



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

**EFFECTO DE LAS VARIABLES DE FERMENTACIÓN EN LA  
FORMACIÓN DE COMPUESTOS CONGENÉRICOS EN EL  
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RON PESADO DE MIEL  
VIRGEN Y MELAZA A NIVEL LABORATORIO**

**Silvia Pamela Montejo Peralta**

Asesorado por el Dr. Rodolfo Espinosa Smith

Guatemala, noviembre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EFFECTO DE LAS VARIABLES DE FERMENTACIÓN EN LA  
FORMACIÓN DE COMPUESTOS CONGENÉRICOS EN EL  
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RON PESADO DE MIEL  
VIRGEN Y MELAZA A NIVEL LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**SILVIA PAMELA MONTEJO PERALTA**  
ASESORADO POR EL DR. RODOLFO ESPINOSA SMITH

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO QUÍMICO**

Guatemala, octubre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Marítza Guererro de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Ing. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos
EXAMINADOR	Inga. Rosa María Girón Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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:

**EFFECTO DE LAS VARIABLES DE FERMENTACIÓN EN LA  
FORMACIÓN DE COMPUESTOS CONGENÉRICOS EN EL PROCESO  
DE PRODUCCIÓN DE RON PESADO DE MIEL VIRGEN Y MELAZA A  
NIVEL LABORATORIO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, en diciembre de 2009.



SILVIA PAMELA MONTEJO PERALTA

Guatemala, 8 de abril de 2010

Sr. Director

Escuela de Ingeniería química

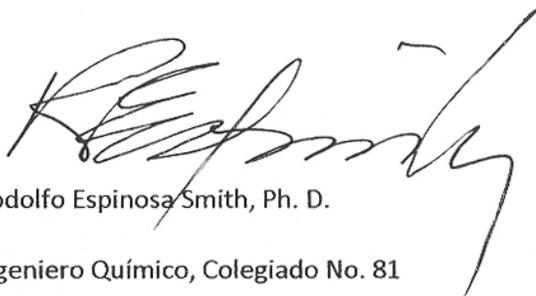
Facultad de ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por éste medio hago constar que he revisado el Protocolo del Trabajo de Graduación de la estudiante de Ingeniería Química, Silvia Pamela Montejo Peralta, Carnet No. 2004-12477, titulado "EFECTO DE LAS VARIABLES DE FERMENTACIÓN EN LA FORMACIÓN DE COMPUESTOS CONGENÉRICOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RON PESADO DE MIEL VIRGEN Y MELAZA A NIVEL LABORATORIO"

El contenido y el plan de trabajo del mismo me parecen satisfactorios, por lo que en mi calidad de asesor del trabajo me permito recomendarlo para su ejecución.

Atentamente,



Rodolfo Espinosa Smith, Ph. D.

Ingeniero Químico, Colegiado No. 81

RODOLFO F. ESPINOSA SMITH  
Ingeniero Químico  
Colegiado # 81



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

Ref.EIQ.TG.127.2010

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante **SILVIA PAMELA MONTEJO PERALTA** titulado: "EFECTO DE LAS VARIABLES DE FERMENTACIÓN EN LA FORMACIÓN DE COMPUESTOS CONGENÉRICOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RON PESADO DE MIEL VIRGEN Y MELAZA A NIVEL LABORATORIO". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.

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

Guatemala, octubre de 2010

Cc: Archivo  
WGAM/am





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 03 de agosto de 2010  
Ref.EIQ.TG-080-2010

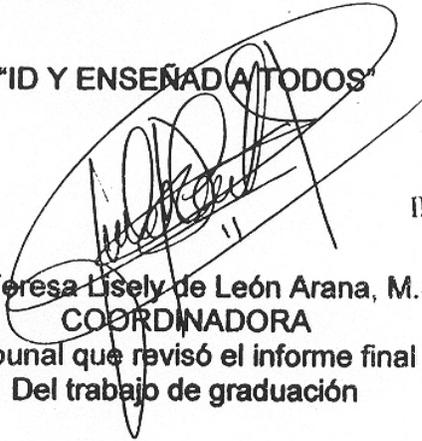
Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-033-10-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 trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **SILVIA PAMELA MONTEJO PERALTA**, identificada con carné No. **2004-12477**, titulado: "EFECTO DE LAS VARIABLES DE FERMENTACIÓN EN LA FORMACIÓN DE COMPUESTOS CONGENÉRICOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RON PESADO DE MIEL VIRGEN Y MELAZA A NIVEL LABORATORIO", el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico **Rodolfo Espinosa Smith**.

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

"ID Y ENSEÑADA A TODOS"

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



ESCUELA DE  
INGENIERÍA QUÍMICA

C.c.: archivo



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 364.2010

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: **EFFECTO DE LAS VARIABLES DE FERMENTACIÓN EN LA FORMACIÓN DE COMPUESTOS CONGENÉRICOS EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RON PESADO DE MIEL VIRGEN Y MELAZA A NIVEL LABORATORIO**, presentado por la estudiante universitaria **Silvia Pamela Montejo Peralta**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy  Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 9 de noviembre de 2010.



/gdech

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero y antes que nada, doy gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Agradezco hoy y siempre a mi familia, porque si no fuese por el esfuerzo realizado por ellos, mis estudios no hubiesen sido posibles. A mis padres Gisela y Walter, mi abuelita Graciela, mis hermanos, mis sobrinos y primos; porque a pesar de la distancia, el ánimo, apoyo y alegría que me brindan me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Agradezco al Dr. Rodolfo Espinosa por haber confiado en mi persona y por la dirección de este trabajo. A los ingenieros William Galindo y Gerardo Avendaño por abrirme las puertas de su empresa y darme soporte para la realización del mismo.

Gracias también a mis compañeros, que me apoyaron y me permitieron entrar en su vida durante los años de la carrera, estando conmigo en los buenos y malos momentos, así también a los ingenieros catedráticos que compartieron sus conocimientos y experiencias.

## DEDICATORIA

A Dios

Por darme la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

A mis padres

Que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento, por enseñarme desde pequeña a luchar para alcanzar mis metas. Por darme una carrera para mi futuro, por creer en mí, por apoyarme y brindarme sus sabios consejos. Mi triunfo es de ustedes.

A mis hermanos

Por estar conmigo y apoyarme siempre, por enseñarme que todo se puede alcanzar si uno se lo propone.

A mi abuela

Por sus sabios consejos, sus bendiciones y palabras de ánimo.

A mis sobrinos

Por ser la luz que alumbra mi vida, por llenarme de felicidad y amor, por ayudarme a olvidar mis problemas; por demostrarme que todos llevamos un niño dentro.

A mis amigos

Por ser mis cómplices, mis confidentes, por estar conmigo siempre que los necesito, ojalá esto no termine nunca.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>III</b>
<b>TABLAS</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>IX</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XVII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XVII</b>
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>XVIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XIX</b>
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Fermentación	3
2.2 Fermentador	3
2.3 Fermentación alcohólica	4
2.4 Materia prima	5
2.5 Azúcar	7
2.6 Melaza	8
2.7 Microorganismos	9
2.8 Ciclo de vida de la levadura	12
2.8.1 Período de retraso	13
2.8.2 Fase de crecimiento	13
2.8.3 Fase de fermentación	14
2.8.4 Fase de sedimentación	14
2.9 Formación del alcohol	15
2.10 Características de la fermentación	17
2.11 Variables de la fermentación alcohólica	18
2.12 Otros compuestos de la fermentación	20
2.12.1 Aldehídos	22

2.12.2 Ésteres	22
2.12.3 Alcoholes superiores o aceites de fusel	23
2.13 Fundamentos de la destilación	24
2.14 Columna de ron	26
2.17 Equipo utilizado para llevar a cabo la fermentación	28
3. DISEÑO METODOLÓGICO	
3.1 Variables	29
3.2 Delimitación de campo de estudio	33
3.3 Diseño experimental	34
3.4 Recursos humanos disponibles	35
3.5 Recursos materiales disponibles	35
3.6 Técnica cuantitativa	37
3.7 Análisis estadístico	38
4. RESULTADOS	39
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	87
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>89</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>93</b>
<b>APÉNDICE</b>	<b>94</b>
APÉNDICE 1: recolección de la información	95
APÉNDICE 2: control de temperatura para los diferentes ensayos	105
<b>ANEXO</b>	<b>107</b>
ANEXO 1: requisitos académicos	108
ANEXO 2: diagrama de Ishikawa	109
ANEXO 3: composición de la melaza de caña de azúcar aproximada	110
ANEXO 4: cromatograma	111
ANEXO 5: cromatograma	112
ANEXO 6: Recolección de datos para análisis sensorial	113

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

<b>1</b>	Fermentador	<b>3</b>
<b>2</b>	Reactivos y productos de la fermentación	<b>5</b>
<b>3</b>	Principales fuentes de carbohidratos	<b>7</b>
<b>4</b>	Usos de la melaza	<b>9</b>
<b>5</b>	Organismos utilizados en la producción de alcohol	<b>10</b>
<b>6</b>	Fases del crecimiento de la levadura	<b>15</b>
<b>7</b>	Comportamiento del azúcar, levadura y alcohol en la fermentación	<b>16</b>
<b>8</b>	Comportamiento del azúcar, levadura y alcohol en la fermentación	<b>16</b>
<b>9</b>	Estructura de los aldehídos	<b>22</b>
<b>10</b>	Estructura de los ésteres	<b>23</b>
<b>11</b>	Columna de ron	<b>27</b>
<b>12</b>	Equipo utilizado para llevar a cabo la fermentación	<b>28</b>
<b>13</b>	Comportamiento de los aldehídos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C	<b>47</b>
<b>14</b>	Comportamiento de los ésteres vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C	<b>48</b>
<b>15</b>	Comportamiento de alcoholes superiores vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C	<b>49</b>
<b>16</b>	Comportamiento de la acidez vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C	<b>50</b>
<b>17</b>	Comportamiento de los congenéricos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C	<b>51</b>

<b>18</b>	Comportamiento de los aldehídos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza con nutrientes a T=34 °C	52
<b>19</b>	Comportamiento de los ésteres vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza con nutrientes a T=34 °C	53
<b>20</b>	Comportamiento de alcoholes superiores vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza con nutrientes a T=34 °C	54
<b>21</b>	Comportamiento de la acidez vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza con nutrientes a T=34 °C	55
<b>22</b>	Comportamiento de los congénicos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza con nutrientes a T=34 °C	56
<b>23</b>	Comportamiento de los aldehídos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen sin nutrientes a T=34 °C	57
<b>24</b>	Comportamiento de los ésteres vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen sin nutrientes a T=34 °C	58
<b>25</b>	Comportamiento de alcoholes superiores vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen sin nutrientes a T=34 °C	59
<b>26</b>	Comportamiento de la acidez vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen sin nutrientes a T=34 °C	60
<b>27</b>	Comportamiento de los congénicos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen sin nutrientes a T=34 °C	61
<b>28</b>	Comportamiento de los aldehídos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=34 °C	62
<b>29</b>	Comportamiento de los ésteres vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=34 °C	63
<b>30</b>	Comportamiento de alcoholes superiores vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=34 °C	64
<b>31</b>	Comportamiento de la acidez vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=34 °C	65

<b>32</b>	Comportamiento de los congenéricos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=34 °C	66
<b>33</b>	Comportamiento de los aldehídos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=38 °C	67
<b>34</b>	Comportamiento de los ésteres vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=38 °C	68
<b>35</b>	Comportamiento de alcoholes superiores vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=38 °C	69
<b>36</b>	Comportamiento de la acidez vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=38 °C	70
<b>37</b>	Comportamiento de los congenéricos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=38 °C	71
<b>38</b>	Comportamiento de los aldehídos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=38 °C	72
<b>39</b>	Comportamiento de los ésteres vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=38 °C	73
<b>40</b>	Comportamiento de alcoholes superiores vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=38 °C	74
<b>41</b>	Comportamiento de la acidez vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=38 °C	75
<b>42</b>	Comportamiento de los congenéricos vs. Tiempo de fermentación para muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=38 °C	76
<b>43</b>	Comportamiento de los aldehídos vs. Tiempo de fermentación para muestra 2 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C	77
<b>44</b>	Comportamiento de los ésteres vs. Tiempo de fermentación para muestra 2 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C	78
<b>45</b>	Comportamiento de alcoholes superiores vs. Tiempo de fermentación para muestra 2 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C	79

<b>46</b>	Comportamiento de la acidez vs. Tiempo de fermentación para muestra 2 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C	80
<b>47</b>	Comportamiento de los congenéricos vs. Tiempo de fermentación para muestra 2 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C	81
<b>48</b>	Comportamiento de los aldehídos vs. Tiempo de fermentación para muestra 2 de melaza sin nutrientes a T=34 °C	82
<b>49</b>	Comportamiento de los ésteres vs. Tiempo de fermentación para muestra 2 de melaza sin nutrientes a T=34 °C	83
<b>50</b>	Comportamiento de alcoholes superiores vs. Tiempo de fermentación para muestra 2 de melaza sin nutrientes a T=34 °C	84
<b>51</b>	Comportamiento de la acidez vs. Tiempo de fermentación para muestra 2 de melaza sin nutrientes a T=34 °C	85
<b>52</b>	Comportamiento de los congenéricos vs. Tiempo de fermentación para muestra 2 de melaza sin nutrientes a T=34 °C	86

## TABLAS

<b>I</b>	Condiciones y parámetros para el proceso de fermentación	20
<b>II</b>	Cuadro de diseño experimental	34
<b>III</b>	Resultados de los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 con nutrientes a T= 34 °C	9
<b>IV</b>	Resultado de los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 sin nutrientes a T= 34 °C	40
<b>V</b>	Resultados de los ensayos de miel virgen 1 con nutrientes y melaza sin nutrientes a T= 38 °C	41
<b>VI</b>	Resultados de los ensayos de miel virgen 2 con nutrientes y melaza 2 sin nutrientes a T= 34 °C	42
<b>VII</b>	Resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 con nutrientes a T= 34 °C	43
<b>VIII</b>	Resultado de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 sin nutrientes a T= 34 °C	44
<b>IX</b>	Resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 con nutrientes y melaza 1 sin nutrientes a T= 38 °C	45
<b>X</b>	Resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 2 con nutrientes y melaza 2 sin nutrientes a T= 34 °C	46
<b>XI</b>	Pruebas de laboratorio a muestras inicio y final de fermentación	94
<b>XII</b>	Formato para toma de resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 con nutrientes a T= 34 °C	96
<b>XIII</b>	Formato para toma de resultado de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 sin nutrientes a T= 34 °C	97

<b>XIV</b>	Formato para toma de resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 con nutrientes y melaza 1 sin nutrientes a T= 38 °C	98
<b>XV</b>	Formato para toma de resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 2 con nutrientes y melaza 2 sin nutrientes a T= 34 °C	99
<b>XVI</b>	Formato para toma de resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 con nutrientes a T= 34 °C	100
<b>XVII</b>	Formato para toma de resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 sin nutrientes a T= 34 °C	101
<b>XVIII</b>	Formato para toma de resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 con nutrientes y melaza 1 sin nutrientes a T= 38 °C	102
<b>XIX</b>	Formato para toma de resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 2 con nutrientes y melaza 2 sin nutrientes a T= 34 °C	103
<b>XX</b>	Control de temperatura para los ensayos de miel virgen y melaza a las diferentes temperaturas, con presencia o ausencia de nutrientes.	104
<b>XXI</b>	Composición de la melaza de caña de azúcar aproximada	108

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>h</b>	Abreviatura de hora
<b>°Bé</b>	Grados Baumé
<b>°Brix</b>	Grados brix
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>°GL</b>	Grado Gay Lussac
<b>μm</b>	Micrómetro

**%v/v**

Porcentaje en volumen

**%w/w**

Porcentaje en peso

**UFC**

Unidades formadoras de colonias

## GLOSARIO

<b>Acidez</b>	Es la medida de cuántos iones hidrógeno contiene una solución.
<b>Adaptación</b>	Tendencia de un organismo a adecuarse a su medio ambiente.
<b>Alcoholes</b>	Nombre de la familia de un grupo de compuestos químicos orgánicos, compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno. Contienen el grupo hidróxi (OH).
<b>Aldehídos</b>	Los aldehídos son compuestos orgánicos caracterizados por poseer el grupo funcional $\text{-CHO}$ (acil). Se denominan como los alcoholes correspondientes, cambiando la terminación <b>-ol</b> por <b>-al</b> .

