.40%
	Cenizas	9%
Contenido de minerales	Calcio	0.74%
	Magnesio	0.35%
	Fósforo	0.08%
	Potasio	3.67%
Contenido de aminoácidos	Glicina	0.10%
	Leucina	0.01%
	Lisina	0.01%
	Treonina	0.06%
	Valina	0.02%
Contenido de vitaminas	Colina	600 ppm
	Niacina	48.86 ppm
	Ácido pantoténico	42.9 ppm
	Piridoxina	44 ppm
	Riboflavina	4.4 ppm
	Tiamina	0.88 ppm

Fuente: Fajardo Castillo E. & Sarmiento Forero S. Evaluación de la melaza de caña como sustrato para la producción de *saccharomyces cerevisiae*

A. Azúcares

Los principales azúcares en la melaza son la sacarosa (60%-63% en peso), la glucosa o dextrosa (6%-9% en peso), y la fructuosa o levulosa (5%-10% en peso); estas dos últimas constituyen la mayor porción de los azúcares reductores encontrados en los análisis. La fructosa puede sufrir transformaciones al igual que la glucosa, debido a reacciones dependientes de la temperatura. El contenido de glucosa y fructosa en las melazas puede variar a causa de la hidrólisis de la sacarosa, a valores de pH ácido y a temperaturas altas (Castro, 1993).

B. No azúcares

Los no azúcares están compuestos por 33% de sustancias inorgánicas (Fe^{3+} , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} , As^{3+} , Cd^{2+} , Hg^+ , Pb^+ y Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}); el 42% corresponde a sustancias nitrogenadas (aminoácidos, péptidos, colorantes); y el 25% a sustancias orgánicas libres de nitrógeno (ácidos carboxílicos, alcoholes, fenoles, ésteres, vitaminas, gomas y dextranos) (Castro, 1993)

C. Cenizas.

En general la composición de las cenizas de las melazas, es cualitativamente similar a la del jugo, del cual se obtiene éstas. Casi todos los análisis publicados, muestran que el contenido de potasa varia alrededor del 40% del peso del carbono total de la ceniza; el contenido de cal es de 10% al 20%, el de sulfatos varía entre el 10% y el 20%, y las sales de magnesio, sodio, aluminio, la sílice, los cloruros, fosfatos y los óxidos de hierro, completan el resto del contenido de cenizas (Castro, 1993).

D. Compuestos nitrogenados

Están constituidos principalmente por aminoácidos mono y dibásicos, amidas ácidas, betaínas y pequeñas cantidades de peptonas y nitratos. Cuando los azúcares reductores, glucosa y fructosa, son sometidos a los procesos de clarificación, en el tratamiento subsiguiente, se producen varias reacciones, siendo la más importante la de los aminoácidos con estos azúcares, en la cual se forman productos coloreados como las melanoidinas y los residuos fermentables a los cuales se les ha encontrado un contenido aproximado de 68% de nitrógeno combinado, en melazas.

El nitrógeno total de las melazas, varía entre 0.4% y 1.5% del peso total de la melaza. La proteína cruda frecuentemente se determina como porcentaje en peso del contenido de nitrógeno (Castro, 1993).

E. Ácidos

El ácido aconítico, es el más abundante de los ácidos orgánicos presentes en la caña que se acumulan en las melazas, representando aproximadamente el 6% del peso de sólidos en la melaza. Los ácidos málico y cítrico están presentes en cantidades apreciables en las melazas, el ácido fórmico está presente como producto de descomposición; la mayoría de estos ácidos son metabolizados por los microorganismos, como fuente de carbono y no presentan problemas de inhibición de crecimiento (Castro, 1993).

F. Vitaminas

Aquellas vitaminas resistentes a acción del calor y de los álcalis, aparecen encontradas en las melazas. La niacina, ácido pantoténico y riboflavina, importantes para el crecimiento microbiano, pueden estar presentes en cantidades significativas y

otras vitaminas lo están en cantidades muy pequeñas (Castro, 1993).

G. Fenoles y compuestos volátiles

Los fenoles presentes en las mieles finales, provienen de la parte fibrosa de la caña, éstos se derivan de los ácidos hidroxicinámico y parahidroxibenzoico.

Es necesario tener en cuenta, que desde el punto de vista de la fermentación, algunos fenoles son indeseables por presentar actividad inhibitoria sobre el crecimiento de los microorganismos, a concentraciones de 0.5 g/L. Los ácidos fenólicos que mayor actividad bacteriostática han demostrado son el cloragénico, el p-cumárico y el telúrico; estos dos últimos son capaces de inhibir totalmente el crecimiento de algunas bacterias (Castro, 1993).

H. Valor Nutricional

Aunque hay muchos reportes sobre el valor nutritivo de las melazas, como ingredientes de las raciones para rumiante, parece haber poca concordancia entre los resultados obtenidos por los diversos investigadores. Aunque algunos de ellos llegan a la conclusión de que el valor nutritivo de las melazas es equivalente a aproximadamente al 85% del maíz en grano (Tocagni, 1981).

Cuando las melazas son suministradas como alimento a novillos de engorde en proporción del 10%, éstas suministran una energía neta relativamente alta (EN). Sin embargo, cuando el nivel es incrementado a 25 y 40%, la EN se reduce en casi 100% (Olsen y Allermann, 1991).

La melaza es portadora de energía de fácil aprovechamiento por el animal, la cual representa del 70 al 75% del valor energético del maíz (Olsen y Allermann, 1991).

1.2.3. Producción de la melaza de la caña de azúcar

Las melazas se obtienen como un subproducto final en la elaboración del azúcar de caña. Brevemente explicaremos los pasos para la obtención de la melaza de azúcar:

A. Almacenamiento

La caña después de ser cortada es llevada a patios de almacenamiento en el ingenio. Este almacenamiento no debe ser muy prolongado, puesto que los efectos del sol disminuyen el rendimiento del jugo, lo mismo que su calidad; por este motivo, debe pasarse a la molienda en el menor tiempo posible después de haber sido cortada: dentro de lo posible debe procurarse que este tiempo no sobrepase las 48 horas para evitar pérdidas (Swan y Karalazos, 1990).

B. Preparación y extracción del jugo

Estas dos operaciones se llevan a cabo en una forma continua, por lo cual generalmente se conoce bajo el nombre de “Extracción del jugo”. Este proceso, se lleva a cabo en una serie de “cuchillas desmenuzadoras y molinos extractores”. La caña es desmenuzada en preparación para la molienda con cuchillas giratorias y desmenuzadoras para facilitar una mejor extracción del jugo (Ospina y Palacios, 1994).

La caña desmenuzada pasa a los molinos donde se efectúa el proceso de extracción del jugo; luego, esta caña es rociada con agua y jugos claros a medida que sale de cada molino, en esta forma se diluye el azúcar que queda en el bagazo a la salida de

cada molino y se obtiene un mayor rendimiento en la extracción. En esta forma, se extrae más del 90% del azúcar que hay en la caña, quedando una parte remanente en el bagazo, el cual va a las calderas como combustible (Ospina y Palacios, 1994).

C. Evaporación

El jugo clarificado pasa a un evaporador de efecto múltiple sin ningún tratamiento previo. Los evaporadores consisten en una serie de techos de vacío, de tal manera que se logre la ebullición a temperatura más baja (Ospina y Palacios, 1994).

D. Cristalización

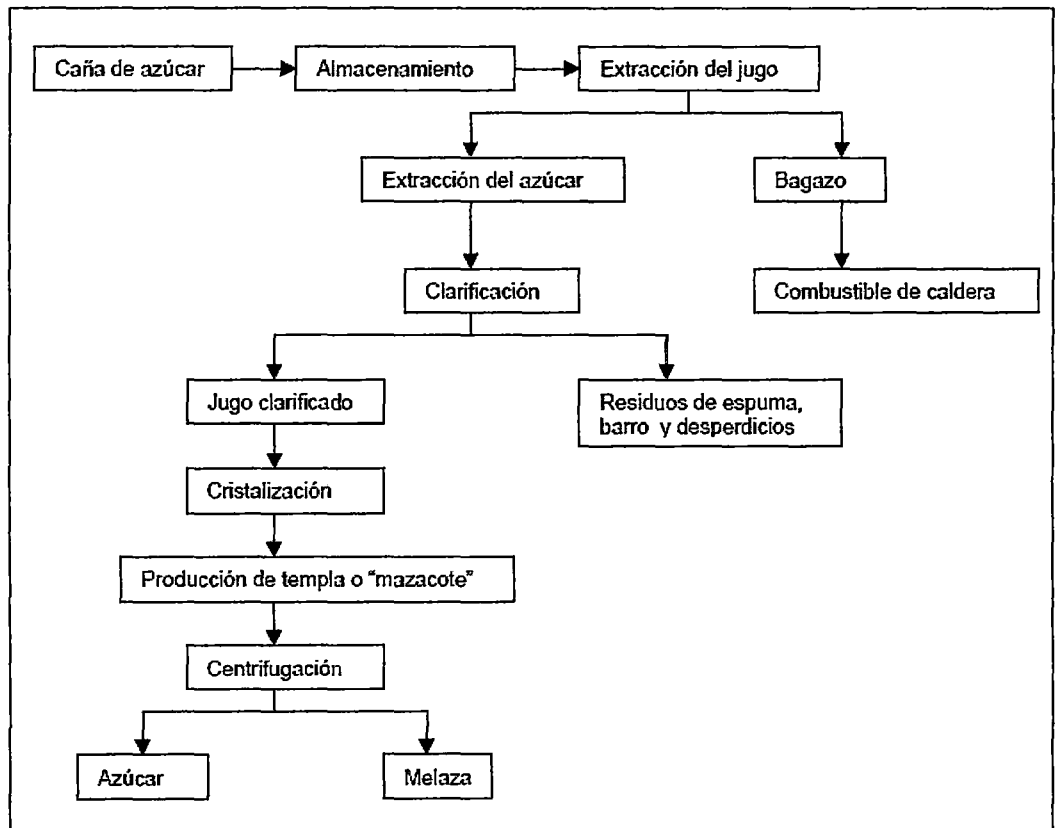
Se hace en tanques de vacío de efecto simple a presión reducida. El jarabe o las aguas madres de cristalizaciones anteriores (melazas), se evaporan hasta su saturación de azúcar; en este punto, los granos son separados de la masa en ebullición y sirven como núcleo para la formación de cristales. El tanque es cargado a medida que el agua se evapora y su contenido de azúcar es depositado sobre los cristales presentes sin la formación de cristales adicionales. En este punto, la mezcla de cristales y jarabe, constituye una masa densa denominada "Templa" (Ospina y Palacios, 1994).

E. Centrifugación

La Templa es derramada sobre un mezclador y de allí pasa a centrifugas verticales de alta velocidad. Los cristales de azúcar son retenidos en la centrifuga y pueden ser lavados con agua si desea. Las aguas madres que se separan, se denominan melazas de primera. Completada la centrifugación, se remueve el azúcar quedando la máquina lista para una nueva carga (Ospina y Palacios, 1994).

El azúcar obtenido pasa a los depósitos para su despacho, mientras que las melazas se envían a un nuevo evaporador y de ahí a la centrifuga "B", donde se obtiene el azúcar y las melazas de segunda. Estas melazas se someten a un proceso similar a los anteriores, obteniéndose en esta oportunidad azúcar de semilla y melazas finales. Estas melazas finales, han sido consideradas en los ingenios como producto sobrante y al cual son muy pocos los usos que se le dan (Ospina y Palacios, 1994).

FIGURA N° 1
PROCESO DE OBTENCION DE LA MELAZA



Fuente: Ariza & Gonzales, 1997. Proceso de obtención de las melazas

1.2.4. Clasificación de la melaza

Varios tipos de melazas están estandarizados en término de grados de Brix. Estos se determinan con el uso de un refractómetro y corresponden muy aproximadamente al porcentaje de materia seca.

Cuando se usa comercialmente, la melaza es generalmente ajustada a aproximadamente 25% de contenido de agua. La melaza de caña no debe de contener menos de 46% de azúcares y una densidad mínima de 79.5°Bx.

CUADRO N° 05: COMPOSICION TIPICA DE UNA MIEL TIPO A

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Grados Brix mín	68
Azúcares totales mín (%m/m)	65
Azúcares no fermentables (%m/m)	<1.0
Sólidos directos (%m/m en base húmeda)	2.0

Fuente: Calderón Nayda. Evaluación de uso de antibióticos como mecanismo para el control de contaminantes bacterianos en la fermentación para la producción de alcohol etílico.

CUADRO N° 06: COMPOSICION TIPICA DE UNA MIEL TIPO B

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Grados Brix promedio	70-75
Azúcares totales mín (%m/m)	57
Azúcares no fermentables (%m/m)	<1.0
Sólidos directos (%m/m en base húmeda)	2.0-3.0

Fuente: Calderón Nayda. Evaluación de uso de antibióticos como mecanismo para el control de contaminantes bacterianos en la fermentación para la producción de alcohol etílico.

