



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

**MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA Y ACÉTICA  
PARA LA ELABORACIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE AZÚCAR, EN INDUSTRIA  
ALIMENTICIA GUATEMALTECA**

**Gina Michelle Balconi Taracena**

Asesorada por el Ing. Víctor Manuel Monzón Valdéz.

Guatemala, noviembre de 2011.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA  
Y ACÉTICA PARA LA ELABORACIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE  
AZÚCAR, EN INDUSTRIA ALIMENTICIA GUATEMALTECA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**GINA MICHELLE BALCONI TARACENA**

ASESORADA POR EL ING. VÍCTOR MANUEL MONZÓN VALDÉZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jimenéz
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxón
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma de Martini
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA Y ACÉTICA PARA LA ELABORACIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE AZÚCAR, EN INDUSTRIA ALIMENTICIA GUATEMALTECA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 5 abril de 2010.

**Gina Michelle Balconi Taracena**

Guatemala, 08 de Febrero de 2011.

Ingeniero Williams Álvarez  
Director de la Escuela de Ingeniería Química  
Escuela de Ingeniería Química  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted en relación al informe final de Trabajo de Graduación de EPS de la estudiante GINA MICHELLE BALCONI TARACENA, quien se identifica con número de carné 200412495, cuyo título es **"MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA Y ACÉTICA PARA LA ELABORACIÓN DE VINAGRE EN INDUSTRIA ALIMENTICIA GUATEMALTECA"**.

Habiendo revisado su contenido he visto que tanto los aspectos metodológicos como los demás componentes del cuerpo del informe final se ajusta al perfil solicitado por nuestra escuela, por lo que considero pertinente aprobar el mismo para la continuación de los trámites a futuro que corresponden para su proceso de graduación.

Y para los usos que a la interesada convengan, se extiende la presente y quedando a su disposición para cualquier consulta al respecto.

Atentamente,



Ingeniero Víctor Manuel Monzón  
Colegiado No. 656



Guatemala, 31 de mayo de 2011  
Ref. EI.Q.135.2011

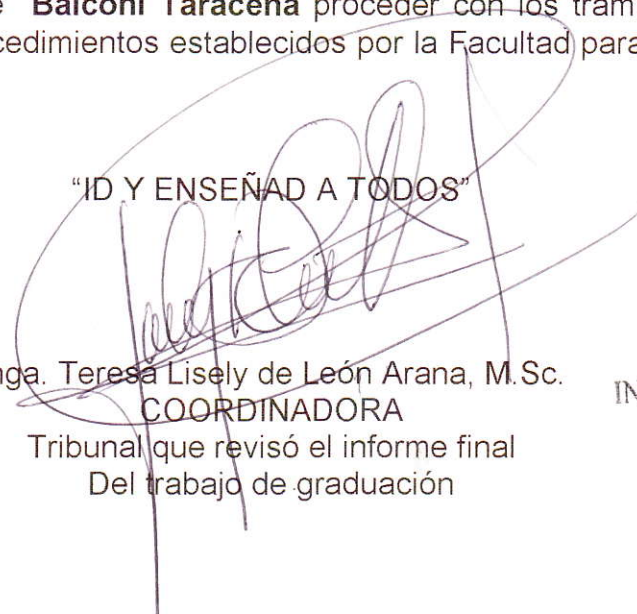
Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta EPSFG-0882010-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del Ejercicio Profesional Supervisado -EPS-, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **GINA MICHELLE BALCONI TARACENA**, identificada con carné No. **2004-12495**, titulado "**MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA Y ACÉTICA PARA LA ELABORACIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE AZÚCAR, EN INDUSTRIA ALIMENTICIA GUATEMALTECA**", el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico **Víctor Manuel Monzón Valdéz**, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Balconi Taracena** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.  
COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE  
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



Guatemala, 15 de febrero de 2011.

Ref.EPS.DOC.242.02.11.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.


Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Gina Michelle Balconi Taracena** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200412495**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA Y ACÉTICA PARA LA ELABORACIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE AZÚCAR, EN INDUSTRIA ALIMENTICIA GUATEMALTECA"**.

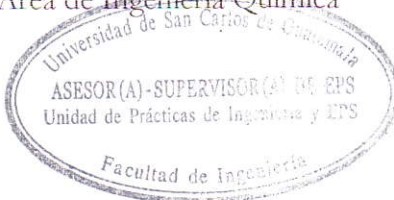
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera  
Asesora-Supervisora de EPS  
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo  
LVPC/ra



Guatemala, 15 de febrero de 2011.

Ref.EPS.D.108.02.11.

Ing. Williams G. Alvarez Mejía  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Alvarez Mejía.

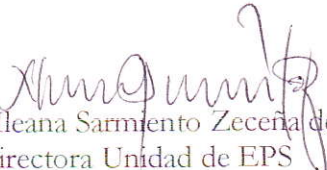
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA Y ACÉTICA PARA LA ELABORACIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE AZÚCAR, EN INDUSTRIA ALIMENTICIA GUATEMALTECA"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Gina Michelle Balconi Taracena**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todas"*

  
Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra







El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Ejercicio Profesional Supervisado (**EPS final**) de la estudiante **GINA MICHELLE BALCONI TARACENA** titulado: **"MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA Y ACÉTICA PARA LA ELABORACIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE AZÚCAR, EN INDUSTRIA ALIMENTICIA GUATEMALTECA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejía; C.Dr.  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre de 2011

Cc: Archivo  
WGAM/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA Y ACÉTICA PARA LA ELABORACIÓN DE VINAGRE A PARTIR DE AZÚCAR, EN INDUSTRIA ALIMENTICIA GUATEMALTECA**, presentado por la estudiante universitaria **Gina Michelle Balconi Taracena**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2011

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la fuente de luz, sabiduría y fortaleza en mi vida.
<b>Mis padres</b>	Giovanni y Alicia, por el apoyo incondicional y amor que me han brindado durante toda mi vida.
<b>Mis hermanos</b>	Carlo y Giorgio, con mucho cariño.
<b>Mis abuelos</b>	Aquiles Balconi Reyes (q.e.p.d.) Julia Berta Turcios de Balconi (q.e.p.d.) Jose Victor Taracena Godínez (q.e.p.d.) María Magdalena Paz de Taracena(q.e.p.d.) Con amor.
<b>Mis tíos</b>	Por su apoyo y sabios consejos.
<b>Mis primos</b>	Con cariño.
<b>Mis amigos y compañeros</b>	

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la casa de estudios que permitió convertirme en una profesional.
<b>La Facultad de Ingeniería y la Escuela de Ingeniería Química</b>	Por permitirme adquirir los conocimientos necesarios para el desarrollo de mi carrera profesional.
<b>INCASA y en especial al Ingeniero Sergio Torres</b>	Por darme la oportunidad de llevar a cabo satisfactoriamente mi proyecto de tesis.
<b>Mis asesores, Ingeniero Víctor Manuel Monzón e Ingeniero Julio Barrascout</b>	Por haberme apoyado decididamente a lo largo del desarrollo de mi proyecto de tesis.
<b>Ingeniera Lorena Pineda</b>	Por su ayuda desinteresada e incondicional en los momentos importantes en mi proceso de graduación.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XXV
OBJETIVOS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN .....	XXIX
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Fermentación.....	4
2.1.1. Fermentación alcohólica .....	5
2.1.2. Fermentación acética.....	7
2.1.3. Factores claves en el proceso de fermentación.....	9
2.2. Elaboración de vinagre .....	11
2.2.1. Condiciones ideales para la fermentación sumergida para la elaboración de vinagre .....	13
2.2.1.1. Máxima economía.....	14
2.2.1.2. Alta velocidad de fermentación .....	14
2.2.1.3. Excelente calidad del vinagre producido..	15
2.3. Construcción.....	15
2.3.1. Proceso de producción de vinagre.....	17
2.4. Rendimiento porcentual .....	20
2.4.1. Rendimiento en una reacción química .....	20

2.5.	Aseguramiento de la calidad en el proceso de producción de vinagre .....	22
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
3.1.	Variables .....	23
3.2.	Parcelas experimentales .....	24
3.3.	Delimitación del campo de estudio.....	25
3.3.1.	Universo de estudio.....	25
3.3.1.1.	Diseño general .....	25
3.3.2.	Población y cálculo del tamaño de la muestra.....	26
3.3.2.1.	Número de corridas o repeticiones.....	26
3.4.	Recursos humanos disponibles.....	27
3.5.	Recursos materiales disponibles.....	27
3.6.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	29
3.7.	Recolección y ordenamiento de la información.....	31
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información...	32
3.8.1.	Tabulación y procesamiento de información de las pruebas químicas y fisicoquímicas para la materia prima.....	32
3.8.2.	Tabulación y procesamiento de información de las muestras tomadas en cada batch del proceso de elaboración de vinagre .....	33
3.8.3.	Tabulación y procesamiento de información para verificar rendimientos de las fermentaciones.....	36
3.9.	Análisis estadístico.....	37
3.9.1.	Cálculo de la media aritmética.....	37
3.9.2.	Cálculo de la desviación estándar de los datos obtenidos.....	38

3.9.3.	Cálculo de la desviación media de los datos obtenidos .....	39
3.9.4.	Comparación de probabilidades .....	39
3.9.5.	Comparación de media estadística.....	40
4.	RESULTADOS .....	41
4.1.	Resultados de los rendimientos de las fermentaciones.....	41
4.1.1.	Pruebas nivel laboratorio de la fermentación alcohólica.....	41
4.1.1.1.	Resultados para el análisis 1 .....	41
4.1.1.2.	Resultados para el análisis 2 .....	42
4.1.1.3.	Resultados para el análisis 3 .....	43
4.1.1.4.	Resultados para el análisis 4 .....	44
4.1.1.5.	Resultados para análisis simultáneos 1 ...	45
4.1.1.6.	Resultados para análisis simultáneos 2 ...	47
4.1.2.	Pruebas a nivel planta piloto de la fermentación alcohólica.....	50
4.1.3.	Pruebas nivel industrial de la fermentación alcohólica	52
4.2.	Resultados obtenidos de la inspección de materia prima en la elaboración de vinagre .....	54
4.3.	Puntos de control en el proceso de elaboración de vinagre .....	59
4.3.1.	Puntos de control para la fermentación alcohólica.....	59
4.3.2.	Puntos de control para la fermentación acética .....	59
4.4.	Análisis estadístico .....	60
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	65
6.	LOGROS OBTENIDOS.....	71

CONCLUSIONES.....73  
RECOMENDACIONES .....75  
BIBLIOGRAFÍA.....77  
APÉNDICES .....79  
ANEXOS .....95



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Plano de una planta de producción de vinagre .....	16
2.	Producción de vinagre .....	19
3.	Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca .....	42
4.	Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca .....	43
5.	Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca agregando miel de purga .....	44
6.	Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca agregando miel de purga .....	45
7.	Representación gráfica de la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 1 .....	46
8.	Representación gráfica de la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 2 .....	47
9.	Representación gráfica de la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca agregando miel de purga, corrida 1 .....	48
10.	Representación gráfica de la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca agregando miel de purga, corrida 2 .....	49

11.	Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel planta piloto, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 1 .....	50
12.	Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel planta piloto, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 2 .....	51
13.	Representación gráfica para la comparación de probabilidades a nivel laboratorio .....	62
14.	Historia del rendimiento de la fermentación alcohólica .....	63
15.	Reactor a nivel laboratorio .....	85
16.	Reactor a nivel planta piloto .....	86

## TABLAS

I.	Variables dependientes e independientes .....	23
II.	Parcelas experimentales .....	24
III.	Rendimiento para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca .....	41
IV.	Rendimiento para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca .....	42
V.	Rendimiento para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca agregando miel de purga .....	43
VI.	Rendimiento para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca agregando miel de purga .....	44
VII.	Rendimientos para la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 1 .....	45
VIII.	Rendimientos para la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 2 .....	46

IX.	Rendimientos para la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca agregando miel de purga, corrida 1 .....	47
X.	Rendimientos para la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca agregando miel de purga, corrida 2 .....	48
XI.	Rendimientos para la fermentación alcohólica nivel planta piloto, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 1 ...	50
XII.	Rendimientos para la fermentación alcohólica nivel planta piloto, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 2 ...	51
XIII.	Datos obtenidos para el análisis de la fermentación alcohólica a nivel industrial .....	52
XIV.	Datos obtenidos para el análisis de la fermentación acética ...	52
XV.	Datos obtenidos para el análisis de la clarificación .....	52
XVI.	Datos obtenidos para el análisis de la dilución .....	53
XVII.	Inspección del agua .....	54
XVIII.	Inspección de miel de purga .....	55
XIX.	Inspección del nutriente 1 .....	56
XX.	Inspección del nutriente 2 .....	57
XXI.	Inspección del azúcar .....	58
XXII.	Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca .....	60
XXIII.	Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca .....	60
XXIV.	Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca agregando miel de purga .....	61

XXV.	Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca agregando miel de purga .....	61
XXVI.	Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica, utilizando levadura fresca nivel planta piloto .....	62

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Alícuota
<b>M</b>	Concentración de la sal de Mohr
<b>Mol/L</b>	Concentración en moles por litro de solución
<b>N</b>	Concentración en normalidad
<b>Cox</b>	Contenido de carbono orgánico oxidable
<b><math>X_i</math></b>	Dato en la corrida i
<b>S</b>	Desviación estándar de los datos
<b>Dm</b>	Desviación media de los datos
<b>E</b>	Error estimado
<b>L/h</b>	Flujo en litros por hora
<b><math>C_6H_{12}O_6</math></b>	Fórmula química de la glucosa
<b><math>CH_3COOH</math></b>	Fórmula química del ácido acético

<b>H<sub>2</sub>O</b>	Fórmula química del agua
<b>CO<sub>2</sub></b>	Fórmula química del dióxido de carbono
<b>C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH</b>	Fórmula química del etanol
<b>O<sub>2</sub></b>	Fórmula química del oxígeno molecular
<b>GB</b>	Gasto de la bureta
<b>° alcohol</b>	Grado alcohólico
<b>° acidez</b>	Grado de acidez
<b>°Brix</b>	Grados brix
<b>Kcal</b>	Kilocalorías
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>Lb</b>	Libras
<b>L</b>	Litros de una solución
<b>Lvinagre</b>	Litros de vinagre de acidez 5.2°
<b>P</b>	Masa de la muestra
	Media aritmética

<b>M</b>	Metros
<b>Ni</b>	Número de corridas
<b>N</b>	Número de datos
<b>Ppm</b>	Partes por millón
<b>Peq</b>	Peso miliequivalente
<b>%</b>	Porcentaje
<b>%v/v</b>	Porcentaje volumen – volumen
<b>P</b>	Probabilidad de éxito
<b>Q</b>	Probabilidad de fracaso
<b>g/L</b>	Relación entre gramos por litros de solución
<b>Kg/MI</b>	Relación entre kilogramos por mililitros de solución
<b>mL/L</b>	Relación mililitros por litros de solución
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>°C</b>	Temperatura en grados Celsius

<b>Z</b>	Valor de riesgo deseado
<b>Vm</b>	Volumen consumido de solución de sal de Mohr en la titulación
<b>Vb</b>	Volumen consumido de solución ferrosa en titulación en blanco
<b>VVM</b>	Volumen por volumen por minuto



## GLOSARIO

<b>Acetaldehído</b>	También llamado etanal, es un compuesto orgánico de fórmula $\text{CH}_3\text{CHO}$ . Es un líquido volátil, incoloro y con un olor característico ligeramente afrutado.
<b>Acetator</b>	Recipiente en el que se mantienen controladas las condiciones adecuadas para que se desarrolle la reproducción de las bacterias acéticas (del género acetobacter), a un ritmo acelerado, las cuales incluyen el suficiente suministro de oxígeno y temperatura constante.
<b><i>Acetobacter aceti</i></b>	Género de bacterias del ácido acético caracterizado por su habilidad de convertir el alcohol (etanol) en ácido acético en presencia de aire.
<b>Ácido acético</b>	También conocido como ácido metilencarboxílico, es un ácido que se encuentra en vinagre, siendo el principal responsable de su sabor y olor agrios.
<b>Aeróbico</b>	Organismos que necesitan del oxígeno diatómico para vivir o poder desarrollarse.

<b>Agente antiespumante</b>	Aditivo que se emplea para evitar la formación de espuma al agitar un líquido, ya que disminuye su tensión superficial.
<b>Anaeróbico</b>	Organismos que pueden vivir sin aire para reproducirse.
<b>Antiespumante</b>	En el acetator, es un motor que se encarga de disminuir la formación de espuma sin la necesidad de agregar químicos para ello.
<b>Aereador</b>	Motor que continuamente provee a todo el interior del tanque acetator con las más finas burbujas de aire, para que las bacterias encuentren una concentración óptima de oxígeno, que ayude a su actividad en cualquier punto del tanque.
<b>Automatización</b>	Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos.
<b>Batch</b>	Este tipo de procesos son aquellos que conducen a la producción de cantidades finitas de producto a partir de la entrada de materia prima, permitiendo una reacción en un tiempo finito, para la obtención del producto.

<b>Butano</b>	Hidrocarburo saturado, parafínico o alifático, inflamable y gaseoso. Puede ser utilizado como combustible.
<b>Cantidad de sólidos</b>	Cantidad de materia sólida que existe en una solución.
<b>Carboxilación</b>	Proceso químico en el cual un grupo carboxilo (-COOH) sustituye a un átomo de hidrógeno.
<b>Clarificación</b>	Proceso de separación de pequeñas cantidades de sólido suspendidas en un líquido por medio de una filtración o por centrifugación.
<b>COGUANOR</b>	La Comisión Guatemalteca de Normas -COGUANOR- es la entidad reconocida nacional e internacionalmente, que gestiona la normalización técnica y actividades conexas, para propiciar la obtención de productos y servicios de calidad.
<b>Condensador</b>	Tubo refrigerante utilizado en laboratorios químicos.
<b>Control de calidad</b>	Adopción de prácticas de gestión de la calidad en empresas que conforman el sector productivo del país para fomentar la calidad de los bienes y servicios que se ofrecen en el mercado nacional e internacional.

<b>Cultivo sumergido</b>	Líquido que se utiliza para colocar las acetobacterias para que realicen la fermentación acética. En este caso es el etanol.
<b>Chicha acidificada</b>	Se refiere a la adición de vinagre alto al etanol producido luego de la fermentación alcohólica para llegar a obtener 1.5° de acidez.
<b>Destilación</b>	Proceso de separación, mediante vaporización y condensación, los diferentes componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición.
<b>Dilución</b>	Disminución de la concentración de un líquido, generalmente por la adición de un disolvente.
<b>Drenaje</b>	Sistema de tuberías, sumideros o trampas, con sus conexiones, que permite el desalojo de líquidos.
<b>Dureza de agua</b>	Concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio.
<b>Enzimas</b>	Moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas.

<b>Etanol</b>	También denominado alcohol etílico, es una alcohol que se presenta como líquido incoloro e inflamable.
<b>Exotérmico</b>	Reacción química que desprende energía en forma de calor.
<b>Extractos</b>	Sustancia que, en forma concentrada, se extrae de otra, de la cual conserva sus propiedades.
<b>Fermentación</b>	Proceso catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbico, siendo el producto final un compuesto orgánico.
<b>Fermentación acética</b>	El alcohol etílico es transformado totalmente en ácido acético y agua por acción de bacterias del grupo acetobacter en presencia de oxígeno.
<b>Fermentación alcohólica</b>	Proceso por el que los azúcares contenidos en el mosto se convierten en alcohol etílico.
<b>Fermentación sumergida</b>	Fermentación en donde los organismos, en este caso las acetobacterias, realizan el proceso de fermentación en un líquido, en este caso en una mezcla alcohólica, para que estas puedan multiplicarse y oxidar dicha mezcla en vinagre.

<b>Filtración</b>	Proceso de separación de fases de un sistema heterogéneo, que consiste en pasar una mezcla a través de un medio poroso o filtro, donde se retiene la mayor parte de los componentes sólidos de la mezcla.
<b>Filtro de tierra diatomácea</b>	Se prepara con tierra diatomácea y fibra para separar materia en suspensión en un líquido. Remueven partículas tan pequeñas como 3 – 5 micrones.
<b>Floculante</b>	Sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación.
<b>Grado alcohólico</b>	Es la expresión en grados del número de volúmenes de alcohol (etanol) contenidos en 100 volúmenes del producto, medidos a la temperatura de 20 °C. Es una medida de concentración porcentual en volumen.
<b>Grado de acidez</b>	Indica el contenido en ácidos libres. Se determina mediante una valoración (volumetría) con un reactivo básico. El resultado se expresa como el % del ácido predominante en el material.
<b>Insumos</b>	Es un bien consumible utilizado en el proceso productivo de otro bien.

<b>Levadura</b>	Cualquiera de los diversos hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la descomposición mediante fermentación de diversos cuerpos orgánicos, principalmente los azúcares o hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias.
<b>Levadura fresca</b>	También denominada levadura prensada, ya que viene en forma de pasta prensada en bloques, se debe conservar en frío, y tiene un periodo de caducidad relativamente corto. Para usarla hay que mezclarla con agua antes de añadirla.
<b>Levadura seca</b>	Suele venir en sobres herméticos, es la misma que la anterior pero deshidratada y granulada. Es la que mejores resultados suele dar, ya que su caducidad es larga.
<b>Metanol</b>	Compuesto químico, también conocido como alcohol metílico, es el alcohol más sencillo.
<b>Miel de purga</b>	También denominado melaza, es el efluente final que se obtiene de la preparación del azúcar mediante una cristalización repetida. La formación de melazas se presenta cuando cesa la cristalización del azúcar.