**Azúcares totales reductores**

Son aquellos que presentan un carbono libre en su estructura y pueden reducir, en determinadas condiciones, a las sales cúpricas, entre ellos están: la glucosa, fructosa, lactosa y maltosa. Todos aquellos que dan resultados positivos con soluciones Fehling se conocen como azúcares reductores y todos los carbohidratos que contienen un grupo hemiacetal dan pruebas positivas. Los carbohidratos que sólo contienen grupos acetal no dan pruebas positivas con estas soluciones se llaman azúcares no reductores.

**Brix**

Porcentaje en peso de sólidos en soluciones puras de azúcar.

**Compuestos congénéricos**

Compuestos formados en el transcurso de la fermentación en menor cantidad que el etanol. Por ejemplo, aldehídos, cetona, ácidos orgánicos, ésteres, metanol, alcoholes superiores.

**Dióxido de carbono**

Gas producido como producto en la fermentación, su fórmula química es  $\text{CO}_2$ .

**Enzima**

Molécula de proteína que actúa como catalizador en las reacciones bioquímicas.

**Ésteres**

Los ésteres son un grupo funcional compuesto de un radical orgánico oxigenado (alcoxi) unido al residuo acil de cualquier ácido oxigenado, orgánico o inorgánico.

**Etanol**

Es el alcohol producto de la fermentación que es utilizado en la industria de bebidas alcohólicas. Su fórmula química es  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Se le conoce también con alcohol etílico.

**Fermentación**

Transformación o degradación de un compuesto orgánico en otro compuesto orgánico diferente, debida a la acción de catalizadores bioquímicos llamados enzimas, elaborados por tipos específicos de microorganismos (bacilos, levaduras, etc.).

**Fermentación alcohólica**

Es la conversión de glucosa en alcohol, catalizada por enzimas producidas por la levadura en ausencia de aire (fermentación anaeróbica).

**Glucosa**

Monosacárido, cuya fórmula química es  $C_6H_{12}O_6$ .

**Hidrólisis**

Es la descomposición o alteración de una sustancia polimérica con la adición de agua.

**Hidrómetro**

Aparato de laboratorio utilizado para medir la densidad de las sustancias, en mostos mide los grados Brix.

**Levaduras**

Son cuerpos unicelulares (generalmente de forma esférica) de un tamaño que va de los 2 a 4  $\mu\text{m}$  y que están presentes de forma natural en algunos productos como las frutas, cereales y verduras. Son los que se denominan: organismos anaeróbicos facultativos, es decir, que pueden desarrollar sus funciones biológicas con o sin aire alternativamente.

**Melaza**

Es el jarabe o líquido denso y viscoso, separado de la misma masa cocida final de la cual no es posible cristalizar más sacarosa por métodos usuales.

**Miel virgen**

Producto intermedio en un ingenio azucarero (meladura), que consiste en jugo de caña concentrado, al cual no le han hecho ninguna extracción de azúcar.

**Ron Pesado**

Alcohol etílico, que durante el proceso de destilación no se somete a extracciones de congenéricos.

**Sacarosa**

Un carbohidrato disacárido cristalino que se encuentra en muchas plantas, principalmente en la caña de azúcar. Su fórmula molecular es  $C_{12}H_{22}O_{11}$ .

**UFC**

Unidad de medida utilizada en el medio de análisis microbiológico que identifican la cantidad de colonias que crecen en un medio de cultivo específico luego de su incubación.

## RESUMEN

En esta investigación se encontró: el efecto de la temperatura, la cantidad de nutrientes y el tipo de materia prima en la formación de congenéricos (compuestos formados en el transcurso de la fermentación, por ejemplo: aldehídos, ésteres, alcoholes superiores, metanol, etc.), en la producción de ron pesado de miel virgen y melaza. Mediante un estudio fisicoquímico que se basa principalmente en llevar a cabo la fermentación de una solución de miel virgen o melaza, la cual se mantuvo en una concentración de azúcar de 150 g/l. Se prepararon dos soluciones de miel virgen: a la primera se le agregó nutrientes (0,2 g/l de DAP y 0,1 g/l de sulfato de magnesio), la segunda se fermentó sin presencia de ellos, la solución resultante se inoculó con levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y se fermentó.

Se tomaron dos muestras diarias de la solución que estaba en proceso y se destilaron para determinar: el grado de alcohol, la concentración de ésteres, aldehídos, metanol, alcoholes superiores y ácido acético presentes, utilizando un cromatógrafo de gases; una vez obtenido este resultado se realizó el mismo procedimiento con muestras de melaza, luego se utilizó como temperatura de fermentación 38 °C.

Se encontró el comportamiento de los compuestos congenéricos en función del tiempo de fermentación, obteniendo como resultado un comportamiento descendente para el grupo de los aldehídos; por el contrario se obtuvo un comportamiento ascendente para el grupo de los ésteres, alcoholes superiores, la acidez y por consiguiente los congenéricos totales.

Se observó que existe variación en la concentración de congénicos al utilizar diferentes mieles y melazas, esto se debe principalmente a la composición inicial de cada una.

## **OBJETIVOS**

- **GENERAL**

Determinar el efecto de las variables de fermentación en la formación de congenéricos en la producción de ron pesado a partir de miel virgen y melaza a nivel laboratorio.

- **ESPECÍFICOS**

1. Determinar el efecto de la adición de nutrientes a la solución de miel virgen y melaza, antes de iniciar el proceso de fermentación.
2. Determinar la cantidad de ésteres, aldehídos, alcoholes superiores, ácido acético y metanol presentes en el ron pesado, a diferentes temperaturas de fermentación, en función del tiempo de fermentación.
3. Determinar la cantidad de congenéricos presentes en el ron pesado obtenido de la fermentación de una solución de miel virgen y melaza, a diferentes concentraciones de nutrientes.
4. Comparar resultados de pruebas sensoriales aplicadas a muestras de ron pesado con diferentes condiciones de fermentación (temperatura, presencia o ausencia de nutrientes y materia prima), con patrones establecidos.

## HIPÓTESIS

Evaluar si las variables de fermentación (temperatura (34 °C y 38 °C), presencia o ausencia de nutrientes y tipo de materia prima [miel virgen o melaza]), influyen en la formación de compuestos congenéricos en el proceso de producción de ron pesado de miel virgen y melaza a nivel de laboratorio y establecer cómo se comportan éstos en función del tiempo de fermentación.

## INTRODUCCIÓN

Destiladora de alcoholes y rones es una institución que se dedica a la comercialización, producción y distribución de alcohol etílico y aguardientes naturales y añejos. Participa en la integración vertical y la diversificación comercial de alcoholes. Son los responsables de suministrar la materia prima para la elaboración de bebidas alcohólicas y proporcionan alcohol que será utilizado en la industria farmacéutica, del tabaco, química, etc., local e internacionalmente.

Por ser en la actualidad una empresa comprometida con la mejora continua, pretende hacerse más competitiva dentro de su ramo y cada día adopta más estrategias para garantizar el éxito.

Este trabajo es una forma de demostrar el interés de la empresa para optimizar el proceso de producción de ron pesado a partir de melaza y miel virgen.

Se encontró una relación entre la cantidad de compuestos congenéricos presentes en el ron y las características sensoriales del mismo, se estableció las cantidades necesarias de cada congenérico que deberían estar presentes en el ron, para cumplir con las especificaciones de los clientes, y se determinó el comportamiento de éstos durante el tiempo de fermentación, obteniendo resultados para las muestras de miel virgen similares al de los patrones establecidos.

Las muestras destiladas fueron sometidas a un panel donde se analizaron sus características físicas (olor, color y sabor), obteniendo un resultado de 1 a

10, este valor se comparó con un valor de 10 asignado a el patrón seleccionado.

Para encontrar la relación entre el comportamiento de congenéricos y el tiempo de fermentación, se fermentaron muestras de miel virgen y melaza a nivel laboratorio utilizando diferentes variables de fermentación (presencia o ausencia de nutrientes, temperatura de 34 °C y 38 °C, tipo de materia prima), se evaluó la concentración de estos compuestos en función del tiempo, utilizando un análisis cromatográfico aplicado a la muestra destilada de la solución fermentada.

Se realizaron tres repeticiones para obtener un promedio de los valores obtenidos para encontrar el comportamiento de cada congenérico a las diferentes condiciones de fermentación.

## 1. ANTECEDENTES

Las bebidas alcohólicas tienen su origen en el proceso de fermentación alcohólica, todo líquido azucarado sufre esta fermentación de manera espontánea debido a la acción de la levadura que, en ausencia de aire, destruyen la glucosa y otros azúcares produciendo dióxido de carbono y etanol.

La fermentación alcohólica es el proceso microbiano a través del cual algunos microorganismos asimilan azúcares simples del medio en condiciones anaerobias, y los transforman en etanol y dióxido de carbono, como productos principales. En la industria alimentaria se utilizan diversas variedades de la levadura, la más utilizada es *Saccharomyces cerevisiae* para llevar a cabo esta fermentación. Durante esta fermentación se reproduce la levadura ligeramente, y se forman pequeñas cantidades de otros compuestos, los que contribuyen al aroma y sabor de los alimentos alcohólicos fermentados, éstos son llamados compuestos congenéricos.

Los primeros vestigios históricos son testimonio de que las antiguas culturas ya producían y consumían bebidas alcohólicas, como el vino y la cerveza. Entre ellos destacan las tablillas con escritura cuneiforme elaboradas por los asirios y caldeos en Mesopotamia. Los egipcios elaboraron pinturas murales y figurillas de barro en las tumbas de los faraones, que mostraban la elaboración de cerveza, vino y pan. Las culturas antiguas desarrollaron de manera independiente procedimientos tradicionales para elaborar alimentos alcohólicos, cada una utilizando los recursos naturales que tenían a la mano. Estas bebidas se utilizaban en ceremonias religiosas medicinales y sociales.

Por la importancia que siempre han tenido las bebidas alcohólicas, las tecnologías de procesamiento se han ido transformando a la par de la historia de la humanidad, haciendo uso de los avances científicos, tecnológicos y de la ingeniería. Esta dinámica las ha colocado en el primer lugar en volumen de producción dentro de la industria alimentaria de México.

Tradicionalmente, el alcohol era producido en Estados Unidos por fermentación de granos, en la actualidad se produce por fermentación de melazas y de mieles vírgenes, estas materias primas se han convertido en una alternativa viable.

Existe amplia información sobre las materias primas, la cual incluye sus propiedades físicas y químicas, sus composiciones, forma de obtención, almacenaje y manejo.

La aplicación práctica, las implicaciones económicas y la viabilidad del proceso de conversión biológica de las materias primas en alcohol es demostrada en el libro de Aiba, Shuichi.

En el proceso de fermentación las variables óptimas que se deben manejar para una fermentación eficiente son: "temperatura de 30 a 33 °C, pH de 4,5 a 4,8, concentración de azúcar 15-17%w/w".

## 2. MARCO TEÓRICO

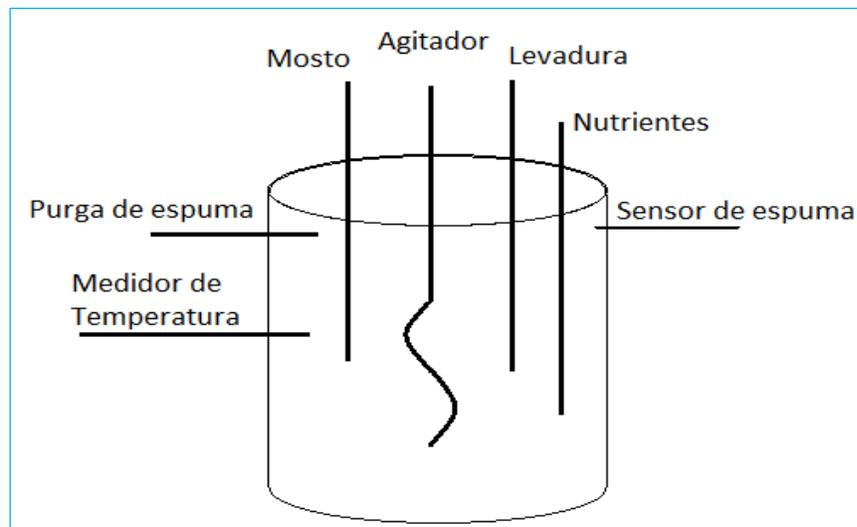
### 2.1. Fermentación

Es la transformación o degradación de un compuesto orgánico en otro compuesto orgánico diferente, debido a la acción de catalizadores bioquímicos llamados enzimas, elaborados por tipos específicos de microorganismos (bacilos, bacterias, células de levadura).

### 2.2 Fermentador

No son solo los recipientes en los cuales se realiza la fermentación con exclusión de aire, sino también los tanques en los cuales se producen oxidaciones microbianas aeróbicas y los de propagación de levaduras y otros microorganismos en presencia de aire.

**Figura 1. Reactivos y productos de la fermentación**



Fuente: Jacques, K., *The alcohol Textbook*, p. 51

### **2.3. Fermentación alcohólica**

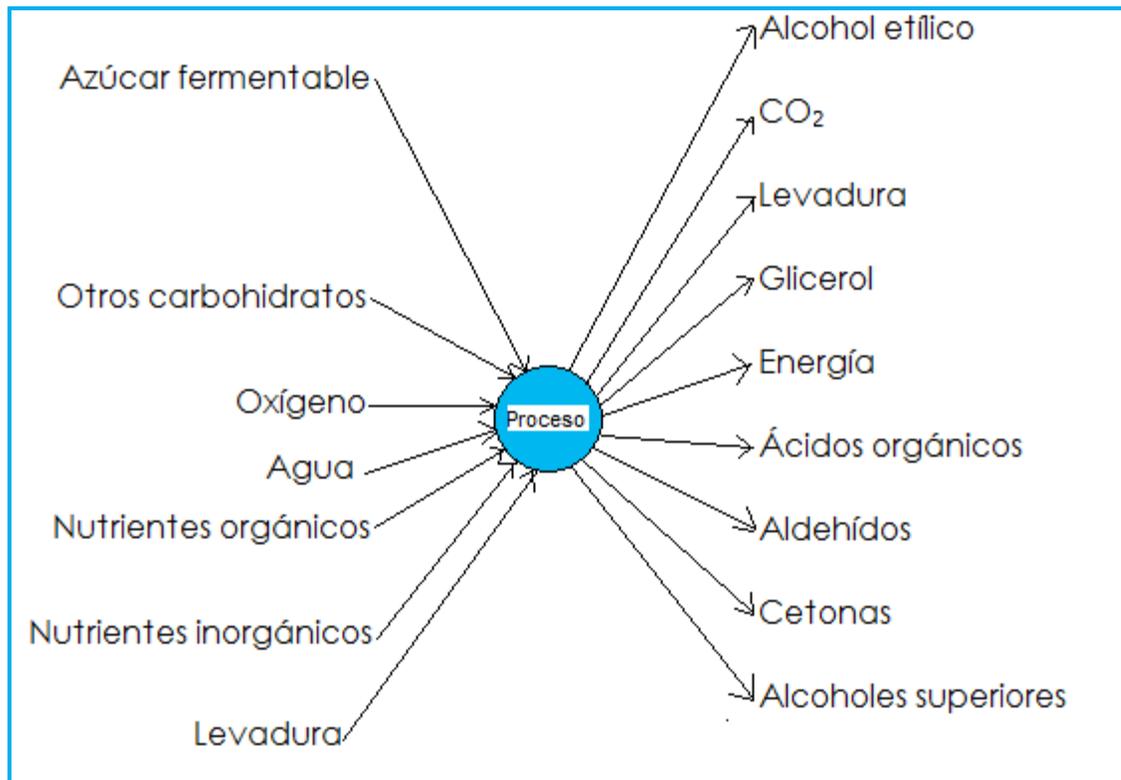
Es la conversión de glucosa en alcohol catalizada por enzimas producidas por la levadura, en ausencia de aire (fermentación anaeróbica). Para que la fermentación se realice son necesarios los siguientes requisitos: tener un microorganismo de características idóneas para el proceso y/o producto particular, proveer un medio de cultivo adecuado (que contenga todos los nutrientes esenciales en las proporciones y cantidades óptimas de producción) y, finalmente, establecer y controlar las condiciones fisicoquímicas necesarias para el desarrollo de la fermentación.