CUADRO N° 07: COMPOSICION TIPICA DE UNA MIEL TIPO C

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES
Grados Brix mín	85
Azúcares totales mín (%m/m)	48
Azúcares no fermentables (%m/m)	<5.0
Cenizas máx (%m/m)	16.0

Fuente: Calderón Nayda. Evaluación de uso de antibióticos como mecanismo para el control de contaminantes bacterianos en la fermentación para la producción de alcohol etílico.

1.2.5. Propiedades físico-químicas

A. Viscosidad

Las relaciones entre concentración y viscosidad para soluciones de azúcar pura son igualmente válidas para las melazas. La viscosidad de las soluciones saturadas de azúcar impuro, aumenta rápidamente con el contenido de impurezas debido al incremento de la concentración de sólidos.

El efecto de las sales minerales sobre la viscosidad de las soluciones de azúcar es variable. Un enriquecimiento de iones Ca^{2+} aumenta la viscosidad, mientras que un incremento de iones K^+ , la disminuye (Swan y Karalazos, 1990).

Los compuestos orgánicos no azúcares, tienen un profundo efecto sobre la viscosidad, pues los componentes de alto peso molecular pueden incrementarla considerablemente (Swan y Karalazos, 1990).

La aireación influye marcadamente sobre la viscosidad aparente de las soluciones de azúcar, y si se disminuye el contenido de aire en las melazas, disminuye la viscosidad (Swan y Karalazos, 1990).

El efecto de las variaciones del pH sobre la viscosidad de las soluciones de azúcar es insignificante, excepto cuando el pH es superior a 11; en este caso, la viscosidad aumenta. El efecto de la concentración y la temperatura sobre la viscosidad de las melazas, tiene importancia práctica en la cantidad de melaza que fluye por las tuberías y bombas, así como la descarga por gravedad natural, o el desplazamiento por la fuerza centrífuga. Si se considera que la viscosidad de las melazas decrece a una temperatura dada, con una disminución de la concentración, y también cuando la concentración es constante y la temperatura aumenta (Swan y Karalazos, 1990).

La región de viscosidad crítica en la melaza de caña, está en un intervalo de concentraciones en grados Brix entre 81 y 85. Esto significa

que un aumento de solo algunas décimas en el valor de la concentración, determina un incremento notable en la viscosidad (Swan y Karalazos, 1990).

B. El pH

Las melazas de caña son ligeramente ácidas, tienen un pH entre 5.5 y 6.5; un pH bajo es atribuible a la presencia de ácidos alifáticos y al bajo pH de la clarificación, si es ácida (Swan y Karalazos, 1990).

La acción estabilizadora del pH tiene efecto sobre la melaza para resistir la adición de ácidos o álcalis, sin cambiar su naturaleza ácida básica. En la melaza la acción estabilizadora depende del contenido de no azúcares y de las características de la melaza (Swan y Karalazos, 1990).

La estabilización del pH en las melazas de caña tiene un patrón uniforme, es decir, no existen variaciones irregulares debidas a relaciones de cambio de peso entre las sustancias que intervienen, por lo tanto la actividad estabilizadora se modifica (Swan y Karalazos, 1990).

C. Calor específico y conductibilidad térmica

En las soluciones de azúcar, el calor específico depende de la temperatura de la concentración y de la composición. Se ha comprobado, que el calor específico disminuye al aumentar la concentración de las soluciones impuras de azúcar; es necesario conocer el calor específico de las melazas para calcular la transferencia de calor durante el calentamiento o enfriamiento (Swan y Karalazos, 1990).

D. Densidad

En la práctica la densidad se determina mediante equivalencia con la concentración en grados Brix. Además, para su determinación se usan tres instrumentos densimétricos: el hidrómetro, la balanza de Westphal y el picnómetro, de los cuales el primero es el más utilizado (Swan y Karalazos, 1990).

1.2.6. Tratamiento previo de la melaza antes de la fermentación

Esta etapa se utiliza para la reducción del nivel de impurezas en la melaza.

Los resultados del tratamiento de la melaza en disminución del nivel de sustancias inhibidoras como Ca, Cu, Fe y en la melaza solución que mejora la producción de etanol y compuestos de calcio que altamente afectar a la eficiencia de la planta mediante la formación en las áreas de superficie de calentamiento de escala los equipos en los procesos posteriores.

A. Esterilización

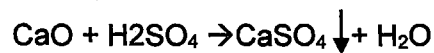
Las melazas pueden contener microorganismos que pueden ser nocivos para la fermentación. El más común es la bacteria *Leuconostoc mesenteroides*, el cual polimeriza las moléculas de sacarosa en dextranos no fermentables (Biocombustibles, 2007).

B. Dilución

La altísima concentración de azúcares y sales presentes en las melazas impiden que los microorganismos puedan fermentarlas, debido a la gran presión osmótica que generan sobre sus paredes celulares; asimismo, las melazas son altamente viscosas, y su manipulación es difícil en estas condiciones. Por estas razones, es necesario diluir las melazas; para ello, se les agrega agua, hasta obtener diluciones de 25°Bx o menores; a valores mayores se tiene

el riesgo de inicios lentos de fermentación y contaminación bacteriana (Biocombustibles, 2007).

Bajo el efecto de la temperatura y la acidificación, sulfato de calcio (CaSO_4) precipitación, floculación coloidal de larga cadena, y la insolubilización de gomas y ceras, reacciones tienen lugar dentro de la melaza.



Entonces, el sulfato de calcio precipitado se separa de la melaza claras por procesos de decantación.

C. Adición de nutrientes.

El uso de sustratos impuros como melazas de caña, constituye un medio complejo dado que contiene micro elementos y vitaminas que no deben ser adicionados durante la fermentación excepto las fuentes elementales de nitrógeno y fósforo para obtener óptimos resultados, contrario a otros sustratos que por su pureza deben ser suplementadas con micronutrientes especiales.

El nitrógeno necesario en la fermentación puede ser adicionado en forma de urea, sulfato de amonio, entre otras, teniendo en cuenta que sean de bajo peso molecular pues las levaduras no generan proteasas para degradar fuentes de nitrógeno orgánicas complejas.

La fuente de nitrógeno más utilizada es la urea, pues las sales de amonio puede causar incrustaciones por la formación de compuestos secundarios y el amonio líquido puede elevar el pH favoreciendo la contaminación (Acevedo et al, 2003).

En el caso de la producción de alcohol para bebidas alcohólicas no se recomienda el uso de úrea pues se ha demostrado que esta conlleva a la formación de etilcarbamato, compuesto carcinogénico indeseable (Acevedo et al, 2003).

Por su parte, el fósforo es adicionado en forma de fosfato diamónico por su demostrada facilidad de absorción por parte de la levadura favoreciendo, al igual que la fuente de nitrógeno, su desarrollo celular (Acevedo et al, 2003).

En el caso de mieles de caña puras la situación cambia porque este tipo de componentes se encuentran en concentraciones bajas por lo tanto deben adicionarse en mayores cantidades elementos como nitrógeno, fósforo y algunas trazas de elementos como el zinc. (Acevedo et al, 2003).

1.2.7. Ventajas del uso de melazas de caña como sustrato

Dentro de las ventajas del uso de melazas como material está la posibilidad de manejo a través de tuberías, la capacidad de almacenamiento durante periodos de tiempo considerables, su viable esterilización por inyección de vapor, su contenido de vitaminas y minerales que contribuyen a la nutrición del microorganismo, su bajo precio pues se constituyen como subproducto de la industria azucarera y permiten altos rendimientos de alcohol en corto tiempo, todo esto siempre y cuando se suministren las condiciones necesarias y adecuadas para su aprovechamiento (Mohamed 1996).

CUADRO N° 08: ASPECTOS POSITIVOS DE LA MELAZA DE CAÑA

PROPIEDAD	CONTENIDO	EFEECTO
Azúcares fermentables	37-52%	Decide producción de alcohol y costos de materia prima por litro.
Relación Azúcares Fermentables a No Fermentables (F:N)	0.85-1.45%	A mayor relación, mayor velocidad de fermentación.
Nitrógeno Fermentable	200-3000 ppm	Fomenta el crecimiento de la levadura y la producción de alcohol.
Vitaminas naturales (Específicamente complejo B)	Trazas	Vital para el crecimiento de la levadura, su carencia reduce la productividad.
Trazas de nutrientes vitales	Trazas	Vital para enzimas, fomenta la producción de alcohol.

Fuente: influencia de la acidez volátil en el proceso de fermentación de la planta de alcohol del ingenio Risaralda S.A.

CUADRO N° 09: ASPECTOS NEGATIVOS DE LA MELAZA DE CAÑA

PROPIEDAD	CONTENIDO	EFEECTO
Sólidos totales	72-80%	Afecta la viscosidad y las propiedades de flujo en climas fríos
Ceniza inorgánica total	7-14%	Altos niveles causa toxicidad salina a la levadura
Calcio (como sulfatos)	0.5-4%	Genera incrustación dura y mayores tiempos perdidos para la limpieza.
Lodos orgánicos precipitables	1.5-4%	Incrementa ahogamiento/ puntos muertos que alojan población microbiana.
Capacidad buffer	4.8-8.0 pH	Si es alta, incrementa los requerimientos del ácido para el proceso.
Capacidad de espumación	Cualitativa	Incrementa al consumo de antiincrustante para el proceso.
Caramelo (furfural, Hidroximetilfurfural)	0.1-0.7 O.D.	Inhibe la levadura y la producción de alcohol; las eficiencias.
Bacterias y levadura silvestre	100-50.000 unid/gr	Inhibe la levadura, produce Acidez volátil; afecta a la fermentación.
Acidez volátil	4000-15000 ppm	Retarda el crecimiento de la levadura; afecta la productibilidad del alcohol.
Sustancias inhibidoras	Trazas	Biocidas, Zn, Pb

Fuente: influencia de la acidez volátil en el proceso de fermentación de la planta de alcohol del ingenio
Risaralda S.A.

1.2.8. Contaminación bacteriana de la 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 (Ruckle 2005).

1.2.8.1. FUENTES DE CONTAMINACION

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 la fermentación alcohólica (Jacques et al, 1999).

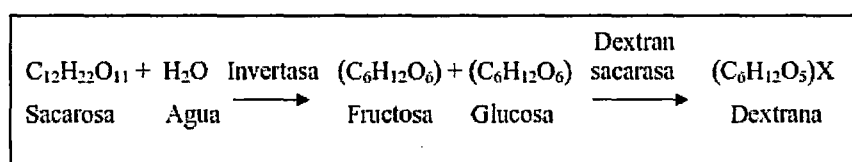
Igualmente, los residuos de materia prima que se adhieren a las líneas y la recirculación y/o la propagación continua de levadura, favorecen la contaminación pues se proporcionan constantemente las condiciones adecuadas para el crecimiento microbiano, la inoculación de bacterias paralelo a la levadura en los fermentadores constituye quizás uno de los más graves problemas en las destilerías, pues después que un tipo bacterial 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 (Bellissimi & Ingledew, 2004).

➤ Pérdidas de Sacarosa

Una vez ocurre el corte de caña y se deterioran las estructuras vegetales externas que sirven de protección, inician las pérdidas de sacarosa a causa de altas temperaturas, causas o reacciones químicas, deficiencias operativas y por supuesto por acción microbiana, más aún en épocas de lluvia, donde la humedad favorece el desarrollo de microorganismos indeseables. (Ravelo et al, 1991).

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 mesenteroides*, el cual induce la inversión y descompone la glucosa en diversos productos como ácido acético y/o láctico, los cuales disminuyen el pH del jugo o miel, además de producir la enzima dextran sacarasa, la cual ocasiona la polimerización de unidades de glucosa produciéndose la llamada dextrana cuya reacción se muestra a continuación:



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 (Mibielli & Filho 1999).

En cuanto a la acción térmica como tratamiento a los jugos de caña, ésta 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 constituyen 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 en fermentación para la producción de alcohol (Mibielli & Filho 1999).

➤ **Bacterias 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 y 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 bacterias lácticas pueden dividirse en dos grupos según los productos resultantes de la fermentación de glucosa (Jacques et al, 1999).

1.2.9. Tratamiento de la 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 ingresa al proceso (Koizumi, 2005).

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 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 (Koizumi 2005).

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 complementar el tratamiento. En general, se recomienda hacer una rotación de los mismos (antibióticos) para evitar la generación de dicha resistencia (Koizumi 2005).

1.2.10. Usos generales de la melaza de caña

A. Productos alimenticios

La melaza se emplea en la preparación de ciertos alimentos hechos con cereales, es un ingrediente de algunos sustitutivos del café, la melaza tostada con achicoria hace una bebida bastante aceptable, consumo directo para el ganado como fuente de carbohidratos y como agente aglutinante.

También se la utiliza para la obtención de panela, azúcar refinada y otros productos de fermentación, como la levadura para panificación.