<b>Monitoreo</b>	Observar el curso de uno o varios parámetros para detectar posibles anomalías en un proceso, y así evitarlos.
<b>Mosto</b>	Es el zumo de la uva que contiene diversos elementos de esta, como pueden ser la piel, las semillas, etc. Se considera una de las primeras etapas de la elaboración del vino.
<b>Nivel industrial</b>	Proceso llevado a cabo para grandes cantidades de insumos.
<b>Nivel laboratorio</b>	Proceso llevado a cabo para pequeñas cantidades de insumos, con el fin de realizar pruebas. A partir de esto, se decide si es factible llevar el proceso a nivel planta piloto.
<b>Nivel planta piloto</b>	Proceso llevado a cabo para medianas cantidades de insumos. A partir de esto, se decide si es factible llevar el proceso a nivel industrial.
<b>Nutrientes</b>	Sustancias nitrogenadas, las sales y los factores de crecimiento (vitaminas) que normalmente se hallan en el mosto en concentración suficiente para el desarrollo de las levaduras.



<b>Oxidación</b>	Es la reacción química a partir de la cual un átomo, ión o molécula cede electrones, entonces se dice que aumenta su estado de oxidación.
<b>Pasteurización</b>	Proceso térmico realizado a líquidos (generalmente alimentos) con el objetivo de reducir los agentes patógenos que puedan contener: bacterias, protozoos, mohos y levaduras.
<b>Productividad</b>	Relación entre la producción obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción.
<b>Puntos críticos de control</b>	Parámetros establecidos en un proceso, los cuales son críticos al momento de la producción. Es decir que son de mayor importancia para la realización del proceso.
<b>Puntos de control</b>	Parámetros establecidos en un proceso que permiten controlar el mismo por medio de la adecuada manipulación de estos.
<b>Reactivo limitante</b>	Es el reactivo que se consume primero en la reacción.

<b>Refractómetro</b>	Instrumentos de medición en los que se mide la desviación de la luz a través de una solución. Se mide en Brix, es decir el porcentaje de concentración de los sólidos solubles contenidos en una muestra.
<b>Rendimiento porcentual</b>	Se refiere al aprovechamiento máximo de los insumos para aumentar la capacidad de producción en cualquier proceso. Es decir, que utilizando una cantidad menor o igual de materia prima, se logrará obtener una mayor cantidad de producto, aumentando con ello la productividad.
<b>Rendimiento teórico</b>	Es la cantidad de producto que se predice mediante la ecuación balanceada cuando ha reaccionado todo el reactivo limitante. El rendimiento teórico es el rendimiento máximo que se puede obtener.
<b><i>Saccharomyces cerevisiae</i></b>	Hongo unicelular, es un tipo de levadura utilizado industrialmente en la fabricación de pan, cerveza y vino.
<b>Sal</b>	Compuesto químico formado por cationes (iones con carga positiva) enlazados a aniones (iones con carga negativa).

<b>Tierra diatomácea</b>	También conocida como tierra de diatomeas o <i>kieselgur</i> , formada a partir de sílice, alúmina y otros minerales, viene en forma de polvo blancuzco, utilizada para filtraciones.
<b>Turbidez</b>	Es la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Se realiza una comparación con la turbidez del agua.
<b>Turbidímetro</b>	Instrumento nefelométrico que mide la turbidez causada por partículas suspendidas en un líquido. Se hace pasar un rayo de luz a través de la muestra y se mide la luz reflejada por las partículas en un ángulo de 90° con respecto al rayo incidente. Las lecturas se dan en NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez)
<b>Velocidad de reacción</b>	Es la rapidez de formación de un producto en una reacción química. Los factores más importantes relacionados son la concentración de los reactivos y el tiempo.
<b>Vinagre</b>	Líquido miscible en agua, con sabor agrio, que proviene de una doble fermentación a partir de azúcares.
<b>Vinagre alto</b>	Es el vinagre cuya concentración de acidez es alta.



## RESUMEN

Se realizó un estudio de las fermentaciones, alcohólica y acética, en la elaboración de vinagre, identificando los puntos de control para aumentar el rendimiento del proceso.

Las pruebas realizadas tanto a nivel laboratorio como nivel planta piloto de la fermentación alcohólica, aumentando el grado alcohólico de la misma a 10.85%v/v utilizando levadura fresca, y a 11.3%v/v utilizando levadura seca. Luego se trasladó el estudio a nivel industrial, y con ello se siguió cada batch del proceso para implementar las mejoras, aumentando el grado alcohólico de 10.4%v/v a 11.7%v/v.

A partir de los resultados obtenidos se determinó que la metodología que genera mejores rendimientos en la fermentación alcohólica se logra realizando una mezcla de agua, azúcar, nutrientes y levadura seca. Sin embargo, al analizar los costos de las levaduras, se determinó que al utilizar levadura fresca el proceso es más rentable.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Aumentar el rendimiento del proceso de elaboración de vinagre a partir de la fermentación de azúcar por medio del monitoreo y control de las variables, identificando las oportunidades de mejora.

### **Específicos**

1. Evaluar las variables en los procesos de fermentación alcohólica y acética de la elaboración de vinagre, utilizando levadura fresca y levadura seca.
2. Evaluar e identificar las oportunidades de mejora en las condiciones de almacenamiento, inspección y pesaje de la materia prima para la elaboración de vinagre a partir de la fermentación de azúcar.
3. Identificar los puntos de control en el proceso de elaboración de vinagre a partir de la fermentación de azúcar, basado en la norma COGUANOR NGO. 34 185 para mejorar el monitoreo en el proceso de producción.





## INTRODUCCIÓN

Se dice que la palabra vinagre se deriva del francés "*Vin*" que significa vino y la palabra "*aigre*" que significa agrio. El vinagre fue hecho primero de vino, tal como lo indica su nombre desde épocas remotas. En Francia, en el siglo XVI, el vinagre se hacía de uvas para el consumo hogareño y para la exportación. Puede obtenerse a partir de muchas frutas y vegetales.

El vinagre es esencialmente una solución diluida de ácido acético hecho por una doble fermentación, a la que se le agregan sales y extractos de otras materias para generar un producto de una cualidad distintiva. El azúcar la base en la producción de vinagre, por lo que se utilizan jugos de frutas.

Se realiza por dos procedimientos bioquímicos distintos y ambos son el resultado de la acción de microorganismos. El primer proceso se lleva a cabo por la acción de fermentos que transforman el azúcar en alcohol y en el gas bióxido de carbono. Esta es la fermentación alcohólica. El segundo proceso resulta de la acción de aceto-bacterias que tienen el poder de combinar el oxígeno del alcohol para formar así ácido acético. Esta es la fermentación acética.

El principal propósito del proyecto fue en principio determinar una metodología que generara altos rendimientos en las fermentaciones y así obtener un proceso más rentable, cumpliendo con las especificaciones según la norma COGUANOR No. 34-185.



## 1. ANTECEDENTES

El vinagre es un producto que se ha realizado desde épocas remotas, pero fue hasta el siglo 17 que se aplicaron bacterias para la realización del proceso por medio de una doble fermentación. Desde entonces se han realizado numerosos estudios sobre el tema.

- En la Facultad de Ingeniería, de la Escuela de Ingeniería Química, en 1984, José Vicente Garavito Solórzano, realizó el trabajo de graduación titulado “Optimización a partir de datos experimentales de las variables de operación en la fermentación alcohólica llevada a cabo en el proceso de fabricación de vinagre por inmersión, para una industria guatemalteca”, cuyo objetivo fue mejorar las condiciones bajo las cuales se lleva una fermentación alcohólica, evaluando las variables de operación del proceso, así como los rendimientos obtenidos en cada fermentación, determinando con ello que la temperatura y el pH son las variables críticas.
- En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar, en 2005, Sylvia Sabrina Mendía Reyes, realizó el trabajo de graduación titulado “Diseño de una planta productora de vinagre obtenido a partir de la cáscara de piña (*Ananas comosus*)”, cuyo objetivo era realizar pruebas de la obtención de vinagre a partir de una doble fermentación utilizando los azúcares extraídos de la cáscara de la piña, y con ello se realizó el diseño de un proceso de manufactura utilizando variables fijas de operación de las fermentaciones (pH, temperatura, aireación, agitación, etc) así como se realizó el estudio económico del proceso.

- En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar, en 2007, Ingreed Orieta López Zelada, realizó el trabajo de graduación titulado “Proceso de elaboración a nivel de laboratorio para la obtención de ácido acético (vinagre) a partir de la fermentación microbiológica de agua de coco”, realizando pruebas de la fermentación alcohólica a partir del jugo de coco el cual provee de los azúcares necesarios a las levaduras para su alimentación, analizando la composición de los jugos para determinar la factibilidad del estudio. A partir de la fermentación alcohólica se trasladó a una fermentación acética logrando obtener vinagre.
- En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar, en 1984, Silvia María Concepción Saravia Guillen, realizó el trabajo de graduación titulado “Ensayos cinéticos de laboratorio utilizando medios concentrados de melaza como sustrato de la fermentación alcohólica”, realizando un estudio de la fermentación alcohólica a partir de melaza para la obtención de combustibles para motores, determinando que este es un recurso energético rentable tanto para las industrias azucareras como para la sociedad .
- En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar, en 1984, Clara Regina Lorenesi Alday, realizó el trabajo de graduación titulado “Estudio de la cinética de la fermentación alcohólica de la levadura L-181 en la presencia de etanol”, cuyo objetivo fue analizar las reacciones llevadas a cabo por medio del tipo específico de levadura a distintos grados alcohólicos, evaluando las condiciones de operación, determinando que las velocidades de las reacciones llevadas a cabo fueron altas a grados alcohólicos no mayores a 16%v/v.

## 2. MARCO TEÓRICO

El vinagre es esencialmente una solución diluida de ácido acético hecho por fermentación, a la que se le agregan sales y extractos de otras materias. Estas sustancias adicionales, cuya naturaleza y cantidad exacta dependen sobre todo del ingrediente utilizado, dan al producto su cualidad distintiva. El azúcar es la base en la producción del vinagre. Cualquier solución diluida de un azúcar fermentable puede transformarse en vinagre en condiciones favorables. Muchos jugos de frutas se prestan para este fin si contienen en proporción apropiada azúcar y otras sustancias necesarias o deseables.

Todo vinagre se hace por dos procedimientos bioquímicos distintos y ambos son el resultado de la acción de microorganismos. El primer proceso es llevado a cabo por la acción de fermentos que transforman el azúcar en alcohol y en el gas bióxido de carbono. Esta es la fermentación alcohólica. El segundo proceso resulta de la acción de un grupo amplio de acetobacterias que tienen el poder de combinar el oxígeno con el alcohol, para así formar ácido acético. Esta es la fermentación acética o acetificación.

Acetobacter aceti, es lo que normalmente se usa para producir vinagre con un porcentaje de ácido acético superior al 14%. Cuando se utiliza sidra, vino o malta como materia prima se puede obtener aproximadamente 5% de ácido acético. El color y el sabor dependen de la materia prima empleada (sidra, vino, cerveza, malta de cebada, etc) y del método de producción.

Tradicionalmente, el vinagre fue producido en barriles llenos de las virutas de madera sobre el cual se rociaba el vino. Cuando el vinagre es

destilado este no tiene color. El vinagre de vino se denomina así al más corriente de todos los vinagres, así como vinagre de vino de mayor consumo y producción mundial. El vinagre del vino es un vinagre procedente de las diferentes variedades de vino.

En muchos países la legislación exige que el ácido acético en vinagre sea producido por fermentación y no por procesos químicos. También existen tres procesos químicos para producir ácido acético: carboxilación del metanol, oxidación del butano u oxidación del acetaldehído. El vinagre contiene de 4 a 8% de ácido acético en volumen.

## 2.1. Fermentación

El significado científico de la fermentación, es que la energía de levitación anaeróbica del metabolismo de unos nutrientes, tales como el azúcar, convierte a estos nutrientes en ácido láctico, ácido acético, y etanol. Éstos son el producto final de fermentación de algunos microorganismos:

- *Saccharomyces cerevisiae*: alcohol etílico y dióxido de carbono.
- *Streptococo* y *Lactobacillus*: el ácido láctico.
- *Propionibacterium*: ácido propionic, ácido acético, y el dióxido de carbono.
- *Escherichia coli*: ácido acético, ácido láctico, ácido succinic, alcohol etílico, dióxido de carbono e hidrógeno.
- *Enterobacter*: ácido fórmico, alcohol etílico, ácido 2,3 butanodiol y láctico, dióxido de carbono, e hidrógeno.
- *Clostridium*: ácido butírico, alcohol butílico, acetona, alcohol de isopropílico, dióxido de carbono, e hidrógeno.

En un significado más amplio, la fermentación hace referencia al crecimiento de microorganismos en los alimentos. Aquí, no se establece diferencia entre metabolismo aeróbico (el oxígeno es usado) y anaeróbico (no es usado oxígeno). En otras palabras, la fermentación cambiará gradualmente las características de los alimentos por la acción de enzimas, producidas por algunas bacterias, mohos y levaduras.

### **2.1.1. Fermentación alcohólica**

La fermentación alcohólica es el proceso por el que los azúcares contenidos en el mosto se convierten en alcohol etílico.

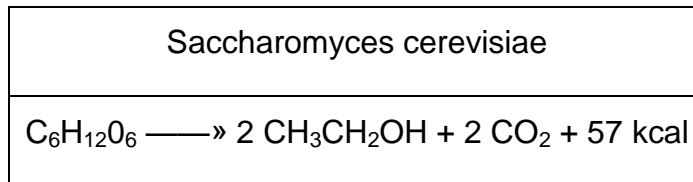
Para llevar a cabo este proceso es necesaria la presencia de levaduras, hongos microscópicos que se encuentran de forma natural en los hollejos (en la capa de polvillo blanco que recubre las uvas y que se llama "pruina")

El oxígeno es el desencadenante inicial de la fermentación, ya que las levaduras lo van a necesitar en su fase de crecimiento. Sin embargo al final de la fermentación conviene que la presencia de oxígeno sea pequeña para evitar la pérdida de etanol y la aparición en su lugar de acético o acetilato.

El proceso, simplificado, de la fermentación es:

Azúcares + levaduras ==> Alcohol etílico + CO<sub>2</sub> + Calor + Otras sustancias

La ecuación balanceada de la reacción de fermentación alcohólica es la siguiente:



[Ecuación No. 1, Ref. Elec. No. 1]

La fermentación alcohólica es un proceso exotérmico, es decir, se desprende energía en forma de calor. Es necesario controlar este aumento de temperatura ya que si ésta ascendiese demasiado (25 - 30°C) las levaduras comenzarían a morir deteniéndose el proceso fermentativo.

Manteniendo un flujo de agua constante y recirculando por un serpentín dentro del tanque de fermentación, se consigue limitar la temperatura del depósito

Uno de los productos resultantes de la fermentación es el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) en estado gaseoso, lo que provoca el burbujeo, la ebullición y el aroma característico de una cuba de mosto en fermentación.

Esta ebullición hace que las partes sólidas (hollejos) suban a la superficie del mosto formándose una capa en la parte superior del depósito llamado "sombbrero".

A lo largo de todo el proceso de fermentación, y en función de las condiciones (cantidad de azúcar disponible, temperatura, oxígeno, etc.) cambia el tipo de levadura que predomina pudiéndose distinguir varias fases en la fermentación:

1ª fase (1er día), predominan levaduras no esporogéneas, que resisten un grado alcohólico 4 – 5%v/v. Son sensibles al anhídrido sulfuroso.



2ª fase (2º- 4º día), predomina el *Saccharomyces cerevisiae* que resiste hasta un grado de alcohol entre 8 y 16%v/v. En esta fase es cuando se da la máxima capacidad fermentativa.

3ª fase (5º - 6º día), sigue actuando *Saccharomyces cerevisiae* junto a *Sacharomyces oviformis*.

También pueden existir otros microorganismos procedentes principalmente de las bodegas y de los utensilios, suelen ser hongos entre los que destacan *Penicillium*, *Aspergillus*, *Oidium*, etc.

Otras sustancias generadas en la fermentación son:

- Ácido acético
- Ácido láctico
- Ácido pirúvico y acetaldehído
- Acetoína, Diacetilo y 2-3 Butanodiol (butilenglicol)
- Alcoholes Superiores, Ésteres y Acetatos

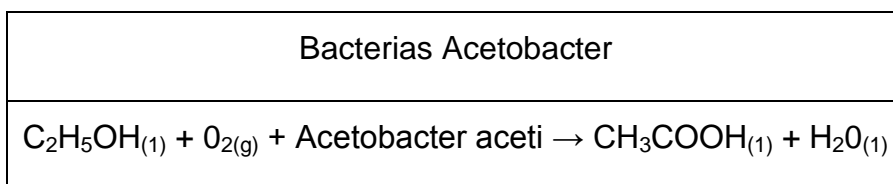
El proceso fermentativo termina cuando ya se han consumido prácticamente todos los azúcares y cesa la ebullición.

### **2.1.2. Fermentación acética**

Los licores de fermentación suave, se convierten solo con la exposición al aire. Esto es debido a la conversión del alcohol en ácido acético. El ácido acético es producido mediante la fermentación de varios sustratos, como solución de almidón, soluciones de azúcar, ó productos alimenticios alcohólicos como vino o sidra, con bacterias de *Acetobacter*. Ejemplos de la fermentación acética:

- Europa Occidental: La cidra y vinagre de manzana y el vinagre de vino, kambucha
- África: vinagre de vino de palmera
- Filipinas: vinagre de agua de coco

Los principales cambios químicos involucrados en la fermentación acética pueden ser representados por la siguiente ecuación:



[Ecuación No. 2, Ref. Elec. No. 1]

Durante el proceso, el alcohol etílico es transformado totalmente en ácido acético y agua por acción de bacterias del grupo acetobacter en presencia de oxígeno, es decir que son bacterias aeróbicas.

Otras transformaciones paralelas tienen lugar, como son la transformación del ácido málico, ácido láctico y glicerina, y la aparición de otros subproductos químicos que pueden alterar el producto final.

En la obtención de una buena fermentación es fundamental la rapidez de esta transformación y en esto es muy importante la presencia de oxígeno durante todo el proceso y la siembra inicial de bacterias seleccionadas.

Esto se logra realizando las fermentaciones en tanques de un máximo de diámetro de 7 m y una altura de un máximo de 20 m. La siembra de bacterias

acetificadoras se logra mediante la mezcla en partes iguales de sidra y vinagre fresco y caliente.

La aireación se logra mediante la introducción por el fondo del tanque, de oxígeno el cual está constantemente burbujeando a través de todo el proceso. Es necesario realizar controles periódicos de la disminución del alcohol y aumento del ácido acético.

Un pequeño porcentaje de alcohol no superior a 0,5%v/v queda como remanente al final del proceso. En un proceso bien llevado se pueden obtener rendimientos del orden de 0,8 partes de ácido acético por cada parte del alcohol.

### **2.1.3. Factores claves en el proceso de fermentación**

Las levaduras deben encontrarse en un medio donde puedan comenzar a transformar el azúcar en alcohol, así como también necesita de ciertas condiciones ambientales:

- **Temperatura**

Una levadura puede resistir temperaturas muy bajas. Sólo permanece estable, dormida. El calor excesivo, sin embargo, la mata. Un mosto que supera los 35 grados es un ambiente aniquilador de *Saccharomyces cerevisiae*. Si la temperatura comienza a aumentar, la actividad de las levaduras se vuelve más y más lenta y lo que se debe hacer es tratar de bajar lentamente porque *cerevisiae* no sólo odia el calor sino aborrece los cambios bruscos de temperatura. A unos 18 grados esta levadura puede hacer muy bien su trabajo. Mientras más alta sea la temperatura, menos pura resulta la fermentación alcohólica. Se produce menos etanol y más cantidad de compuestos

secundarios que a menudo no conllevan a mejorar la calidad del producto final. La temperatura óptima de trabajo es alrededor de los 30° C. Por encima de los 35° C la actividad decrece rápidamente, y en torno a los 45° C mueren. Por debajo de los 10° C la mayor parte de las levaduras silvestres son inactivas.

- Oxígeno

Tal como los seres humanos, *Saccharomyces cerevisiae* necesita oxígeno para poder vivir y multiplicarse, pero a diferencia de nosotros, ella puede estar sin él por un tiempo razonable (puede, en el fondo, trabajar en medios anaeróbicos). Una aireación al comienzo de la fermentación en blanco asegura una buena cantidad de levaduras que se multiplicarán y harán bien su trabajo cuando el aire falte. Esporádicas aireaciones en los mostos más la suma de levaduras externas, si es necesario, tendrán el mismo resultado.

- Alcohol

*Saccharomyces cerevisiae* puede trabajar bien en medios alcohólicos como lo son los mostos transformándose en vino, aunque no resiste extremos. Más allá de los 14 grados de alcohol, su trabajo se hace muy lento.

- Nutrientes

Por un lado están los azúcares, que son fuente de carbono y de energía para las levaduras y que deben encontrarse en concentración superior a 20 g/L para que la fermentación alcohólica transcurra a su velocidad máxima. Por otro lado están las sustancias nitrogenadas, las sales y los factores de crecimiento (vitaminas) que normalmente se hallan en el mosto en concentración suficiente para el desarrollo de las levaduras. Sin embargo en casos de vendimias atacadas de podredumbre en las que los mohos han consumido parte de estos nutrientes, puede ser necesario adicionar al mosto complejos vitamínicos y sales de amonio.

- Los compuestos químicos de acción negativa

Por un lado la acumulación de los propios productos de la fermentación alcohólica pueden ralentizarla. Por otro lado, esos mismos compuestos junto a otros presentes en el mosto de forma natural (taninos) o artificial (pesticidas, SO<sub>2</sub>, etc) pueden actuar como inhibidores del crecimiento de las levaduras.

## **2.2. Elaboración de vinagre**

Para la elaboración de vinagre se parte de alcohol producto del vino, vino de frutas, malta del vino, o alcohol diluido. El producto es efecto de pequeños organismos: acetobacterias, las cuales se encargan de convertir el alcohol en ácido acético utilizando oxígeno del ambiente. Las condiciones ideales incluyen concentraciones óptimas de oxígeno, alcohol y nutrientes, una temperatura constante, y un proceso altamente controlado.