Se pueden distinguir tres áreas principales: laboratorio, fermentación y separación del producto.

Tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno, para ello hidrolizan las moléculas de glucosa y obtiene la energía necesaria para sobrevivir, produciendo alcohol y  $\text{CO}_2$  como desechos; consecuencia de la fermentación.

Este tipo de fermentación se puede considerar como un proceso bioquímico para la obtención de etanol, cuya finalidad es la obtención de energía para la supervivencia de los organismos unicelulares anaeróbicos.

**Figura 2. Reactivos y productos de la fermentación**



**Fuente:** Rodolfo Espinosa Smith, *The Alcoholic Fermentation of Molasses*, p. 5-83

#### **2.4. Materias primas**

Suelen usarse diversas materias primas como solución nutritiva, lo importante es que contengan los elementos indispensables para conservar la vida de los microorganismos; ellos son los carbohidratos, nitrógeno y sales adecuadas propias para cada organismo. Principalmente se utilizan materias primas azucaradas como los mostos, jugos de frutas y la caña de azúcar.

Los sustratos son componentes del medio capaz de sustentar el crecimiento de microorganismos o la producción de metabolitos secundarios, son la fuente de carbono. La función del medio nutriente es proporcionar los componentes químicos necesarios y en las proporciones adecuadas para que la reacción ocurra.

Además, de los componentes esenciales, como fuente de carbono, de energía y nitrógeno, el medio debe contener otros muchos nutrientes que se requieren para la propagación de las células microbianas.

Para la producción de alcohol han sido utilizadas diferentes fuentes de carbono como materia prima (materiales biológicos), las cuales pueden ser transformadas con facilidad en azúcar fermentable, almidón o celulosa. Su uso práctico estará determinado por el rendimiento en alcohol, por su costo y el tipo de microorganismo que se utilice.

De acuerdo con las fuentes de carbohidratos, existen directamente fermentables e indirectamente fermentables, en otro caso, fermentables y no fermentables.

Las fermentables no requieren de transformación previa en hidratos de carbono, como sucede con la sacarosa, glucosa y fructosa, las no fermentables si es necesario realizar la conversión previa (hidrólisis), para someterlas a fermentar con el objeto de que puedan ser asimilados por la levadura alcohólica, tal es el caso de los almidones y celulosa.

**Figura 3. Principales fuentes de carbohidratos**

<b>Directamente fermentables</b>	<b>Glucosa:</b> Pulpa de frutas
	<b>Fructuosa:</b> Pulpa de frutas
	<b>Sacarosa:</b> Caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo sacarino (tallos)
<b>Indirectamente fermentables</b>	<b>Almidón:</b> Yuca, maíz, camote, papa y cereales, tubérculos, bananos
	<b>Celulosa:</b> Madera, maní, bagazo, paja de caña, tusa de maíz, paja de arroz y palma.

**Fuente:** Jacques, K., *The alcohol Textbook*, p. 8

Aunque todas esas fuentes de carbohidratos puedan ser fermentadas, deben considerarse inicialmente aquellas que presentan alta concentración de ese componente en la materia prima, para lo cual debe a su vez, presentar alta productividad agrícola, rendimientos de alcohol y rentabilidad. Tanto el almidón como la celulosa, deben en primera instancia, ser convertidos en azúcares fermentables, antes de ser sometidos a la fermentación alcohólica.

## **2.5. El azúcar**

El sustrato que se usa como materia prima es azúcar de caña que se obtiene en solución acuosa en forma de miel virgen o en forma de Miel de Purga (melaza). El azúcar (sacarosa) es un disacárido de glucosa y fructuosa.

La glucosa y la fructuosa son azúcares invertidos, son realmente las que la levadura utiliza para convertirlos en alcohol. Para que esté disponible, es necesario “hidrolizar” la sacarosa. La hidrólisis o inversión se puede llevar a cabo por la acidificación de la solución de azúcar, o más rápidamente, con la ayuda de una enzima llamada “invertasa”, contenida naturalmente en la propia levadura.

## **2.6. Melaza**

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

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

La melaza es una mezcla compleja que contiene sacarosa, azúcares invertidos, sales y otros compuestos solubles en álcali que normalmente están presentes en el jugo de caña localizado, así como los formados durante el proceso de manufactura del azúcar.

**Figura 4. Usos de la melaza**



**Fuente:** Rodolfo Espinosa Smith, **The Alcoholic Fermentation of Molasses**, p. 7

## 2.7. Microorganismos

Hay centenares de especies de levaduras, bacterias y mohos que producen alcohol, pero sólo dos o tres especies de levadura se aplican industrialmente en la producción de alcohol debido a su actividad fermentativa, su tolerancia de concentraciones elevadas de azúcar y alcohol y su rendimiento elevado de etanol.

Las levaduras son microorganismos pertenecientes al grupo de las criptógamas (ascomicetos); se encuentran dentro de los hongos. Son capaces de transformar los hidratos de carbono en etanol con desprendimiento de anhídrido carbónico.

Las levaduras están muy difundidas en la naturaleza, se encuentran en las frutas, los granos y otras materias nutritivas que contienen azúcares; en el suelo, en el aire, en la piel y en el intestino de los animales y en algunos insectos. Las levaduras no contienen clorofila y, por consiguiente, dependen de las plantas superiores y de los animales para obtener su energía, la cual pueden conseguir por desasimilación oxidante aerobia o por fermentación anaerobia.

Las levaduras son cuerpos unicelulares (generalmente de forma esférica), de un tamaño que va de los 2 a 4  $\mu\text{m}$  y que están presentes de forma natural en algunos productos como las frutas, cereales y verduras. Son los que se denominan organismos anaeróbicos facultativos, es decir, que pueden desarrollar sus funciones biológicas con o sin aire alternativamente. Se puede decir que el 96% de la producción de etanol la llevan a cabo hongos microscópicos.

#### Figura 5. Organismos utilizados en la producción de alcohol



Fuente: Jacques, K., *The alcohol Textbook*, p. 8

La levadura Saccharomyces cerevisiae es un hongo unicelular responsable de gran parte de las fermentaciones alcohólicas. Permite una conversión aproximada del 85% al cabo de 32 horas y del 90% al cabo de 75 horas en la producción de etanol. Este microorganismo tiene un porcentaje en peso de carbono del 45% de oxígeno del 30.6%, de hidrógeno del 6.8% y de nitrógeno del 9%.

La levadura, como todo ser vivo, tiende a reproducir su especie o por lo menos a conservarla, para lo cual necesita nutrientes y fuentes de energía. También necesita agua y oxígeno.

Cuando la levadura toma su oxígeno del aire, se dice que ocurre una fermentación aeróbica. Bajo esas condiciones, la levadura se reproduce más rápidamente, hasta que se le agota la fuente de carbono y nutrientes. Cuando toma su oxígeno de otros compuestos distintos al aire, la fermentación se llama anaeróbica. La fermentación alcohólica sólo tiene lugar en forma anaeróbica. Bajo estas condiciones la levadura se reproduce muy poco y transforma la glucosa en etanol y CO<sub>2</sub> hasta que la concentración de alcohol en el mosto es inhibitoria.

La levadura se reproduce, en condiciones ideales, más o menos cada 20 minutos.

Cada “cepa” o especie de levadura, requiere ciertas condiciones óptimas para su desarrollo o para convertir el azúcar en alcohol. Las principales son:

- Temperatura: 33 °C
- pH: 4.5
- Concentración de azúcar: 16-18%

También algunas bacterias y otros microorganismos pueden utilizar la glucosa, algunos de ellos la convierten en productos distintos al alcohol.

Como en toda población de seres vivos, todo el tiempo nacen nuevas células, otras envejecen y otras mueren; por lo tanto, es normal encontrar, cuando se observa al microscopio, cierta cantidad de células muertas; si el número es mayor de 20 levaduras muertas por cada 100 contadas, lo más probable es que la fermentación sea más lenta de lo normal.

La levadura para poder crecer o trabajar mejor, necesita además de la glucosa (azúcar) otros nutrientes como: nitrógeno (N) que suministra en forma de urea o sulfato de amonio, ácido fosfórico; azufre (S) en forma de sulfato o de ácido sulfúrico; necesita también sodio (Na), calcio (Ca) potasio (K), magnesio (Mg), manganeso (Mn). Cobre (Cu) y hierro (Fe) que en grandes cantidades pueden ser inhibidores o venenosos (micronutrientes).

## **2.8. Ciclo de vida de la levadura**

La edad en las células de levadura se determina según el número de brotes producidos por la célula, generalmente una levadura joven deberá tener de tres a cuatro cicatrices de brotes, mientras que las células viejas llegan a tener por encima de 20 cicatrices.

Dependiendo del tipo de instalaciones en que se produzca la fermentación o el manejo de los cultivos, los mismos se pueden considerar viejos por encima de las 10 generaciones (vueltas o inoculaciones). En la actualidad para simplificar el proceso y trabajar de forma segura, sin riesgo de contaminación, se introducen cultivos nuevos por encima de la quinta generación, el crecimiento de la levadura sigue cuatro fases:

### **2.8.1. Período de retraso**

La reproducción es la primera gran prioridad que tiene nuestro iniciador o activador y la levadura no empezará a reproducirse y crecer, hasta que no acumulen sus reservas de alimento, esta etapa es marcada por una baja en el *pH* debido a la utilización del fosfato y una reducción en oxígeno. La sustancia llamada glicógeno, es una reserva intracelular de carbohidratos, es esencial como fuente de energía para la actividad de la célula puesto que los azúcares del mosto no se asimilan temprano en la fase de retraso.

La célula de la levadura trae el glicógeno almacenado, el cuál es utilizado por la célula para la reproducción. Los niveles bajos de glicógeno producen niveles anormales de diacetilo y dan lugar a fermentaciones más prolongadas. Esta es una etapa de adaptación al ambiente que rodea la levadura.

### **2.8.2. Fase de crecimiento**

La fase del crecimiento, designada a menudo como la fase de la respiración, sigue a la fase de retraso una vez que las suficientes reservas se acumulen dentro de la levadura. Esta fase es evidente en la cubierta de la espuma en la superficie del mosto debido al dióxido de carbono liberado.

En esta fase, las células de la levadura utilizan el oxígeno en el mosto para oxidar una variedad de compuestos ácidos, dando por resultado una baja significativa en el *pH*. En esta conexión, algunas cepas de levadura darán lugar a una caída mucho mayor en el *pH* que otras, dentro del mismo mosto de la fermentación.

### **2.8.3. Fase de fermentación**

La fase de fermentación sigue rápidamente a la fase del crecimiento, donde las levaduras han agotado la fuente del oxígeno; lo que se denomina un proceso anaerobio.

Esta fase es caracterizada por la reducción de la densidad del mosto y la producción del dióxido de carbono, etanol, y los sabores del vino. Durante este período, la levadura está sobre todo en suspensión, permite que la dispersión y el contacto máximo con el mosto se conviertan rápidamente en fermentables.

### **2.8.4. Fase de sedimentación**

La fase de sedimentación es el proceso con el cual la levadura flocula y se ubica en el fondo del fermentador después de la fermentación. La levadura comienza a experimentar un proceso que preserve su vida, porque se alista para la inactividad, produciendo la sustancia llamada glicógeno. El glicógeno es necesario para el mantenimiento de la célula durante inactividad y, según lo mencionado, es una fuente de energía durante la fase final de la fermentación.

**Figura 6. Fases del crecimiento de la levadura**



**Fuente:** Rodolfo Quintero Ramirez, **Ingeniería bioquímica**, pág. 30

## **2.9. Formación de alcohol**

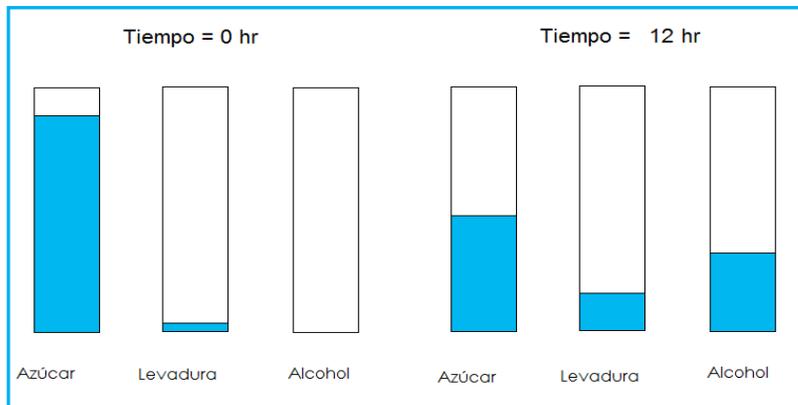
Siempre debe recordarse que: “la levadura no sabe que está haciendo alcohol”. El alcohol se produce como consecuencia de una reacción redox en la que la levadura toma la energía necesaria del azúcar (glucosa) para sobrevivir y reproducirse.

En todo momento, durante la fermentación puede medirse la cantidad de azúcar presente en el mosto, la cantidad de levadura y la cantidad de alcohol producida.

A la cantidad de alcohol producida al final de la fermentación, dividida dentro de la cantidad de azúcar alimentada al fermentador, se le conoce como rendimiento.

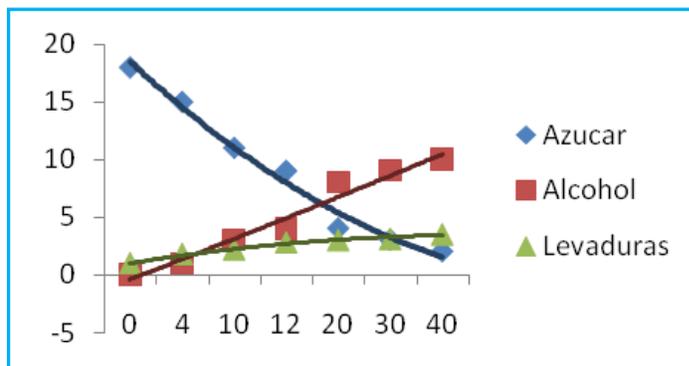
Si se mide la cantidad de gramos de azúcar, de levadura y de alcohol presentes en el mosto al inicio, durante y al final de la fermentación, se tiene:

**Figura 7.** Comportamiento del azúcar, levadura y alcohol en la fermentación



**Fuente:** ensayos de fermentación, laboratorio de procesos de DARSA 2009

**Figura 8.** Comportamiento del azúcar, levadura y alcohol en la fermentación



**Fuente:** ensayos de fermentación, laboratorio de procesos de DARSA 2009

En una fermentación tradicional (por tandas, en las primeras 4 horas se observa poca actividad, ya que este es un periodo de adaptación de la levadura, y de inversión.

Durante las siguientes 12-18 horas, ocurre el 90% de la conversión en alcohol, es el periodo en que la levadura se reproduce más rápidamente y se encuentra en mejor condición física. Durante este periodo hay mayor evolución de CO<sub>2</sub> y mayor generación de calor y por lo tanto requiere de mayor cantidad de agua de enfriamiento.