B. Técnicos e industriales

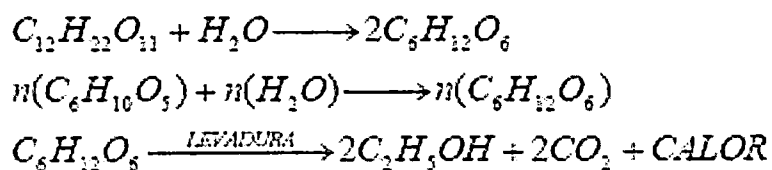
Se emplea la melaza como materia prima en la elaboración de alcohol etílico, butírico, i-butanol, ácido acético, cítrico, orgánicos, acetona, ron, levadura; como deshidratante en los proceso de clarificación de los minerales; como combustible; para aromatizar el tabaco; para eliminar incrustaciones y herrumbre; complemento alimenticio para la ganadería y avicultura, entre otros usos.

1.3. FERMENTACION ALCOHOLICA

1.3.1. Proceso de fermentación

El papel esencial de la fermentación alcohólica es formar de manera óptima el etanol y los productos secundarios. La fermentación alcohólica es el proceso por el que los azucares contenidos en el mosto se convierten en alcohol etílico. (www.diccionariodelvino.com, 2005) Para llevar a cabo este proceso es necesaria la presencia de levaduras.

La reacción bioquímica que se lleva a cabo en la fermentación alcohólica se muestra a continuación:



La estequiometría de la reacción establece que por cada 100 gramos de glucosa/fructosa que se consumen, se obtienen 51.1 gramos de alcohol etílico. Sin embargo, la máxima eficiencia que se logra en el fermentador está alrededor del 87% al 89% pues coexisten reacciones adversas que impiden aprovechar completamente los azúcares.

1.3.2. Factores que afectan a la levadura en la fermentación alcohólica

La levadura, por ser un ser vivo, requiere de condiciones apropiadas en el medio para que su desempeño sea satisfactorio. Este microorganismo es altamente sensible a cambios de temperatura, pH, materia prima, presencia y calidad de los nutrientes, concentración de sales, condiciones de higiene y asepsia, variedad de la caña y concentración de alcohol, entre otros.

A. Materia Prima

La materia prima utilizada en el ingenio para la producción de etanol puede ser obtenida de diferentes etapas en el proceso de elaboración del azúcar. Puede utilizar jugo clarificado, meladura clarificada o sin clarificar, miel de segunda extracción (Miel B), o cualquier combinación entre estas corrientes. La diferencia fundamental entre estas corrientes está en el contenido de sacarosa, glucosa y fructosa. La levadura consume glucosa y fructosa, los dos monosacáridos que conforman la sacarosa, la cual se desdobla por medio de la acción de una enzima (la invertasa contenida en la levadura) y por la inversión ácida de la sacarosa.

CUADRO N° 10: PARÁMETROS A TENER EN CUENTA EN LA FERMENTACIÓN

COMPONENTE	CONCENTRACION %	OBSERVACIONES
Azúcares fermentables		
Sacarosa	25 - 32	Favorecen
Glucosa	6 - 7	Favorecen
Fructosa	7 - 9	Favorecen
Sales		
Mg, Na, SO ₄ , Mn, Fe, Al, etc.	2.4 - 3.4	Favorecen
Ca, K, Si		Inhibidores
Otros compuestos orgánicos		
Proteínas, compuestos y nitrogenados	1 - 3	Favorecen
Grasas, esteroides, fosfolípidos	0.4 - 1	Favorecen
Ácidos orgánicos especialmente aconítico y láctico	3 - 4	Inhibidores
Ácidos volátiles (acético, propiónico, butírico, valérico)	0.5 - 2	Inhibidores

Fuente: Gallego Clarita. Influencia de la acidez volátil en el proceso de Fermentación de la planta de alcohol del ingenio Risaralda S.A.

En este sentido, la caña de azúcar representa el origen común de estas materia primas por lo que, los nutrientes obtenidos por ésta durante su vida, son transferidos directamente a los jugos y mieles que se obtienen en las diferentes etapas del proceso de producción de azúcar. Por todo lo anterior, se debe prestar especial atención en el campo y en la fábrica con la adición de los diferentes biocidas, pesticidas, nutrientes y madurantes, al igual que los aditivos como la cal, azufre, floculantes y blanqueadores para evitar efectos negativos en la etapa de fermentación. En este punto cabe mencionar que la formación de caramelos, debido a la exposición de mieles a altas temperaturas, también afecta negativamente el proceso de fermentación.

En el Cuadro N° 8 se describen los diferentes elementos provenientes de los jugos y mieles que afectan la levadura y las concentraciones y la forma cómo la favorecen o la desfavorecen.

B. Almacenamiento de la materia prima

El jugo diluido y la meladura están expuestos a la contaminación bacteriana debido a que poseen baja presión osmótica, baja viscosidad y alta concentración de azúcares. Por este motivo, al cabo de un par de horas, se inicia la acción bacteriana sobre ellas. Estas bacterias llegan al fermentador y compiten con la levadura por los azúcares y los nutrientes.

Debido a que el tiempo de duplicación de las bacterias está alrededor de 20 minutos, mientras que el de la levadura está entre dos y tres horas, se produce una alta concentración si estas dos materias primas no son esterilizadas.

De otro lado, en la miel B y en la miel C (segunda y tercera extracción respectivamente), por manejar altas viscosidades, la sensibilidad a la penetración bacteriana es menor y, pese a que poseen alta concentración de azúcares, se pueden almacenar en condiciones adecuadas. La miel C puede llegar a almacenarse por meses sin ningún problema y la miel B hasta por 50 días. Si estas mieles se almacenan a más de 40°C pueden formar caramelos no deseados en el proceso.

La materia prima para el inicio del proceso de propagación de la levadura en el laboratorio se desea de alta calidad, por ello se prefiere que sea meladura clarificada y esterilizada. Para la etapa de propagación en planta se prefiere utilizar meladura y miel de segunda extracción (miel B).

C. Azúcares fermentables

Como se indicó en el metabolismo de la levadura, la glucosa es la fuente de energía que ella toma para transformarla, bien sea en su reproducción o en la fermentación. Se consideran como azúcares fermentables la sacarosa (compuesta de una molécula de glucosa y una de fructosa), la glucosa y la fructosa, pues son los únicos azúcares que la levadura fermenta, convirtiéndolas en alcohol.

La concentración de azúcares fermentables debe ser alta, con el fin de incrementar la producción de alcohol y disminuir la cantidad de subproductos como la vinaza; pero tiene un límite máximo a partir del cual inhibe la levadura debido a que aumenta la presión osmótica del medio de cultivo; esto depende de la levadura utilizada.

D. Contenido total de materia orgánica

La materia orgánica está representada por el contenido de proteínas, almidones, dextranas, ácidos, azúcares no fermentables, xilosa, arabinosa y polímeros.

Los azúcares no fermentables son los azúcares como las pentosas, xilosas y sólidos que la levadura no puede fermentar, pues su metabolismo no está estructurado para asimilarlas. El contenido de azúcares no fermentables varía dependiendo de la variedad de la caña. Un parámetro importante para tener en cuenta es la relación entre azúcares fermentables y azúcares no fermentables (F/N) este valor puede variar entre 0.7 y 2.7; mientras más alto sea este valor, más eficiente será la fermentación.

E. Contenido total de materia inorgánica y cenizas

Las sales disueltas afectan la presión osmótica del medio de cultivo y por ende de la levadura, disminuyendo la actividad de la misma, por ello se requiere un bajo contenido de cenizas en las mieles a utilizar. Los elementos que conforman la materia inorgánica son: calcio, potasio, sílice, hierro, manganeso, óxidos, nitratos, compuestos clorados. Generalmente las mieles con alta relación de azúcares fermentables a azúcares no fermentables poseen bajo contenido de ceniza.

F. Contenido de sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables poseen sulfatos de calcio y magnesio, algunas proteínas y células muertas. Un alto contenido de sólidos sedimentables supone problemas de precipitación y de lodos.

Adicionalmente, y considerando que el proceso de destilación se desarrolla a temperaturas relativamente altas, puede ocurrir la

incrustación de estas sales en los rehervidores y demás equipos del proceso de destilación.

G. pH

Todos los microorganismos tienen un pH ideal para desarrollarse y crecer. El pH en la fermentación debe mantenerse entre 4.0 y 4.7 para obtener una actividad óptima de la levadura y reducir la actividad microbiana de bacterias indeseadas. El pH de la fermentación debe ajustarse con ácido sulfúrico si es necesario. Debe tenerse en cuenta que sobre este parámetro tiene incidencia directa la capacidad buffer de la melaza.

H. Temperatura

La temperatura es uno de los factores críticos para que el progreso de la fermentación sea apropiado. La reacción de generación de alcohol es exotérmica, es decir, genera calor continuamente y este calor debe ser retirado.

Cada tipo de levadura tiene una temperatura óptima para su correcto desempeño la cual varía entre 30°C y 35°C. Incrementos de la temperatura reducen la actividad enzimática de la levadura, y por ende la fermentación se hace lenta.

Asimismo, por encima de 35°C hay desarrollo de bacterias mesófilas indeseadas.

I. Acidez volátil orgánica

La acidez volátil se refiere principalmente a la presencia de ácido acético, ácido propiónico, ácido valérico, ácido isovalérico, ácido

isobutírico y ácido butírico. Los ácidos son tóxicos para la levadura, disminuyen su actividad y pueden causar su muerte. Un alto contenido de estos ácidos incrementa el tiempo de fermentación, y genera subproductos por las reacciones colaterales con el azúcar, disminuyendo la eficiencia de la fermentación. Adicionalmente, el incremento en acidez volátil es un indicador de la presencia de bacterias en la fermentación.

Normalmente, se pueden encontrar mieles con acidez volátil entre 500 ppm y 2500 ppm. Los valores máximos a aceptar para este parámetro, sin que afecten notablemente la actividad de la levadura, están entre 2500 ppm y 5000 ppm.

J. Contenido de caramelos

Los caramelos se forman por la exposición de los azúcares, durante un tiempo prolongado, a altas temperaturas. Los caramelos colorean las mieles generando un color café oscuro. Se ha observado que altos contenidos de caramelos en las mieles pueden retardar al doble de tiempo la fermentación.

K. Contenido de bacterias

El contenido de bacterias se define como el número de unidades formadoras de colonias (UFC) por ml. Comúnmente se pueden encontrar valores entre 1×10^2 UFC– 1×10^3 UFC cuando se inicia la fermentación. Por ser de un tamaño menor que el de la levadura, deben observarse al microscopio con un lente de orden de 100X. Las bacterias se reproducen más rápidamente que la levadura y compiten por el azúcar, causando disminución en el rendimiento del alcohol y generando subproductos indeseados.

L. Sodio

La mayoría de los equipos utilizados en el área de fermentación se limpian con una solución de hidróxido de sodio (NaOH). Esta solución debe retirarse completamente después de la limpieza debido a que los residuos de sodio causan cambios indeseados en la morfología de la levadura, observándose más ovalada de lo normal y ocasionando cambios genéticos en ésta.

M. Relación Carbono/Nitrógeno

El contenido de nitrógeno, al igual que el contenido de la fuente de energía o carbono, son de mucha importancia en la fermentación. El nitrógeno es necesario para la generación de proteínas constituyentes de las células, es decir de la levadura. Este nitrógeno es adicionado al medio de cultivo como urea cuando el etanol que se va a producir no es de consumo humano; de lo contrario, se recomienda utilizar Difosfato de Amonio (DAP) como fuente de nitrógeno.

N. Contenido celular

Cuando el reactor tiene un alto contenido celular, la fermentación se torna más eficiente, pues son más células trabajando para producir etanol. El contenido de células en un sistema sin recirculación debe ser del orden de 80×10^6 cell/ml a 100×10^6 cell/ml (células por mililitro). En sistemas con recirculación debe ser del orden de 350×10^6 cell/ml para incrementar la productividad de la fermentación, es decir, se disminuye el tiempo de fermentación.

O. Tiempo de residencia

En procesos continuos, el tiempo de residencia es el tiempo de permanencia de una partícula que ingresa al interior de un recipiente antes de ser evacuada por la corriente de descarga. En particular, la expresión matemática que le corresponde es el volumen del fermentador dividido por el flujo de salida.

Cada sistema de fermentación está diseñado para un tiempo de fermentación determinado; la prolongación de este tiempo de fermentación puede generar.

P. Agitación en el fermentador

Por medio de agitadores se mejora la transferencia de nutrientes entre el medio y la levadura homogenizando el medio en los fermentadores. El CO₂ que se genera en la fermentación también ayuda a la agitación de la mezcla y a mantener las partículas en suspensión.

Q. Concentración de etanol

La tolerancia a la concentración de alcohol depende del tipo de levadura, esta puede variar desde un 5% v/v a 23% v/v (volumen a volumen). El etanol afecta negativamente la pared celular y las enzimas intracelulares de la levadura.

1.4. PRODUCCIÓN DE ALCOHOL ETÍLICO

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

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

$$RT = \text{Total de azúcar fermentable} \times 0.64 *$$

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

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

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

CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS

2.1. ÁREA DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Laboratorio y área de fermentación de la Destilería Naylamp E.I.R.L.

La fase experimental tuvo una duración efectiva de 16 semanas, entre los meses de Noviembre del 2014 y Febrero del 2015.