El proceso de producción comienza con una fermentación alcohólica, la cual consiste en colocar una mezcla de agua, azúcar, nutrientes y levadura dentro de un tanque en el cual, bajo ciertas condiciones de operación, se permite reaccionar dichos ingredientes. Estas condiciones de trabajo (temperatura, oxigenación, etc.), deben ser controladas ya que de lo contrario se provoca la deficiencia del proceso, así como pérdidas de producción. La solución obtenida es acidificada, cuyo producto se denomina “chicha acidificada”.

Esta “chicha acidificada” se traslada a una fermentación acética, la cual es una fermentación con cultivo sumergido, donde las bacterias acéticas están sumergidas libremente en el seno del líquido a fermentar, en el que constantemente se introduce aire, en condiciones que permitan la máxima

transferencia posible desde la fase gaseosa a la fase líquida. Esto se lleva a cabo en un equipo llamado "acetator", el cual consiste es un recipiente en el que se mantienen controladas las condiciones adecuadas para que se desarrolle la reproducción de las bacterias acéticas (del género acetobacter), a un ritmo acelerado. Estas condiciones incluyen el suficiente suministro de oxígeno y temperatura constante. Se debe de tener el suficiente cuidado del proceso, ya que cualquier factor externo que modifique las condiciones de operación puede llegar a interrumpir la producción hasta por 8 días.

El proceso de fabricación es por tandas o batches, por lo que es necesario controlar la cantidad de vinagre a descargar cada 24 horas. Para efectuar esta operación es necesario que el grado alcohólico de la fermentación se encuentre entre 0.1 – 0.2%v/v; se descarga alrededor de un tercio del volumen contenido en el acetator y se sustituye con una cantidad igual de chicha acidificada. El vinagre descargado se almacena en pipas de madera en un tiempo necesario para alcanzar su añejamiento. La presencia de bacterias residuales también ayuda a mejorar el sabor del producto.

Durante este tiempo se agrega un agente floculante, el cual produce una sedimentación de los materiales suspendidos en la mezcla, lo que permite una filtración posterior más eficiente. Para la filtración, el vinagre se diluye con agua tratada, para luego pasar la dilución en filtros de placas para eliminar residuos de bacterias y materia en suspensión.

Este proceso de filtrado se realiza 2 veces, para aumentar la calidad del filtrado y evitar problemas posteriores. El vinagre filtrado y pulido se pasa a través de un intercambiador de calor de placas para matar todas las bacterias que pudieran estar vivas, es decir que atraviesa un proceso de pasteurización. La temperatura del producto se mantiene alrededor de 80°C durante el

embotellado, ya que si el vinagre se envasa a una temperatura menor puede deteriorarse el producto en términos de pérdida de aroma y sabor, turbidez o hasta putrefacción. Para asegurar que el producto llegue al consumidor sin alteración se utiliza una tapadera con sello de seguridad.

Así, a través de la acción de una levadura y una bacteria se realizan las etapas de fermentación en este proceso que logra un producto con características únicas, utilizado en variedad de aplicaciones industriales, comerciales y caseras.

### **2.2.1. Condiciones ideales para la fermentación sumergida para la elaboración de vinagre**

El término “fermentación sumergida” muestra la similaridad de los procesos utilizados en la producción de antibióticos, levaduras, etc. Así en estos procedimientos, dicho término expresa que los organismos, en este caso las acetobacterias, realizan el proceso de fermentación en un líquido, en este caso en una mezcla alcohólica. La fermentación sumergida se realiza sin material de empaque (viruta, abedul, etc) como se utiliza en generadores empacados que contienen las acetobacterias. Estas siempre deben encontrarse sumergidas en un líquido de fermentación donde puedan multiplicarse y oxidar la mezcla alcohólica en vinagre.

Para la oxidación y el mantenimiento de su actividad, las bacterias necesitan oxígeno. Así que uno de los requerimientos esenciales del proceso es una inyección uniforme e intensa de aire al líquido a fermentar. Esta es una de las garantías del aereador, el cual continuamente provee a todo el interior del tanque de fermentación con las más finas burbujas de aire, para que las bacterias encuentren una concentración óptima de oxígeno, que ayude a su actividad en cualquier punto del tanque.

La aireación de líquidos a fermentar que tienen una tensión superficial mayor que la del agua resulta en espuma. La cantidad y composición de esta espuma difiere acorde a la materia prima utilizada. El antiespumante vertical, posee un interruptor automático, condensa la espuma en un medio puramente mecánico. No se requieren de agentes antiespumantes químicos. Por lo tanto, la descarga de vinagre de la unidad de fermentación debe contener un 0.2 a 0.3% en volumen de alcohol.

#### **2.2.1.1. Máxima economía**

El corto tiempo de residencia de la materia prima dentro del Acetator y las mínimas cantidades de aire consumido conllevan a un rendimiento óptimo: De 100 litros de alcohol absoluto se pueden producir entre 920 y 960 litros de vinagre con 10%v/v de acidez. El rango de producción depende en el uso de un condensador y un exhaustivo depurador de aire. Al combinar estas dos unidades, la producción puede aumentar hasta 960 litros de vinagre. Este aumento no solo se obtiene en el primer año de operación, sino que permanece constante durante toda la vida de la unidad de fermentación. Si se incluyen los últimos sistemas de control y medición, las horas de trabajo requeridas para la supervisión de la producción de vinagre se reducen a un mínimo absoluto.

#### **2.2.1.2. Alta velocidad de fermentación**

Un aereador garantiza un mezclado ideal y una conversión de chicha sometida a la fermentación. Un motor dimensionado a precisión para el aereador provee la máxima eficiencia y rendimiento a valores extremadamente bajos de energía.



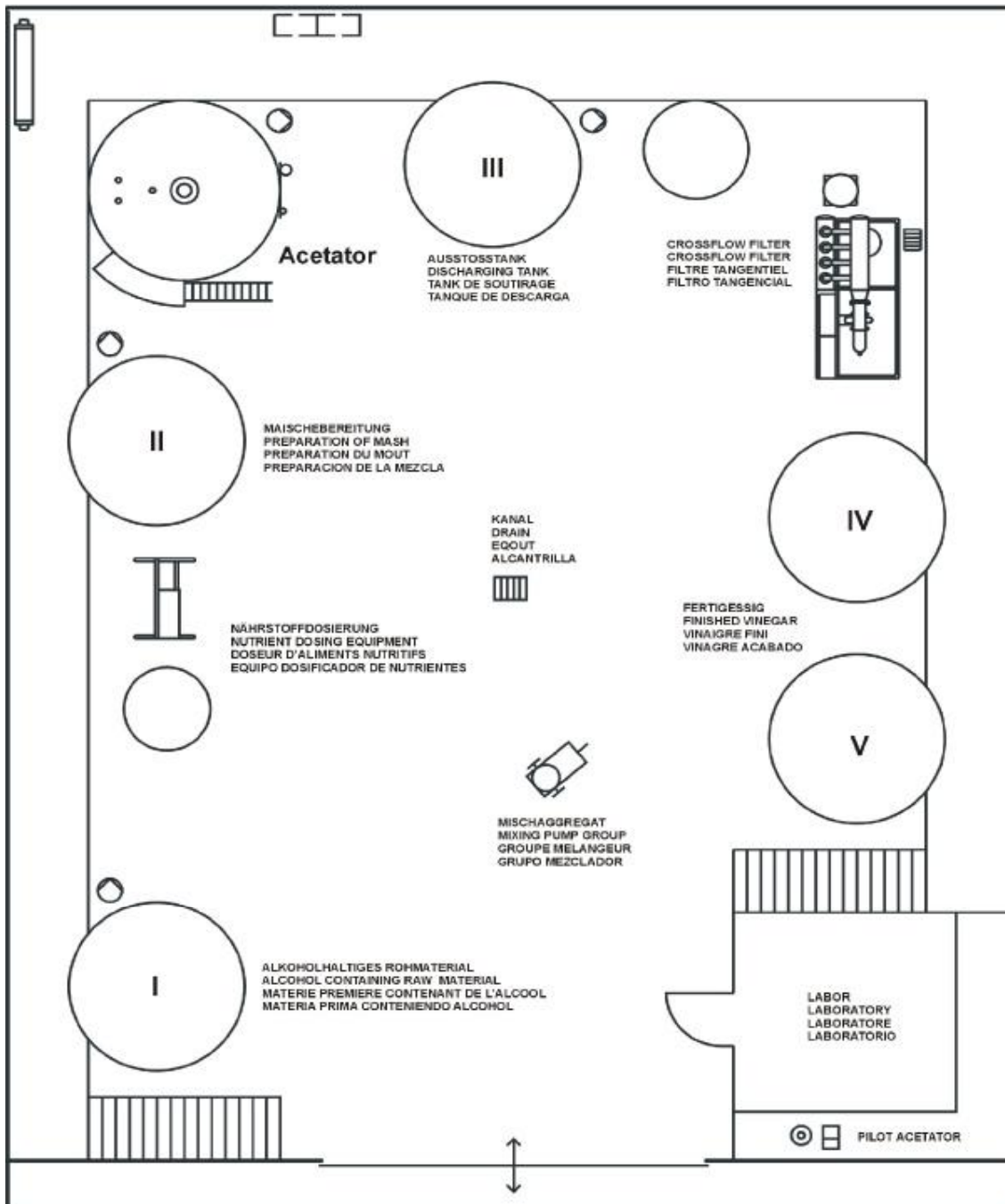
### **2.2.1.3. Excelente calidad del vinagre producido**

Gracias al corto tiempo de residencia de la fermentación dentro del Acetator y la mínima cantidad de aire, el vinagre final contiene vagamente los sabores de las sustancias de las materias primas, y logra un apacible y aromático sabor en un tiempo relativamente bajo de almacenaje.

### **2.3. Construcción**

La ilustración 1 es un ejemplo de un diseño ideal para la construcción de una fábrica productora de vinagre, con una plataforma que rodea el área de producción y ofrece acceso a todos los tanques desde arriba. El área posee un sistema de drenaje para facilitar la limpieza con agua. Una habitación con seguridad sirve como un pequeño laboratorio y como almacén para los nutrientes y partes de repuesto.

Figura 1. Plano de una planta de producción de vinagre



Fuente: [http://www.frings.com/wEnglisch/essigtechnik/essig\\_infos.shtml](http://www.frings.com/wEnglisch/essigtechnik/essig_infos.shtml), febrero 2010

### **2.3.1. Proceso de producción de vinagre**

La ilustración 2 muestra la producción de vinagre realizado a partir de alcohol, vino de uva, vino de frutas, vino de malta, y otras materias primas. El alcohol diluido o desnaturalizado (o el vino si se procesa vinagre a partir de vino o frutas) se almacenan en el tanque I. En el tanque II este alcohol líquido (concentración de alcohol entre el 5 – 13%v/v) es completamente mezclado con alrededor de 1%v/v de ácido acético y con nutrientes para las bacterias por medio de la unidad de mezclado que garantiza una distribución uniforme de todos los componentes.

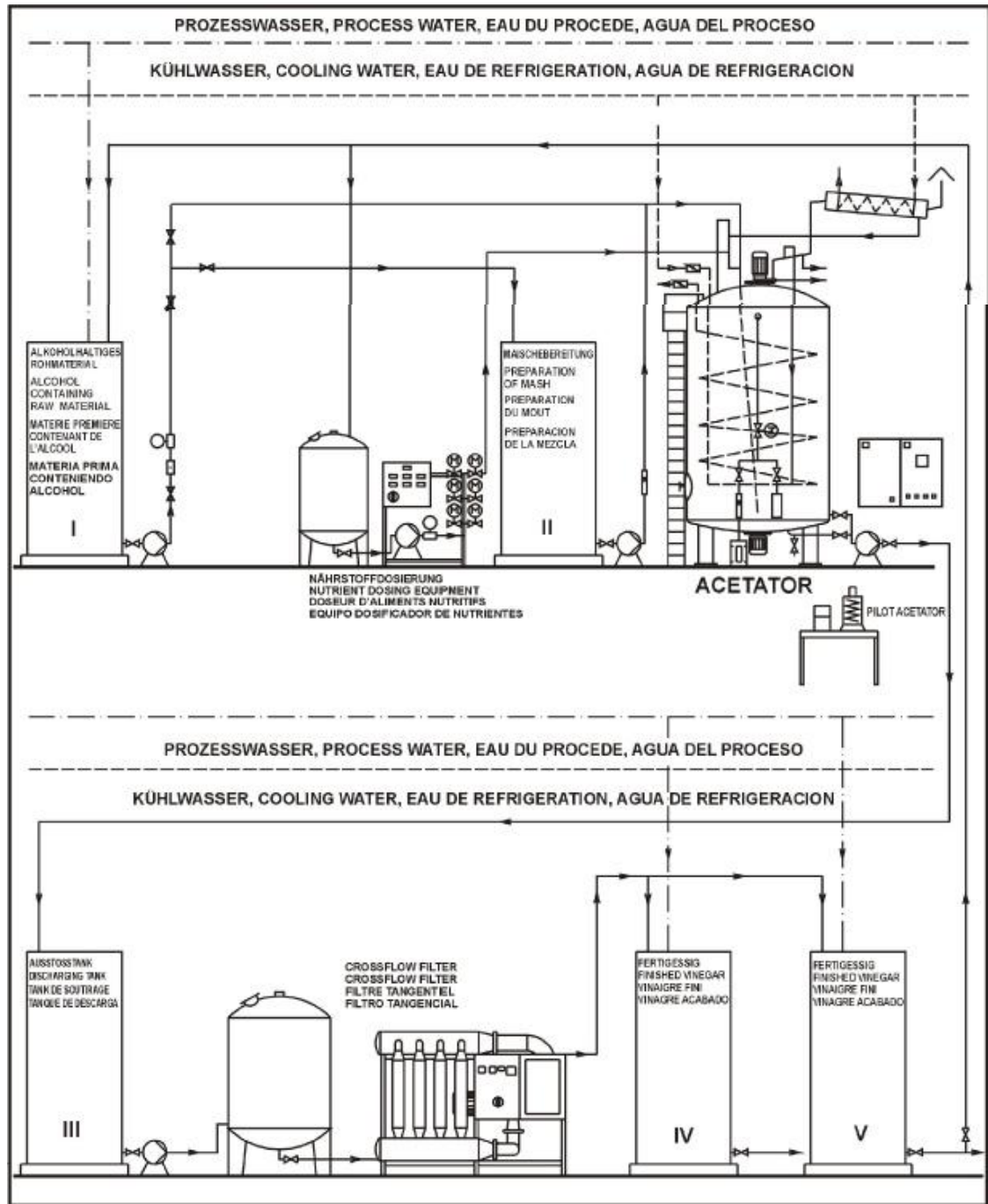
El agua utilizada para la mezcla debe tener calidad de agua potable y debe estar libre de cualquier sustancia que puede ser perjudicial en el proceso de fermentación. Para la producción de vinagre alcohólico, el tanque II, el tanque de mezclado, debe ser omitido, así como el alcohol desnaturalizado, agua y nutrientes pueden ser agregados directa y automáticamente dentro del fermentador. En el Acetator, el alcohol es ahora convertido en ácido acético por medio de acetobacterias y oxígeno. Para iniciar o reiniciar la fermentación (continuar la producción luego de interrupciones o fallas), se debe agregar un motor de arranque o vinagre de inoculación al contenido dentro del Acetator (ya sea vía fermentador piloto o por adición directa).

El calor que es producido durante el proceso de fermentación debe ser disipado por medio de un sistema de enfriamiento (la calidad del agua debe ser no potable), que idealmente se encuentre en un rango de temperatura entre 10° a 24° C. Si la temperatura del agua es mayor, o si la cantidad circulante de agua de enfriamiento es insuficiente, se debe tener además una torre de enfriamiento o un enfriador de agua.

Debido a que el proceso de fermentación puede ser seriamente afectado por interrupciones en la electricidad, se debe tener una planta de energía eléctrica de emergencia.

El vinagre crudo, sin filtrar, es descargado dentro el tanque III. Este es turbio, ya que contiene acetobacterias. En el filtro de flujo cruzado, este vinagre es filtrado en un paso, sin necesidad de ningún agente clarificante. El vinagre casi estéril y clarificado es luego enviado por medio de una bomba hacia los tanques de almacenamiento tanques IV o V, subsecuentemente diluidos con agua potable hasta la concentración deseada y embotellado. Para lugares con condiciones locales especiales, especialmente para países tropicales, o si el vinagre contiene una inusual cantidad de extractos, se recomienda una pasteurización adicional.

Figura 2. Producción de vinagre



Fuente: [http://www.frings.com/wEnglisch/essigtechnik/essig\\_infos.shtml](http://www.frings.com/wEnglisch/essigtechnik/essig_infos.shtml), febrero 2010

## **2.4. Rendimiento porcentual**

El rendimiento porcentual se refiere al aprovechamiento máximo de los insumos para aumentar la capacidad de producción en cualquier proceso. Es decir, que utilizando una cantidad menor o igual de materia prima, se logrará obtener una mayor cantidad de producto, aumentando con ello la productividad (ver ecuación no. 4, página 29).

### **2.4.1. Rendimiento en una reacción química**

Cuando un químico efectúa una reacción, los reactivos comúnmente no están presentes en las cantidades estequiométricas exactas, esto es, en las proporciones indicadas en la ecuación balanceada. El reactivo que se consume primero en la reacción se llama reactivo limitante, dado que la máxima cantidad de producto formado depende de la cantidad de este reactivo que se encuentra presente originalmente. Cuando se acaba este reactivo, no se puede formar más producto. Los otros reactivos, presentes en cantidades mayores que aquellas requeridas para reaccionar con la cantidad de reactivo limitante presente, se llaman reactivos excedentes.

El rendimiento teórico de una reacción es la cantidad de producto que se predice mediante la ecuación balanceada cuando ha reaccionado todo el reactivo limitante. El rendimiento teórico es el rendimiento máximo que se puede obtener. En la práctica la cantidad de producto que se obtiene, llamado rendimiento real, es siempre inferior al rendimiento teórico. Los químicos utilizan a menudo el término rendimiento porcentual, el cual describe la proporción del rendimiento real con respecto al rendimiento teórico.

En el caso de la elaboración de vinagre, el rendimiento teórico se determina de la siguiente manera:

Datos:

1750 kg  $C_6H_{12}O_6$

Volumen de alcohol obtenido: 9200 L

Densidad de alcohol:  $7.89E-4 \frac{kg}{mL}$

Por lo tanto, para determinar el grado de alcohol obtenido idealmente, se sigue el siguiente procedimiento:

$$X \text{ kg } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ kmol } C_6H_{12}O_6}{180.1577 \text{ kg } C_6H_{12}O_6} \times \frac{2 \text{ kmol } CH_3CH_2OH}{1 \text{ kmol } C_6H_{12}O_6} \times \frac{46.06 \text{ kg } CH_3CH_2OH}{1 \text{ kmol } CH_3CH_2OH}$$

$$= \text{kg } CH_3CH_2OH$$

$$\frac{\text{kg } CH_3CH_2OH}{9200 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ mL}}{7.89E-4 \text{ kg}} = \frac{\text{mL } CH_3CH_2OH}{L} \times \frac{1}{100} = Y^\circ \text{ alcohol}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$1750 \text{ kg } C_6H_{12}O_6 \times \frac{1 \text{ kmol } C_6H_{12}O_6}{180.1577 \text{ kg } C_6H_{12}O_6} \times \frac{2 \text{ kmol } CH_3CH_2OH}{1 \text{ kmol } C_6H_{12}O_6} \times \frac{46.06 \text{ kg } CH_3CH_2OH}{1 \text{ kmol } CH_3CH_2OH}$$

$$= \frac{895 \text{ kg } CH_3CH_2OH}{9200 \text{ L}} = 0.09728 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ mL}}{7.89E-4 \text{ kg}} = 123.3 \frac{\text{mL } CH_3CH_2OH}{L} \times \frac{1}{100}$$

$$= 12.3^\circ \text{ alcohol}$$

Ya que la cantidad teórica de vinagre obtenido luego de la fermentación acética es equivalente a la cantidad de alcohol obtenido luego de la fermentación alcohólica, el rendimiento teórico para ambas es de:

$$123.3 \frac{mLCH_3CH_2OH}{L} = 12.3^\circ alcohol.$$

## **2.5. Aseguramiento de la calidad en el proceso de producción de vinagre**

La Comisión Guatemalteca de Normas -COGUANOR- es la entidad reconocida nacional e internacionalmente, que gestiona la normalización técnica y actividades conexas, para propiciar la obtención de productos y servicios de calidad, contribuyendo a mejorar la competitividad y la calidad de vida, así como a generar confianza entre los sectores involucrados.

En la elaboración de vinagre se deben de tomar en cuenta las especificaciones que indica la norma COGUANOR NGO. 34 185 (ver anexo 6, pág. 109), para la adecuada definición, clasificación, selección y manipulación de la materia prima, requisitos del producto, inspección, envasado, rotulado, embalaje, almacenamiento y transporte para lograr el aseguramiento de la calidad del producto.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Tabla No. I Variables dependientes e independientes

No.	Variable	Dimensional	Factor potencial del diseño		Factores perturbadores	
			Constantes	Variables	Controlables	De ruido
1	Grado alcohólico	mL/L		X		
2	Grado de acidez	mL/L		X		
3	Temperatura	°C		X	X	
4	pH	-----		X	X	
5	Flujo de aire	VVM	X			
6	Flujo de agua	VVM	X			
7	Concentración	mol/L		X	X	
8	Velocidad de agitación	RPM	X			
Ambiente externo						
10	Temperatura ambiente	°C				X
11	Presión atmosférica	psi				X

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Parcelas experimentales

Tabla No. II **Parcelas experimentales**

	Grado alcohólico	
	Miel de purga	
Tipo de levadura	Sin adicionar	Adicionando
Fresca	X1	X2
Seca	X3	X4

Fuente: elaboración propia.

Donde:

- X1 : Fermentación alcohólica utilizando levadura fresca sin adicionar miel de purga
- X2 : Fermentación alcohólica utilizando levadura fresca adicionando miel de purga
- X3 : Fermentación alcohólica utilizando levadura seca sin adicionar miel de purga
- X4 : Fermentación alcohólica utilizando levadura seca adicionando miel de purga

### **3.3. Delimitación del campo de estudio**

#### **3.3.1. Universo de estudio**

El estudio se llevó a cabo en los lotes de producción de vinagre durante un tiempo de 6 meses, realizando pruebas a nivel laboratorio y nivel planta piloto, identificando mejoras a la metodología a nivel industrial.