El último 5-8% de la conversión ocurre en las últimas 20-30 horas. En este período aumenta el número de células muertas (levadura), tanto por la falta de alimento (azúcar) como por estar expuestos a altas concentraciones de alcohol.

## 2.10. Características de la fermentación

- **Velocidad de fermentación:** se determina midiendo la cantidad de azúcar fermentada en la unidad de tiempo por un peso dado de levadura.
- **Resistencia al alcohol:** una levadura de alta resistencia al alcohol presenta grandes ventajas técnicas y biológicas, el uso de esa levadura permite obtener mostos con gran riqueza alcohólica, lo que mejora la potencia de la instalación consiguiendo una destilación económica, puesto que habrá menos consumo de combustible. A una buena levadura industrial no debe perjudicarla en su actividad fermentativa una concentración de 8-9% de alcohol en volumen.
- **Rendimiento:** es la relación entre el alcohol producido y el azúcar puesto a disposición de la levadura, teóricamente por 100 kg de melaza se obtienen 33 litros de alcohol.
- **Resistencia:** la levadura debe poseer resistencia a la acidez, ya que este parámetro se aumenta en ocasiones para combatir infecciones, igualmente debe resistir los cambios de temperatura.

- **Medio de dilución:** el medio de dilución es generalmente agua, aunque se utilizan otros solventes que no reaccionen químicamente con el medio.

## 2.11. Variables de la fermentación alcohólica y sus efectos sobre el proceso

- a. Clase de microorganismo:** los microorganismos más apropiados para la producción de etanol a partir de azúcares son las levaduras del género “*Saccaromyces*” y “*Kluyveromyces*” y las bacterias “*Zymomonas mobilis*”.
- b. Concentración del sustrato:** el carbono es suministrado por los azúcares contenidos en la materia prima, siendo la concentración de azúcar un valor que se debe considerar ya que afecta la velocidad de la fermentación, el comportamiento y el desarrollo de las células de la levadura.
- c. Concentración de etanol:** la levadura es afectada en alto grado por la concentración de alcohol, una concentración alcohólica del 3% ya influye sobre el crecimiento; una concentración de un 5% influye tanto sobre el crecimiento como en la fermentación. Cuando la concentración es del 10%, el crecimiento sufre la paralización total. Las levaduras del género “*Saccharomyces cerevisiae*” pueden llegar a soportar hasta el 20% de concentración en volumen por un tiempo determinado.

- d. **Temperatura:** la temperatura afecta el crecimiento de manera notable, principalmente porque los microorganismos de una especie dada solo pueden crecer en un rango restringido de temperatura. El proceso de fermentación es exotérmico. La mayoría de las levaduras tienen su mejor actividad metabólica a temperaturas de 30 °C.
  
- e. **pH:** este es un factor importante en la fermentación, debido a su importancia en el control de la contaminación bacteriana como también al efecto en el crecimiento de las levaduras, en la velocidad de fermentación y en la formación de alcohol.

Durante la fermentación la levadura tomará el nitrógeno de los aminoácidos orgánicos, perdiendo su carácter anfótero y pasando a ácidos, lo cual origina una disminución del pH del medio. Cuanto más bajo el pH del medio, tanto menor el peligro de infección, pero si se trabaja con pH muy bajos la fermentación es muy lenta, ya que la levadura no se desarrolla de la forma conveniente. El pH favorable para el crecimiento de la *Saccaromyces cerevisiae* se encuentra entre 4,4 – 5,0, con un pH de 4,5 para su crecimiento óptimo.

- f. **Concentración de nutrientes:** las principales sustancias nutritivas y las más influyentes son: el nitrógeno, fósforo, azufre, vitaminas y trazas de algunos elementos.
  
- g. **Agitación:** el objetivo es lograr una suspensión uniforme de microbios y solución, y acelerar la transferencia de masas del producto metabólico.

**Tabla I. Condiciones y parámetros para el proceso de fermentación**

<b>Condición – Parámetro</b>	<b>Tipo Batch con reciclaje de levadura</b>
Temperatura ( °C)	30 – 33
pH inicial	4.5 – 4.8
Concentración inicial de azúcar (%w/w)	13 – 14
Concentración total de sólidos (%w/w)	15 – 17
Concentración final de azúcar (%w/w)	0.8 – 1.0
Concentración final de etanol (%v/v)	8 – 9
Concentración inicial de nitrógeno (N) (%w/w)	0.1
Concentración inicial de fosfato (PO <sub>4</sub> ) (%w/w)	0.05
Concentración inicial de levadura (%w/w)	5.0
Concentración final de levadura (%w/w)	8.0
Viabilidad celular mínima (%)	80
Tiempo de fermentación (h)	18 – 24

**Fuente:** The Alcoholic Fermentation of Molasses, p. 34

## **2.12. Otros compuestos de la fermentación**

Durante la fermentación, dependiendo de la calidad de la materia prima, del grado de contaminación bacteriana, y a causa de que la conversión en alcohol implica una serie de reacciones intermediarias, se producen en menor cantidad que el alcohol (etanol), otros compuestos como son:

- Aldehídos
- Acetona
- Ácidos orgánicos
- Ésteres

- Metanol
- Propanol
- Butanol
- Alcohol isoamílico

A estos compuestos se les llama congenéricos, cuya suma puede llegar a constituir de 1 a 2 % del total de productos de fermentación.

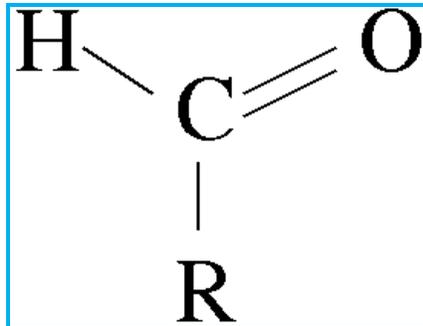
Si la fermentación se prolonga demasiado o si el mosto se guarda demasiado tiempo (1 semana o más) pueden ocurrir otras reacciones con formación de productos indeseables a expensas del alcohol; especialmente, si existe contacto con el aire, se puede convertir el alcohol en ácido acético, por la acción del “acetobacter”.

La acumulación de CO<sub>2</sub> también detiene la fermentación, por eso debe dejársele escapar del fermentador.

### **2.12.1. Aldehídos y cetonas**

Los aldehídos son compuestos orgánicos caracterizados por poseer el grupo funcional –CHO (acil). Se denominan como los alcoholes correspondientes, cambiando la terminación **-ol** por **-al y ona**. Es decir, el grupo carbonilo H-C=O está unido a un solo radical orgánico.

**Figura 9. Estructura de los aldehídos**



**Fuente:** Raymond Chang, **Química**, p. 958

Éstos se forman en las distintas etapas del proceso de fermentación y son producidos por la oxidación de alcoholes y sustancias grasas, los niveles alcanzan su máximo durante la fermentación primaria o inmediatamente después de la carbonatación del mosto, para luego ir disminuyendo.

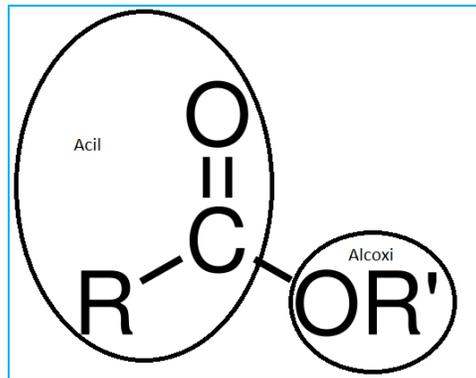
Los aldehídos se reducen a etanol para el final de la fermentación primaria, si el oxígeno se introduce nuevamente dentro del proceso, el etanol se oxida nuevamente para convertirse en acetaldehído.

### **2.12.2. Ésteres**

Los ésteres son un grupo funcional compuesto de un radical orgánico oxigenado (alcoxi) unido al residuo acil de cualquier ácido oxigenado, orgánico o inorgánico.

Los ésteres más comúnmente encontrados en la naturaleza son las grasas, que son ésteres de glicerina y ácidos grasos (ácido oleico, ácido esteárico, etc.).

**Figura 10. Estructura de los ésteres**



**Fuente:** Raymond Chang, Química, p. 950

Hacen que se forme la familia más grande de compuestos aromáticos del vino y en general imparten una característica típica afrutada o con sabor a fruta, la producción de ésteres se aumentan por: a) las altas temperaturas de la fermentación, b) restringiendo la aireación del mosto, c) aumentando la concentración del mosto.

Además, el tipo de la cepa de la levadura afecta los niveles de los ésteres, la mayoría de los ésteres se forman durante la fermentación primaria, y una cierta formación de ésteres se produce durante la maduración.

### **2.12.3. Alcoholes superiores o aceites de fusel**

Familia de alcoholes que existen en el vino o en el destilado en proporciones muy pequeñas y ejercen influencia en el aroma. Se considera alcoholes superiores, aquellos que poseen desde cuatro átomos de carbono en su estructura.

Los alcoholes superiores tienen sabores fuertes, produciendo un sabor alcohólico y un aroma como a solvente. Cerca de un 80% de los alcoholes superiores se forman durante la fermentación primaria.

Los alcoholes superiores detectados mediante los análisis cromatográficos son:

- Sec-butanol
- Propanol
- Isobutanol
- 3-pentanol
- 2-pentanol
- Butanol
- Isopentanol
- Pentanol
- 2-metil-1-pentanol

### **2.13. Fundamentos de destilación**

El objetivo principal de la destilación en la producción de alcohol es separar el etanol del agua, impurezas y otros productos presentes en el mosto al final de la fermentación.

La separación se logra básicamente por la diferencia entre los puntos de ebullición de los diferentes componentes, mientras más bajo es el punto de ebullición de un compuesto, se dice que es más volátil.

Para destilar en forma continua, debe alimentarse mosto también en forma continua y debe calentarse con vapor de agua, a baja presión. El vapor entonces arrastra los gases de alcohol, lo que produce una mezcla de gases de alcohol y agua que deben separarse; por esa razón, las columnas de destilación constan de varias etapas que físicamente se llaman platos; a medida que los vapores van subiendo de plato se va arrastrando más alcohol en forma gaseosa y el vapor de agua se va condensando debido a que la temperatura es más baja en la parte superior de la columna que en la base, que es donde se alimenta el vapor. El líquido que se encuentra en cada plato, no se cae por los agujeros porque la presión de los vapores que suben no se lo permite. Por eso debe mantenerse la presión en las columnas.

El vapor siempre está en equilibrio con el líquido en cada plato. Si se disminuye la alimentación del mosto, también debe mantenerse baja la entrada de vapor. Si se aumenta la alimentación de mosto y no se agrega más vapor, la columna se llena y se corre el riesgo de que parte del alcohol se vaya al fondo con el líquido.

Una vez separado el producto deseado en forma de vapor, debe recuperarse nuevamente como líquido para poder manipularlo. Esto se logra enfriándolo por debajo del punto de ebullición; este fenómeno se llama condensación y se logra por medio de intercambiadores de calor o en este caso condensadores.

Al final de la fermentación, el mosto generalmente contiene, además de etanol:

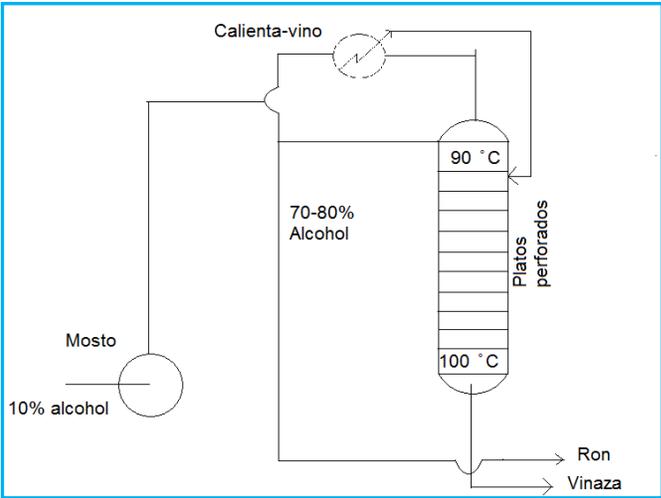
- Agua
- Sales (de nitrógeno, sodio, potasio, fósforo, etc.)
- Vitaminas
- Proteínas

- Ácidos grasos
- Ácidos orgánicos e inorgánicos
- Acetona
- Aldehídos
- Glicerol
- Material celulósico, bagazo, etc.
- Aceite de fusel:
  - Propanol
  - Isopropanol
  - Butanol
  - Isobutanol
  - Butanol secundario
  - Alcohol amílico
  - Isoamílico primario
  - Caprílico
  - Alcohol alílico
  - Butilenglicol
- Ésteres
- Metanol
- Otros

#### **2.14. Columna de ron**

En esta columna se separa todo lo que no es agua y sólidos. Al producto se le llama genéricamente ron. Contiene altas concentraciones de congénicos (alcoholes superiores, aldehídos, ésteres, etc.). Para condensar los vapores del alcohol, generalmente se usa el mosto o vino, a su vez se calienta antes de entrar a la columna. Figura 11.

**Figura 11. Columna de ron**



**Fuente:** Proceso de producción de DARSA

## 2.15. Equipo utilizado para llevar a cabo la fermentación

Para fermentar las muestras se utilizaron balones aforados de 6L y se conectaron de la siguiente forma.

**Figura 12. Equipo utilizado para llevar a cabo la fermentación**



**Fuente:** laboratorio de producción

Se utilizaron planchas de calentamiento y de agitación para mantener la temperatura a la establecida y para mantener en constante agitación la muestra fermentada. Al equipo de fermentación se le controlaba la temperatura con un termómetro, el cuál permanecía introducido en la solución durante todo el proceso.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. VARIABLES

**3.1.1. Materia prima:** se utilizarán los productos intermedios y subproductos del proceso de un ingenio azucarero denominados miel virgen y melaza.

**3.1.1.1. Miel virgen:** producto intermedio en un ingenio azucarero (meladura), que consiste en jugo de caña concentrado, al cual no le han hecho ninguna extracción de azúcar.

**Especificaciones:**

- **Sólidos:** mayor o igual que 71 ° Brix
- **Densidad:** mayor o igual que 38 ° Bé \* densidad = kg/L
- **pH:** mayor o igual que 4,5
- **Azúcar total:** mayor 68% peso
- **Azucares no fermentables:** menor o igual que 3 % peso
- **Sólidos en suspensión:** menor o igual que 6% v/v

**3.1.1.2. Melaza:** subproducto de la fabricación de azúcar, con bajo contenido de sacarosa obtenido de las últimas extracciones del ingenio.

**Especificaciones:**

- **Sólidos:** mayor o igual que 80 ° Brix
- **Densidad:** mayor o igual que 42,47 ° Bé \* densidad = kg/L
- **pH:** mayor o igual que 4,5
- **Azúcar total:** entre 47,5 - 50% peso (sacarosa 31%, glucosa 11% y fructosa 8%)
- **Azucares no fermentables:** menor o igual que 6% peso
- **Sólidos en suspensión:** menor o igual que 6% v/v

**3.1.2. Nutrientes:** participan en varias etapas del metabolismo de levadura y son importantes tanto para la producción de etanol como para el mantenimiento de la viabilidad celular.

En cantidades excesivas, las sales minerales ejercen efectos depresivos sobre la levadura, o actúan en el sentido de reducir el rendimiento fermentativo.

### **3.1.2.1. Nitrógeno amoniacal**

#### **Función:**

Actúa en la gemación y en la tasa de multiplicación de levadura.

#### **Ausencia o bajas concentraciones de nitrógeno:**

- Aumenta el tiempo de fermentación
- Aumenta la acumulación de reservas (trehalosa)
- Disminuye el rendimiento de la fermentación

#### **Concentraciones de nitrógeno (N):**

= 50 mg/l – adecuado

> 50 mg/l – mucha multiplicación de levadura y bajo rendimiento

< 50 mg/l – disminuye la multiplicación de levadura  
disminuye velocidad y rendimiento de la fermentación.