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

2.2.1. Población

Melaza de la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A. – Lambayeque.

Este proyecto de investigación se rige según datos de análisis de la melaza expuestos por el laboratorio de la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A.

2.2.2. Muestra

Muestras de melaza (333 g de melaza/muestra) a distintas concentraciones de pH con 5 g de levadura fleischmann seca instantánea.

2.3. MATERIALES Y EQUIPOS

- Melaza
- Ácido sulfúrico
- Floculante AT-50
- Agua destilada
- Agitador de vidrio
- Frascos
- Matraces
- Pera de succión
- Pipetas
- Pisceta
- Probetas de 250 ml

- Tubos de ensayo
- Vasos de precipitación
- Alcoholímetro
- Balanza electrónica
- Centrífuga
- Cocina
- Densímetro (°Bé)
- Equipo de destilación
- Incubadora
- pH metro
- Termómetro

2.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para la realización de este experimento se separó 25 Kg de melaza de la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A., se almacenó en un balde esterilizado y bajo sombra.

TABLA N°01
Análisis de miel final

ANALISIS DE MIEL FINAL	%
Miel Final Brix Real	89.5
Miel Final Sacarosa Real	37.1
Miel Final Reductores	13.96
Miel Final, Cenizas Sul	12.45
Miel Final Azucares Totales	51.06

Fuente: Laboratorio de la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A.

TABLA N°02
Azúcares invertidos de la melaza

AZÚCARES INVERTIDOS DE LA MELAZA	%
Sacarosa	39.05
Reductores	13.96
Azucars Totales como invertidos	53.01

Fuente: Laboratorio de la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A.

2.4.1. Prueba fermentativa de melaza sin tratar

A. Preparación del mosto

El objetivo de este procedimiento fue acondicionar la melaza para una eficiente fermentación. Para esto se realizó el siguiente procedimiento:

➤ Dilución

La materia prima (melaza de caña de azúcar) procedente de la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A. se mezcla con agua destilada.

La cantidad de melaza utilizada en cada muestra fue de 333 g de melaza con agua destilada hasta un 950 ml para obtener un aproximado de 15°Bé y un aproximado de 27°Bx requerido en cada prueba. Se realizaron 60 muestras.

➤ Acidificación

Se le agrego ácido sulfúrico al 98%. Las cantidades adicionadas fueron 0.1, 0.2 y 0.3 ml de ácido sulfúrico/litro de mosto obteniendo pH de 5.5, 5.3 y 5.2 respectivamente. Completar hasta un volumen de 1000 ml.

B. Preparación del Cultivo de la Levadura

El objetivo de este procedimiento fue activar la levadura para que realice una eficiente fermentación. Para esto se realizó el siguiente procedimiento:

➤ Dilución de la levadura

Se mezcla 5 g de levadura seca activa/litro de mosto con 150 ml de mosto, a una temperatura de 34°C. Se dejó reposar por 1 hora, manteniendo la misma temperatura. Se utilizó levadura seca instantánea Fleischmann.

C. Fermentación

Esta se inició, cuando se adicionó la levadura al mosto, ambos a temperatura de 34°C y una alimentación de aproximadamente 15°Bé (aproximadamente 27°Bx). La formación de alcohol se debe a la transformación del azúcar, evidentemente el °Bé fue disminuyendo hasta obtener aproximadamente 5°Bé, para iniciar la destilación. La fermentación tuvo una duración de 72 h

D. Destilación

El mosto fermentado es llevado a un equipo de destilación del Laboratorio de la Destilería Naylamp E.I.R.L. Al destilado recogido se le midió su % de alcohol en mosto utilizando un hidrómetro.

E. Método de análisis

El método de análisis que se empleó para el desarrollo del trabajo de investigación se presenta a continuación: Al terminar la destilación de cada muestra se procedió a medir el % de alcohol en mosto para poder obtener la eficiencia fermentativa.

$$Eficiencia\ fermentativa = \frac{\% Alcohol \times V \times 100}{PM \times \% AT \times F \times 10^{-3} Tn}$$

% Alcohol: Por ciento de alcohol en volumen

V: volumen de la muestra que entró a fermentación.

PM: Peso de muestra en kg

%AT: Azúcares totales

F: Factor de litros de alcohol etílico/TM de melaza: 643.4

2.4.2. Prueba fermentativa de melaza tratada o clarificada.

A. Preparación del mosto

El objetivo de este procedimiento fue acondicionar la melaza para una eficiente fermentación. Para esto se realizó el siguiente procedimiento:

➤ Dilución

La materia prima (melaza de caña de azúcar) procedente de la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A. se mezcla con agua destilada. La cantidad de melaza utilizada en cada muestra fue de 333 g y se diluye con 333 g de agua, obteniendo una alimentación de aproximadamente 25°Bé (aproximadamente 45°Bx) requerido en cada prueba. Se realizaron 60 muestras.

➤ Acidificación

Se le agrego ácido sulfúrico al 98%. Las cantidades adicionadas fueron 0.1, 0.2 y 0.3 ml de ácido sulfúrico/litro de mosto obteniendo pH de 5.5, 5.3 y 5.2 respectivamente. Completar hasta un volumen de 1000 ml.

B. Esterilización

La muestra es calentada a una temperatura de 80°C

C. Adición del floculante

Se adiciona a la muestra 5 ppm de floculante. El floculante que se utilizó fue AT50.

D. Sedimentación

Se colocó la muestra en probetas de 250 ml durante 3 horas con el fin que los sólidos de la melaza sedimenten.

E. Centrifugación

Se procede a verter la muestra clarificada a un vaso precipitado y centrifugar el sólido. Se registra los ml de lodo para determinar el volumen de melaza clarificada.

F. Preparación del Cultivo de la Levadura

El objetivo de este procedimiento fue activar la levadura para que realice una eficiente fermentación. Para esto se realizó el siguiente procedimiento:

➤ Dilución de la levadura

Se mezcla 5 g de levadura seca activa con 150 ml de mosto, a una temperatura de 34°C. Se dejó reposar por 1 hora, manteniendo la misma temperatura. Se utilizó levadura seca instantánea Fleischmann.

G. Fermentación

Esta se inició, cuando se adicionó la levadura al mosto, ambos a temperatura de 34°C y una alimentación de aproximadamente 25°Bé (aproximadamente 45°Bx). La formación de alcohol se debe a la transformación del azúcar, evidentemente el °Bé fue disminuyendo para iniciar la destilación. La fermentación tuvo una duración de 72 h.

H. Destilación

El mosto fermentado es llevado a un equipo de destilación del Laboratorio de la Destilería Naylamp E.I.R.L. Al destilado recogido se le midió su % de alcohol en mosto utilizando un hidrómetro.

I. Método de análisis

El método de análisis que se empleó para el desarrollo del trabajo de investigación se presenta a continuación:

Al terminar la destilación de cada muestra se procedió a medir el % de alcohol en mosto para poder obtener la eficiencia fermentativa.

$$Eficiencia\ fermentativa = \frac{\% Alcohol \times V \times 100}{PM \times \% AT \times F \times 10^{-3} Tn}$$

% Alcohol: Por ciento de alcohol en volumen

V: volumen de la muestra que entró a fermentación.

PM: Peso de muestra en kg

%AT: Azúcares totales

F: Factor de litros de alcohol etílico/TM de melaza: 643.4

2.5. VARIABLES DE ESTUDIO

2.5.1. Variable Independiente

Tipo de tratamiento de la melaza: Melaza clarificada y melaza sin clarificar.

2.5.2. Variable Dependiente

Eficiencia de fermentación (en %).

2.5.3. Variable Intermitente

Concentración de pH.

2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza del diseño factorial con dos variables.

Ho= El porcentaje de eficiencia de fermentación será el mismo bajo las diferentes concentraciones de pH.

Hi= El porcentaje de eficiencia de fermentación no será el mismo bajo las diferentes concentraciones de pH.

Ho= Sea cual sea el tipo de tratamiento de la melaza el porcentaje de eficiencia de fermentación será el mismo.

Hi= Sea cual sea el tipo de tratamiento de la melaza el porcentaje de eficiencia de fermentación no será el mismo.

Ho= Sí existe interacción entre la concentración de pH y el tipo de tratamiento de la melaza con respecto al porcentaje de eficiencia de fermentación.

Hi= No existe interacción entre la concentración de pH y el tipo de tratamiento de la melaza con respecto al porcentaje de eficiencia de fermentación.

CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. PROMEDIO DE LA EFICIENCIA DE FERMENTACION PARA LA MELAZA SIN CLARIFICAR

Aplicando la estadística al utilizar las variaciones según el pH de la muestra, se obtuvo lo siguiente:

- Utilizando melaza sin clarificar a una concentración de pH=5.5, se obtuvo un promedio 81.36% de eficiencia de fermentación; un mínimo y un máximo de 80.12 y 81.88 % de eficiencia de fermentación respectivamente.
- Utilizando melaza sin clarificar a una concentración de pH=5.3, se obtuvo un promedio 82.50% de eficiencia de fermentación; un mínimo y un máximo de 81.88 y 83.65 % de eficiencia de fermentación respectivamente.
- Utilizando melaza sin clarificar a una concentración de pH=5.2, se obtuvo un promedio 82.98% de eficiencia de fermentación; un mínimo y un máximo de 81.88 y 83.65 % de eficiencia de fermentación respectivamente.

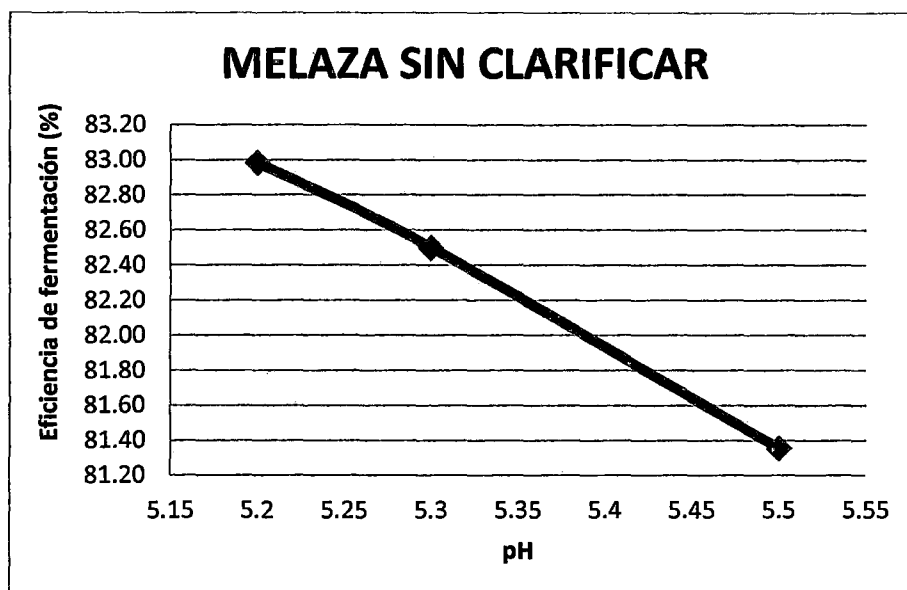
TABLA N °03

Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH para la Melaza sin clarificar

TIPO DE TRATAMIENTO	MELAZA SIN CLARIFICAR		
pH	5.5	5.3	5.2
PROMEDIO	81.36	82.50	82.98
MÍNIMO	80.12	81.88	81.88
MÁXIMO	81.88	83.65	83.65

Fuente: La autora

GRÁFICO N°01
Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH
para la Melaza sin clarificar



Fuente: La autora

INTERPRETACIÓN:

En el grafico N° 1 se puede observar el comportamiento de la eficiencia de fermentación (%) de cada muestra según la concentración de pH para la melaza sin clarificar, observándose que la mayor eficiencia de fermentación se obtuvo a una concentración de pH de 5.2, siendo este de 82.98% de eficiencia de fermentación.

3.2. PROMEDIO DEL RENDIMIENTO DE ALCOHOL ETILICO PARA LA MELAZA CLARIFICADA

- Utilizando melaza clarificada a una concentración de pH=5.5, se obtuvo un promedio 82.06% de eficiencia de fermentación; un mínimo y un máximo de 81.00 y 82.76 % de eficiencia de fermentación respectivamente.
- Utilizando melaza clarificada a una concentración de pH=5.3, se obtuvo un promedio 83.03% de eficiencia de fermentación; un mínimo y un máximo de 82.76 y 83.65 % de eficiencia de fermentación respectivamente.
- Utilizando melaza clarificada a una concentración de pH=5.2, se obtuvo un promedio 84.04% de eficiencia de fermentación; un mínimo y un máximo de 83.65 y 84.53 % de eficiencia de fermentación respectivamente.