##### **3.3.1.1. Diseño general**

El diseño del estudio consistió en 3 etapas, las cuales fueron:

- **Investigación:** En esta etapa se recopiló toda la información necesaria, tanto información teórica recabada en referencias bibliográficas, referencias electrónicas, etc, así como datos históricos en la empresa para conocer el proceso de elaboración de vinagre a partir de la fermentación de azúcar. Esto se realizó en un tiempo aproximado de 1 mes.
- **Experimentación:** En esta etapa se realizaron pruebas a nivel laboratorio y nivel planta piloto de la fermentación alcohólica, determinando una oportunidad de mejora del proceso, y con ello aumentando los rendimientos de cada etapa del mismo. Esto se realizó en un tiempo aproximado de 4 meses.
- **Elaboración del informe:** En esta etapa se redactó el informe final de EPS con los datos recopilados durante la etapa experimental. Se aproximó un tiempo de 1 mes para ello.

### 3.3.2. Población y cálculo del tamaño de la muestra

#### 3.3.2.1. Número de corridas o repeticiones

Se buscaba que los datos obtenidos fueran ser precisos y satisfactorios, por lo que se trató de disminuir los posibles errores utilizando un número de corridas adecuadas a evaluar. Para llevar a cabo lo anterior se utilizó un valor de riesgo de 1.96 con un nivel de confianza del 95%, una probabilidad de éxito del 99% por lo que la probabilidad de fracaso es 1%, y se estimó un error de 15%.

$$N = \frac{Z_{\alpha/2}^2 PQ}{E^2} \quad [\text{Ecuación No. 3, Ref. No. 7}]$$

Donde:

N : Número de corridas

$Z_{\alpha/2}$  : Valor del riesgo deseado

P : Probabilidad de éxito

Q : Probabilidad de fracaso

E : Error estimado

Sustituyendo valores en la ecuación anterior se obtuvo lo siguiente:

$$N = \frac{(1.96)^2 \times 0.99 \times 0.01}{0.15^2} = 1.69$$

$$N \approx 2$$

### **3.4. Recursos humanos disponibles**

- Investigador: Gina Michelle Balconi Taracena

Se contó con el apoyo de las siguientes personas:

- DEIQ: Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
- Responsable de la empresa: Ing. Sergio Antonio Torres, Superintendente de Producción, Industria de Café, S.A.
- Asesor empresarial: Ing. Qco. Julio Barrascouth.
- Asesor académico: Ing. Qco. Victor Manuel Monzón Valdez.
- Supervisor docente: Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
- DEPS: Inga. Norma Ileana Sarmiento Seceña

### **3.5. Recursos materiales disponibles**

- Reactivos:
  - Azúcar
  - Agua tratada
  - Levadura
  - Nutrientes (Información no disponible)
  - Acetobacterias
  - Floculante
  - Fibra y tierra diatomácea para filtrar
  - Hidróxido de Sodio al 10%
  - Fenolftaleína como indicador

- Equipo:
  - Tanque de fermentación alcohólica
  - Acetator
  - Tanque de descarga
  - Tanque de dilución
  - Bomba de aire
  - Bomba para descargar
  - Filtro de tierras diatomeas
  - Reactor para estudio nivel planta piloto de la fermentación alcohólica
  - Tanque de fermentación alcohólica
  - Acetator
  - Tanque de descarga
  - Turbidímetro
  - Refractómetro
  - Mechero de Bunsen
  - Termómetro
  - Cronómetro
  
- Cristalería:
  - Pipeta de 6 ml
  - Bureta de 15 ml
  - Balón de 100 ml
  - Beacker de 100 ml y 250 ml
  - Probeta de 100 y 500 ml
  - Condensador
  - Densímetro de unidades de 6 y 12

- Otros:
  - Algodón
  - Energía Eléctrica
  - Agua
  - Computadora
  - Bibliografía
  - Norma COGUANOR NGO. 34 185

### 3.6. Técnica cualitativa o cuantitativa

El estudio fue de tipo cuantitativo, seleccionando 2 muestras aleatorias cada 4 horas, en cada batch del proceso de producción de vinagre para realizarles las pruebas respectivas (grado de alcohol, grado de acidez y turbidez).

Se realizó el estudio a nivel laboratorio y nivel planta piloto de la fermentaciones alcohólica, y luego se trasladó el mismo a nivel industrial para la fermentación acética, clarificación, dilución y empaque del producto, mejorando los rendimientos del proceso. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{rendimiento}(\%) = \frac{\text{cantidad real de producto}}{\text{cantidad ideal de producto}} \cdot 100$$

[Ecuación No. 4, Ref. No. 7]

Donde:

Cantidad real de producto: se determina a partir de la cantidad de alcohol obtenido en cada análisis, como se muestra a continuación:

$$\% v/v \times 10 = \frac{mL_{CH_3CH_2OH}}{L} \times \rho_{CH_3CH_2OH} = \frac{g_{CH_3CH_2OH}}{L}$$

Cantidad ideal de producto: tal como se muestra en el capítulo 2, inciso 2.5.1, se tiene que:

$$12.3^\circ CH_3CH_2OH \times 10 = 123.3 \frac{mL_{CH_3CH_2OH}}{L} \times \rho_{CH_3CH_2OH} = 97 \frac{g_{CH_3CH_2OH}}{L}$$

Así como se determinó de la siguiente manera la cantidad de vinagre alto obtenido luego de la fermentación acética:

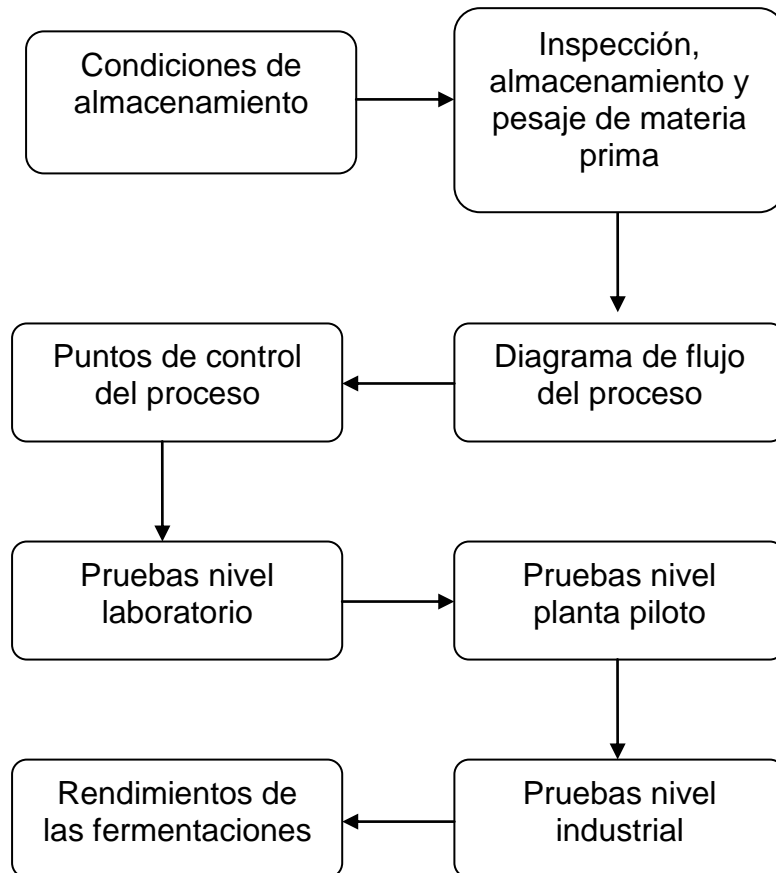
$$L_{vinagre5.2} = \frac{LitrosVinagreAlto \times Acidez}{5.2}$$

[Ecuación No. 5, Ref. No. 1]



### 3.7. Recolección y ordenamiento de la información

Figura 3. Recolección y ordenamiento de la información



Fuente: elaboración propia.

### **3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

#### **3.8.1. Tabulación y procesamiento de información de las pruebas químicas y fisicoquímicas para la materia prima**

Se realizaron varias pruebas químicas y fisicoquímicas, para la materia prima, las cuales fueron:

- Dureza del agua:

Metodología actual: se determinó la dureza del agua con la ayuda de un kit que contenía dos soluciones, H-1 y H-2. Se colocaron 5 mL de la muestra de agua en el beacker, luego se agregaron 3 gotas de la solución H-1 (solución indicadora), se agitó y se apreció el cambio de color: si se tornaba roja, era agua dura, y si se tornaba verde era agua suave. En el caso de que fuera agua dura, si se desea conocer la cantidad específica de dureza de agua en ppm de  $\text{CaCO}_3$ , se utiliza el gotero con la solución H-2, y se titula hasta observar el cambio de color.

Metodología propuesta: se colocan 25 mL de agua a valorar. Utilizar fenolftaleína como indicador, y valorar con Ácido Clorhídrico estándar, y anotar el volumen requerido para el viraje de color de la solución. Continuar con la valoración, añadiendo indicador naranja de metilo y anotar el volumen requerido para el viraje de color. Luego se determinan las partes por millón de carbonatos (Carbonato de Calcio y Carbonato de Magnesio) en la solución y se reporta la dureza del agua.

- Cantidad de sólidos:

Metodología actual: se colocó una pequeña muestra en el espacio indicado en el refractómetro, y se realizó la medición. El dato se obtuvo en porcentaje de sólidos.

Metodología propuesta: determinar la densidad de la muestra de miel de purga para asegurar que esta se encuentra por debajo del nivel de sobresaturación. Luego realizar lavados y filtrar.

Para la tabulación de los datos, se realizó una comparación de los datos obtenidos con respecto a las condiciones óptimas de almacenamiento según especificaciones por normas, como valor teórico, para determinar si actualmente cumple con estas.

### **3.8.2. Tabulación y procesamiento de información de las muestras tomadas en cada batch del proceso de elaboración de vinagre**

Se realizaron varias pruebas químicas y fisicoquímicas, para las muestras tomadas de cada batch del proceso de producción, las cuales fueron:

- Grado de acidez:

Metodología actual: para realizar esta prueba se debe contar con Hidróxido de Sodio al 10% y fenolftaleína como indicador. Se colocaron 100 mL de la muestra en un beacker de 250 mL, se agregó fenolftaleína, y se realizó la titulación hasta el punto de neutralización. Se reportó el valor obtenido del

volumen desplazado de Hidróxido de Sodio. Por medio de tablas se determinó el valor de la acidez de la solución analizada.

Metodología propuesta: realizar una titulación para encontrar el punto de viraje de la solución, utilizando fenolftaleína como indicador y se utiliza Hidróxido de Sodio como agente titulante. Luego se determina el grado de acidez por medio de la siguiente ecuación:

$$Acidez = \frac{(GB)(N)(Peq)}{A} \quad [Ecuación No. 6, Ref. No. 1]$$

Donde:

GB : Gasto de la Bureta (mL)

N : Normalidad del agente titulante

Peq : Peso equivalente de la muestra (u.m.a)

A : Alícuota de la muestra (mL)

- Grado de alcohol:

Metodología actual: para realizar esta prueba se debe contar con Hidróxido de Sodio al 10% y fenolftaleína como indicador. Primero se debe neutralizar la muestra, colocando 6 mL de la muestra en un beacker de 100 mL, se le agregó fenolftaleína y se neutralizó con Hidróxido de Sodio. Luego la muestra neutralizada se colocó en un balon de calentamiento, completamente sellado, el cual debía estar conectado a un condensador, y este a un balón de 100 mL. Se calentó la muestra hasta que la cantidad de condensado llegaba al aforo del

balón. Se trasladó a un recipiente, dentro del cual se colocó el alcoholímetro, dependiendo del tipo de muestra, si provenía del acetator se utilizó un alcoholímetro cuyas unidades eran de 0 – 6, si provenía de la chicha se utilizó el de unidades de 6 – 12. Se leyó la temperatura y el volumen desplazado, y por medio de una tabla se determinó el grado de alcohol de la muestra.

Metodología propuesta: pesar 1 g de la muestra a analizar y colocarlo en un earlenmeyer. Añadir 5 mL de solución de Dicromato de Potasio 0.167 M, realizando un movimiento de giro suave al earlenmeyer para permitir la dispersión completa en la solución. Agregar 10 mL de Ácido Sulfúrico concentrado y continuar agitando suavemente. Dejar en reposo durante 30 minutos sobre una placa de material aislante térmico para evitar la pérdida de calor. Luego adicionar 15 mL de agua y dejar reposar hasta que alcance la temperatura ambiente. Agregar 3 ó 4 gotas de la solución indicadora preparada, la cual consiste en disolver 0.2 g de Carbonato de Sodio en 100 mL de agua, adicionando 0.1 g de Ácido N-fenilantranílico y agitar. Por último se agrega una solución de sal de Mohr 0.5 M, para titular el exceso de dicromato hasta el viraje del color de la solución. Por último, realizar una titulación en blanco. Para calcular el porcentaje de carbono orgánico de la muestra se utiliza la siguiente ecuación:

$$CO_x = \frac{(V_b - V_m) * M * 3}{p} \quad \text{[Ecuación No. 7, Ref. No. 1]}$$

Donde:

CO<sub>x</sub> : Contenido de Carbono Orgánico Oxidable (mg/g)

V<sub>b</sub> : Cantidad consumida de solución ferrosa en titulación en blanco (mL)

$V_m$  : Cantidad consumida de la solución de sal de Mohr en la titulación (mL)

$M$  : Concentración de la solución de sal de Mohr (M)

$3$  : Conversión del nivel de oxidación del carbono (mg/mmol)

$p$  : Masa de la porción de ensayo (g)

- Turbidez:

Metodología actual: se colocó la muestra en un envase traslúcido y por el método de observación se determinó si esta se encuentra en el rango aceptado de turbidez.

Metodología propuesta: se utilizará un turbidímetro, el cual se debe calibrar al inicio con agua destilada, luego se coloca la muestra. Se reporta el valor que provea el aparato.

Para la tabulación de los datos, se realizó una comparación de los datos obtenidos con respecto a las condiciones óptimas de producción según especificaciones por la norma COGUANOR NGO. 34 185, como valores teóricos.

### **3.8.3. Tabulación y procesamiento de información para verificar rendimientos de las fermentaciones**

Se analizaron las concentraciones y el tiempo de reacción para determinar los rendimientos de las fermentaciones.

A partir de los datos obtenidos se realizaron gráficas para demostrar que se lograron los objetivos propuestos.

### 3.9. Análisis estadístico

Durante el estudio experimental del proyecto propuesto se tomaron 3 muestras aleatorias para cada batch del proceso de producción de vinagre, por lo que se les dio el tratamiento adecuado a los valores obtenidos para conocer la precisión de estos.

#### 3.9.1. Cálculo de la media aritmética

La media aritmética (también llamada promedio o simplemente media) de un conjunto finito de números es igual a la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral, siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

Expresada de forma más intuitiva, se puede decir que la media (aritmética) es la cantidad total de la variable distribuida a partes iguales entre cada observación.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad [\text{Ecuación No. 8, Ref. No. 7}]$$

Donde:

$\bar{X}$  : Media Aritmética.

$X_i$  : Dato en la corrida i.

n : Número de datos

### 3.9.2. Cálculo de la desviación estándar de los datos obtenidos

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que es necesario conocer también la desviación que representan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad a la hora de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad [\text{Ecuación No. 9, Ref. No. 7}]$$

Donde:

S : Desviación estándar de los datos.

$X_i$  : Dato en la corrida i.

$\bar{X}$  : Media aritmética del conjunto de datos.

n : Número de datos



### 3.9.3. Cálculo de la desviación media de los datos obtenidos

La desviación respecto a la media es la diferencia en valor absoluto entre cada valor de la variable estadística y la media aritmética.

$$Dm = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n} \quad [\text{Ecuación No. 10, Ref. No. 7}]$$

Donde:

$D_m$  : Desviación media de los datos.

$X_i$  : Dato en la corrida  $i$ .

$\bar{X}$  : Media aritmética del conjunto de datos.

$n$  : Número de datos

### 3.9.4. Comparación de probabilidades

Para identificar las dos metodologías con mayores rendimientos a nivel laboratorio se aplicó una comparación de probabilidades, utilizando para ello las medias de cada una de las cuatro metodologías utilizadas (ver anexo 5, pág. 105). Se realizó una representación gráfica de los datos, para trasladar el estudio a nivel planta piloto.

### **3.9.5. Comparación de media estadística**

Para identificar la mejor metodología a nivel planta piloto se realizó una comparación de media estadística con lo cual se eligió el valor más alto para trasladar el estudio a nivel industrial (ver anexo 5, pág. 105).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Resultados de los rendimientos de las fermentaciones

#### 4.1.1. Pruebas nivel laboratorio de la fermentación alcohólica

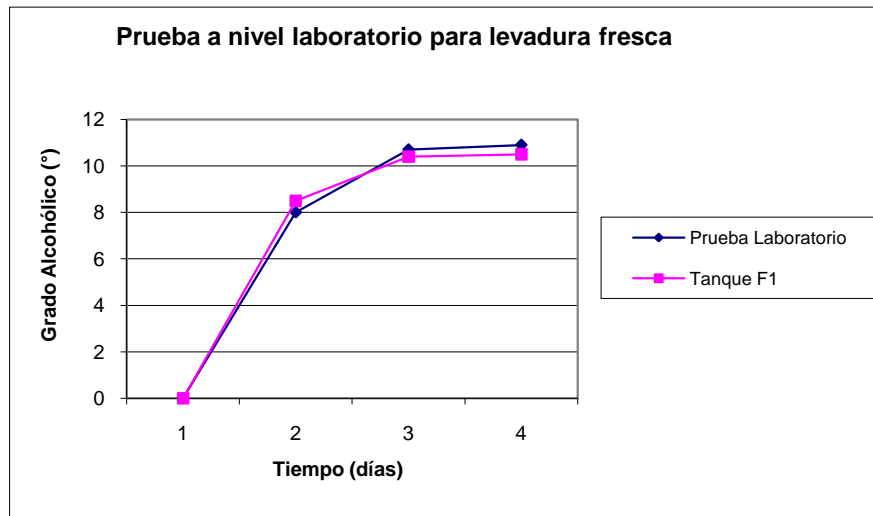
##### 4.1.1.1. Resultados para el análisis 1

Tabla No. III Rendimiento para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca

	Prueba nivel laboratorio	Tanque F1
Rendimiento (%)	88.66	85.41

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tabla no. XXVII.

Figura No. 4 **Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca**



Fuente: elaboración propia.

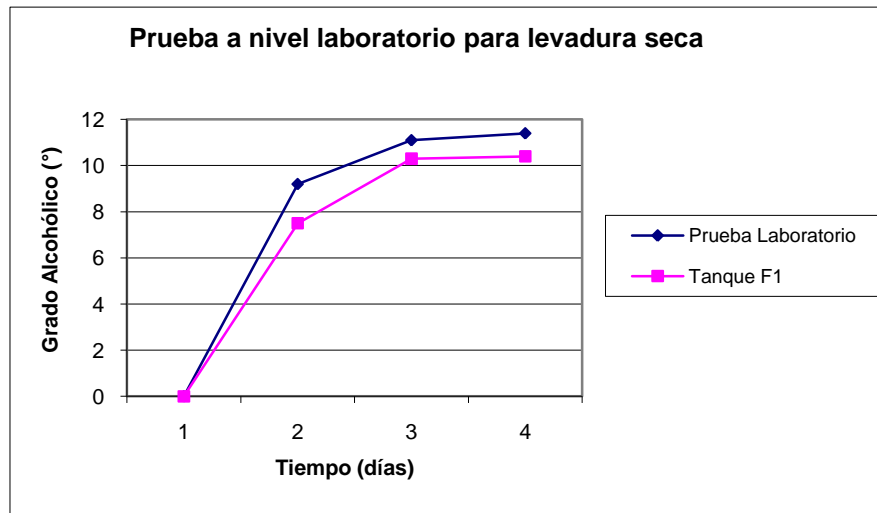
#### 4.1.1.2. Resultados para el análisis 2

Tabla No. IV **Rendimiento para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca**

	<b>Prueba nivel laboratorio</b>	<b>Tanque F1</b>
<b>Rendimiento (%)</b>	92.73	84.60

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tabla no. XXVIII.

Figura No. 5 **Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca**



Fuente: elaboración propia.

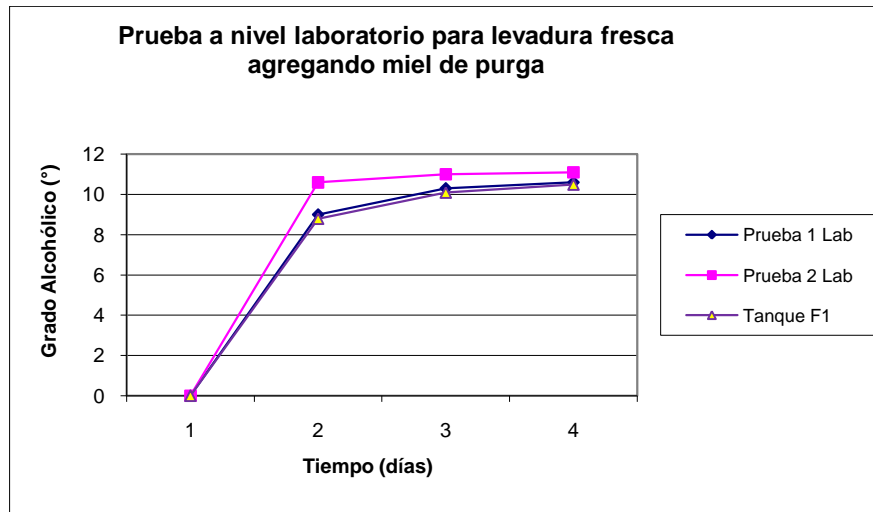
#### 4.1.1.3. Resultados para el análisis 3

Tabla No. V **Rendimiento para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca agregando miel de purga**

	Prueba nivel laboratorio 1	Prueba nivel laboratorio 2	Tanque F1
<b>Rendimiento (%)</b>	86.22	90.29	85.41

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tabla no. XXIX.