### **3.1.2.2. Fósforo (PO<sub>4</sub>)**

#### **Función:**

- Participa activamente en los procesos de transformación y transferencia de energía química.
- Necesario para la multiplicación y fermentación.

### 3.1.3. Magnesio

#### Funciones:

Activador enzimático de muchas reacciones del metabolismo de la levadura.

Su deficiencia hace que la célula hija no se desprenda de la célula madre.

Mantiene la integridad y permeabilidad de las membranas

#### Concentraciones:

100 a 200 mg/l – adecuado

< 100 mg/l – célula hija no se desprende de la madre facilita la floculación

### 3.1.2.3. Nutriente utilizado: DAP (Fosfato diamónico)

#### Especificaciones:

- **Impurezas:** 1%
- **Densidad:** 1.612 g/ml a 17 °C
- **pH:** 7.7 a 8.2
- **Tamaño partícula:** 12 a 14 mallas (1 410 micras)
- **Higroscópico:** ligante

### 3.1.3. Temperatura

**28°C** ⇒ Multiplicación de levadura

**33 - 34°C** ⇒ Fermentación

**35°C** ⇒ Mayor rendimiento, siempre que la contaminación esté controlada.

Contaminación máxima =  $10^6$  bast/ml

La levadura se multiplica menos, aumento del rendimiento.

**Temperaturas bajas (°C):**

- Reducción de la actividad enzimática.
- Aumento del tiempo de fermentación.

**Temperaturas altas (°C):**

- La levadura se hace más vulnerable al efecto tóxico del etanol producido.
- Disminución de la viabilidad celular (número de células vivas).
- Elevada tasa de degradación de enzimas.
- Aumento de la producción de glicerina.
- Aumento de la cantidad de bacterias.

## **3.2. Delimitación de campo de estudio**

### **3.2.1. Tipo de estudio**

Esta investigación es de tipo experimental, consiste en someter una muestra de miel virgen o melaza a determinadas condiciones de fermentación (variable independiente) para observar el comportamiento o efectos que producen (variable dependiente). Se pretende demostrar que los cambios de la variable dependiente fueron causados por la variable independiente.

Se van a manipular variables experimentales (temperatura, cantidad de nutrientes y tipo de materia prima) como variables de fermentación, las cuales serán controladas con el fin de descubrir como influyen en la formación de congenéricos en el proceso de producción de ron pesado de miel virgen y melaza.

### **3.2.2. Universo de estudio**

Muestras de miel virgen y melaza con la que cuenta DARSA para la producción de ron pesado.

### 3.2.3. Diseño experimental

Tabla II. Cuadro de diseño experimental

Materia Prima	Presencia o ausencia de nutrientes	Temperatura	Repetición	Concentración de congénicos
Miel virgen	con	34°C	1	
			2	
			3	
	sin	34°C	1	
			2	
			3	
	con	38°C	1	
			2	
			3	
	sin	38°C	1	
			2	
			3	
Melaza	con	34°C	1	
			2	
			3	
	sin	34°C	1	
			2	
			3	
	con	38°C	1	
			2	
			3	
	sin	38°C	1	
			2	
			3	

Fuente: Ensayos de fermentación, DARSA 2010

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

Silvia Pamela Montejo Peralta realizó la investigación.

Dr. Rodolfo Espinosa estuvo a cargo de asesorar la investigación.

Ing. William Galindo e Ing. Gerardo Avendaño supervisarán el proyecto y proporcionarán el material necesario para desarrollar este estudio.

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

#### **3.4.1. Equipo**

- Balanza analítica OHAUS capacidad 2 kg.
- Microscopio óptico NIKON modelo Alphaphoto YS.
- Cromatógrafo de gases modelo Agilent Seires Modelo 6890 GC Sistem, equipado con Detector de Ionización de Flama -FID-
- Potenciómetro digital marca OAKTON PH 1100.

#### **3.4.2. Cristalería**

- Tubos de ensayo
- Beakers
- Probetas
- Pipetas
- Embudo
- Erlenmeyer
- Balones

#### **3.4.3. Reactivos**

- Ácido clorhídrico grado industrial.
- Solución Fehling (sulfato de cobre y tartrato de sodio y potasio)

- Azul de metileno 1%
- Hidróxido de sodio 1N.

#### **3.4.4. Insumos**

- Miel virgen
- Melaza
- Agua destilada
- Levadura *Saccharomyces cerevisiae*

### **3.5. Técnica cuantitativa**

Se determinará la cantidad de congenéricos presentes en las muestras fermentadas cada 24 horas, durante 5 días consecutivos, hasta obtener un total de 96 horas de fermentación, todos los ensayos se realizaron en triplicado durante tres semanas consecutivas, manteniendo las condiciones de fermentación lo más parecidas posible. Una vez obtenidas las tres repeticiones de cada ensayo se obtendrá un promedio, el cual permitirá encontrar el comportamiento de los congenéricos en función del tiempo de fermentación, las materias primas, los nutrientes y la temperatura.

La técnica utilizada para la determinación de la cantidad de congenéricos es la cromatografía de gases, la cual mediante un cromatograma indica la cantidad de aldehídos, ésteres, alcoholes superiores y la acidez (que se incluye en la cantidad de congenéricos totales).

La técnica que se utilizará para las pruebas sensoriales que se aplique a las muestras destiladas de cada ensayo serán pruebas en las que se comparará con estándares o patrones, la cual consiste en una prueba sensorial (olor) al que se le dará un valor de 1 a 10 y el valor obtenido se comparará con el 10 del patrón establecido. Esto servirá para determinar si cumple con las especificaciones solicitadas con los clientes.

### 3.6. Análisis estadístico

#### 3.6.1. Cálculo de la media de los datos obtenidos

$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{N}$$

Donde:

$\bar{X}$ : es la media de los datos

$X_i$ : dato obtenido

$N$ : número de datos

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

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{N_1} - \bar{X}^2}$$

Donde:

$\bar{X}$ : es la media de los datos

$X_i$ : dato obtenido

$N$ : número de datos

$S$ : valor de la desviación estándar.

Otro tipo de análisis no aplica, debido a que se trata de ensayos de procesos biológicos, sus valores dependen de las condiciones de operación a las que son sometidas, como se muestra en tabla XX, la cual indica la variación obtenida para la variable temperatura a lo largo de la fermentación, por esta razón no se puede establecer un análisis estadístico que funcione para este tipo de ensayos.

#### 4. RESULTADOS

Tabla III. Resultados de los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 con nutrientes a T= 34 °C

Materia Prima		Temperatura T=34°C																												
		Con Nutrientes																												
		1						2						3						Promedio										
Repeticiones	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96						
Tiempo (h)	8.2	9.95	10.23	10.64	10.81	13.97	9.27	10.47	10.98	11.68	12.74	12.62	8.29	10.12	10.92	11.63	12.83	13.23	8.59	10.18	10.71	11.32	12.23	13.27						
Albedidos (mg/100mL)	68.37	77.53	54.72	30.98	10.66	9.84	50.17	49.34	30.84	17.50	16.82	14.22	72.10	67.36	48.20	28.34	15.23	14.00	70.21	64.74	44.59	25.61	24.24	12.69						
Ésteres (mg/100mL)	8.2	9.95	10.23	10.64	10.81	13.97	9.27	10.47	10.98	11.68	12.74	12.62	8.29	10.12	10.92	11.63	12.83	13.23	8.59	10.18	10.71	11.32	12.23	13.27						
Alcoholes superiores	198.38	203.47	222.4	244.27	249.13	369.37	246.72	258.92	295.29	300.7	307.26	325.53	449.3	426.51	422.93	404.24	400.84	391.73	299.13	296.30	310.87	316.40	319.08	357.90						
Acidez (mg/100mL)	173.03	189.90	220.4	264.76	268.96	269.62	50.71	55.14	58.93	61.29	69.19	71.63	72.3	68.92	64.4	61.66	55.48	54.23	98.68	104.52	114.57	129.30	131.08	139.55						
Congenericos totales	467.98	480.45	509.71	550.65	536.16	665.80	356.87	373.87	396.04	391.15	406.01	411.20	601.88	572.91	536.45	506.07	484.38	473.25	475.61	475.75	480.73	482.6	476.52	523.42						
Albedidos (mg/100mL)	40.23	30.98	18.08	10.67	6.81	7.81	30.87	23.27	16.63	10.64	10.64	11.47	60.28	48.29	39.29	16.04	14.41	16.64	43.79	34.18	25.33	12.45	10.69	9.97						
Ésteres (mg/100mL)	6.98	7.34	7.75	8.35	10.57	12.60	6.01	6.18	7.34	8.39	9.39	11.57	6.63	7.35	8.39	9.88	11.07	12.26	6.61	6.94	7.63	8.87	10.34	12.14						
Alcoholes superiores	126.63	134.65	148.7	162.63	190.23	212.87	178.56	180.58	171.07	182.6	182.74	188.13	263.4	270.39	279.17	289.79	292.23	295.02	180.16	185.21	202.96	211.74	225.07	235.94						
Acidez (mg/100mL)	301.26	322.40	344.0	381.64	407.77	564.84	400.82	405.43	400.08	273.9	301.4	338.37	40.19	45.99	87.29	106.49	127.96	129.39	147.42	167.94	204.03	254.12	279.04	347.87						
Congenericos totales	477.10	495.37	518.46	563.79	615.38	799.12	516.26	545.41	587.66	475.5	514.38	559.54	370.6	372.02	414.14	422.20	446.67	446.31	389.02	404.27	440.15	487.19	525.14	601.32						

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

Tabla IV. Resultados de los ensayos de miel virgen y melaza 1 sin nutrientes a T= 34 °C

		Temperatura T=34°C																							
		Sin Nutrientes																							
Materia Prima	Repeticiones	1				2				3				Promedio											
		12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96						
	Tiempo (h)	60,75	55,61	33,72	27,33	8,84	11,51	59,2	49,33	43,92	39,71	31,00	10,75	82,3	78,39	47,29	33,00	17,75	13,13	67,42	61,11	41,64	33,35	19,20	11,80
	Aldehídos (mg/100mL)	14,98	12,64	13,08	13,22	14,34	14,71	8,02	9,14	9,22	9,35	11,6	10,75	11,29	12,56	12,98	13,54	13,95	15,37	11,43	11,45	11,76	12,04	13,30	13,61
	Ésteres (mg/100mL)	415,66	405,01	387,94	364,04	359,38	256,11	340,29	320,17	311,27	302,6	277,31	347,47	359,0	370,63	379,44	370,64	364,76	356,16	371,72	365,27	359,55	345,7	333,82	319,91
	Alcoholes superiores	100,84	105,22	108,47	110,74	115,45	479,18	30,19	33,95	43,39	52,83	55,13	61,98	33,19	48,29	57,59	80,25	94,13	99,24	54,74	62,49	69,82	81,27	88,24	213,47
	Acidez (mg/100mL)	532,43	578,48	543,21	515,33	498,01	761,51	437,7	442,59	407,8	404,4	375,04	430,95	465,0	509,87	497,3	497,42	490,59	483,90	505,31	500,31	482,77	472,41	454,55	558,79
	Congenerios totales	28,93	25,36	17,26	7,76	5,96	8,20	39,2	34,16	28,40	6,77	11,02	13,96	100,29	95,34	52,93	14,61	12,25	10,15	56,14	51,62	32,86	10,38	9,74	10,77
	Aldehídos (mg/100mL)	5,28	6,47	6,87	7,84	10,20	12,47	6,39	7,17	6,02	9,66	7,99	11,25	6,99	7,98	8,33	8,53	10,52	10,94	6,22	7,21	7,74	8,68	9,57	11,55
	Ésteres (mg/100mL)	169,35	182,36	186,28	188,24	225,43	270,78	159,29	162,34	169,92	177,81	167,32	182,54	243,3	259,29	269,29	273,10	278,98	287,24	190,01	201,00	208,06	213,05	223,71	246,85
	Alcoholes superiores	296,36	309,02	350,43	296,14	493,08	580,19	100,28	127,88	189,27	205,17	263,08	283,53	88,39	90,62	100,28	113,42	149,91	191,37	161,68	175,84	213,33	238,3	302,26	351,70
	Acidez (mg/100mL)	498,92	523,21	560,84	599,98	735,39	871,64	304,16	331,55	395,61	401,41	449,41	491,28	493,0	542,23	429,83	409,66	451,06	499,70	414,04	435,66	462,09	470,3	545,29	620,87
	Congenerios totales																								

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**Tabla V. Resultados de los ensayos de miel virgen 1 con nutrientes y melaza 1 sin nutrientes a T= 38 °C**

Repeticiones		Temperatura																						
		T=38°C																						
		1						2						3						Promedio				
Materia Prima	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96
Aldehídos (mg/100mL)	115.39	101.62	87.39	50.29	29.72	28.39	60.24	59.31	44.38	26.94	21.45	6.67	63.29	57.53	28.28	21.55	20.98	19.92	79.64	72.82	53.35	42.89	24.05	18.32
<b>Miel Virgen 1</b>	11.29	12.56	12.66	14.07	15.2	18.03	7.99	8.63	9.38	10.09	21.45	10.71	8.29	9.58	10.02	10.58	10.94	11.92	9.19	10.25	10.68	11.58	15.66	13.55
Estéres (mg/100mL)	582.38	599.14	620.3	678.08	694.28	720.33	279.97	285.44	286.38	287.4	21.45	288.12	601.2	615.25	645.32	678.1	680.5	690.39	487.85	499.94	520.02	547.8	465.41	566.28
Alcoholes superiores	11.29	9.23	8.39	6.19	3.66	3.68	20.97	21.68	21.76	21.88	21.45	34.38	6.4	7.2	7.39	7.71	14.97	15.39	12.86	12.70	12.51	11.92	13.42	17.81
Acidez (mg/100mL)	720.36	722.55	736.8	748.63	743.06	770.43	369.17	375.06	381.9	346.2	21.45	339.88	679.18	688.56	681.01	717.94	727.39	737.82	589.57	595.72	596.57	604.2	497.3	615.97
Compuestos totales	44.29	38.29	28.39	24.12	16.54	12.39	55.39	55.53	38.48	20.25	21.45	12.49	36.4	31.16	24.59	18.15	14.85	13.94	45.36	41.66	30.48	20.84	17.61	12.94
Aldehídos (mg/100mL)	7.29	8.03	8.39	9.68	9.97	10.28	6.98	7.42	7.64	7.77	21.45	9.04	8.02	8.37	9.02	9.17	9.36	9.93	7.43	7.94	8.35	8.87	13.59	9.75
Estéres (mg/100mL)	192.38	209.38	222.3	247.13	260.71	288.39	192.48	193.48	195.01	195.33	21.45	199.99	288.7	297.09	300.29	306.07	308.39	328.48	224.53	233.31	239.56	249.8	200.18	272.28
Alcoholes superiores	4.93	5.39	12.93	17.4	41.82	49.39	70.92	73.47	79.46	87.94	21.45	160.29	42.32	46.23	48.39	53.3	79.51	84.3	39.39	41.69	46.32	52.88	47.59	97.99
Acidez (mg/100mL)	248.88	261.09	272.1	298.33	329.04	360.45	325.77	329.9	321.59	311.69	21.45	381.81	375.4	382.85	382.29	386.89	422.11	436.85	316.71	324.61	325.32	332.2	257.53	382.33
Compuestos totales																								

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

Tabla VI. Resultados de los ensayos de miel virgen 2 con nutrientes y melaza 2 sin nutrientes a T= 34 °C