TABLA N° 04

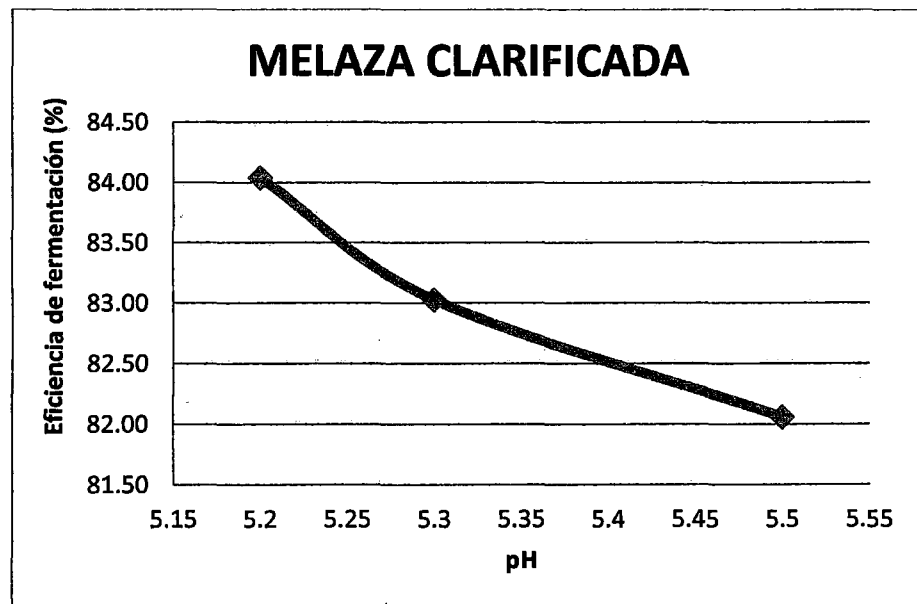
Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH para la Melaza clarificada

TIPO DE TRATAMIENTO	MELAZA CLARIFICADA		
pH	5.5	5.3	5.2
PROMEDIO	82.06	83.03	84.04
MÍNIMO	81.00	82.76	83.65
MÁXIMO	82.76	83.65	84.53

Fuente: La autora

GRÁFICO N°02

Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH para la Melaza clarificada



Fuente: La autora

INTERPRETACIÓN:

En el grafico N° 2 se puede observar el comportamiento de la eficiencia de fermentación (%) de cada muestra según la concentración de pH para la melaza clarificada, observándose que la mayor eficiencia de fermentación se obtuvo a una concentración de pH de 5.2, siendo este de 84.04% de eficiencia de fermentación.

TABLA N° 05

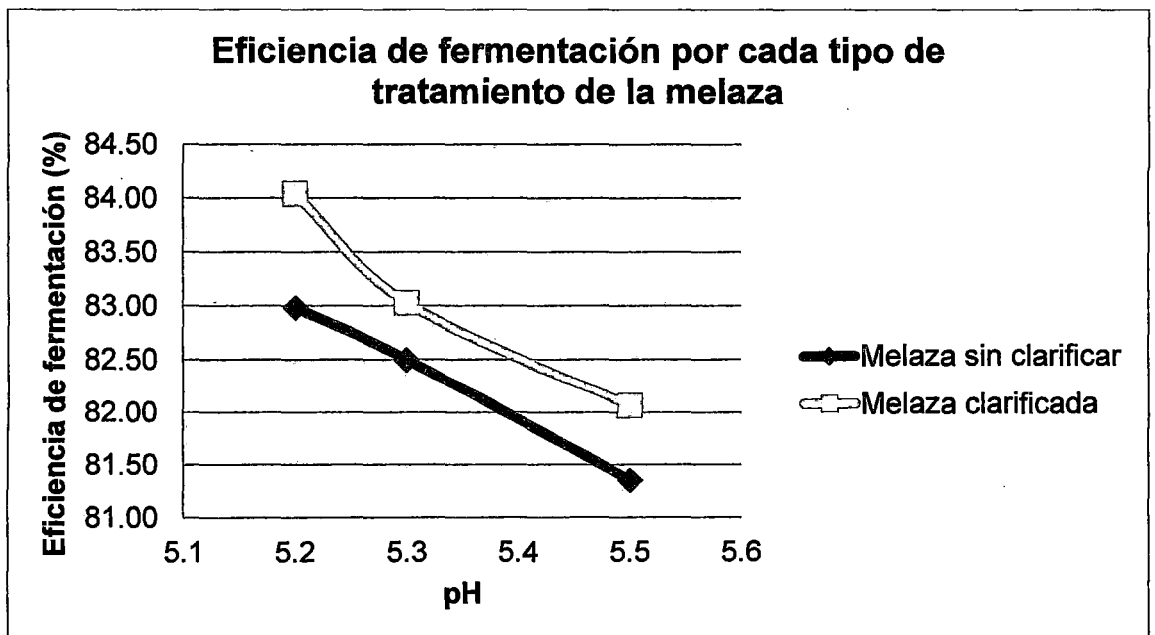
Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH
para cada tipo de tratamiento de la melaza

TIPO DE TRATAMIENTO	MELAZA SIN CLARIFICAR			MELAZA CLARIFICADA		
pH	5.5	5.3	5.2	5.5	5.3	5.2
PROMEDIO	81.36	82.50	82.98	82.06	83.03	84.04
MÍNIMO	80.12	81.88	81.88	81.00	82.76	83.65
MÁXIMO	81.88	83.65	83.65	82.76	83.65	84.53

Fuente: La autora

GRÁFICO N°03:

Promedio de la Eficiencia de Fermentación según la concentración de pH para
cada tipo de tratamiento de la melaza



Fuente: La autora

INTERPRETACIÓN:

En el grafico N° 3 se puede observar el comportamiento de la eficiencia de fermentación de cada muestra según la concentración de pH para cada tipo de tratamiento de la melaza, observándose que la mayor eficiencia de fermentación se obtuvo a una concentración de un pH de 5.2 con la melaza clarificada, siendo este de 84.04% de eficiencia de fermentación. También se puede visualizar que el promedio de la eficiencia de fermentación para cada tipo de tratamiento de la melaza tiene una diferencia de 1.06%

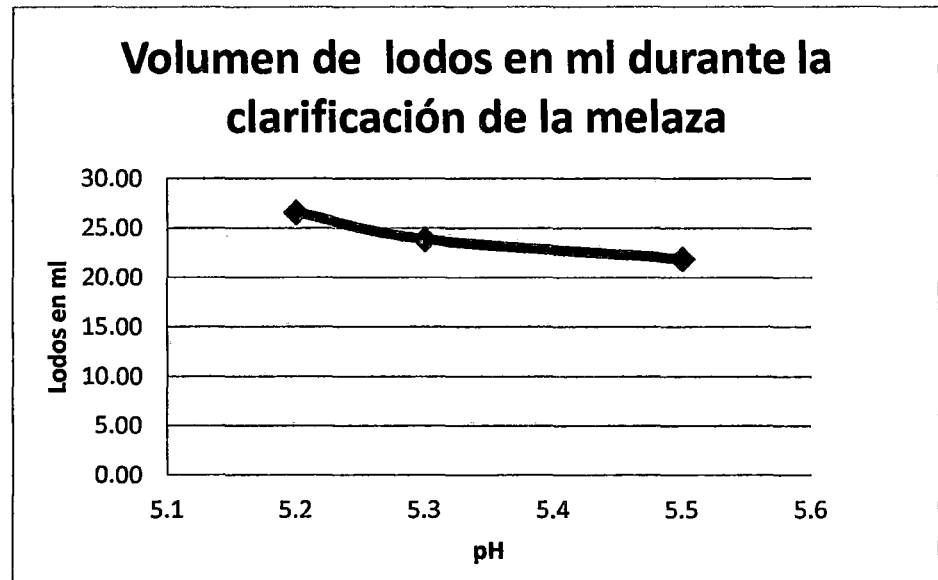
3.3. PORCENTAJE DE LODOS DURANTE LA CLARIFICACIÓN DE LA MELAZA

TABLA N° 06:

Promedio del volumen de lodos en ml durante la clarificación de la melaza

TIPO DE TRATAMIENTO	MELAZA CLARIFICADA		
pH	5.5	5.3	5.2
PROMEDIO	21.90	23.90	26.60
MÍNIMO	20.00	23.00	26.00
MÁXIMO	23.00	25.00	28.00

Fuente: La autora

GRAFICO N° 04:**Promedio del volumen de lodos en ml durante la clarificación de la melaza**

Fuente: La autora

INTERPRETACIÓN:

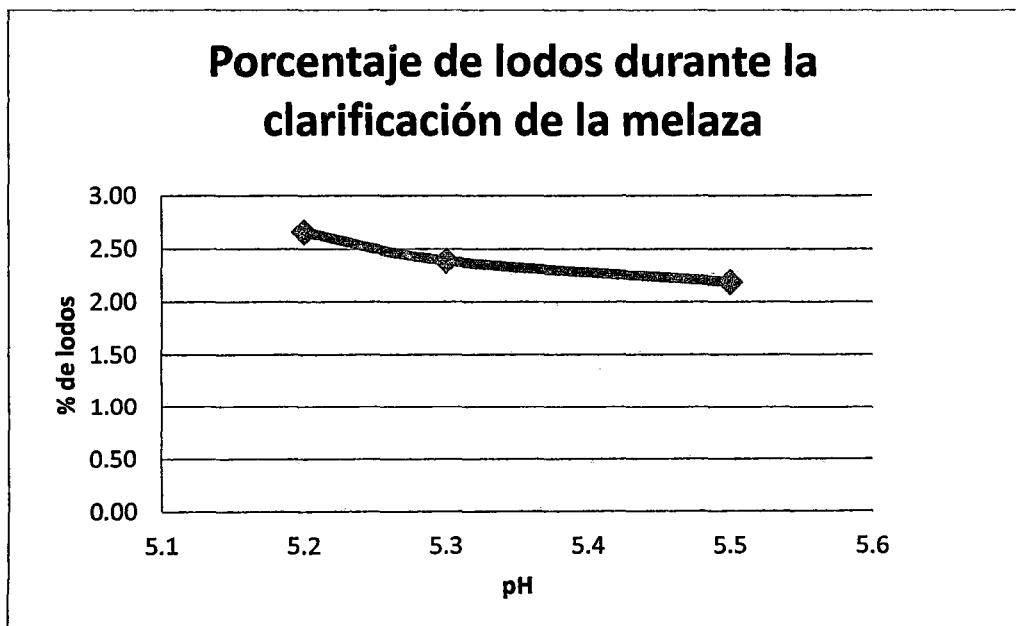
En el grafico N° 04 se puede observar el comportamiento del volumen de lodos en ml durante la clarificación según la concentración de pH, observándose que el mayor volumen de lodos en ml se obtuvo a una concentración de pH de 5.2, siendo este de 26.60 ml de lodos.

TABLA N° 07:
Promedio del porcentaje de lodos durante la clarificación de la melaza

TIPO DE TRATAMIENTO	MELAZA CLARIFICADA		
pH	5.5	5.3	5.2
PROMEDIO	2.19	2.39	2.66
MÍNIMO	2.00	2.30	2.60
MÁXIMO	2.30	2.50	2.80

Fuente: La autora

GRAFICO N° 05:
Promedio del porcentaje de lodos durante la clarificación de la melaza



Fuente: La autora

INTERPRETACIÓN:

En el grafico N° 05 se puede observar el comportamiento del porcentaje de lodos durante la clarificación según la concentración de pH, observándose que el mayor porcentaje de lodos se obtuvo a una concentración de pH de 5.2, siendo este de 2.66% de lodos.

3.4. ANALISIS DE DISEÑO FACTORIAL CON DOS FACTORES

Para determinar si hay un efecto significativo en la eficiencia de fermentación a diferentes concentraciones de pH por cada tipo de tratamiento de la melaza se utilizó el análisis de diseño factorial con dos factores, cuyos resultados se encuentran en la Tabla N° 10. Para lo cual se han planteado 3 hipótesis nulas, cada una emparejada con su correspondiente hipótesis alternativa. El ANOVA para probar estas hipótesis se muestra en la Tabla N° 9.

H₀ : Efecto A = 0

H_i : Efecto A ≠ 0

H₀ : Efecto B = 0

H_i : Efecto B ≠ 0

H₀ : Efecto AB = 0

H_i : Efecto AB ≠ 0

TABLA N° 08

Análisis (ANOVA) para el diseño factorial con dos factores

VARIABILIDAD	SC	GL	CM	F ₀	VALOR r-p
EFFECTO A	SCA	a-1	CMA	CMA/CME	p(F > F _{0A})
EFFECTO B	SCB	b-1	CMB	CMB/CME	p(F > F _{0B})
EFFECTO AB	SC(AB)	(a-1)(b-1)	CM(AB)	CM(AB)/CME	p(F > F _{0AB})
ERROR	SCE	ab(n-1)	CME		
TOTAL	SCT	abn-1	CMT		

Fuente: Lara Porras A. M. Diseño Estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS.

Al efecto cuyo valor-p sea menor al valor especificado para α , se declara estadísticamente significativo o se dice que está activo.