Figura No. 6 **Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca agregando miel de purga**



Fuente: elaboración propia.

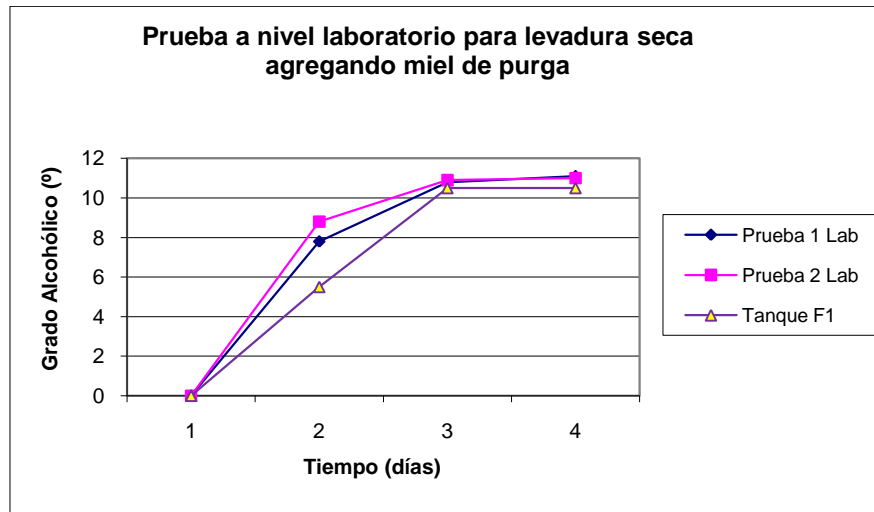
#### 4.1.1.4. Resultados para el análisis 4

Tabla No. VI **Rendimiento para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca agregando miel de purga**

	Prueba nivel laboratorio 1	Prueba nivel laboratorio 2	Tanque F1
<b>Rendimiento (%)</b>	90.29	89.47	85.41

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tabla no. XXX.

Figura No. 7 **Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca agregando miel de purga**



Fuente: elaboración propia.

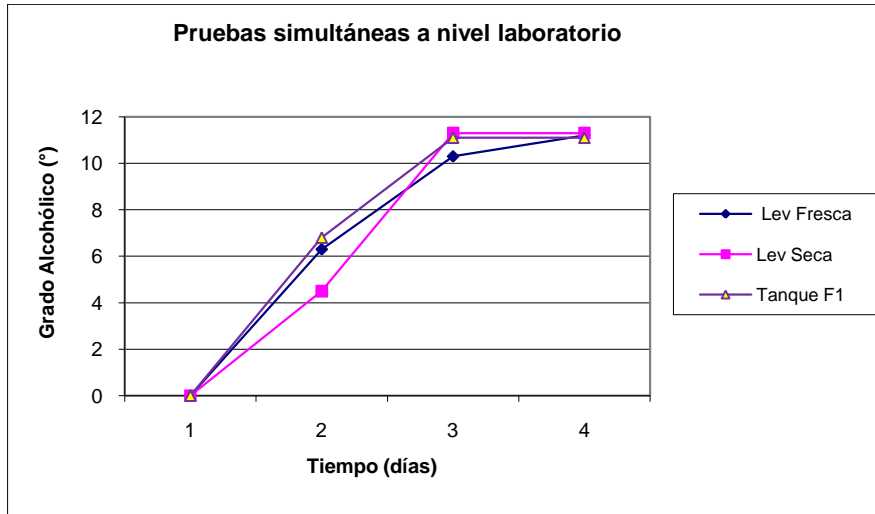
#### 4.1.1.5. Resultados para análisis simultáneos 1

Tabla No. VII **Rendimientos para la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 1**

	Prueba nivel laboratorio 1	Prueba nivel laboratorio 2	Tanque F1
<b>Rendimiento (%)</b>	91.10	91.91	90.29

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tablas no. XXVII y XXVIII.

**Figura No. 8 Representación gráfica de la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 1**



Fuente: elaboración propia.

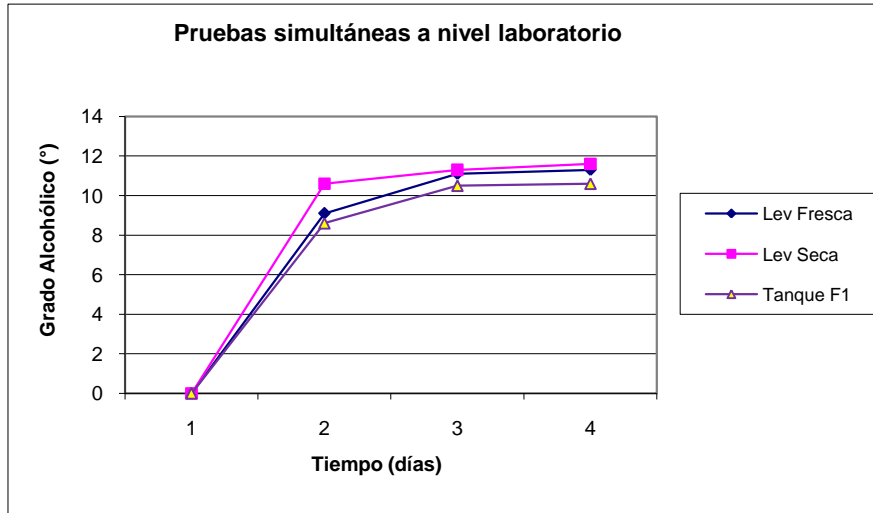
**Tabla No. VIII Rendimientos para la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 2**

	Prueba nivel laboratorio 1	Prueba nivel laboratorio 2	Tanque F1
<b>Rendimiento (%)</b>	91.91	94.36	86.22

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tablas no. XXVII y XXVIII.



**Figura No. 9 Representación gráfica de la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 2**



Fuente: elaboración propia.

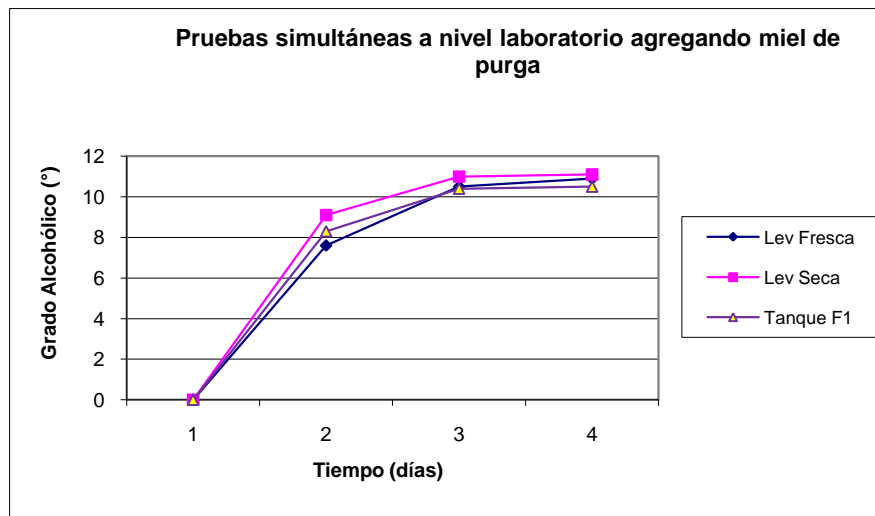
#### 4.1.1.6. Resultados para análisis simultáneos 2

**Tabla No. IX Rendimientos para la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca agregando miel de purga, corrida 1**

	Pruebas nivel laboratorio		Tanque F1
	Levadura fresca	Levadura seca	
<b>Rendimiento (%)</b>	88.66	90.29	85.41

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tablas no. XXIX y XXX.

Figura No. 10 **Representación gráfica de la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca agregando miel de purga, corrida 1**



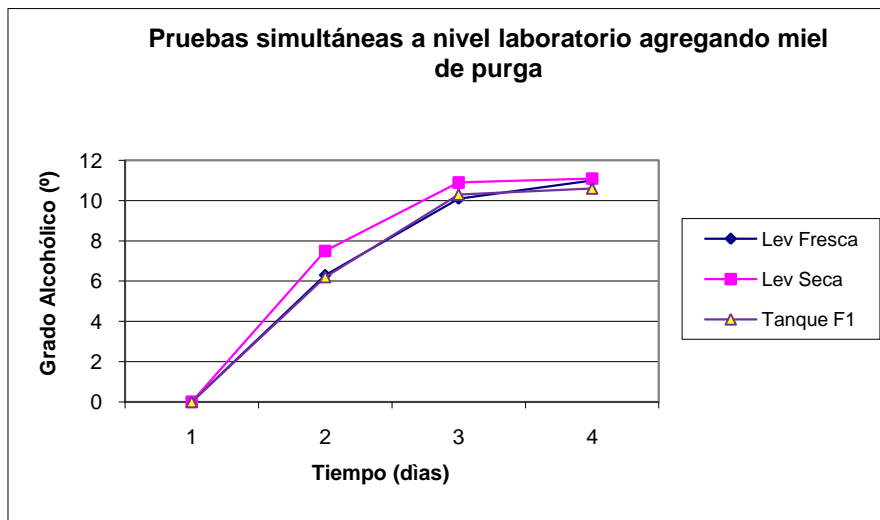
Fuente: elaboración propia.

Tabla No. X **Rendimientos para la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca agregando miel de purga, corrida 2**

	Prueba nivel laboratorio		Tanque F1
	Levadura fresca	Levadura seca	
<b>Rendimiento (%)</b>	89.47	90.29	86.22

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tablas no. XXIX y XXX.

Figura No. 11 **Representación gráfica de la fermentación alcohólica simultánea nivel laboratorio, utilizando levadura fresca y levadura seca agregando miel de purga, corrida 2**



Fuente: elaboración propia.

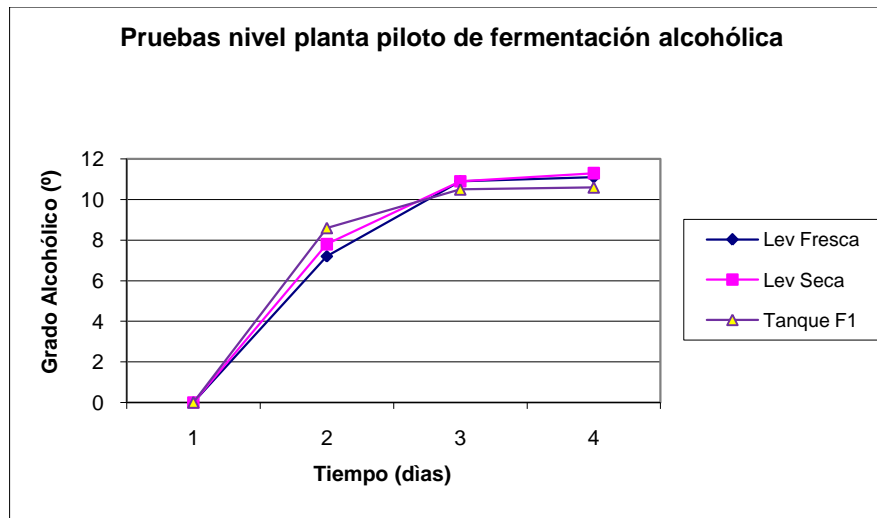
#### 4.1.2. Pruebas a nivel planta piloto de la fermentación alcohólica

Tabla No. XI Rendimientos para la fermentación alcohólica nivel planta piloto, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 1

	Prueba nivel planta piloto		Tanque F1
	Levadura fresca	Levadura seca	
<b>Rendimiento (%)</b>	90.29	91.91	86.22

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tablas no. XXXI y XXXII.

Figura No. 12 Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel planta piloto, utilizando levadura fresca y levadura, seca corrida 1



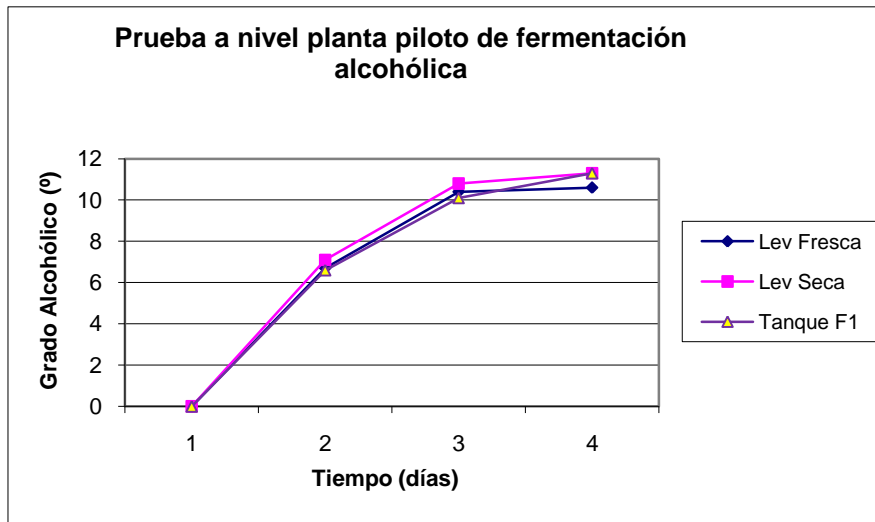
Fuente: elaboración propia.

Tabla No. XII Rendimientos para la fermentación alcohólica nivel planta piloto, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 2

	Prueba nivel planta piloto		Tanque F1
	Levadura fresca	Levadura seca	
Rendimiento (%)	86.22	91.91	91.91

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tablas no. XXXI y XXXII.

Figura No. 13 Representación gráfica de la fermentación alcohólica nivel planta piloto, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 2



Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.3. Pruebas nivel industrial de la fermentación alcohólica

Tabla No. XIII **Datos obtenidos para el análisis de la fermentación alcohólica, nivel industrial**

Corrida	Rendimiento (%)
1	94.36
2	95.98

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tabla no. XXXIII.

Tabla No. XIV **Datos obtenidos para el análisis de la fermentación acética**

Corrida	Producción de vinagre a 5.2% (L)
1	1165
2	1154

Fuente: datos calculados, apéndice 1, tabla no. XXXIV.

Tabla No. XV **Datos obtenidos para el análisis de la clarificación**

Muestra	Turbidez (NTU)	
	Corrida 1	Corrida 2
1	42	41
2	40	43

Fuente: elaboración propia.

Tabla No. XVI **Datos obtenidos para el análisis de la dilución**

Muestra	Turbidez (NTU)	
	Corrida 1	Corrida 2
1	27	24
2	25	28

Fuente: elaboración propia.

**4.2. Resultados obtenidos de la inspección de materia prima en la elaboración de vinagre**

**Tabla No. XVII Inspección del agua**

<b>Nombre del producto</b>	Agua	
<b>Descripción</b>	Sustancia líquida, incolora e inodora. Idealmente para cualquier elaboración de productos alimenticios se debe utilizar agua tratada.	
<b>Condiciones</b>	<b>Ideales</b>	<b>Reales</b>
<b>Composición o características fisicoquímicas</b>	Cloro: 0 % Dureza: 0 – 150 ppm CaCO <sub>3</sub>	Cloro: 0% Dureza: 95 ppm CaCO <sub>3</sub>
<b>Otros requisitos</b>	Ninguno	
<b>Empaque y rotulado</b>	Ninguno	
<b>Presentación</b>	Ninguno	

Fuente: elaboración propia.



Tabla No. XVIII **Inspección de miel de purga**

<b>Nombre del producto</b>	Miel de purga	
<b>Descripción</b>	Sub-producto de la preparación de azúcar mediante una cristalización repetida. Es un líquido altamente viscoso, sabor amargo y de color oscuro.	
<b>Condiciones</b>	<b>Ideales</b>	<b>Reales</b>
<b>Composición o características fisicoquímicas</b>	Humedad: 15% máx Proteínas: 3.2 – 3.8% Azúcares totales: 50 – 58% Cenizas: 3.5 – 7.5% Grados Brix: 72 – 85°Brix	Humedad: 12% Proteínas: 3.5% Azúcares totales: 51% Cenizas: 3.8% Grados Brix: 75°Brix
<b>Otros requisitos</b>	Se debe contar con la certificación del proveedor	
<b>Empaque y rotulado</b>	Debe tener toda la información del producto	
<b>Presentación</b>	Tonel de 630 Lb	

Fuente: elaboración propia.

Tabla No. XIX **Inspección del nutriente 1**

<b>Nombre del producto</b>	Nutriente 1	
<b>Descripción</b>	Producto cristalino en polvo color blanco, casi inodoro, sabor salino, soluble en agua, poco tóxico	
<b>Condiciones</b>	<b>Ideales</b>	<b>Reales</b>
<b>Composición o características fisicoquímicas</b>	Humedad: 1% máx Nitrógeno: 45% min	Humedad: 0.8% Nitrógeno: 50%
<b>Otros requisitos</b>	El aspecto físico en cuanto a forma y color se inspecciona visualmente Se debe contar con la certificación del proveedor	
<b>Empaque y rotulado</b>	Debe tener toda la información del producto	
<b>Presentación</b>	Costal de 200 Lb	

Fuente: elaboración propia.

Tabla No. XX **Inspección del nutriente 2**

<b>Nombre del producto</b>	Nutriente 2	
<b>Descripción</b>	Producto cristalino granulado color blanco, casi inodoro, sabor salino, soluble en agua, poco tóxico	
<b>Condiciones</b>	<b>Ideales</b>	<b>Reales</b>
<b>Composición o características fisicoquímicas</b>	Humedad: 1% max Nitrógeno: 50% min	Humedad: 0.7% Nitrógeno: 48%
<b>Otros requisitos</b>	El aspecto físico en cuanto a forma y color se inspecciona visualmente Se debe contar con la certificación del proveedor	
<b>Empaque y rotulado</b>	Debe tener toda la información del producto	
<b>Presentación</b>	Costal de 50 kg	

Fuente: elaboración propia.

Tabla No. XXI **Inspección de azúcar**

<b>Nombre del Producto</b>	Azúcar	
<b>Descripción</b>	Producto obtenido de la caña de azúcar, de forma cristalina y color blanquecino.	
<b>Condiciones</b>	<b>Ideales</b>	<b>Reales</b>
<b>Composición o características fisicoquímicas</b>	Polarización: 99.5°S min Humedad: 0.1% m/m máx Color: 500 unidades máx Cenizas sulfatadas: 0.2% m/m máx Dióxido de Azufre: 70 mg/kg máx Tamaño del grano: 0.6 m/m máx	Polarización: 99.4°S Humedad: 0.1% m/m Color: 485 unidades Cenizas sulfatadas: 0.2% m/m Dióxido de Azufre: 70 mg/kg Tamaño del grano: 0.6 m/m
<b>Otros requisitos</b>	Se debe contar con la certificación del proveedor	
<b>Empaque y rotulado</b>	Debe tener toda la información del producto	
<b>Presentación</b>	Sacos de 50 kg	

Fuente: elaboración propia.

### **4.3. Puntos de control en el proceso de elaboración de vinagre**

#### **4.3.1. Puntos de control para la fermentación alcohólica**

- Inóculo de 1/3 de la tanda anterior
- Rango de temperatura entre 32 y 34°C.
- Temperatura crítica de 37°C
- pH de 3
- Grado de acidez de 0.3 %v/v
- Tiempo de fermentación entre 5 y 6 días.

#### **4.3.2. Puntos de control para la fermentación acética**

- Velocidad de aireación de 1 VVM (Volumen por volumen por minuto)
- Velocidad de agitación mínima de 800 RPM
- Rango de temperatura entre 32 y 34°C
- Temperatura crítica de 37°C
- Tiempo de fermentación aproximado de 1½ día

#### 4.4. Análisis estadístico

Tabla No. XXII **Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Número de corridas	2
Valor de riesgo	1.96
Nivel de confianza	95%
Media aritmética	11.13333
Desviación estándar	0.2081666
Desviación media	1.18425E-15

Fuente: resultados, tablas no. II, VI y VII.

Tabla No. XXIII **Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Número de corridas	2
Valor de riesgo	1.96
Nivel de confianza	95%
Media aritmética	11.43333
Desviación estándar	0.152752523
Desviación media	1.7764E-15

Fuente: resultados, tablas no. III, VI y VII.

Tabla No. XXIV **Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura fresca agregando miel de purga**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Número de corridas	2
Valor de riesgo	1.96
Nivel de confianza	95%
Media aritmética	10.9
Desviación estándar	0.216025
Desviación media	4.4409E-16

Fuente: resultados, tablas no. IV, VIII y IX.

Tabla No. XXV **Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica nivel laboratorio, utilizando levadura seca agregando miel de purga**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Número de corridas	2
Valor de riesgo	1.96
Nivel de confianza	95%
Media aritmética	11.075
Desviación estándar	0.05
Desviación media	1.3323E-15

Fuente: resultados, tablas no. V, VIII y IX.

Tabla No. XXVI **Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica, utilizando levadura fresca, nivel planta piloto**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Número de corridas	2
Valor de riesgo	1.96
Nivel de confianza	95%
Media aritmética	0
Desviación estándar	0.35355339

Fuente: resultados, tablas no. X y XI.