Repeticiones		Temperatura																						
		T=34°C																						
		1						2						3						Promedio				
Materia Prima	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96
Albedidos (mg/100mL)	183,39	135,1	100,29	66,51	49,42	42,03	19,37	19,39	20,37	22,7	22,99	24,39	73,04	62,29	49,2	39,29	20,41	16,39	91,6	72,26	56,62	42,5	30,94	27,80
Ésteres (mg/100mL)	5,03	5,57	10,28	12,09	12,56	14,29	10,74	12,06	14,38	15,21	15,9	16,09	12,39	13,95	14,3	14,48	15,03	16,71	9,38	10,52	12,38	13,92	14,49	16,36
Alcoholes superiores	203,49	228,95	449,2	610,06	697,75	704,48	289,49	296,03	304,59	357,2	343,59	346,11	402,4	440,73	450,24	463,4	470,68	361,16	298,48	321,90	401,03	476,9	504,00	470,58
Acidez (mg/100mL)	50,29	48,57	22,38	7,675	5,99	7,675	14,59	12,28	9,03	4,51	4,95	11,26	14,39	12,95	10,38	8,59	7,93	6,03	26,42	24,6	19,93	16,7	6,94	7,76
Convergencia totales	442,2	418,19	591,23	655,66	766,48	766,79	333,19	339,76	348,37	399,71	397,43	397,85	502,3	529,92	524,12	524,76	514,05	402,69	429,29	484,57	445,88	484,57	445,88	522,51
Albedidos (mg/100mL)	102,38	90,58	73,19	29,06	22,94	19,97	145,39	134,16	69,3	36,14	20,82	19,28	103,59	94,57	86,4	59,38	18,05	17,39	117,11	106,43	82,96	41,52	20,50	16,88
Ésteres (mg/100mL)	5,89	6,37	7,02	7,92	10,55	11,39	4,99	5,28	5,69	6,03	6,44	8,26	4,39	5,61	6,07	1,48	7,65	8,93	5,09	5,75	6,26	5,14	8,21	9,52
Alcoholes superiores	253,39	262,75	289,9	301,71	304,28	323,39	196,38	199,3	209,59	239,5	245,74	251,44	329,3	332,48	348,58	360,59	362,12	392,3	259,72	264,94	282,37	300,6	310,71	322,37
Acidez (mg/100mL)	30,02	32,58	33,65	35,09	38,06	42,38	59,58	59,03	60,93	78,88	98,8	128,5	40,29	43,66	46,34	53,94	64,62	68,3	42,96	45,09	47,04	55,97	67,18	79,72
Convergencia totales	391,69	392,28	403,973	375,53	397,19	405,34	397,71	365,51	360,6	371,68	401,48	477,6	476,32	487,39	475,38	472,44	486,92	424,89	422,12	418,63	403,2	406,16	428,51	

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

Tabla VII. Resultados de las pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 con nutrientes a T= 34 °C

		Temperatura																							
		T=34°C																							
		Con Nutrientes																							
Materia Prima	Repeticiones	1				2				3				Promedio											
	Tiempo (h)	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96						
Miel Virgen 1	Prueba sensorial	2	3,50	5,50	7	7,50	5	2,50	3,50	5,50	7	8	9	3	4	6	7,50	8	9	2,50	3,57	5,57	7,17	7,83	8,67
Melaza 1	Prueba sensorial	1,50	2,50	4	5	5,50	6,50	2	2,50	4	5	5	6	2	2,50	3,50	4	5	6	1,83	2,50	3,83	4,67	5,17	6,17

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**Tabla VIII. Resultados de las pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen y melaza 1 sin nutrientes a T= 34 °C**

		Temperatura																							
		T=34°C																							
		Sin Nutrientes																							
Materia Prima	Repeticiones	1				2				3				Promedio											
	Tiempo (h)	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96						
Miel Virgen 1	Prueba sensorial	1	2	3	5	7.50	9	2	3.50	6	8	8.50	9	2.50	3.50	5	6.50	8	9.50	1.83	3	4.67	6.50	8	9.17
Melaza 1	Prueba sensorial	1	2.50	4	5	5.50	7	1.50	2.50	4	4.50	6	7	1.50	3	4	4.50	5	6.50	1.33	2.67	4	4.67	5.50	6.83

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**Tabla IX. Resultados de las pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 con nutrientes y melaza 1 sin nutrientes a T= 38 °C**

		Temperatura																							
		T=38°C																							
		1					2					3					Promedio								
Repeticiones		12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96
Materia Prima	Tiempo (h)																								
Miel Virgen 1	Aldetidos (mg/100mL)	2	4	5,50	6,50	7,50	7,50	8	2,50	4	5,50	6,50	7,50	9	2	4	6	7,50	8,50	9	2,17	4	5,67	6,83	8,67
Melaza 1 Sin	Aldetidos (mg/100mL)	1	2	4	5	6	7	1,50	2,50	3,50	4,50	6	7,50	1,50	2,50	4	4,50	5,50	7,50	1,33	2,33	3,33	4,67	5,83	7,33

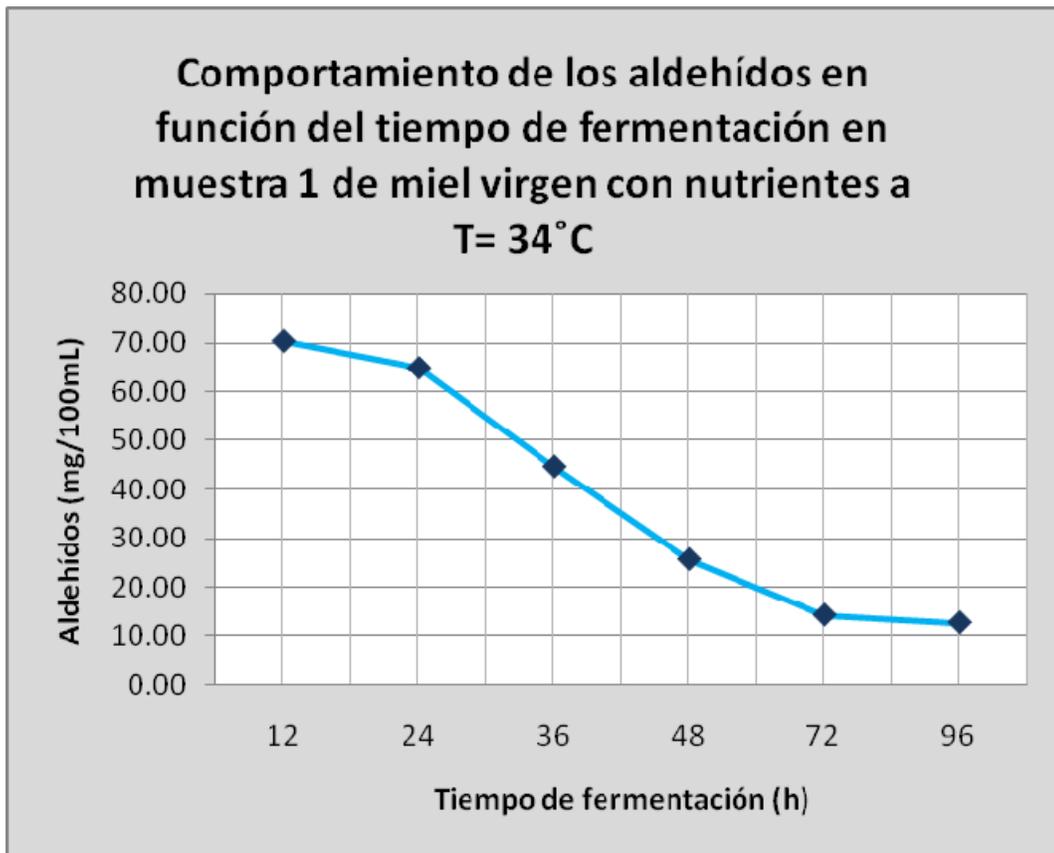
Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**Tabla X. Resultados de las pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 2 con nutrientes y melaza 2 sin nutrientes a T= 34 °C**

		Temperatura																								
		T=34°C																								
		1					2					3					Promedio									
Repeticiones		12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	12	24	36	48	72	96	
Materia Prima	Tiempo (h)																									
Miel Virgen 2	Aldetidos (mg/100ml)	2	2,50	3,50	5	7,50	8,50	2	3	4,50	6,50	8,50	9	2,50	4	5	6,50	8	9,50	2,17	3,17	4,33	6	8	9	
Melaza 2	Aldetidos (mg/100ml)	1	2	3,50	4,50	5,50	6,50	1,50	2	3	4,50	5,50	6,50	1,50	3	3,50	4	5,50	7	1,33	2,33	3,33	4,33	5,50	6,67	

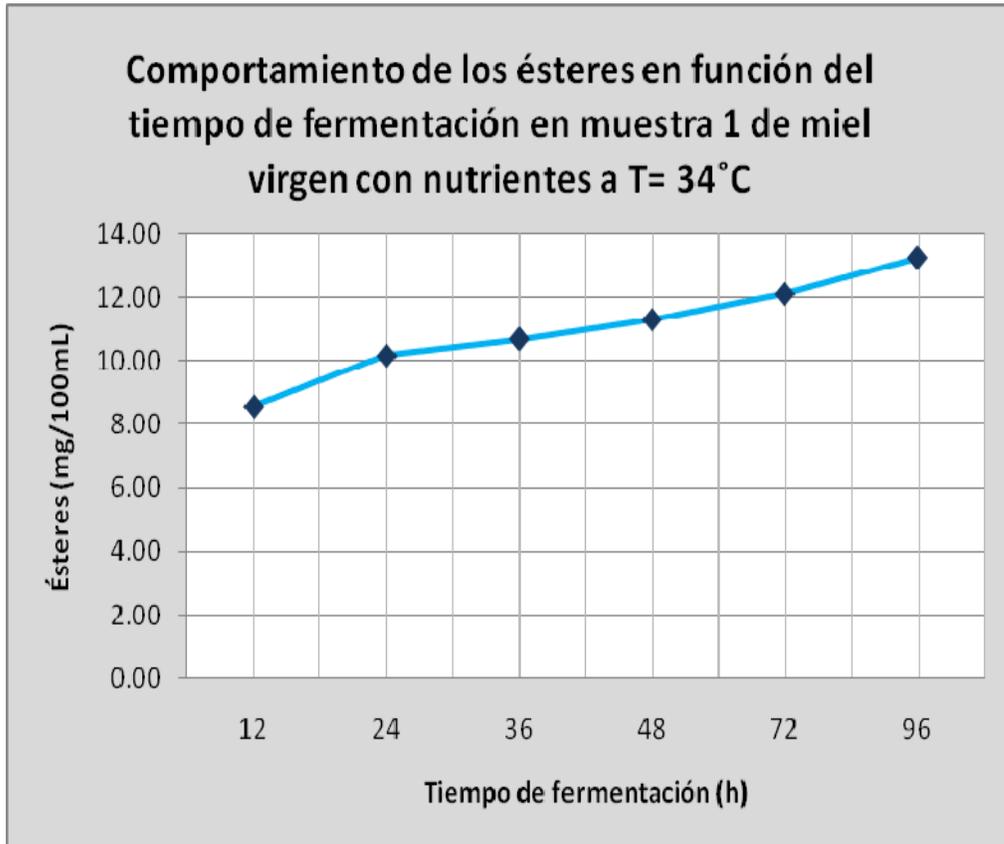
Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**Figura 13.** Comportamiento de los aldehídos vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T= 34 °C



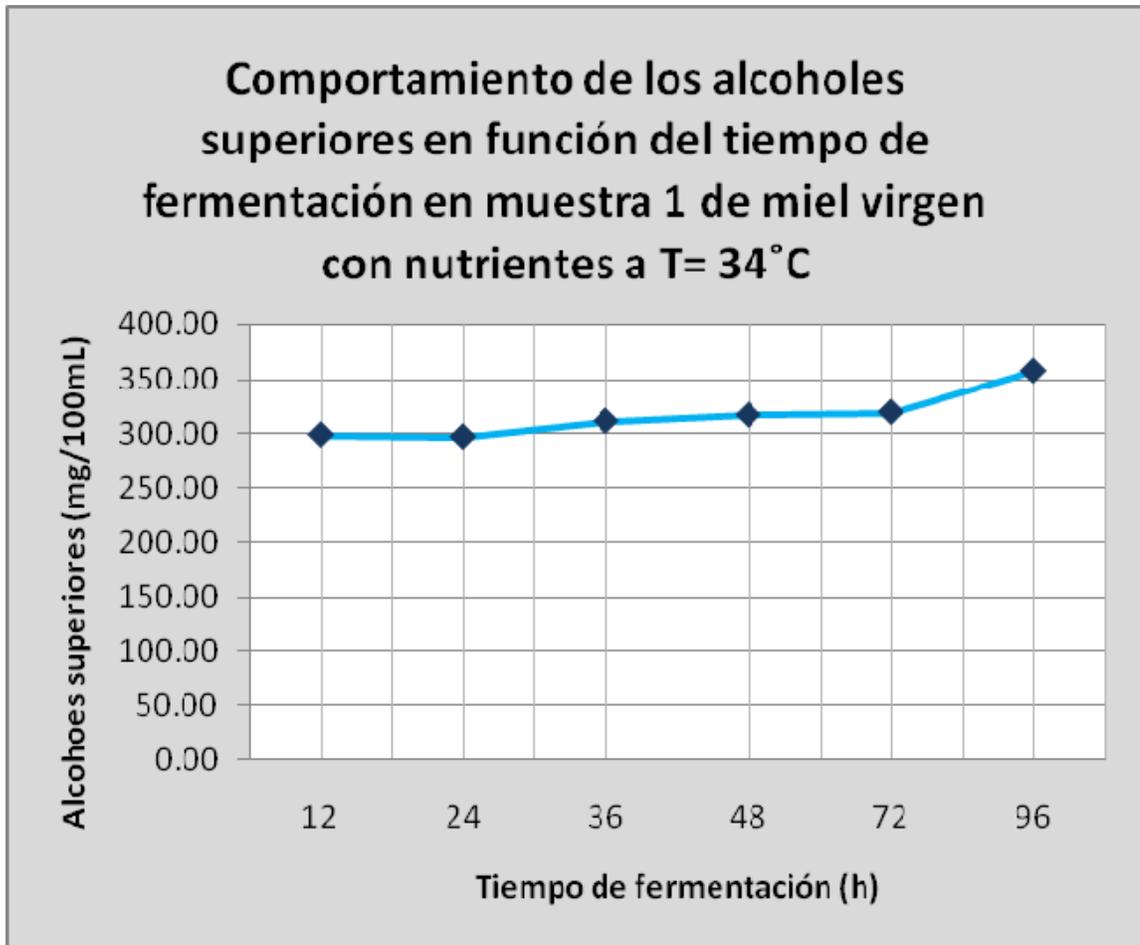
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 14.** Comportamiento de los ésteres vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C