TABLA N° 09

**Análisis (ANOVA) de Diseño Factorial para determinar
el efecto de la concentración de pH, para cada tipo de tratamiento de la melaza
en la eficiencia de fermentación**

FUENTES DE VARIACION	SC	gl	CM	Fc	Ft		
pH	8.7343	1	8.7343	31.9370	0.05,1,54	4.024	R Ho
Tipo de Trat. de melaza	32.8958	2	16.4479	60.1417	0.05,2,54	3.174	R Ho
pH/Tipo de Trat. de melaza	0.7236	2	0.3618	1.3228	0.05,2,54	3.174	A Ho
Tratamiento	42.3537	5					
Error	14.7682	54	0.2735				
Total	57.1220	59					

Fuente: La autora

INTERPRETACIÓN:

En la Tabla N° 07, se observa el análisis de Diseño factorial con dos factores, en donde al analizar se visualizó para cada uno de los efectos con un $\alpha = 0.05$; $F > F_0$, lo cual nos permite aceptar la hipótesis nula, por lo tanto se concluye que el efecto **AB** influye significativamente en el promedio de la eficiencia de fermentación para la producción de alcohol etílico.

POR TANTO SE CONCLUYE:

➤ **Concentración del pH**

Hi = El porcentaje de eficiencia de fermentación no será el mismo bajo las diferentes concentraciones de pH

➤ **Tipo de tratamiento de la melaza**

Hi= Sea cual sea el tipo de tratamiento de la melaza el porcentaje de eficiencia de fermentación no será el mismo.

➤ **Interacción entre la concentración del pH y el tipo de tratamiento de la melaza**

Ho= Sí existe interacción entre la concentración de pH y el tipo de tratamiento de la melaza con respecto al porcentaje de eficiencia de fermentación.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta las ventajas y limitaciones en las que se realizó el presente trabajo de investigación, se concluye el resultado en % de eficiencia de fermentación.

- La máxima eficiencia de fermentación para la producción de alcohol etílico es de 84.53% y corresponde a la fermentación con melaza clarificada a un pH de 5.2, no obstante para la melaza sin clarificar se obtuvo una eficiencia de fermentación de 83.65% a un pH de 5.2. Es decir la melaza clarificada posee 0.88% más eficiencia de fermentación para la producción de alcohol etílico que la melaza sin clarificar.
- El tratamiento que se realiza a la melaza llamada clarificación aumenta la eficiencia de fermentación para la producción de alcohol etílico y por ende su rendimiento alcohólico esto significa 288.3 l/TM contra 285.3 l/TM o sea hay un incremento de 3 litros/TM, al año representa 60000 litros adicionales.
- El porcentaje promedio de lodos que se obtuvo durante el tratamiento de la clarificación de la melaza fue 2.19%, 2.39% y 2.66% a una concentración pH de 5.5, 5.3 y 5.2 respectivamente.
- La cepa de levadura utilizada en el presente trabajo es la levadura "Fleischmann", la cual es una levadura seca instantánea (*Saccharomyces cerevisiae*) de 93% de materia seca que se encuentran en forma granulada y en ausencia de aire (anaerobiosis).

CAPITULO V: RECOMENDACIONES

- Realizar el tratamiento de la melaza “Clarificación” en las Empresas Alcohólicas con el fin de obtener mayor eficiencia durante la fermentación y por ende mayor rendimiento alcohólico.
- Las pruebas realizadas para este proyecto de investigación fue melaza de la Agroindustrial Pomalca S.A.A. también se debe realizar la investigación utilizando melazas de diferentes empresas agroindustriales.
- Usar un sistema de clarificación donde haya una reducción de consumo energético por ejemplo recuperando el calor de las líneas muy calientes salientes con las frías entrantes para no incrementar los costos.
- Realizar el estudio con otras alternativas de levaduras para poder encontrar la mejor eficiencia durante la fermentación. Tener presente que diferentes melazas tienen distintas floras bacterianas.

RECOMENDACIONES ACADÉMICAS

- Implementar los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias alimentarias, con equipos calibrados y certificados, asimismo con reactivos en óptimas condiciones para poder obtener resultados con un mínimo índice de error, asimismo disponer de un laboratorio de investigación científica el cual podrá ser usado por los tesisistas.
- Realizar convenios entre la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y Empresas para realizar pasantías de entrenamiento profesional durante el verano y permitan el ingreso a sus instalaciones como tesisistas.

CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **HUGOT.** (1964); "Manual para ingenieros azucareros." Compañía Editorial Continental, México.
- **HUBERT OLBRICH.** (1963); "The molasses-fermentation technologist." Publish by Biotechnologie-Kempe GmbH, Berlin.
- **HW BERNHARDT.** (1998), "Centrifugal clarification of molasses." Proc S Afr Sug Technol Ass.
- **Thomas BROCK, Michael MADIGAN.** (1993); "Microbiología". Sexta edición, Editorial Prentice Hall, México.
- **Lara Porras, A.M.** (2000). "Diseño Estadístico de Experimentos, Análisis de la Varianza y Temas Relacionados: Tratamiento Informático mediante SPSS." Proyecto Sur de Ediciones.
- **D.ALBA Y R. SIERRA.** (1999); "Determinación de la incidencia de diferentes sustratos en un proceso de fermentación utilizando *Saccharomyces*." Tesis de grado. Universidad de la Sabana, Ingeniería de Producción Agroindustrial.
- **ASTRID ACEVEDO.** (2005); "Producción de alcohol carburante": Informe Técnico.
- **JAMES CHEN.** (2000); "Manual del azúcar de caña". Editorial Limusa S.A. México.
- **GALLO.** (1991); "Contaminantes bacterianos en la fermentación alcohólica." Editorial Acribia.
- **INDUSTRIAS PRAJ.** (2004); "Analytical Methods for cane feedstock based fermentation and Distillation Process." Edition 4th.
- **S. Garzón, C. Hernández.** (2009); "Estudio Comparativo para la Producción de Etanol." Trabajo de Grado. Universidad Tecnológica de Pereira.

LINKOGRAFIA

- Gallego Gil Clarita Milena (2007) Influencia de la acidez volátil en el proceso de fermentación de la planta de alcohol del ingenio Risaralda S.A., disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1101/1/6626692G166.pdf>
- Fajardo Castillo E. & Sarmiento Forero S. (2007) Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de *Saccharomyces cerevisiae*, disponible en <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis26.pdf>
- Calderón Pérez N.M. (2007) Evaluación del uso de antibióticos como mecanismo para el control de contaminantes bacterianos en la fermentación para la producción del alcohol etílico, disponible en <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis13.pdf>
- Garzón Castaño S.C. & Hernández Londoño C. (2009) Estudio comparativo para la producción de etanol entre *Saccharomyces cerevisiae* silvestre, *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 y *Candida utilis* ATCC 9950, disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1689/1/66182G245.pdf>
- Gilces Farías P. & Veloz Pinto P. (2006) Estudio del uso de los nutrientes para la levadura en fermentación con el propósito de mejorar la producción del alcohol etílico, disponible en <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/737>

CAPITULO VII: APENDICE

APENDICE 1

TABLA N° 01
PORCENTAJE ALCOHOLICO (%OH) SEGÚN CONCENTRACIÓN DE pH

pH Tipo de Trat. De Melaza	% OH a 15 °C		
	5.5	5.3	5.2
Melaza sin Clarificar	9.2	9.3	9.4
	9.3	9.3	9.5
	9.3	9.3	9.4
	9.2	9.4	9.5
	9.1	9.5	9.4
	9.3	9.4	9.3
	9.2	9.4	9.5
	9.2	9.3	9.4
	9.3	9.4	9.4
	9.3	9.4	9.5
Melaza clarificada	9.3	9.4	9.55
	9.4	9.4	9.5
	9.3	9.5	9.6
	9.4	9.45	9.5
	9.3	9.4	9.5
	9.3	9.45	9.55
	9.4	9.5	9.5
	9.2	9.4	9.6
	9.3	9.4	9.55
	9.3	9.4	9.6

Fuente: La autora

FORMULA DE LA EFICIENCIA FERMENTATIVA:

$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{\% \text{ Alcohol } \times V \times 100}{PM \times \%AT \times F \times 10^{-3} Tn}$
--

- Vol. Por muestra = 1.000 l
- Melaza = 333 gr.

7.1. Eficiencia Fermentativa en % para la melaza sin clarificar

- Para una concentración de pH =5.5

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.092 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.00\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.092 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.00\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.091 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 80.12\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.092 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.00\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.092 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.00\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

- Para una concentración de pH = 5.3

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.65\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

- Para una concentración de pH =5.2

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.65\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.20\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.65\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.65\%$$

7.2. Eficiencia Fermentativa en % para la melaza clarificada

- Para una concentración de pH =5.5

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.092 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.00\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.093 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 81.88\%$$

- Para una concentración de pH =5.3

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.65\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.20\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.20\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.65\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.094 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 82.76\%$$

- Para una concentración de pH =5.2:

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.096 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 84.09\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.65\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.096 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 84.53\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.65\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.65\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.096 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 84.09\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.095 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 83.65\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.096 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 84.53\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.096 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 84.09\%$$

$$\text{EFICIENCIA FERMENTATIVA} = \frac{0.096 \times 1.000 \times 100}{0.333 \times 0.5301 \times 643.4 \times 10^{-3}} = 84.53\%$$

TABLA N° 02

EFICIENCIA DE FERMENTACION SEGÚN pH Y TIPO DE TRATAMIENTO DE LA MELAZA

Tipo de Trat. De Melaza	pH	Eficiencia (%)		
		5.5	5.3	5.2
Melaza sin Clarificar	81.00	81.88	82.76	
	81.88	81.88	83.65	
	81.88	81.88	82.76	
	81.00	82.76	83.20	
	80.12	83.65	82.76	
	81.88	82.76	81.88	
	81.00	82.76	83.65	
	81.00	81.88	82.76	
	81.88	82.76	82.76	
	81.88	82.76	83.65	
Melaza clarificada	81.88	82.76	84.09	
	82.76	82.76	83.65	
	81.88	83.65	84.53	
	82.76	83.20	83.65	
	81.88	82.76	83.65	
	81.88	83.20	84.09	
	82.76	83.65	83.65	
	81.00	82.76	84.53	
	81.88	82.76	84.09	
	81.88	82.76	84.53	

Fuente: La autora

7.3. SUMA DE CUADRADOS PARA EL DISEÑO FACTORIAL CON DOS FACTORES:

$$C = \sum y_{\dots}^2 / N$$

$$SCT = \sum_{i=0}^a \sum_{j=0}^b \sum_{k=0}^c \sum_{l=0}^n y_{ijkl}^2 - y_{\dots}^2 / N$$

$$SCA = \sum_{j=1}^a y_{i..}^2 / bcn - y_{\dots}^2 / N$$

$$SCB = \sum_{j=1}^b y_{.j.}^2 / acn - y_{\dots}^2 / N$$

$$SC(AB) = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij.}^2 / cn - y_{\dots}^2 / N - SCA - SCB$$

$$SCE = SCT - SCA - SCB - SC(AB)$$

TABLA N° 03

ANOVA PARA EL DISEÑO FACTORIAL CON DOS FACTORES

VARIABILIDAD	SC	GL	CM	F₀	VALOR t-p
EFFECTO A	SCA	a-1	CMA	CMA/CME	p(F > F _{0A})
EFFECTO B	SCB	b-1	CMB	CMB/CME	p(F > F _{0B})
EFFECTO AB	SC(AB)	(a-1)(b-1)	CM(AB)	CM(AB)/CME	p(F > F _{0AB})
ERROR	SCE	ab(n-1)	CME		
TOTAL	SCT	abn-1	CMT		

Fuente: Lara Porras A. M. Diseño Estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados: tratamiento informático mediante SPSS.