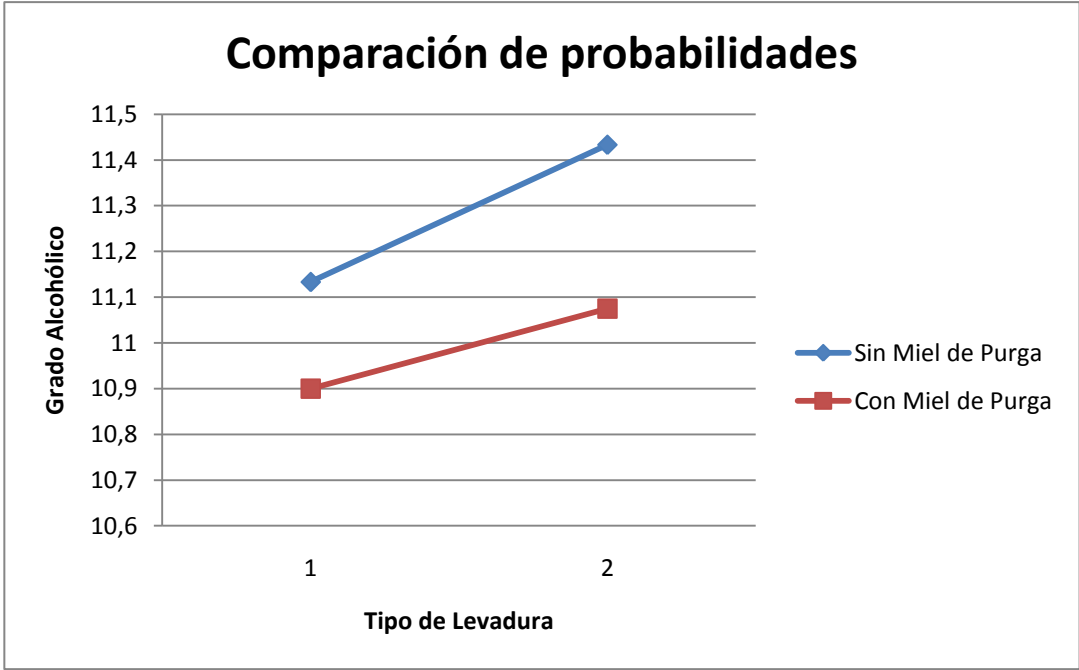
Tabla No. XXVII **Análisis estadístico para resultados obtenidos para la fermentación alcohólica, utilizando levadura seca, nivel planta piloto**

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Número de corridas	2
Valor de riesgo	1.96
Nivel de confianza	95%
Media aritmética	0
Desviación estándar	0

Fuente: resultados, tablas no. X y XI.

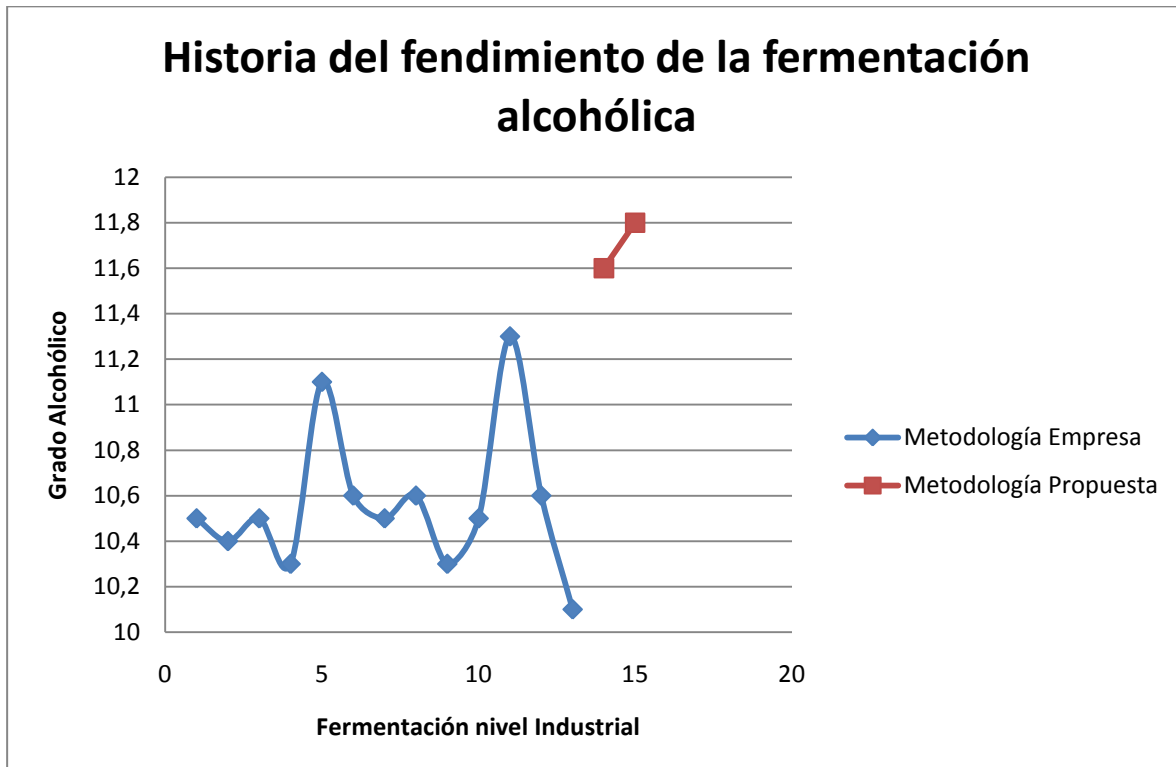


Figura No. 14 Representación gráfica para la comparación de probabilidades, nivel laboratorio



Fuente: datos calculados, apéndice 1, tabla no. XXXV.

Figura No. 15 Historia del rendimiento de la fermentación alcohólica



Fuente: elaboración propia.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El vinagre es un líquido que proviene de una doble fermentación a partir de azúcares fermentables. Se inicia con la fermentación alcohólica para producir alcohol etílico utilizando para ello levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*). Luego se traslada a una fermentación acética en donde acetobacterias transforman el alcohol etílico en ácido acético.

La fermentación alcohólica consiste en una mezcla de azúcar, agua, levadura y nutrientes en sus respectivas proporciones. El mezclado se realiza por medio de una inyección de aire en el reactor, permitiendo además la oxigenación de las levaduras para el inicio de la fermentación. Cada fermentación alcohólica tiene una duración de entre 5 y 6 días, tiempo en el cual se alcanza el máximo grado de alcohol.

Se inició el estudio analizando las características físicas y químicas de la materia prima, para luego comparar las mismas con las referencias teóricas especificadas por normas de calidad. Tal como se observa en las tablas XV – XIX en la sección de Resultados, toda la materia prima utilizada con excepción del agua, cumple con los requisitos, por lo tanto, estas son las adecuadas para la realización del proceso de producción de vinagre. En el caso del agua idealmente se requiere un grado de dureza de 0 ppm, pero como se observa en la tabla No. XV el grado de dureza de la misma es de 95 ppm, lo cual no afecta al proceso de fermentación alcohólica ya que las propiedades del agua no afectan a las bacterias, sin embargo se requiere que la cantidad de cloro sea de 0% para evitar efectos negativos en la fermentación.

Para determinar mejoras en la metodología ya existente, se realizaron pruebas a nivel laboratorio (ver apéndice 2, figura no. 16, pág. 85), utilizando para ello un volumen de agua de 700 mL. A partir de esto se determinaron las proporciones de la materia prima utilizada. Se realizaron 4 metodologías diferentes para determinar la más adecuada para alcanzar un alto grado de alcohol y a la vez obtener un proceso más rentable (ver anexo 5, pág. 105). Se compararon dichos análisis con las fermentaciones realizadas a nivel industrial en la forma acostumbrada.

El primer análisis consistió en utilizar levadura fresca, permitiendo la activación de la misma en un tiempo de aproximadamente 20 minutos. Como se observa en la figura No. 4, se obtuvo un aumento en el grado alcohólico en comparación con el sistema industrial acostumbrado.

Para el segundo análisis se utilizó levadura seca, permitiendo la hidratación durante 10 minutos y activación de la misma durante 15 minutos. Como se observa en la figura No. 5, el incremento del grado alcohólico fue aún mayor en comparación con el análisis 1.

Con estos análisis se logró la comparación entre los dos tipos de levadura, es decir entre la levadura fresca y la levadura seca, con lo cual se observa que los mejores resultados se obtienen con esta última, ya que existe mayor área de contacto entre la molécula de levadura y las moléculas de glucosa, permitiendo una mejor producción de alcohol etílico en la reacción.

En los análisis 3 y 4, se compararon los 2 tipos de levadura, agregando miel de purga a partir del tercer día, en base al estudio realizado en Colombia, para el XXII Congreso Colombiano de Ingeniería Química (ver referencia bibliográfica no. 1). Como se observa en las figuras No. 6 y 7, no se observa un

aumento significativo en la cantidad de alcohol obtenida, por lo que esta metodología puede ser descartada.

Luego, se realizaron análisis simultáneos, comparando la levadura fresca, levadura seca y la fermentación con la metodología ya existente. Esto con el fin de estudiar las velocidades de reacción para cada análisis. Como se observa en las figuras No. 8 y 9, la levadura seca es la que reacciona mejor bajo las mismas condiciones de trabajo, lo cual indica que es la que mayores rendimientos proporcionará al final de la fermentación.

Las siguientes pruebas simultáneas se realizaron agregando miel de purga luego del tercer día de fermentación. Como se observa en las figuras No. 10 y 11, al agregar una pequeña cantidad de miel de purga a partir del tercer día de fermentación no beneficia a la fermentación.

A partir de los datos obtenidos en las pruebas a nivel laboratorio, se realizó una comparación de probabilidades, tal como se muestra en la figura No. 14 en la sección de Resultados, por lo que se eligieron los dos métodos de probabilidades más altas para trasladar el estudio a nivel planta piloto (ver anexo 5, pág. 107), los cuales son cuando se utiliza levadura fresca y levadura seca sin adicionar miel de purga. A nivel planta piloto se utilizó un reactor que en su interior simulaba el sistema de enfriamiento del tanque de fermentación a nivel industrial, el cual consistía en un serpentín de cobre conectado a una entrada de agua. Contenía un agitador para ayudar al mezclado, así como además se le inyectaba aire desde un compresor (ver apéndice 2, figura No. 17, pág. 86). Se realizó la previa activación de las levaduras, para comparar ambas a este nivel de estudio. Tal como se observa en las figuras No. 12 y 13, con la previa activación de las levaduras y utilizando levadura seca se logró obtener una mayor cantidad de alcohol.

Al comparar el uso de los dos tipos de levaduras, analizando la diferencia de la media aritmética se observa que el método que produce mejores rendimientos es utilizando levadura seca. Sin embargo, al analizar tanto el costo de las mismas como los rendimientos obtenidos en las dos metodologías, se observó que la mejor opción es la levadura fresca, ya que es barata y realizando la adecuada pre – activación durante 15 minutos se obtienen resultados favorables.

A partir de esto, se trasladó el estudio a nivel industrial, para continuar con cada uno de los pasos del proceso. Se inició con una fermentación alcohólica aplicando la metodología propuesta (ver anéxo 5, pág. 105), obteniendo con ello un grado alcohólico de 11.6%v/v, logrando un aumento significativo en dicha fermentación.

Luego de finalizar la fermentación alcohólica, se acidifica la solución a 1.5° de acidez, para luego trasladarlo a una fermentación acética, utilizando acetobacterias, las cuales trabajan en condiciones críticas, tales como flujo de aire y flujo de agua conectado a un sistema de enfriamiento, para mantener la fermentación aeróbica bajo una temperatura controlada (32 – 34°C). Los datos obtenidos se observan en la tabla No. XII. La máxima acidez que se obtiene es de 10.1° (vinagre alto), por lo tanto la producción será de 1165 litros de vinagre para ese batch. Comparando con un batch de producción de la manera tradicional, se llegó a 8.7° de acidez, por lo que la producción fue de 1003 litros de vinagre. Se tiene un beneficio de 162 litros de vinagre con la metodología propuesta.

En el momento de realizar la acidificación se observa que los valores de grado alcohólico disminuyen, esto se debe a la dilución que ocurre al agregar vinagre alto a la fermentación alcohólica.

El siguiente paso en el proceso es trasladar el vinagre alto a las pipas de descarga, donde reposa el líquido el tiempo suficiente para alcanzar su añejamiento. Luego de este tiempo, se clarifica el vinagre alto, por medio del uso de un floculante, el cual se encarga de sedimentar la mayor cantidad de sólidos. Se analizó la turbidez en la salida de los tanques de clarificación, tal como se observa en la tabla No. XIII, con lo que se observó que se sedimentaron la mayor cantidad de sólidos presentes, para facilitar así el filtrado.

Para el filtrado se preparó un filtro de tierras diatomáceas, se colocó fibra y se hizo recircular vinagre alto durante 20 minutos. Luego se colocó tierra diatomácea y se recirculó vinagre durante 20 minutos, hasta ver que el filtro trabajara correctamente. Luego de la clarificación se realizó una filtración, lo cual se descarga en el tanque de dilución. En este paso, se diluyó hasta conseguir una acidez de 5.15%v/v. A partir de esto, se realizó otra filtración para eliminar la mayor cantidad de sólidos, insectos y materia en suspensión que pudieran permanecer en el vinagre.

Luego de la dilución se pasó el vinagre al empaque. Primero pasó por una pasteurización, a una temperatura de alrededor de 80 °C, con lo cual se eliminó cualquier microorganismos que pueden afectar al producto. Luego pasó al llenado, el cual se realiza en caliente, para el momento en que se coloque la tapa, se cree un sello en la botella, y así el producto llegue con la debida calidad al consumidor.





## 6. LOGROS OBTENIDOS

Al final la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.) se logró aumentar los rendimientos de las fermentaciones en el proceso de producción de vinagre, tal como se observa en la sección de Resultados, Capítulo 4. Esto se logró por medio del análisis de cada uno de los pasos del proceso de producción para determinar los puntos de control. Con el estudio se determinó una oportunidad de mejora del proceso actual, y se propusieron mejoras a la metodología, siguiendo siempre las condiciones de trabajo que especifica la norma GOGUANOR NGO. 34 185.

En el proceso de fermentación alcohólica, se logró aumentar el grado alcohólico de la misma a nivel industrial de 10.4%v/v a 11.7%v/v, realizando pruebas tanto a nivel laboratorio como a nivel planta piloto para determinar la mejor manera de llegar a un alto grado de alcohol. Luego se trasladó el estudio a nivel industrial para continuar las mejoras en cada batch del proceso. Con ello se logró aumentar la cantidad de vinagre producido, y por ende hacer más rentable a la empresa, ya que se produce la misma cantidad de vinagre utilizando una menor cantidad de vinagre alto (de una mayor concentración de ácido acético). Se logró una producción de alrededor 1160 litros de vinagre a 5.2%v/v en 2 batchs analizados, por lo tanto se obtuvo un aumento de 162 litros en el primer batch, y 115 litros en el segundo, en comparación con el procedimiento tradicional, con el cual se lograron 1003 litros de vinagre.



## CONCLUSIONES

1. El máximo rendimiento determinado en la fermentación alcohólica y acética para la elaboración de vinagre se logra con la mezcla de levadura seca, melaza, azúcar y nutrientes, por medio de una previa activación de las levaduras durante 15 minutos, bajo las condiciones de trabajo de temperatura constante de 33°C.
2. El análisis de costos comparando los dos tipos de levaduras muestra que al utilizar levadura fresca se obtiene un proceso más rentable.
3. Para mejorar el almacenaje de la materia prima se debe de llevar el debido control y contar con certificaciones de las mismas al momento de la inspección, así como contar con un área específica y libre de contaminación para el pesaje de las mismas.
4. Previa a realizar la parte experimental, se hicieron los ajustes en el proceso para los puntos clave de control para cumplir con las especificaciones para la elaboración de vinagre, los cuales son temperatura en un rango de 32 – 34°C, previa activación de las levaduras durante 15 minutos, grado de acidez de 0.3%v/v para la fermentación alcohólica; así como un rango de temperatura de 32 – 34°C, flujo constante de aire y agua, calibrados con un rotámetro dependiendo de los requerimientos del acetator, y un grado de acidez de 1.5%v/v al inicio de la fermentación acética.

5. La materia prima utilizada para la realización de vinagre es la adecuada según los análisis realizados a la misma, ya que cumplen con los parámetros establecidos.
  
6. La pre – activación de las levaduras durante un tiempo de 15 minutos, ayuda a mejorar la reacción, ya que se aumenta el área de contacto entre estas y la glucosa, permitiendo un mayor rendimiento de la fermentación.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis con diferentes materias primas, sustituyendo azúcar, para realizar la fermentación alcohólica, con el fin de determinar cuál es la más eficiente para el proceso.
2. Para mantener un alto rendimiento en la fermentación alcohólica para la elaboración de vinagre, se requiere una previa activación de las levaduras con una mezcla de agua, azúcar, miel de purga y levaduras, durante un tiempo de 15 minutos, para que estas inicien su actividad antes de entrar en contacto con la demás materia prima.
3. Utilizar levadura fresca para realizar la fermentación alcohólica, ya que con esta se obtiene un proceso más rentable.
4. Mantener la materia prima debidamente etiquetada con nombre, fecha de ingreso, caducidad, peligrosidad, etc., en la bodega de materia prima.
5. Separar cada una de las materias primas para mantenerlas libre de contaminación, y evitar confusiones al momento de utilizarla en el proceso.
6. Para el área de pesaje, mantener la balanza limpia y debidamente calibrada para evitar lecturas incorrectas.

7. Realizar la pre – activación de las levaduras durante 15 minutos, antes de agregar estas al reactor, para que comiencen su actividad y lograr aumentar la velocidad de reacción, con el fin de aumentar el rendimiento alcohólico.
  
8. Utilizar los métodos propuestos (ver capítulo 3, inciso 3.8.2, pág. 33) para la determinación de grado de alcohol, grado de acidez y turbidez si se desean datos más exactos de las mediciones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, Astrid; Godoy, Rubén; Bolaños, Gustavo. *Incremento de la producción de alcohol en fermentación de melazas mediante la utilización del complejo enzimático Rhyzozyme*. [en línea] XXII Congreso Colombiano de Ingeniería Química. Bucaramanga, Agosto 13 a 15 de 2003. Disponible en Web: <[http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE02\\_200612.pdf](http://www.revistavirtualpro.com/files/TIE02_200612.pdf)>.
2. CHANG, Raymond. *Química*. 7ª ed. México: Mc-Graw Hill 2000. p. 123-150.
3. GEANKOPLIS, C. J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. México: Cecsá 1982. p. 200-432.
4. Heinrich Frings GMBH. *Vinegar technology*. [en línea] Bio and Chem technology, from Germany. Disponible en Web: <<http://www.frings.com>>.
5. LEVINE, Ira N. *Fisicoquímica*. 5ª ed. México: Mc-Graw Hill 2004. p. 25-67.
6. MCCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4ª ed. México: Mc-Graw Hill 2007. p. 306-491.
7. Ministerio de Economía. Comisión Guatemalteca de Normas. *Norma COGUANOR NGO. 34 185*. Guatemala: 1987.

8. PELCZAR, Michael J. *Microbiología*. 4<sup>a</sup> ed. México: Mc-Graw Hill 1993. p. 20-300.
9. Productos Lux, S.A. *Producción de vinagre natural (oscuro)*. [en línea] Panamá: editorial 2009. Disponible en Web: <<http://www.proluxsa.com/noticia.php?id=204>>.
10. Rubio-Fernández, H; Salvador, M. D. Fregapane, G. *Contribución a la mejora del proceso de acetificación para la producción industrial de vinagre de vino*. [en línea] Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Químicas, Dpto. de Química Analítica y Tecnología de Alimentos. Disponible en Web: <[http://www.uclm.es/grupo/gao/pub/Mejora\\_acetificacion-AET\\_2000.pdf](http://www.uclm.es/grupo/gao/pub/Mejora_acetificacion-AET_2000.pdf)>.
11. SPIEGEL, Murray R. *Probabilidad y estadística*. México: Mc-Graw Hill 2000. p. 105-200.
12. Tempeh Info. *Fermentación en la elaboración de tempeh*. [en línea] 2008. Disponible en Web: <<http://www.tempeh.info/es/acido-acetico.php>>.



## APÉNDICE 1 Datos calculados

Tabla No. XXVIII **Datos calculados para la determinación del rendimiento de la fermentación alcohólica, utilizando levadura fresca, nivel laboratorio**

<b>Grado alcohólico</b>	<b>mL alcohol/L solución</b>	<b>Cantidad real de producto</b>	<b>Cantidad ideal de producto</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
10.9	109	86.001	97	88.66082
11.2	112	88.368	97	91.10103
11.3	113	89.157	97	91.91443

Fuente: resultados, tabla no. II, VI yVII.  
Metodología, inciso 3.5, ecuación no. 4.

Tabla No. XXIX **Datos calculados para la determinación del rendimiento de la fermentación alcohólica, utilizando levadura seca, nivel laboratorio**

<b>Grado alcohólico</b>	<b>mL alcohol/L solución</b>	<b>Cantidad real de producto</b>	<b>Cantidad ideal de producto</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
11.4	114	89.946	97	92.72784
11.3	113	89.157	97	91.91443
11.6	116	91.524	97	94.35464

Fuente: resultados, tabla no. III, VI y VII.  
Metodología, inciso 3.5, ecuación no. 4.

**Tabla No. XXX Datos calculados para la determinación del rendimiento de la fermentación alcohólica, utilizando levadura fresca agregando miel de purga, nivel laboratorio**

<b>Grado alcohólico</b>	<b>mL alcohol/L solución</b>	<b>Cantidad real de producto</b>	<b>Cantidad ideal de producto</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
10.6	106	83.634	97	86.22062
11.1	111	87.579	97	90.28763
10.9	109	86.001	97	88.66082
11	110	86.79	97	89.47423

Fuente: resultados, tabla no. IV, VIII y IX.  
Metodología, inciso 3.5, ecuación no. 4.

**Tabla No. XXXI Datos calculados para la determinación del rendimiento de la fermentación alcohólica, utilizando levadura seca agregando miel de purga, nivel laboratorio**

<b>Grado alcohólico</b>	<b>mL alcohol/L solución</b>	<b>Cantidad real de producto</b>	<b>Cantidad ideal de producto</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
11.1	111	87.579	97	90.28763
11	110	86.79	97	89.47423
11.1	111	87.579	97	90.28763
11.1	111	87.579	97	90.28763

Fuente: resultados, tabla no. V, VIII y IX.  
Metodología, inciso 3.5, ecuación no. 4.

**Tabla No. XXXII Datos calculados para la determinación del rendimiento de la fermentación alcohólica, utilizando levadura fresca, nivel planta piloto**

<b>Grado alcohólico</b>	<b>mL alcohol/L solución</b>	<b>Cantidad real de producto</b>	<b>Cantidad ideal de producto</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
11.1	111	87.579	97	90.28763
10.6	106	83.634	97	86.22062

Fuente: resultados, tabla no. X y XI.  
Metodología, inciso 3.5, ecuación no. 4.