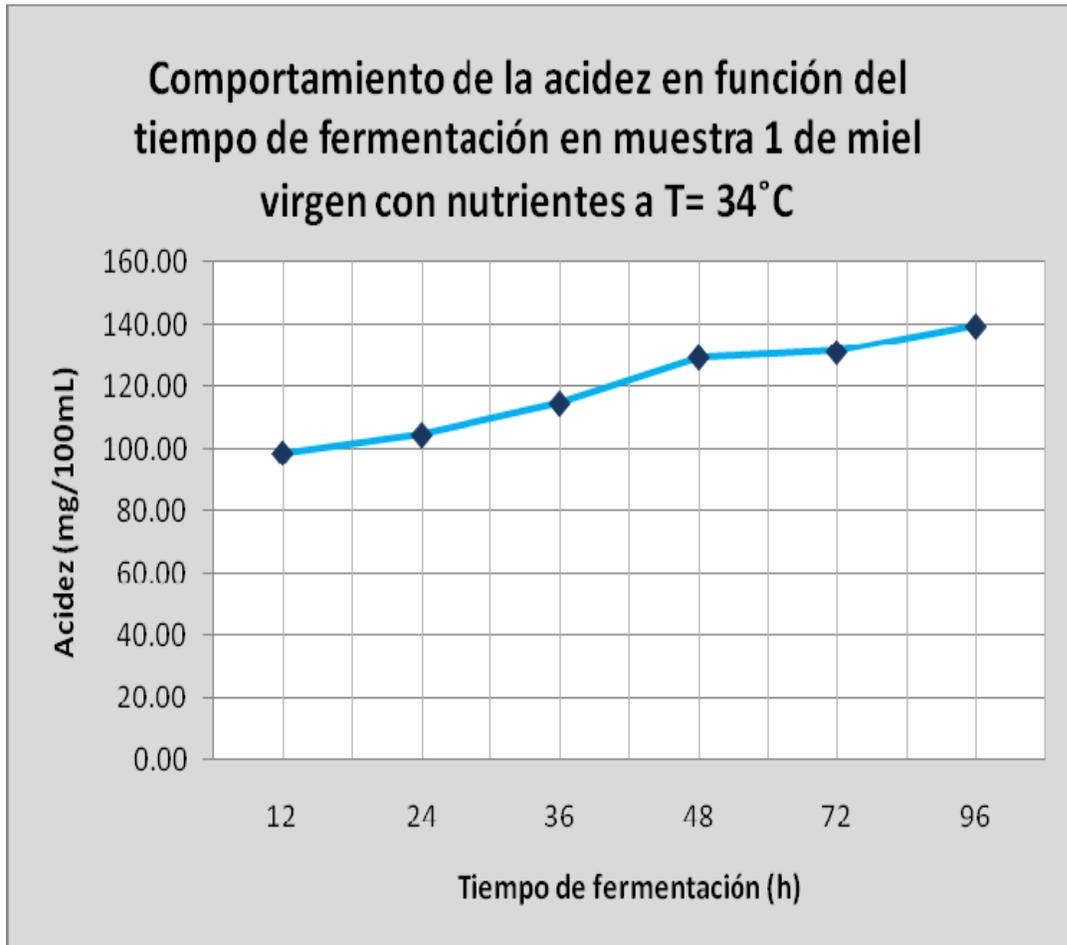
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 15.** Comportamiento de los alcoholes superiores vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen con nutrientes a  $T=34\text{ }^{\circ}\text{C}$



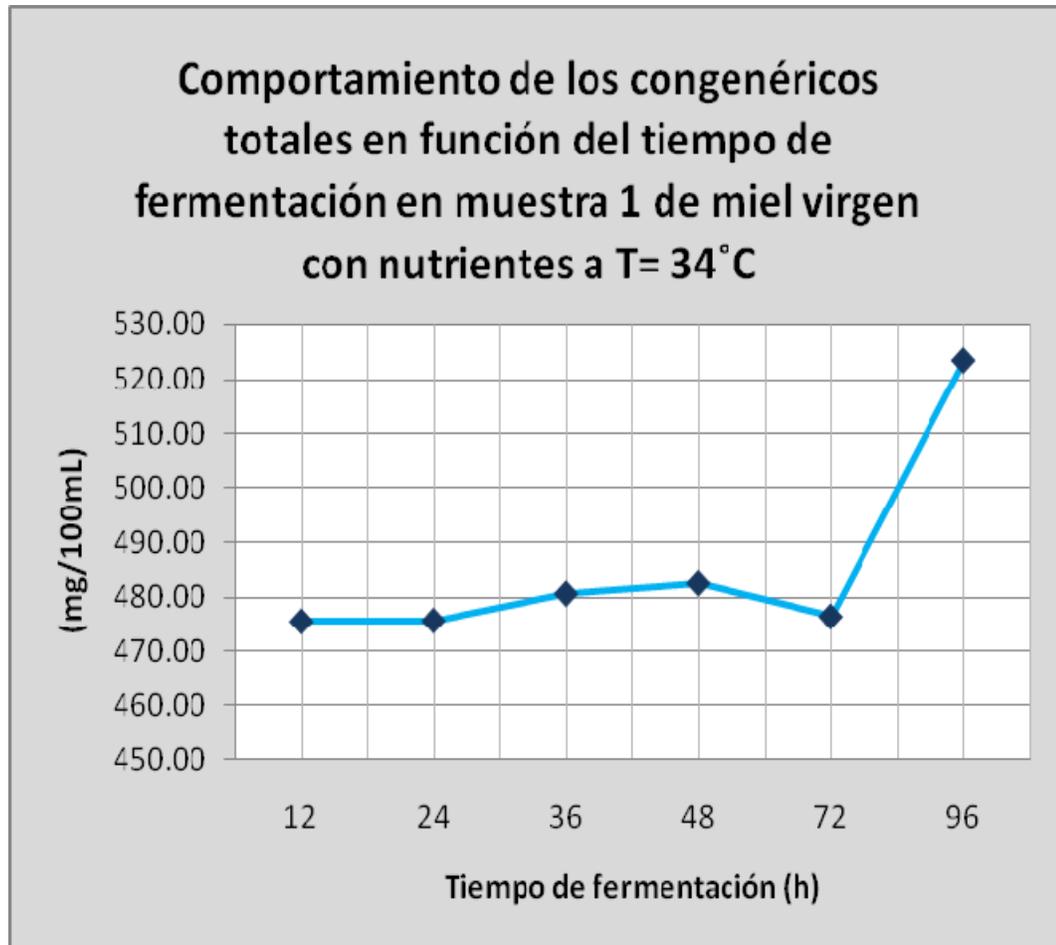
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 16.** Comportamiento de la acidez vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C



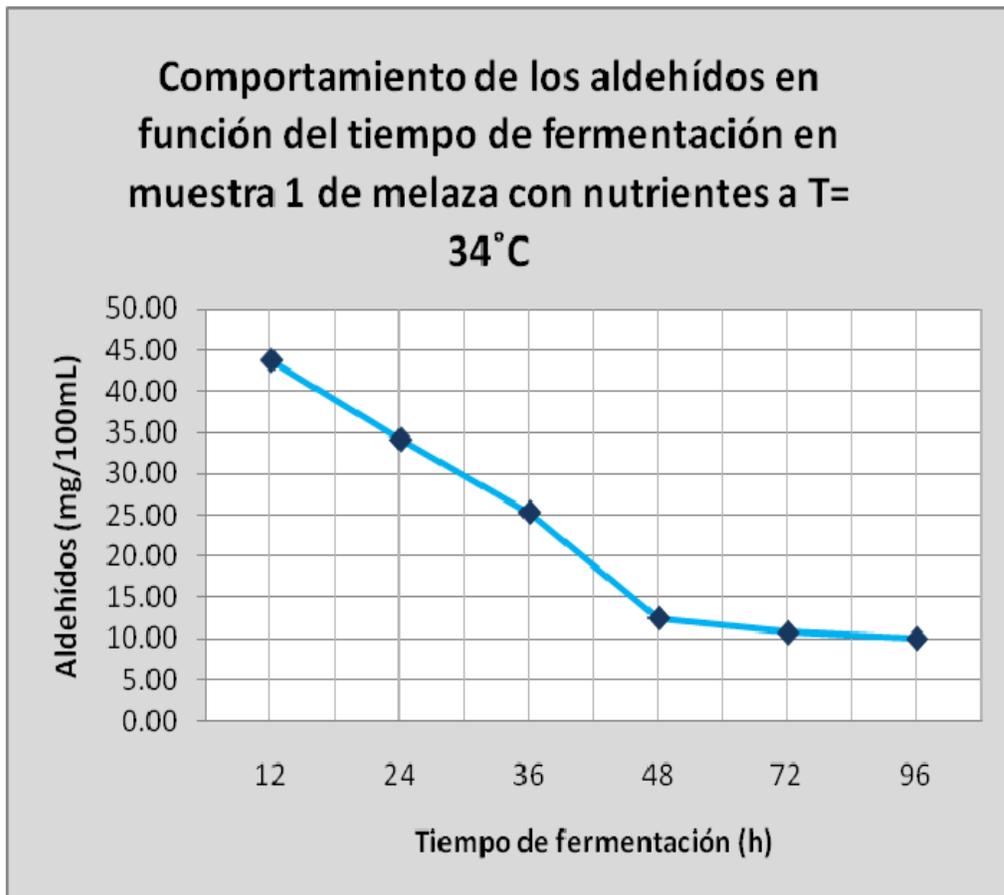
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 17.** Comportamiento de los congénicos totales vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C



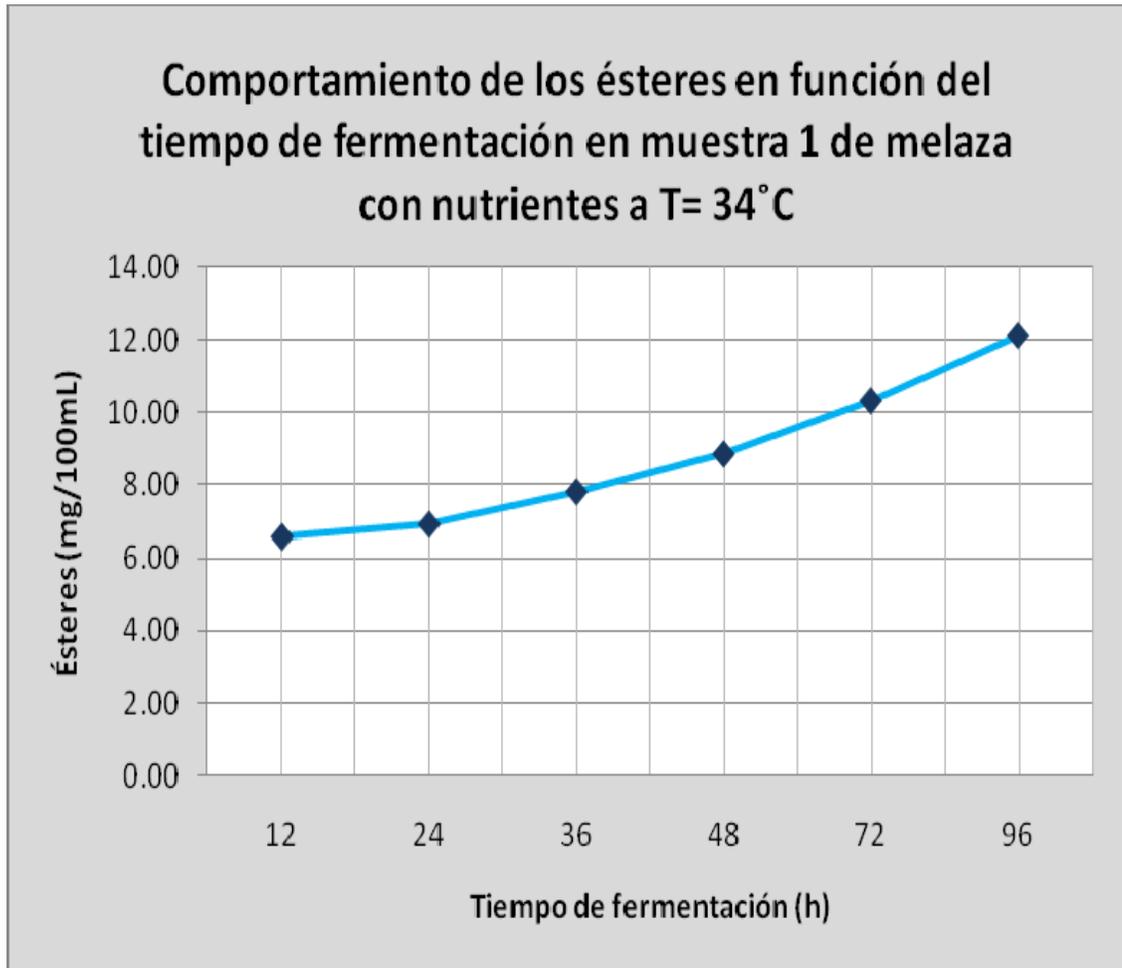
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 18.** Comportamiento de los aldehídos vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza con nutrientes a T= 34 °C



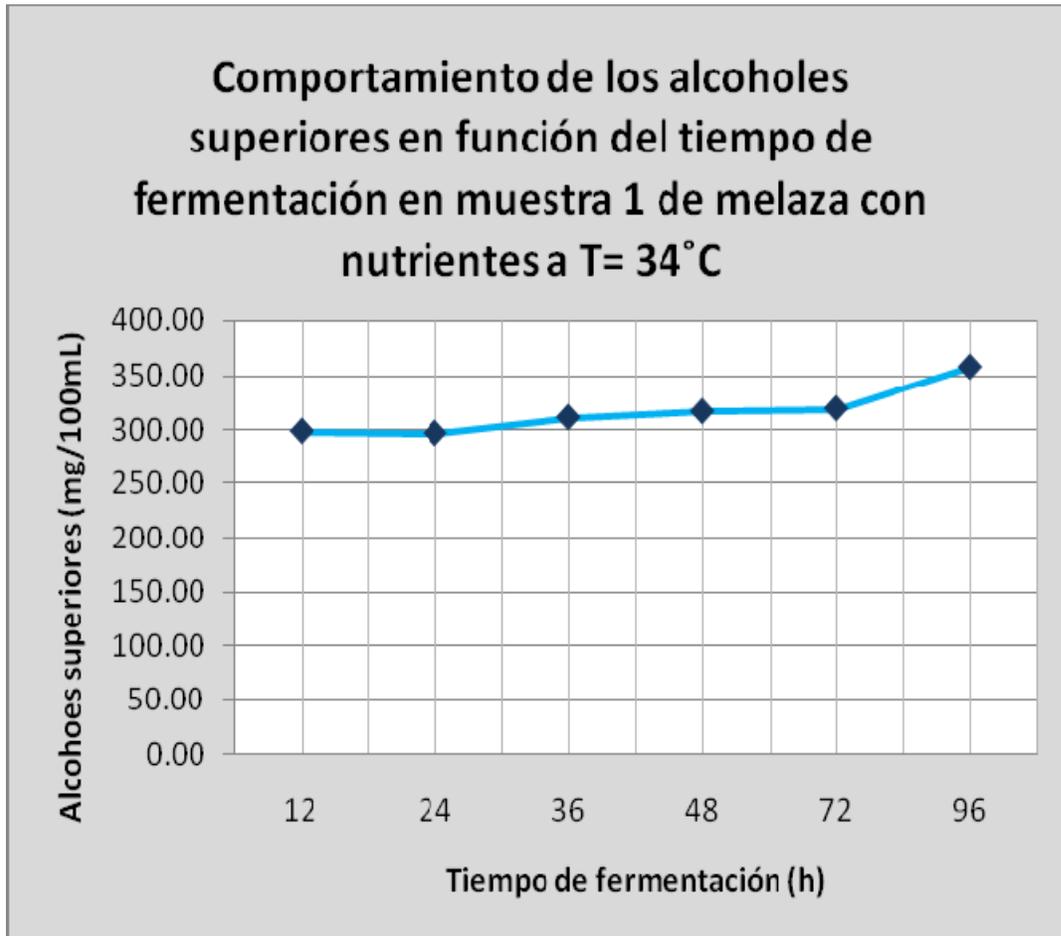
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 19.** Comportamiento de los ésteres vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza con nutrientes a T=34 °C