TABLA N° 04:

**SUMATORIA DE LAS EFICIENCIAS DE FERMENTACIÓN SEGÚN pH Y
TIPO DE TRATAMIENTO DE LA MELAZA**

Tipo de Trat. De Melaza	pH	Eficiencia (%)			TOTAL
		5.5	5.3	5.2	
Melaza sin Clarificar		81.00	81.88	82.76	2468.41
		81.88	81.88	83.65	
		81.88	81.88	82.76	
		81.00	82.76	83.20	
		80.12	83.65	82.76	
		81.88	82.76	81.88	
		81.00	82.76	83.65	
		81.00	81.88	82.76	
		81.88	82.76	82.76	
		81.88	82.76	83.65	
		813.56	825.00	829.85	
Melaza clarificada		81.88	82.76	84.09	2491.30
		82.76	82.76	83.65	
		81.88	83.65	84.53	
		82.76	83.20	83.65	
		81.88	82.76	83.65	
		81.88	83.20	84.09	
		82.76	83.65	83.65	
		81.00	82.76	84.53	
		81.88	82.76	84.09	
		81.88	82.76	84.53	
		820.60	830.29	840.41	
TOTAL		1634.16	1655.29	1670.26	4959.71

Fuente: La autora

- **Suma de cuadrados para cada efecto:**

Efecto A: Efecto del pH

Efecto B: Efecto del tipo de Tratamiento de la Melaza

A= 2

B= 3

N= 10

$$C: \frac{4959.71^2}{2 \times 3 \times 10} = 409979.43$$

$$SCA: \frac{2468.88^2 + 2491.77^2}{2 \times 10} - 410134.15 = 8.7343232$$

$$SCB: \frac{1634.47^2 + 1655.60^2 + 1670.58^2}{3 \times 10} - 410134.15 = 32.895838$$

$$SC (AB) = 32.908253 - 8.7376195 - 42.369699 = 0.7235534$$

$$SC \text{ TRAT.} = \frac{813.71^2 + 825.16^2 + 830.00^2 + 820.76^2 + 830.44^2 + 840.57^2}{10} - 410134.15 = 42.353715$$

- **GRADOS DE LIBERTAD PARA CADA EFECTO**

EFFECTO A: $2 - 1 = 1$

EFFECTO B: $3 - 1 = 2$

EFFECTO AB: $1 \times 2 = 2$

ERROR: $(2 \times 3) \times (10 - 1) = 54$

TOTAL: $2 \times 3 \times 10 - 1 = 59$

- CUADRADOS MEDIOS PARA CADA EFECTO:**

EFFECTO A:

$$CMA = \frac{8.7343}{1} = 8.7343$$

EFFECTO B:

$$CMB = \frac{32.8958}{2} = 16.4479$$

EFFECTO AB:

$$CMAB = \frac{0.7236}{2} = 0.3618$$

ERROR:

$$CME = \frac{14.7682}{54} = 0.2735$$

- VALOR DE "F" PARA CADA EFECTO:**

EFFECTO A:

$$F = \frac{8.7343}{0.2735} = 31.9370$$

EFFECTO B:

$$F = \frac{16.4479}{0.2735} = 60.1417$$

EFFECTO AB:

$$F = \frac{0.3618}{0.2735} = 1.3228$$

- **VALOR DE “F0” PARA CADA EFECTO:**

Del anexo N° 3 se obtienen los siguientes datos para cada F_0

EFECTO A: $F_{0(0.05, 1, 54)} = 4.024$

EFECTO B: $F_{0(0.05, 2, 54)} = 3.174$

EFECTO AB: $F_{0(0.05, 2, 54)} = 3.174$

- Cada valor de F es comparado con F_0 para cada efecto, luego si $F < F_0$ se acepta la hipótesis y si $F > F_0$ se rechaza la hipótesis.

TABLA N° 05:
VOLUMEN DE LODOS EN ML DURANTE LA CLARIFICACIÓN DE LA MELAZA

pH Tipo de Trat. De Melaza	volumen de lodos (ml)		
	5.5	5.3	5.2
Melaza clarificada	21	24	27
	22	23	26
	21	23	28
	23	23	27
	20	24	27
	23	25	26
	22	24	26
	22	24	26
	22	25	27
	23	24	26

Fuente: La autora

7.4. PORCENTAJE DE LODOS DURANTE LA CLARIFICACIÓN DE LA MELAZA

- Para un pH de 5.5

$$\% \text{ Lodos} = \frac{21 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.1\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{22 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.2\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{21 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.1\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{23 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.3\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{20 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.0\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{23 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.3\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{22 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.2\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{22 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.2\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{22 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.2\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{23 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.3\%$$

- Para un pH de 5.3

$$\% \text{ Lodos} = \frac{24 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.4\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{23 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.3\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{23 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.3\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{23 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.3\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{24 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.4\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{25 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.5\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{24 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.4\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{24 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.4\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{25 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.5\%$$

$$\% \text{ Lodos} = \frac{24 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.4\%$$

- **Para un pH de 5.2**

- $\% \text{ Lodos} = \frac{27 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.7\%$

-

- $\% \text{ Lodos} = \frac{26 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.6\%$

-

- $\% \text{ Lodos} = \frac{28 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.8\%$

-

- $\% \text{ Lodos} = \frac{27 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.7\%$

-

- $\% \text{ Lodos} = \frac{27 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.7\%$

-

- $\% \text{ Lodos} = \frac{26 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.6\%$

-

- $\% \text{ Lodos} = \frac{26 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.6\%$

-

- $\% \text{ Lodos} = \frac{26 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.6\%$

-

- $\% \text{ Lodos} = \frac{27 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.7\%$

•

- $\% \text{ Lodos} = \frac{26 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 100 = 2.6\%$

TABLA N° 06:
Porcentaje de lodos durante la clarificación de la melaza

Tipo de Trat. De Melaza	pH	Rendimiento (Litros/TM)		
		5.5	5.3	5.2
Melaza sin Clarificar		276.28	279.28	282.28
		279.28	279.28	285.29
		279.28	279.28	282.28
		276.28	282.28	283.78
		273.27	285.29	282.28
		279.28	282.28	279.28
		276.28	282.28	285.29
		276.28	279.28	282.28
		279.28	282.28	282.28
		279.28	282.28	285.29
Melaza clarificada		279.28	282.28	286.79
		279.28	282.28	285.29
		279.28	285.29	288.29
		279.28	283.78	285.29
		279.28	282.28	285.29
		279.28	283.78	286.79
		279.28	285.29	285.29
		279.28	282.28	288.29
		279.28	282.28	286.79
		279.28	282.28	288.29

Fuente: La autora

CAPITULO VIII: ANEXOS

FOTOS PARTE EXPERIMENTAL**8.1. Melaza de la Empresa Agroindustrial Pomalca S.A.A.**

8.2. Prueba de fermentación con melaza sin clarificar

➤ Preparación del mosto

Pesar la melaza



Dilución de la melaza hasta 950 ml



Acidificación del mosto



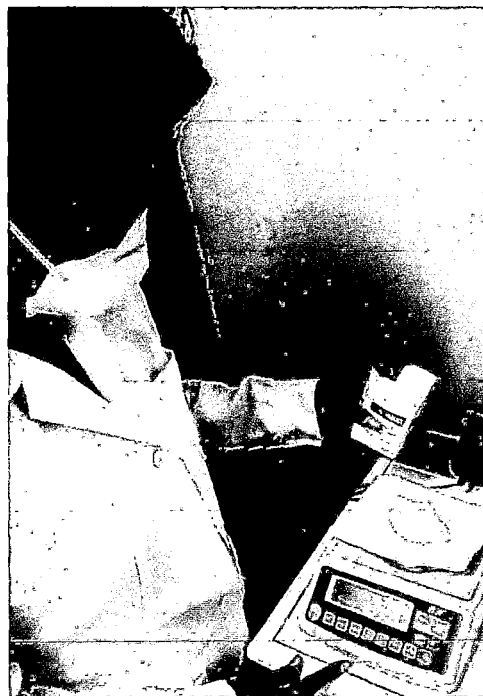
Completar hasta un volumen de 1000 ml



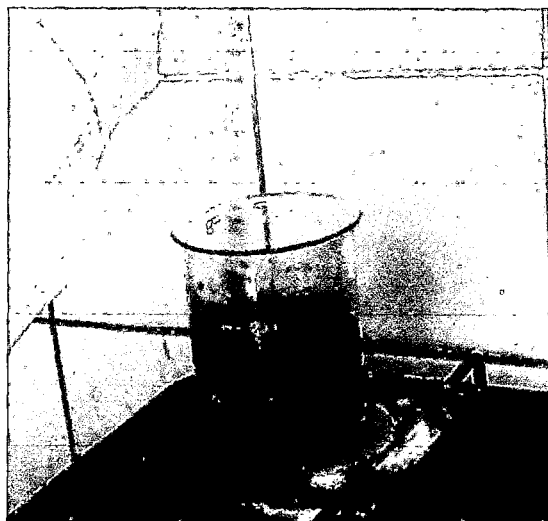
Medición del pH



- **Preparación de la levadura**
Pesar la levadura Fleischmann



Calentar 150 ml de mosto para cada muestra a 34°C



Agregar levadura a la muestra



Controlar la temperatura por 1 h manteniéndola a 34°C



Medición del °Bé

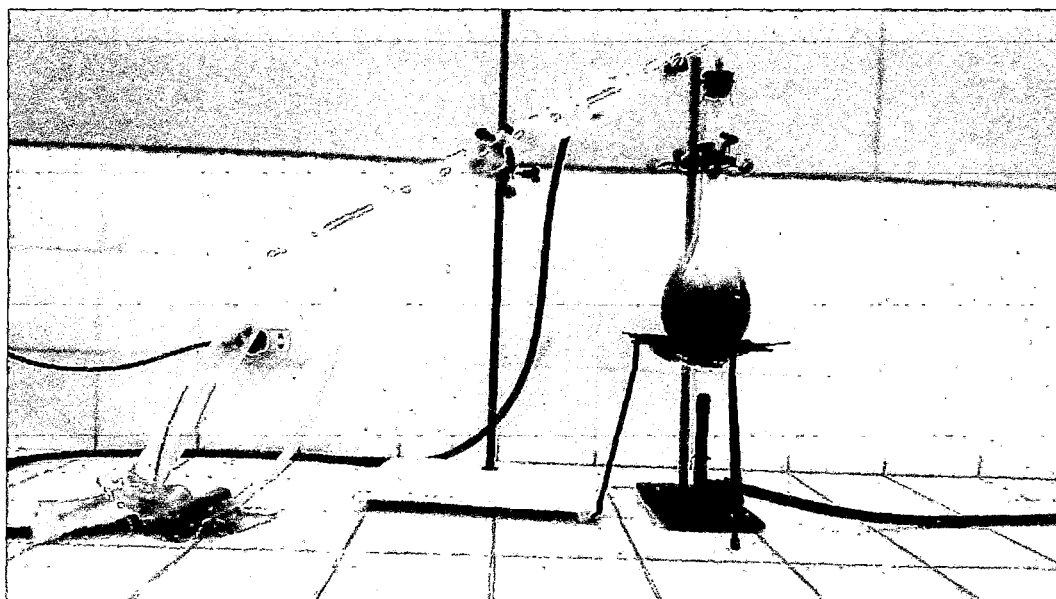


➤ Inicio de la fermentación

Se fermentó por un tiempo de 72 h



➤ **Destilación**



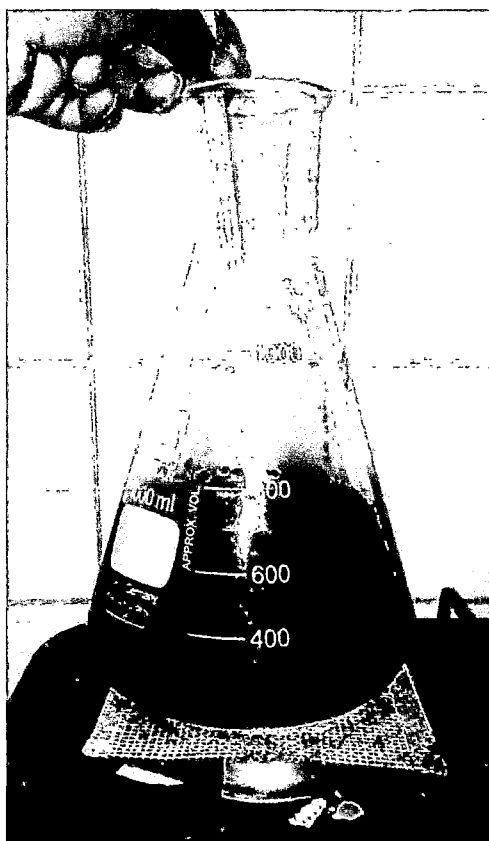
Medición del % alcohólico



8.3. Prueba de fermentación con melaza clarificada

Los pasos para desarrollar este ensayo es similar al anterior hasta la acidificación del mosto con la diferencia de que ahora se realizará un tratamiento de la melaza “clarificación”; luego se procede como el ensayo anterior desde la preparación de la levadura hasta la destilación.