**Tabla No. XXXIII Datos calculados para la determinación del rendimiento de la fermentación alcohólica, utilizando levadura seca, nivel planta piloto**

<b>Grado alcohólico</b>	<b>mL alcohol/L solución</b>	<b>Cantidad real de producto</b>	<b>Cantidad ideal de producto</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
11.3	113	89.157	97	91.91443
11.3	113	89.157	97	91.91443

Fuente: resultados, tabla no. X y XI.  
Metodología, inciso 3.5, ecuación no. 4.

**Tabla No. XXXIV Datos calculados para la determinación del rendimiento de la fermentación alcohólica, nivel industrial**

<b>Grado alcohólico</b>	<b>mL alcohol/L solución</b>	<b>Cantidad real de producto</b>	<b>Cantidad ideal de producto</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
11.6	116	91.524	97	94.35464
11.8	118	93.102	97	95.98144

Fuente: resultados, tabla no.XII.  
Metodología, inciso 3.5, ecuación no. 4.

**Tabla No. XXXV Datos calculados para la determinación de la producción de vinagre a partir del grado de acidez luego de la fermentación acética, nivel industrial**

<b>Grado de acidez</b>	<b>Volumen descargado (L)</b>	<b>Volumen de vinagre producido (L)</b>
10.1	600	1165.385
10	600	1153.846

Fuente: resultados, tabla no. XIII.  
Metodología, inciso 3.5, ecuación no. 5.

Tabla No. XXXVI **Datos calculados para la comparación de probabilidades para resultados obtenidos, nivel laboratorio**

	Grado alcohólico		Cambio de media
	Miel de purga		
Tipo de levadura	Sin adicionar	Adicionando	
Fresca (1)	10,9	10,6	
	11,2	11,1	
	11,3	10,9	
		11	
<b>Media</b>	<b>11,13333333</b>	<b>10,9</b>	<b>0,23333333</b>
Seca (2)	11,4	11,1	
	11,3	11	
	11,6	11,1	
		11,1	
<b>Media</b>	<b>11,43333333</b>	<b>11,075</b>	<b>0,35833333</b>

Fuente: resultados, tablas no. II a la IX.  
 Metodología, inciso 3.8.1, ecuación no. 8.

Tabla No. XXXVII **Datos calculados para la comparación de media estadística y costos para los resultados obtenidos, nivel planta piloto**

<b>Tipo de levadura</b>	<b>Grado alcohólico</b>	<b>Cambio de media</b>	<b>Costo (Q/lb)</b>
Fresca	11,1	0.45	9
	10,6		
<b>Media</b>	<b>10,85</b>		
Seca	11,3		27
	11,3		
<b>Media</b>	<b>11,3</b>		

Fuente: resultados, tablas no. X y XI.  
Metodología, inciso 3.8.1, ecuación no. 8.

## APÉNDICE 2      Fotografías de los reactores

Figura No. 16      Reactor a nivel laboratorio



Fuente: elaboración propia.

Figura No. 17 Reactor a nivel planta piloto



Fuente: elaboración propia.



### APÉNDICE 3 Datos originales

#### 1. Estudios a nivel laboratorio

Tabla No. XXXVIII Datos obtenidos para la fermentación alcohólica, utilizando levadura fresca

Día	Grado alcohólico	
	Prueba laboratorio	Tanque F1
1	0°	0°
3	8.0°	8.5°
5	10.7°	10.4°
8	10.9°	10.5°

Tabla No. XXXIX Datos obtenidos para la fermentación alcohólica, utilizando levadura seca

Día	Grado alcohólico	
	Prueba laboratorio	Tanque F1
1	0°	0°
3	9.2°	7.5°
5	11.1°	10.3°
8	11.4°	10.4°

Tabla No. XL **Datos obtenidos para la fermentación alcohólica,  
utilizando levadura fresca agregando miel de purga**

Día	Grado alcohólico		
	Prueba 1	Prueba 2	Tanque F1
1	0°	0°	0°
3	9.0°	10.6°	8.8°
5	10.3°	11.0°	10.1°
8	10.6°	11.1°	10.5°

Tabla No. XLI **Datos obtenidos para la fermentación alcohólica,  
utilizando levadura seca agregando miel de purga**

Día	Grado alcohólico		
	Prueba 1	Prueba 2	Tanque F1
1	0°	0°	0°
3	7.8°	8.8°	5.5°
5	10.8°	10.9°	10.5°
8	11.1°	11.0°	10.5°

Tabla No. XLII **Datos obtenidos para la fermentación alcohólica simultánea, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 1**

Día	Grado alcohólico		
	Prueba nivel laboratorio		Tanque F1
	Levadura fresca	Levadura seca	
1	0°	0°	0°
3	6.3°	4.5°	6.8°
5	10.3°	11.3°	11.1°
8	11.2°	11.3°	11.1°

Tabla No. XLIII **Datos obtenidos para la fermentación alcohólica simultánea, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 2**

Día	Grado alcohólico		
	Prueba nivel laboratorio		Tanque F1
	Levadura fresca	Levadura seca	
1	0°	0°	0°
3	9.1°	10.6°	8.6°
5	11.1°	11.3°	10.5°
8	11.3°	11.6°	10.6°

Tabla No. XLVI **Datos obtenidos para la fermentación alcohólica simultánea, utilizando levadura fresca y levadura seca agregando miel de purga, corrida 1**

Día	Grado alcohólico		
	Prueba nivel laboratorio		Tanque F1
	Levadura fresca	Levadura seca	
1	0°	0°	0°
3	7.6°	9.1°	8.3°
5	10.5°	11.0°	10.4°
8	10.9°	11.1°	10.5°

Tabla No. XLV **Datos obtenidos para la fermentación alcohólica simultánea, utilizando levadura fresca y levadura seca agregando miel de purga, corrida 2**

Día	Grado alcohólico		
	Prueba nivel laboratorio		Tanque F1
	Levadura fresca	Levadura seca	
1	0°	0°	0°
3	6.3°	7.5°	6.2°
5	10.1°	10.9°	10.3°
8	11.0°	11.1°	10.6°

## 2. Pruebas nivel planta piloto

Tabla No. XLVI **Datos obtenidos para la fermentación alcohólica, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 1**

Día	Grado alcohólico		
	Prueba nivel planta piloto		Tanque F1
	Levadura fresca	Levadura seca	
1	0°	0°	0°
3	7.2°	7.8°	8.6°
5	10.9°	10.9°	10.5°
8	11.1°	11.3°	10.6°

Tabla No. XLVII **Datos obtenidos para la fermentación alcohólica, utilizando levadura fresca y levadura seca, corrida 2**

Día	Grado Alcohólico		
	Prueba nivel planta piloto		Tanque F1
	Levadura fresca	Levadura seca	
1	0°	0°	0°
3	6.7°	7.1°	6.6°
5	10.4°	10.8°	10.1°
8	10.6°	11.3°	11.3°

### 3. Pruebas nivel industrial

Tabla No. XLVIII **Datos obtenidos para el análisis de la fermentación alcohólica a nivel industrial, corrida 1**

Fecha	Muestra	Condiciones de trabajo	Grado alcohólico	Grado de acidez
01/09/10	1	25 °C	0°	0°
03/09/10	2	25 °C	7.0°	0.3°
04/09/10	3	25 °C	9.2°	0.3°
06/09/10	4	25 °C	11.6°	0.3°

Tabla No. XLIX **Datos obtenidos para el análisis de la fermentación alcohólica a nivel industrial, corrida 2**

Fecha	Muestra	Condiciones de trabajo	Grado alcohólico	Grado de acidez
01/09/10	1	25 °C	0°	0°
03/09/10	2	27°C	8.1	0.3°
04/09/10	3	26°C	10.9	0.3°
06/09/10	4	25°C	11.8	0.3°

Tabla No. L **Datos obtenidos para el análisis de la fermentación acética, corrida 1**

Fecha	Muestra	Condiciones de trabajo	Grado alcohólico	Grado de acidez
13/09/10	1	33 °C	10.5°	1.5°
14/09/10	2	34 °C	1.6°	8.6°
14/09/10	3	33 °C	0.9°	9.2°
15/09/10	4	33 °C	0.2°	10.1°

Tabla No. LI **Datos obtenidos para el análisis de la fermentación acética, corrida 2**

Fecha	Muestra	Condiciones de trabajo	Grado alcohólico	Grado de acidez
15/09/10	1	34°	10.4°	1.5°
16/09/10	2	34°	2.1°	8.3°
16/09/10	3	37°	1.2°	9.4°
17/09/10	4	37°	0.4°	10.0°

Tabla No. LII **Datos obtenidos para el análisis de la clarificación, corrida 1**

Fecha	Muestra	Condiciones de trabajo	Grado de acidez	Turbidez (NTU)
15/09/10	1	-----	9.3°	42
17/09/10	2	-----	9.3°	40

Tabla No. LIII **Datos obtenidos para el análisis de la clarificación, corrida**

**2**

Fecha	Muestra	Condiciones de trabajo	Grado de acidez	Turbidez (NTU)
15/09/10	1	-----	9.5°	41
17/09/10	2	-----	9.5°	43

Tabla No. LIV **Datos obtenidos para el análisis de la dilución, corrida 1**

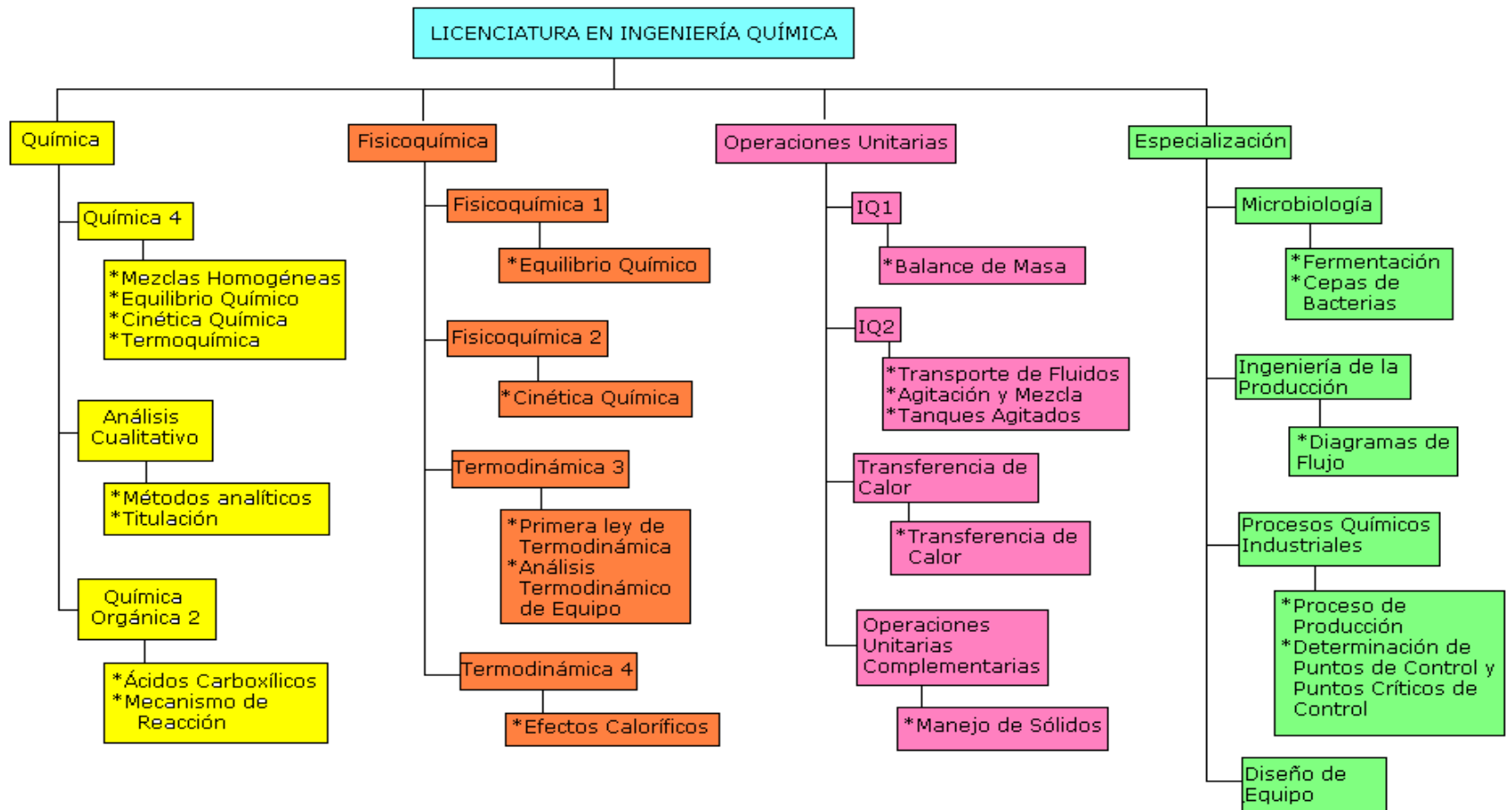
Fecha	Muestra	Condiciones de trabajo	Grado de acidez	Turbidez (NTU)
15/09/10	1	-----	9.3°	27
17/09/10	2	-----	9.3°	25

Tabla No. LV **Datos obtenidos para el análisis de la dilución, corrida 2**

Fecha	Muestra	Condiciones de trabajo	Grado de acidez	Turbidez (NTU)
15/09/10	1	-----	9.5°	24
17/09/10	2	-----	9.5°	28

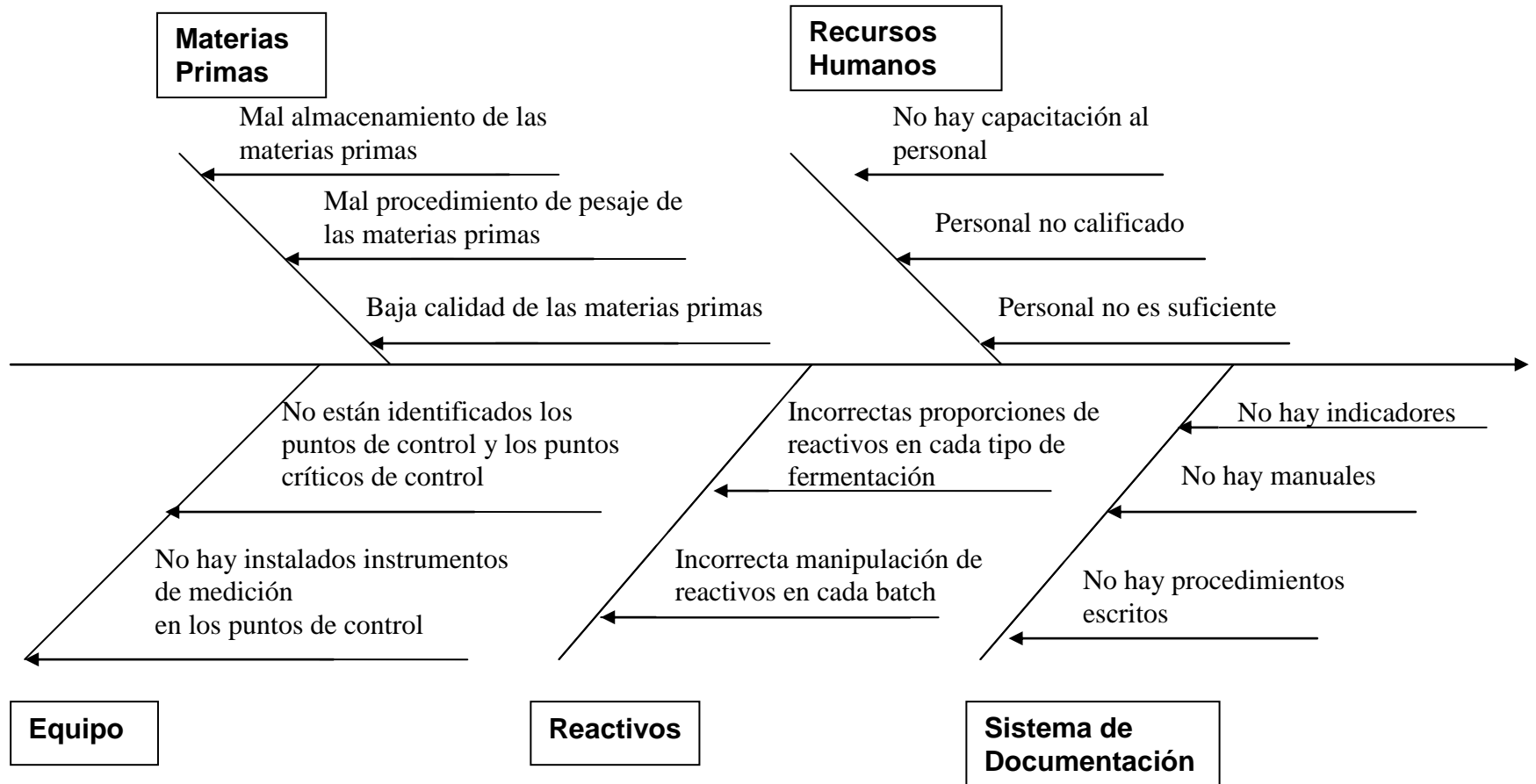


**ANEXO 1. Tabla de requisitos académicos para el análisis y mejoramiento de los procesos de fermentación alcohólica y acética para la elaboración de vinagre a partir de azúcar, en industria alimenticia guatemalteca**





**ANEXO 2. Diagrama de Ishikawa**



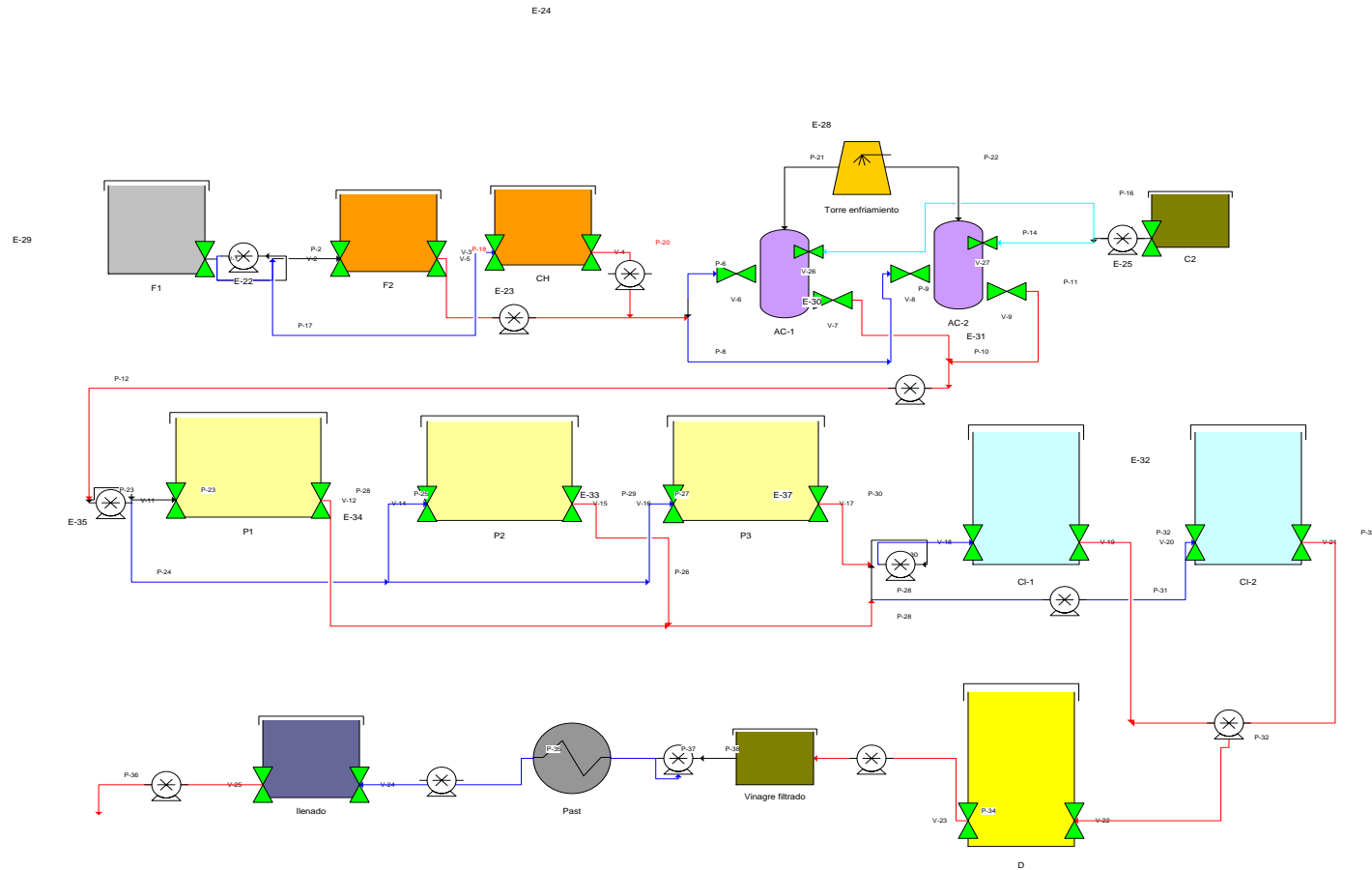


### **ANEXO 3. Total de actividades**

- Recopilar información
- Investigar sobre el proceso de producción de vinagre
- Investigar sobre las fermentaciones alcohólica y acética, así como los parámetros óptimos y críticos de operación
- Conocer el proceso dentro de la empresa
- Determinar las condiciones de almacenamiento en la bodega
- Evaluar la materia prima, tanto sus características químicas como fisicoquímicas en cuanto a estado, forma y color, al momento de la inspección de la misma
- Proponer mejoras en el área de almacenamiento y de pesaje
- Realizar diagrama de flujo del proceso
- Determinar puntos de control y puntos críticos de control
- Elegir muestras aleatorias para analizar mediante criterio estadístico
- Realizar pruebas a las muestras elegidas
- Definir instrumentos de medición y tiempos por etapa
- Determinar velocidad de reacción y rendimiento de cada fermentación
- Utilizar los puntos de control y puntos críticos de control para determinar oportunidad de mejora en el proceso
- Evaluar las fermentaciones alcohólica y acética de la planta
- Obtener un historial de información tabulada
- Elaborar documento con metodología sugerida
- Realizar capacitaciones al personal encargado del área de producción de vinagre
- Realizar documento final con resultados obtenidos




## ANEXO 4. Diagrama de flujo del proceso de producción de vinagre



Fuente: Área de producción de vinagre.