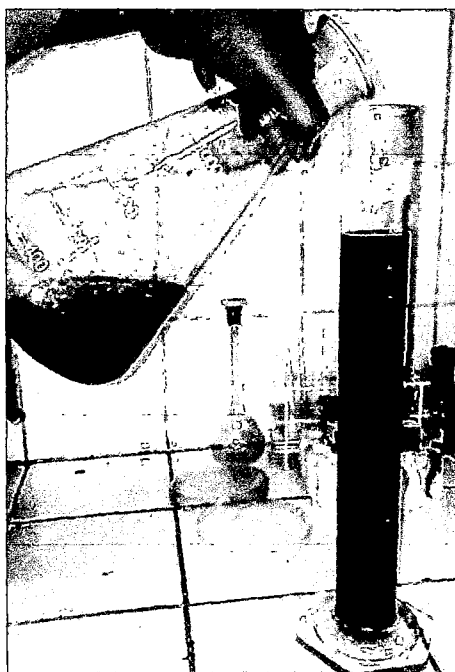
➤ **Esterilización a 80°C**

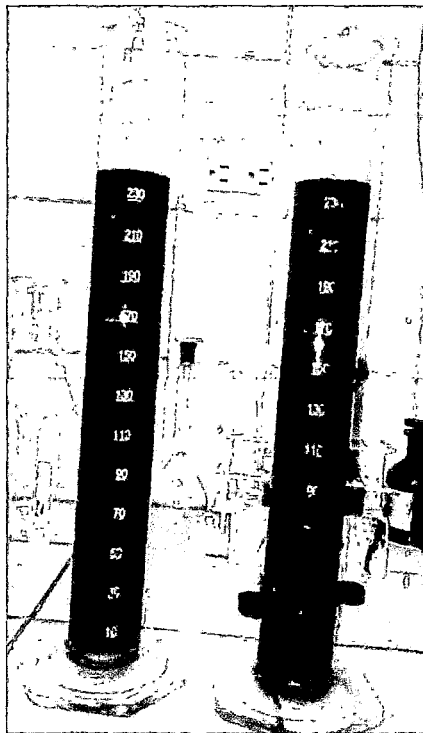


➤ **Adición del floculante AT50**



➤ **Sedimentación**

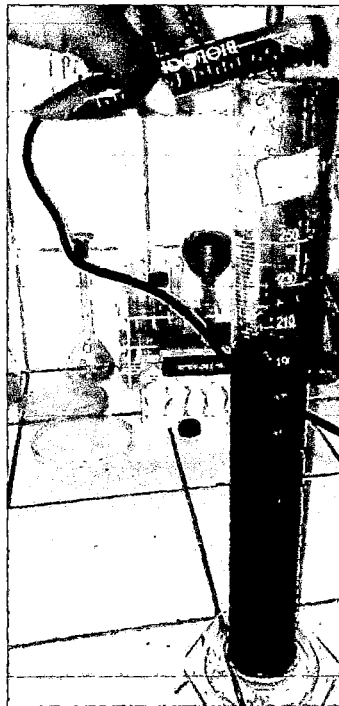




➤ **Centrifugación**



➤ **Medición del volumen del lodo y mosto clarificado**



RENDIMIENTO ALCOHÓLICO EN LITROS/TM PARA CADA TIPO DE TRATAMIENTO DE LA MELAZA

$$\text{Rendimiento} = \text{Eficiencia fermentativa} \times \%AT \times F$$

%AT: 0.5301

F: 643.4

A. Para la melaza sin clarificar

- Para una concentración de pH = 5.5

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.81 \times 0.5301 \times 643.4 = 276.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.81 \times 0.5301 \times 643.4 = 276.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.801 \times 0.5301 \times 643.4 = 273.27 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.81 \times 0.5301 \times 643.4 = 276.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.81 \times 0.5301 \times 643.4 = 276.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

- Para una concentración de pH = 5.3

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.837 \times 0.5301 \times 643.4 = 285.29 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

- Para una concentración de pH = 5.2

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.837 \times 0.5301 \times 643.4 = 285.29 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.832 \times 0.5301 \times 643.4 = 283.78 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.837 \times 0.5301 \times 643.4 = 285.29 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.837 \times 0.5301 \times 643.4 = 285.29 \text{ lts}$$

B. Para la melaza clarificada

- Para una concentración de pH = 5.5

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.81 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.819 \times 0.5301 \times 643.4 = 279.28 \text{ lts}$$

- Para una concentración de pH = 5.3

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.837 \times 0.5301 \times 643.4 = 285.29 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.832 \times 0.5301 \times 643.4 = 283.78 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.832 \times 0.5301 \times 643.4 = 283.78 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.837 \times 0.5301 \times 643.4 = 285.29 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.828 \times 0.5301 \times 643.4 = 282.28 \text{ lts}$$

- Para una concentración de pH = 5.2

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.841 \times 0.5301 \times 643.4 = 286.79 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.837 \times 0.5301 \times 643.4 = 285.29 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.845 \times 0.5301 \times 643.4 = 288.29 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.837 \times 0.5301 \times 643.4 = 285.29 \text{ lts}$$

$$\text{RENDIMIENTO} = 0.837 \times 0.5301 \times 643.4 = 285.29 \text{ lts}$$

RENDIMIENTO = $0.841 \times 0.5301 \times 643.4 = 286.79$ lts

RENDIMIENTO = $0.837 \times 0.5301 \times 643.4 = 285.29$ lts

RENDIMIENTO = $0.845 \times 0.5301 \times 643.4 = 288.29$ lts

RENDIMIENTO = $0.841 \times 0.5301 \times 643.4 = 286.79$ lts

RENDIMIENTO = $0.845 \times 0.5301 \times 643.4 = 288.29$ lts

ANEXO N° 1:

RENDIMIENTO ALCOHÓLICO SEGÚN pH Y TIPO DE TRATAMIENTO DE LA MELAZA

Tipo de Trat. De Melaza	pH	Rendimiento (Litros/TM)		
		5.5	5.3	5.2
Melaza sin Clarificar		276.28	279.28	282.28
		279.28	279.28	285.29
		279.28	279.28	282.28
		276.28	282.28	283.78
		273.27	285.29	282.28
		279.28	282.28	279.28
		276.28	282.28	285.29
		276.28	279.28	282.28
		279.28	282.28	282.28
		279.28	282.28	285.29
Melaza clarificada		279.28	282.28	286.79
		279.28	282.28	285.29
		279.28	285.29	288.29
		279.28	283.78	285.29
		279.28	282.28	285.29
		279.28	283.78	286.79
		279.28	285.29	285.29
		279.28	282.28	288.29
		279.28	282.28	286.79
		279.28	282.28	288.29

Fuente: La autora

ANEXO N° 2:

HOJA TECNICA DEL ACIDO SULFURICO

ACIDO SULFÚRICO			ICSC: 0362 Febrero 2000
CAS: RTECS: NU: CE Index Anexo I: CE / EINECS:	7664-03-9 W55500000 1830 015-020-00-8 231-830-5	Ácido sulfúrico 100% Asido de vitriolo H ₂ SO ₄ Masa molecular: 98.1	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Muchas reacciones pueden producir incendio o explosión. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	NO poner en contacto con sustancias inflamables. NO poner en contacto con combustibles.	NO utilizar agua. En caso de incendio en el entorno: polvo, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con bases, sustancias combustibles, oxidantes, agentes reductores o agua.		En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rodeando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		EVITAR LA FORMACIÓN DE NEBLAS DEL PRODUCTO. EVITAR TODO CONTACTO	CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS
Inhalación	Corrosivo. Sensación de quemazón. Dolor de garganta. Tos. Dificultad respiratoria. Jaquea. Síntomas no inmediatos (ver Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Airé limpio, reposo. Posición de semisupino. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Ampollas. Quemaduras cutáneas graves.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Corrosivo. Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Protección facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Corrosivo. Dolor abdominal. Sensación de quemazón. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Consultar a un experto. Evitar la zona de peligro. NO absorber en sacos u otros absorbentes combustibles. Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.		Envase impermeable; colocar el envase frágil dentro de un recipiente impermeable cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Simbología: C R: 35 S: (112+36-30-45) Nota: B Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-8051830 o 800C1-III Código NFPA: H3; F0; R2; W		Separado de sustancias combustibles y reductores, oxidantes fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos, materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Puede ser almacenado en contenedores de acero inoxidable. Almacenar en un área con suelo de hormigón resistente a la corrosión.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005			
IPCS International Programme on Chemical Safety  			

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005

ÁCIDO SULFÚRICO		ICSC: 0362
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido higroscópico incoloro, azulado o incoloro.		VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.
PELIGROS QUÍMICOS La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. La sustancia es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva para la mayoría de metales más comunes, originando hidrógeno (gas inflamable y explosivo- ver ICSC 0001). Reacciona violentamente con agua y compuestos orgánicos con desprendimiento de calor (véanse Notas). Al calentarse se forman humos (o gases) irritantes o tóxicos (huido de azufre).		RIESGO DE INHALACIÓN La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire por pulverización.
LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 0.2 mg/m ³ , Fracción inalable, A2 (suspensión de un carcinógeno humano); (ácido sulfúrico contenido en las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes) (ACGIH 2005). MAK: (Fracción inhalable) 0.1 mg/m ³ Categoría de limitación de pico: 1(1); Categoría: categoría 4; Riesgo para el embarazo grupo C (EFC 2004).		EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del aerosol de esta sustancia puede originar edema pulmonar (ver Notas).
		EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA Los pulmones pueden resultar afectados por la exposición prolongada o repetida al aerosol de esta sustancia. Si las exposiciones al aerosol de esta sustancia son repetidas o prolongadas existe el riesgo de presentar crecimientos dentales. Las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes que contengan esta sustancia son corrosivos para los seres humanos.
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición (se descompone): 340°C Punto de fusión: 10°C Densidad relativa (agua = 1): 1.8 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 146°C: 0.13 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.4		
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, o merced, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son, por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Otros números EU: UN1831 Ácido sulfúrico fumante, clase de peligro 8, riesgo subsidiario 6.1, grupo de envasado I; UN1832 Ácido sulfúrico acetado, clase de peligro 8, grupo de envasado II. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005, ver límites de exposición, Respuesta de Emergencia, y en enero de 2008: ver Lucha contra incendios.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (NIOSH 2014): VLA-ED (niebla): 0,05 mg/m ³ Notas: al seleccionar un método adecuado de control de la exposición, deben tomarse en consideración posibles limitaciones e interferencias que puedan surgir en presencia de otros compuestos de azufre. Agente químico que tiene un valor límite indicativo por la UE. Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fertilizante y/o biocida. Véase UNE EN 461: "Atmósferas en los puestos de trabajo; Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles".		
NOTA LEGAL Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el NIOSH, autor de la versión española.		

ANEXO 3: PERCENTILES DE LA DISTRIBUCIÓN F

Grados De Libertad Del Denominador	F95								
	Grados De Libertad Del Numerador								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234	236,8	238,5	240,5
2	18,51	19	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3	2,91	2,85	2,80
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,7	2,65
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,45	2,40	2,34
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12
60	4	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96
∞	3,84	3	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88

F95										
Grados De Libertad Del Denominador	Grados De Libertad Del Numerador									
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	251.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	19.4	19.41	19.43	19.45	19.46	19.47	19.47	19.48	19.49	19.5
3	8.79	8.74	8.7	8.66	8.62	8.59	8.59	8.57	8.55	8.53
4	5.96	5.91	5.86	5.8	5.75	5.72	5.72	5.69	5.66	5.63
5	4.74	4.68	4.62	4.56	4.5	4.46	4.46	4.43	4.4	4.36
6	4.06	4.00	3.94	3.87	3.81	3.77	3.77	3.74	3.7	3.67
7	3.64	3.57	3.51	3.44	3.38	3.34	3.34	3.3	3.27	3.23
8	3.35	3.28	3.22	3.15	3.08	3.04	3.04	3.01	2.97	2.93
9	3.14	3.07	3.01	2.94	2.86	2.83	2.83	2.79	2.75	2.71
10	2.98	2.91	2.85	2.77	2.70	2.66	2.66	2.62	2.58	2.54
11	2.85	2.79	2.72	2.65	2.57	2.53	2.53	2.49	2.45	2.4
12	2.75	2.69	2.62	2.54	2.47	2.43	2.43	2.38	2.34	2.3
13	2.67	2.6	2.53	2.46	2.38	2.34	2.34	2.3	2.25	2.21
14	2.6	2.53	2.46	2.39	2.31	2.27	2.27	2.22	2.18	2.13
15	2.54	2.48	2.4	2.33	2.25	2.2	2.2	2.16	2.11	2.07
16	2.49	2.42	2.35	2.28	2.19	2.15	2.15	2.11	2.06	2.01
17	2.45	2.38	2.31	2.23	2.15	2.10	2.1	2.06	2.01	1.96
18	2.41	2.34	2.27	2.19	2.11	2.06	2.06	2.02	1.97	1.92
19	2.38	2.31	2.23	2.16	2.07	2.03	2.03	1.98	1.93	1.88
20	2.35	2.28	2.2	2.12	2.04	1.99	1.99	1.95	1.9	1.84
21	2.32	2.25	2.18	2.10	2.01	1.96	1.96	1.92	1.87	1.81
22	2.3	2.23	2.15	2.07	1.98	1.94	1.94	1.89	1.84	1.78
23	2.27	2.2	2.13	2.05	1.96	1.91	1.91	1.86	1.81	1.76
24	2.25	2.18	2.11	2.03	1.94	1.89	1.89	1.84	1.79	1.73
25	2.24	2.16	2.09	2.01	1.92	1.87	1.87	1.82	1.77	1.71
26	2.22	2.15	2.07	1.99	1.90	1.85	1.85	1.8	1.75	1.69
27	2.2	2.13	2.06	1.97	1.88	1.84	1.84	1.79	1.73	1.67
28	2.19	2.12	2.04	1.96	1.87	1.82	1.82	1.77	1.71	1.65
29	2.18	2.1	2.03	1.94	1.85	1.81	1.81	1.75	1.7	1.64
30	2.16	2.09	2.01	1.93	1.84	1.79	1.79	1.74	1.68	1.62
40	2.08	2.00	1.92	1.84	1.74	1.69	1.69	1.64	1.58	1.51
60	1.99	1.92	1.84	1.75	1.65	1.59	1.59	1.53	1.47	1.39
120	1.91	1.83	1.75	1.66	1.55	1.50	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	1.83	1.75	1.67	1.57	1.46	1.39	1.39	1.32	1.22	1.00