Tabla No. LVI **Simbología del diagrama de flujo del proceso de elaboración de vinagre**

 F1	<p>Tanque de fermentación (F1)</p>	 Cl-1	<p>Tanque de clarificación (Cl1 y Cl2)</p>
 F2	<p>Tanque de chicha (F2 y CH)</p>	 D	<p>Tanque de dilución (D)</p>
 AC-1	<p>Acetatores (Ac1 y Ac2)</p>	 Vinagre filtrado	<p>Tanque de vinagre filtrado</p>
 C2	<p>Tanque de acetobacterias (C2)</p>	 Past	<p>Intercambiador de calor de tubos concéntricos</p>
 P1	<p>Pipas de descarga (D1, D2 y D3)</p>	 llenado	<p>Tanque de llenado</p>
 Torre enfriamiento	<p>Torre de enfriamiento</p>	 E-22	<p>Bomba de trasiego</p>
 V-7	<p>Válvula de paso</p>		<p>Flujo de entradas</p>





Flujo de salidas



Flujo de  
acetobacterias



Flujo del sistema  
de enfriamiento



## **ANEXO 5. Métodos llevados a cabo durante la fase experimental**

### **A) Nivel laboratorio**

- **Análisis 1:** Se realizó la mezcla de agua, azúcar, levadura y nutrientes, en sus respectivas proporciones. Se utilizó levadura fresca. Se permitió activar la levadura por un tiempo de 20 minutos, mezclando miel de purga y azúcar en agua, y por último mezclando la levadura. Después de realizada la mezcla se burbujeó oxígeno a la misma durante media hora.
- **Análisis 2:** Se realizó la mezcla de agua, azúcar, levadura y nutrientes, en sus respectivas proporciones. Se utilizó levadura seca. Se hidrató la levadura durante 10 minutos. Luego se activó la misma durante 15 minutos en una mezcla de miel de purga, azúcar y agua. Después de realizada la mezcla se burbujeó oxígeno a la misma durante media hora.
- **Análisis 3:** Se realizó la mezcla de agua, azúcar, levadura y nutrientes, en sus respectivas proporciones. Se utilizó levadura fresca. Se permitió activar la levadura por un tiempo de 20 minutos, mezclando miel de purga y azúcar en agua, y por último mezclando la levadura. Después de realizada la mezcla se burbujeó oxígeno a la misma durante media hora. A partir del tercer día de fermentación se agregó una décima parte de la cantidad agregada al inicio de miel de purga a la mezcla.

- **Análisis 4:** Se realizó la mezcla de agua, azúcar, levadura y nutrientes, en sus respectivas proporciones. Se utilizó levadura seca. Se hidrató la levadura durante 10 minutos. Luego se activó la misma durante 15 minutos en una mezcla de miel de purga, azúcar y agua. Después de realizada la mezcla se burbujeó oxígeno a la misma durante media hora. A partir del tercer día de fermentación se agregó una décima parte de la cantidad agregada al inicio de miel de purga a la mezcla.

## **B) Nivel planta piloto**

- **Análisis 1:** Se realizó la mezcla de agua, azúcar, levadura y nutrientes, en sus respectivas proporciones. Se utilizó levadura fresca. Se permitió activar la levadura por un tiempo de 20 minutos, mezclando miel de purga y azúcar en agua, y por último mezclando la levadura. Después de realizada la mezcla se burbujeó oxígeno a la misma durante media hora.
- **Análisis 2:** Se realizó la mezcla de agua, azúcar, levadura y nutrientes, en sus respectivas proporciones. Se utilizó levadura seca. Se hidrató la levadura durante 10 minutos. Luego se activó la misma durante 15 minutos en una mezcla de miel de purga, azúcar y agua. Después de realizada la mezcla se burbujeó oxígeno a la misma durante media hora.

### C) Nivel industrial

- **Análisis 1:** Se realizó la mezcla de agua, azúcar, levadura y nutrientes, en sus respectivas proporciones. Se utilizó levadura fresca. Se permitió activar la levadura por un tiempo de 20 minutos, mezclando miel de purga y azúcar en agua, y por último mezclando la levadura, esto se realizó con la ayuda de un tanque con agitador. Después de realizada la mezcla se burbujeó oxígeno a la misma durante media hora.



## ANEXO 6. Especificaciones para la producción de vinagre según COGUANOR

	VINAGRE Especificaciones	COGUANOR NGO 34 185
COMISION GUATEMALTECA DE NORMAS (COGUANOR), MINISTERIO DE ECONOMIA, GUATEMALA, C.A.	1. OBJETO	
	La presente norma tiene por objeto establecer las características y requisitos que debe cumplir el vinagre, producido en el país o de origen extranjero.	
	2. NORMAS COGUANOR A CONSULTAR	
	COGUANOR NGO 4 010 1a. Revisión	Sistema Internacional de Unidades (SI)
	COGUANOR NGO 5 013	Soluciones estándares y soluciones valoradas para análisis químicos
	COGUANOR NGO 34 032	Azúcar crudo
	COGUANOR NGO 34 033	Azúcar blanco sin refinar
	COGUANOR NGO 34 039 1a. Revisión	Etiquetado de productos alimenticios envasados para consumo humano
	COGUANOR NGO 34 175	Melaza de caña. Especificaciones
	COGUANOR NGO 49 016	Productos envasados. Verificación del volumen neto y variaciones permitidas para el mismo.
3. DEFINICIONES		
3.1	<u>Vinagre.</u> Es el producto líquido, apto para el consumo humano, producido a partir de una materia idónea de origen agrícola que contiene almidón, azúcares o almidón y azúcares, mediante proceso de <del>de</del> doble fermentación, alcohólica y acética, que contiene una cantidad específica de ácido acético y pequeñas cantidades de otros compuestos químicos tales como alcohol, glicerina y azúcar invertido.	
3.2	<u>Vinagre aromatizado.</u> Es el vinagre al cual se ha adicionado hierbas, especias y condimentos, sus partes o sus extractos, aptos para aromatizar el producto.	
3.3	<u>Lote.</u> Es una cantidad de envases que se somete a inspección como conjunto unitario, cuyo contenido es de características similares, o ha sido elaborado bajo condiciones de producción presumiblemente uniformes y que se identifican por tener un mismo código o clave de producción.	
4. CLASIFICACION Y DESIGNACION		
4.1	<u>Clasificación.</u> El producto se clasificará de acuerdo a su forma de presentación en las siguientes clases:	
a)	Vinagre; y	
b)	Vinagre aromatizado	
4.2.	<u>Designación.</u> El producto se designará como "vinagre" o "vinagre aromatizado" según sea el caso; adicionalmente podrá indicarse en la designación el nombre de la materia prima que le dió origen.	Continúa
Publicada en el Diario Oficial de fecha 26 de mayo de 1987		

## 5. MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES

5.1 Para la elaboración del vinagre se emplearán dos o más de las siguientes materias primas y materiales, los cuales deberán cumplir con las normas COGUANOR correspondientes y en su defecto con las normas del Codex Alimentarius.

- a) Frutas, granos de cereales, miel, azúcar, melazas u otros productos de origen agrícola que contengan almidón, azúcares o almidón y azúcares.
- b) Vino de uva, vino de otras frutas o alcohol destilado de origen agrícola
- c) Levaduras, acetobacterias y nutrientes necesarios para las mismas
- d) Hierbas, especias y condimentos, sus partes o extractos aptos para aromatizar
- e) Aditivos alimentarios; véase el numeral 6.6

5.2 En la elaboración de vinagre no deberá emplearse ácido acético en ninguna forma.

## 6. ESPECIFICACIONES

6.1 Características generales. El vinagre deberá ser elaborado con materias primas y materiales limpios, sanos, libres de contaminación y de insectos en cualesquiera de sus etapas evolutivas, así como de cualquier defecto que pueda afectar al buen aspecto del producto final o a su posibilidad de consumo o de adecuada conservación. El producto deberá ser elaborado y envasado bajo estrictas condiciones higiénico sanitarias.

6.2 Características sensoriales. El producto deberá presentarse en forma de líquido límpido sin sedimento, incoloro o de color amarillento, olor acético y sabor ácido característicos, y deberá estar libre de olor o sabor extraños o anormales. El producto aromatizado adicionalmente deberá tener el olor y sabor característicos de las materias empleadas como aromatizantes.

6.3 Requisitos físicos y químicos. El producto deberá cumplir con los requisitos físicos y químicos indicados en el cuadro 1 siguiente:

Cuadro 1. Requisitos físicos y químicos

Características	Mínimo	Máximo
Acido acético, en porcentaje en masa/volumen	4.0	-
pH	2.8	3.2
Extracto seco, en porcentaje en masa/volumen	0.2	3.2
Cenizas, en porcentaje en masa/volumen	-	0.6
Número de oxidación de permanganato	2.5(1)	-
Acidos minerales libres	Negativo	

(1) Véase nota 2 del numeral 8.2.4

6.4 El producto deberá estar libre de levaduras u otros microorganismos que puedan provocar la descomposición del mismo; para tal efecto se podrá emplear pasteurización, filtración bacteriológica u otro método apropiado.

6.5 Límites máximos para metales tóxicos. Los límites máximos permitidos para metales tóxicos en el vinagre serán los especificados en el cuadro 2 siguiente:

Continúa



Cuadro 2. Límites máximos para metales tóxicos

Metales	Máximo en mg/kg
Plomo, como Pb	2.0
Cobre, como Cu	10.0
Arsénico, como As	1.0
Zinc, como Zn	50.0
Hierro, como Fe	30.0
Estaño, como Sn	100.0

6.6 Aditivos alimentarios. Los aditivos indicados deberán cumplir con las normas COGUANOR correspondientes o en su defecto, con las normas del Codex Alimentarius.

6.6.1 Colorantes. No podrán adicionarse colorantes artificiales; solamente se podrá emplear el colorante natural caramelo en cantidad suficiente para lograr el efecto deseado.

6.6.2 Conservadores. Se podrá emplear dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, en una cantidad máxima de 70 mg/kg del producto final.

6.6.3 Agentes clarificantes y/o filtrantes. Como agentes clarificantes y/o filtrantes se podrán emplear enzimas clarificantes, gelatina comestible, dióxido de silicio, bentonita, taninos o carbón vegetal activado, en cantidad suficiente para lograr el efecto deseado.

## 7. MUESTREO

### 7.1 Número de unidades de muestreo.

7.1.1 El número de muestras que se deben tomar para los análisis físicos y químicos se indica en el cuadro 3.

7.1.2 Para obtener las muestras indicadas en el numeral 7.1.1, en lotes constituidos por embalajes que contienen varios envases individuales cada uno, se deben abrir como mínimo el número de embalajes señalados en el cuadro 4.

Cuadro 3. Número de unidades de muestreo (envases individuales)

Tamaño del lote, N	Número de unidades a seleccionar, n
hasta 200	4
201 a 500	5
501 a 800	6
801 a 1 300	7
1 301 a 3 200	8
3 201 a 8 000	9
más de 8 001	10

Continúa

Cuadro 4. Embalajes que deben abrirse

Número de embalajes en el lote	Número de embalajes que deben abrirse
Hasta 10	2
11 a 25	4
26 a 64	5
65 a 100	6
101 a 150	7
151 a 225	8
226 a 300	9
301 a 500	10

7.2 Procedimiento operatorio. La selección de los envases de un lote se debe hacer al azar y de manera que se tengan unidades de todas las partes del lote; para este propósito se debe emplear una tabla de números al azar. Si no se dispone de dicha tabla se puede adoptar el procedimiento siguiente: se numeran las unidades 1, 2, 3..., r comenzando por cualquier unidad y en el orden que se desee y cada  $r$ ésima unidad constituirá la unidad de muestreo a seleccionar. El valor de  $(r)$  resulta de dividir el tamaño del lote  $(N)$ , entre el número de unidades de muestreo a seleccionar  $(n)$ .

7.3 Muestras para análisis.

7.3.1 De cada envase que se selecciona se sacan volúmenes aproximadamente iguales de vinagre para hacer una muestra compuesta de aproximadamente 900 cm<sup>3</sup>. Esta muestra se divide en tres partes iguales y se transfieren a recipientes de vidrio limpios y secos, se sellan herméticamente y se rotulan con información completa sobre la muestra y el muestreo. Una de estas muestras compuestas debe ser para el comprador, otra para el vendedor y la tercera para un organismo legalmente competente para llevar a cabo los análisis correspondientes que exige la presente norma.

7.4 Criterio de aceptación. Un lote se considera aceptable si las muestras analizadas satisfacen los requerimientos especificados en la presente norma.

7.5 Inspección y control. La inspección y verificación de la calidad del vinagre serán practicadas por un organismo legalmente competente para tal fin, el cual deberá contar con el personal técnico capacitado para llevar a cabo: la toma de muestras destinadas a los análisis, la ejecución de los análisis correspondientes y la verificación de los demás requisitos que exige la presente norma. Las muestras se podrán tomar en la fábrica o en el comercio.

8. METODOS DE PRUEBA

8.1 Determinación del contenido de ácido acético. Se diluyen 10 cm<sup>3</sup> de la muestra con agua recientemente hervida y enfriada, hasta que la muestra se vea solo levemente coloreada y se titula con una solución 0.5 N de hidróxido de sodio usando fenolftaleína como indicador; véase la norma COGUANOR NGO 5 013. Para la expresión de los resultados, cada centímetro cúbico de solución 0.5 N de NaOH equivale a 0.0300 g de ácido acético.

8.2 Determinación del número de permanganato.

8.2.1 Reactivos o materiales. Todos los reactivos deben ser de calidad analítica reconocida; el agua debe ser destilada o de pureza equivalente.

Continúa

8.2.1.1 Solución de permanganato de potasio. Se prepara disolviendo 31 g de la sal en 1 000 cm<sup>3</sup> de agua; esta solución no requiere valoración.

8.2.1.2 Solución 0.5 N de tiosulfato de sodio; véase la norma COGUANOR NGO 5 013.

8.2.1.3 Solución de yoduro de potasio. Se prepara disolviendo 50 g de KI en 100 cm<sup>3</sup> de agua y se filtra. No debe usarse si presenta coloración.

8.2.1.4 Solución (1 + 1) de ácido sulfúrico.

8.2.2 Aparatos.

8.2.2.1 Aparato de destilación por arrastre de vapor, preferentemente con todos sus componentes de vidrio; si no se dispone de tal aparato se deben cubrir con papel de estaño o de aluminio los tapones de corcho o de hule.

8.2.2.2 Baño de agua, regulado a 25°C

8.2.2.3 Matraces Erlenmeyer, de 500 cm<sup>3</sup>, con tapón de vidrio.

8.2.2.4 Pipetas volumétricas, de 10, 20, 25, y 50 cm<sup>3</sup>

8.2.2.5 Instrumental de laboratorio.

8.2.3 Procedimiento

8.2.3.1 Se determina la acidez de la muestra como se indica en el numeral 8.1 y se ajusta por dilución con agua su contenido de ácido acético a 4 g en 100 cm<sup>3</sup>.

8.2.3.2 Se destilan por arrastre de vapor 50 cm<sup>3</sup> de la muestra con acidez ajustada y se recogen 50 cm<sup>3</sup> del destilado; la destilación debe regularse de manera que en el frasco de destilación permanezcan aproximadamente 45 cm<sup>3</sup> cuando se hayan recogido los 50 cm<sup>3</sup> destilados.

8.2.3.3 Se lleva la temperatura del destilado y de los reactivos a 25°C empleando el baño de agua.

8.2.3.4 Se transfieren los 50 cm<sup>3</sup> del destilado a un erlenmeyer de 500 cm<sup>3</sup>, se agregan 10 cm<sup>3</sup> de la solución (1 + 1) de ácido sulfúrico y 25 cm<sup>3</sup> de la solución de permanganato de potasio, controlando la exactitud de la medida mediante un tiempo preciso de descarga de la pipeta.

8.2.3.5 Se deja la solución en el baño de agua regulado a 25°C durante exactamente 1 h e inmediatamente se agregan 20 cm<sup>3</sup> de la solución de yoduro de potasio y se mezcla bien; se titula el yodo liberado con la solución 0.5 N de tiosulfato de sodio.

8.2.3.6 Simultáneamente se conduce un blanco a la misma temperatura de 25°C usando 50 cm<sup>3</sup> de agua, 10 cm<sup>3</sup> de la solución (1 + 1) de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 25 cm<sup>3</sup> de la solución de permanganato de potasio.

8.2.4 Expresión de los resultados. El resultado se expresa como número de oxidación de permanganato del vinagre ajustado a 4% (m/v) de ácido acético y se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$Nop = \frac{V_2 - V_1}{2}$$

En la que:

Nop = Número de oxidación de permanganato del vinagre ajustado a 4% (m/v) de ácido acético.

Continúa

$V_1$  = Volumen de la solución 0.5 N de tiosulfato de sodio empleado en la titulación de la muestra, en centímetros cúbicos.

$V_2$  = Volumen de la solución 0.5 N de tiosulfato de sodio empleado en la titulación del blanco, en centímetros cúbicos.

Nota 1. Si el número de oxidación de permanganato, calculado como se indica en el numeral 8.2.4, es mayor de 15, se debe repetir la determinación, usando 25 cm<sup>3</sup> del destilado de vinagre ajustado a 4% (m/v) de ácido acético más 25 cm<sup>3</sup> de agua. Se deben repetir las determinaciones reduciendo cada vez la muestra a la mitad del volumen antes empleado y ajustando con agua a 50 cm<sup>3</sup>, hasta que se obtenga un volumen de la solución de permanganato menor de 15. En todo caso, el número de oxidación de permanganato debe calcularse sobre la base de 50 cm<sup>3</sup> de vinagre con acidez ajustada.

Nota 2. Si el número de oxidación de permanganato, calculado como se indica en el numeral 8.2.4 es menor de 2.5 ó aún si resultara ser negativo, se considera que el producto no es vinagre genuino.

8.3 Prueba cualitativa para la presencia de ácidos minerales libres. Se transfieren a un tubo de ensayo 5 cm<sup>3</sup> de la muestra original. Se agregan 5 a 10 cm<sup>3</sup> de agua, se mezcla y se agregan 4 ó 5 gotas de una solución de violeta de metilo (1 parte de violeta de metilo en 10 000 partes de agua). Si se desarrolla un color azul o verde se considera positiva la prueba para la presencia de ácidos minerales libres; en caso contrario, se considera la prueba como negativa.

8.4 Verificación del contenido neto de los envases. Dicha verificación se lleva a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en la norma COGUANOR NGO 49 016.

8.5 Otros ensayos y análisis. La verificación de los demás requisitos especificados en la presente norma se lleva a cabo de acuerdo con los métodos de prueba convencionales.

## 9. ENVASE, ROTULADO Y EMBALAJE

9.1 Envase. Los envases para el vinagre deberán ser de materiales de naturaleza tal que no alteren las características sensoriales del producto ni produzcan sustancias dañinas o tóxicas.

9.2 Rótulo. Para los efectos de esta norma, los rótulos o etiquetas serán de papel o de cualquier otro material que pueda ser adherido a los envases o bien de impresión permanente sobre los mismos.

9.2.1 Las inscripciones deberán ser fácilmente legibles en condiciones de visión normal, redactadas en español y hechas en forma tal que no desaparezcan bajo condiciones de uso normal.

9.2.2 El rótulo deberá cumplir con lo especificado en la norma COGUANOR NGO 34 039 y llevar como mínimo la siguiente información:

- a) La designación del producto (véase el numeral 4.2);
- b) Los aditivos, indicando la función en el producto, si fuera el caso;
- c) El contenido neto expresado en el Sistema Internacional de Unidades (SI);
- d) La identificación del lote de fabricación, así como el año, mes y día de fabricación y envasado, los cuales podrán ponerse en clave en cualquier lugar apropiado del envase;
- e) El nombre o razón social del productor o de la entidad bajo cuya marca se expende el producto, así como la dirección o el apartado postal;
- f) El país de origen;
- g) El número del registro sanitario correspondiente; y

Continúa

- h) Cualquier otro dato que fuese requerido por leyes o reglamentos vigentes o que en el futuro dicten autoridades competentes.

9.2.3 No podrán tener ninguna leyenda de significado ambiguo, ilustraciones o adornos que induzcan a engaño, ni descripción de características del producto que no se puedan comprobar.

9.3 Embalajes. Los embalajes deberán cumplir con las normas COGUANOR correspondientes.

## 10. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

Las condiciones de almacenamiento y transporte cumplirán con las normas higiénico sanitarias que rijan en el país.

## 11. CORRESPONDENCIA

Para la elaboración de la presente norma se han tenido en cuenta los siguientes documentos:

- a) Proyecto Propuesto de Norma Regional Europea para el Vinagre (en el trámite 5) ALINORM 81/19 Annexe II, Comisión del Codex Alimentarius, FAO/OMS;
- b) Norma Sanitaria, OFSANPAN 099-09-01, Vinagre de Alcohol; Normas Sanitarias de Alimentos aprobadas por el Consejo de Ministros de Salud Pública de Centroamérica y Panamá, Enero de 1968.
- c) Norma Dominicana, NORDOM 22-1980, Vinagre;
- d) Método 30.083-30.084 descrito en "Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, AOAC; 14a. edition, 1984";
- e) Valenciano A. Ovidio, Guía Práctica de Análisis Bromatológicos, Editorial Hispano América S.A., Argentina, 1946., y
- f) "Jacobs B. Morris, The Chemical Analysis of Foods and Food Products, D. Van Nostrand Company, Inc., London, 1958".

- ULTIMA LINEA -