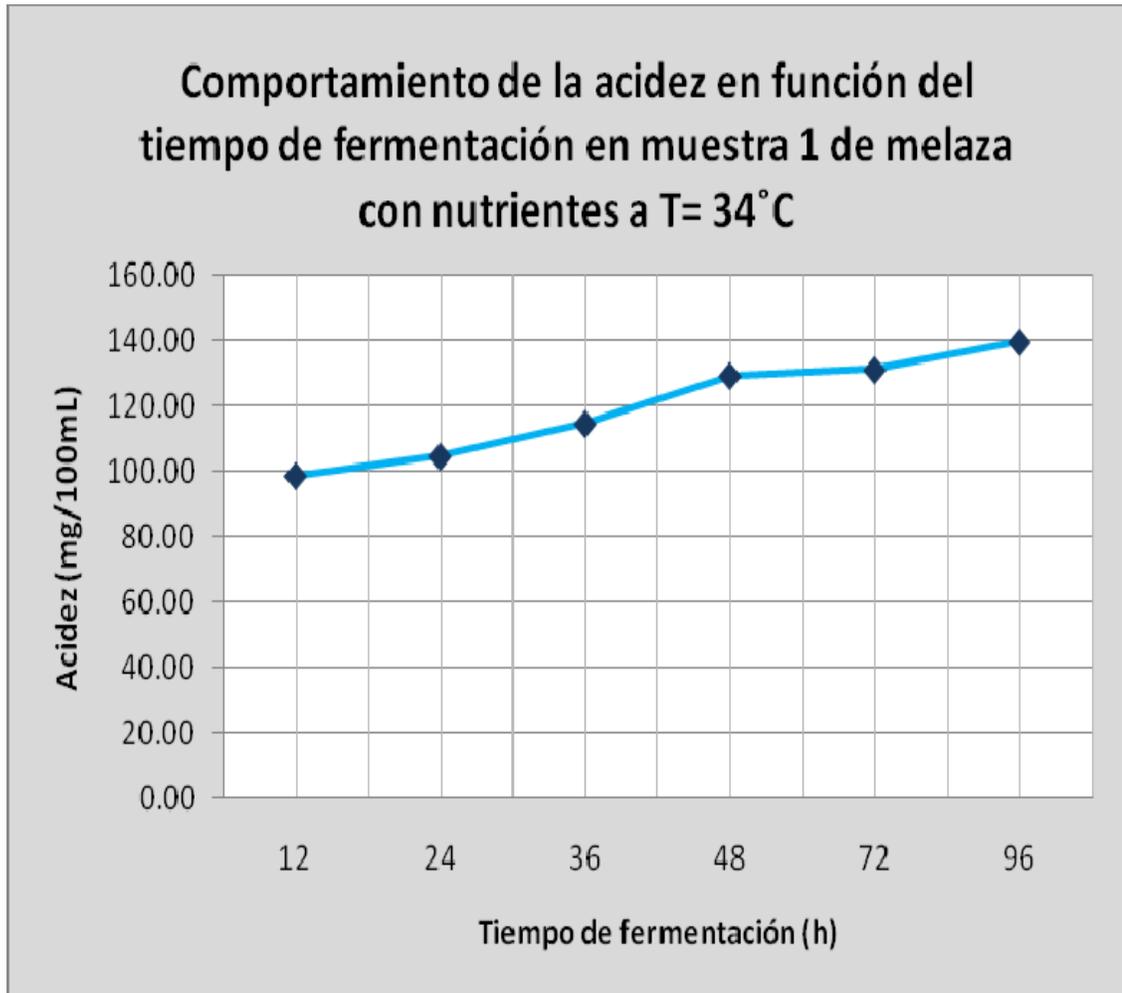
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 20.** Comportamiento de los alcoholes superiores vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza con nutrientes a T=34 °C



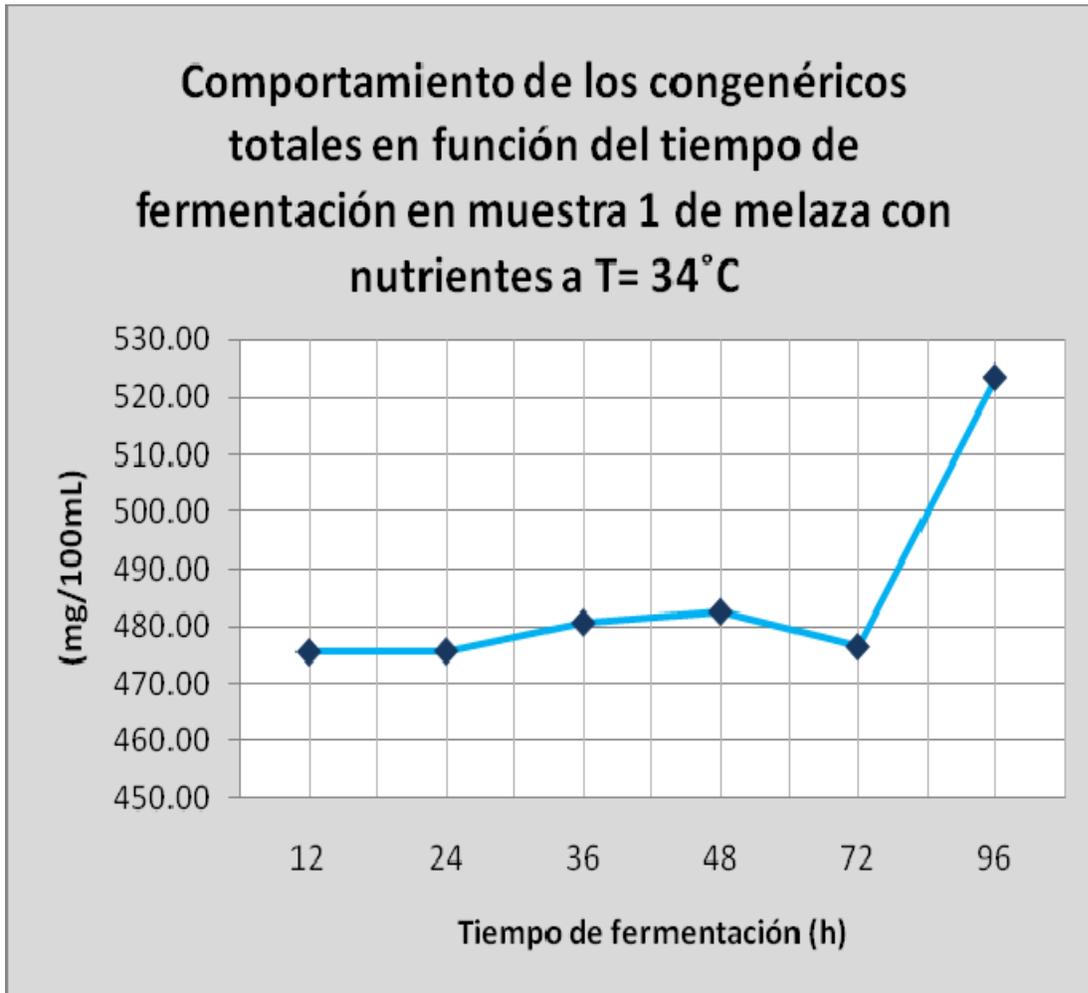
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 21.** Comportamiento de la acidez vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza con nutrientes a T=34 °C



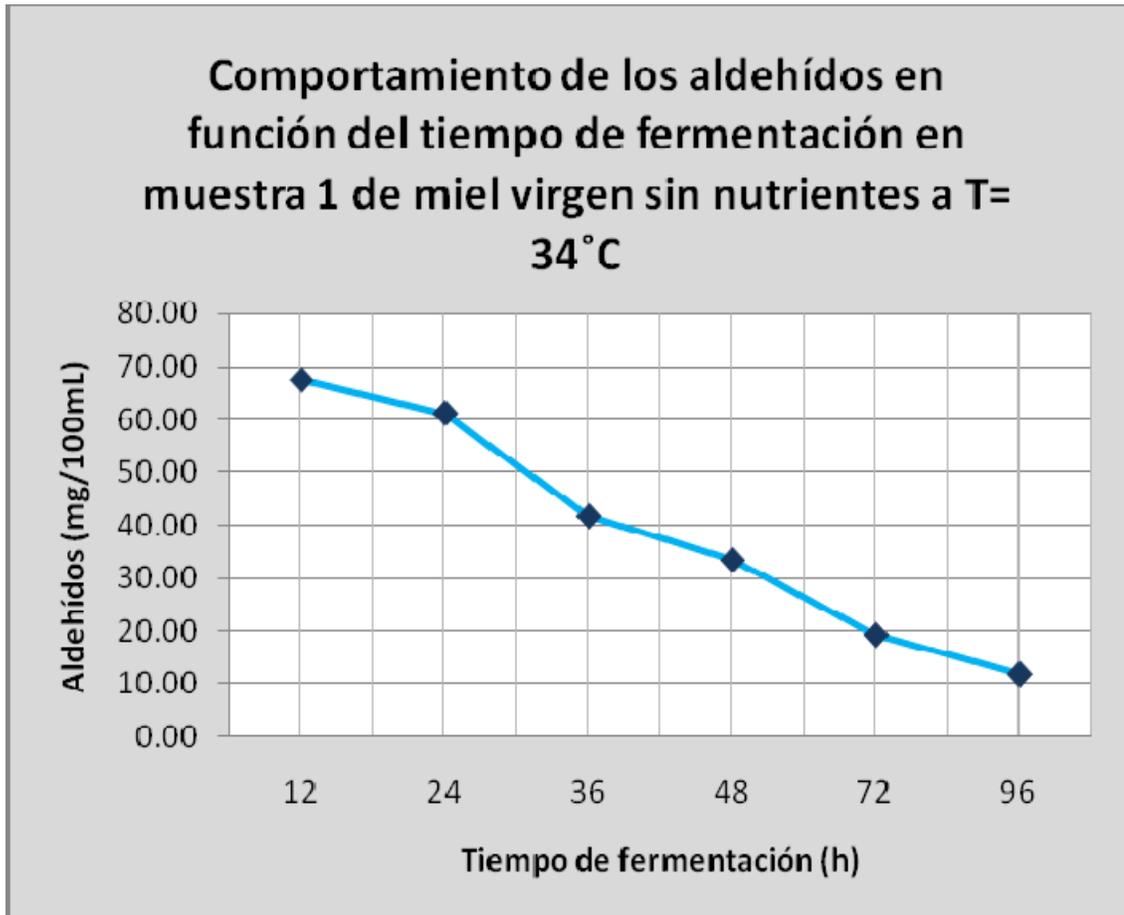
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 22.** Comportamiento de los congénicos totales vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza con nutrientes a T=34 °C



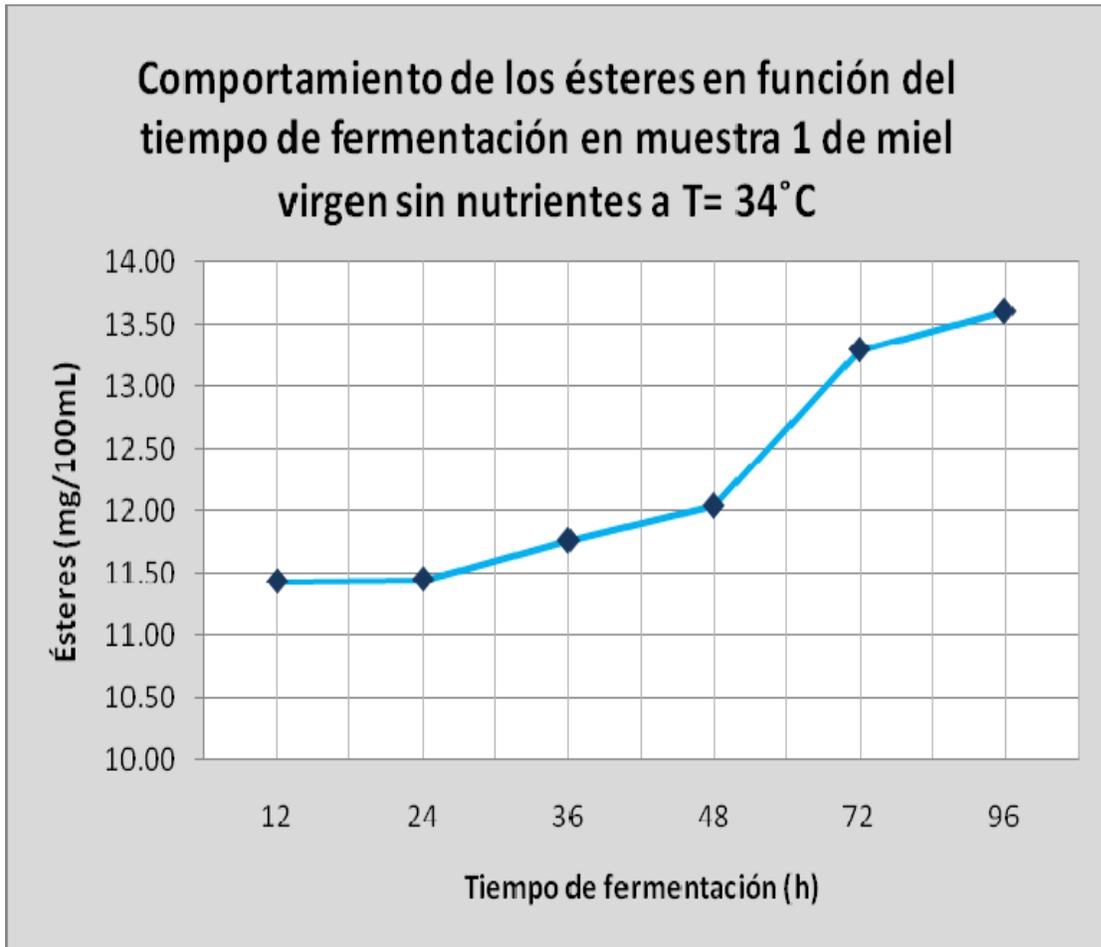
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 23.** Comportamiento de los aldehídos vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen sin nutrientes a T= 34 °C



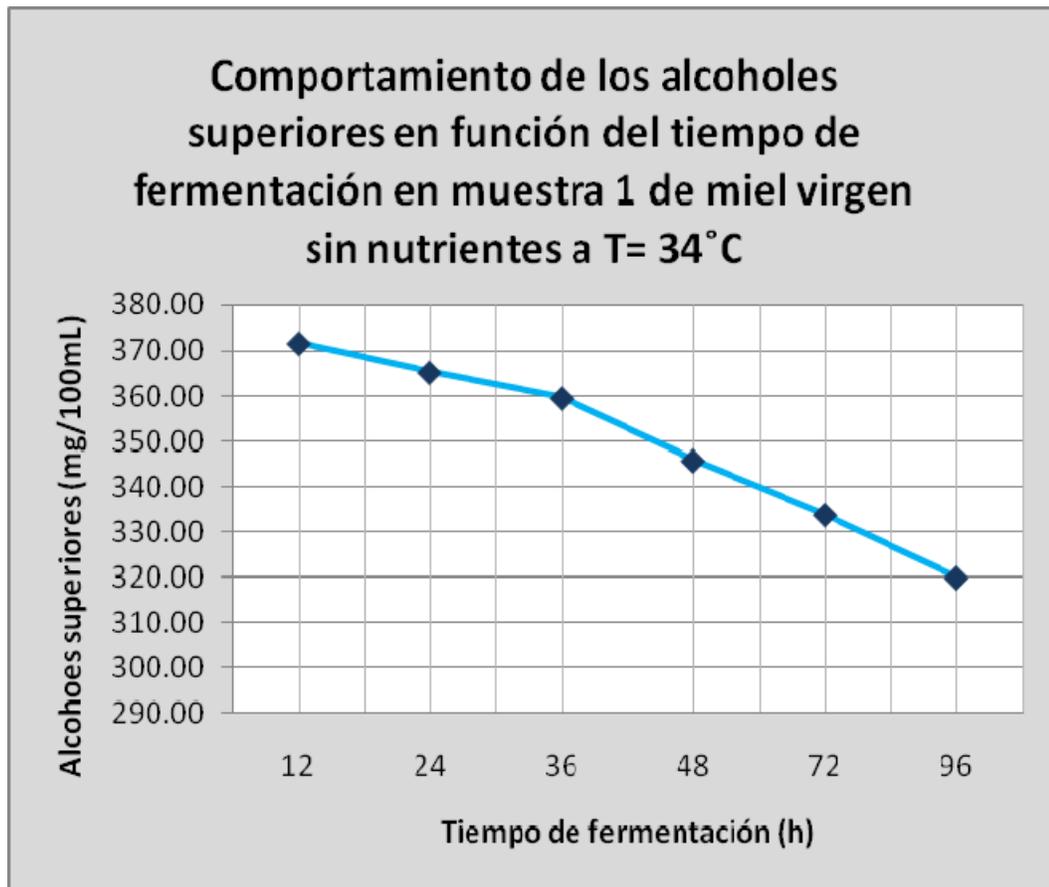
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 24.** Comportamiento de los ésteres vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen sin nutrientes a T=34 °C



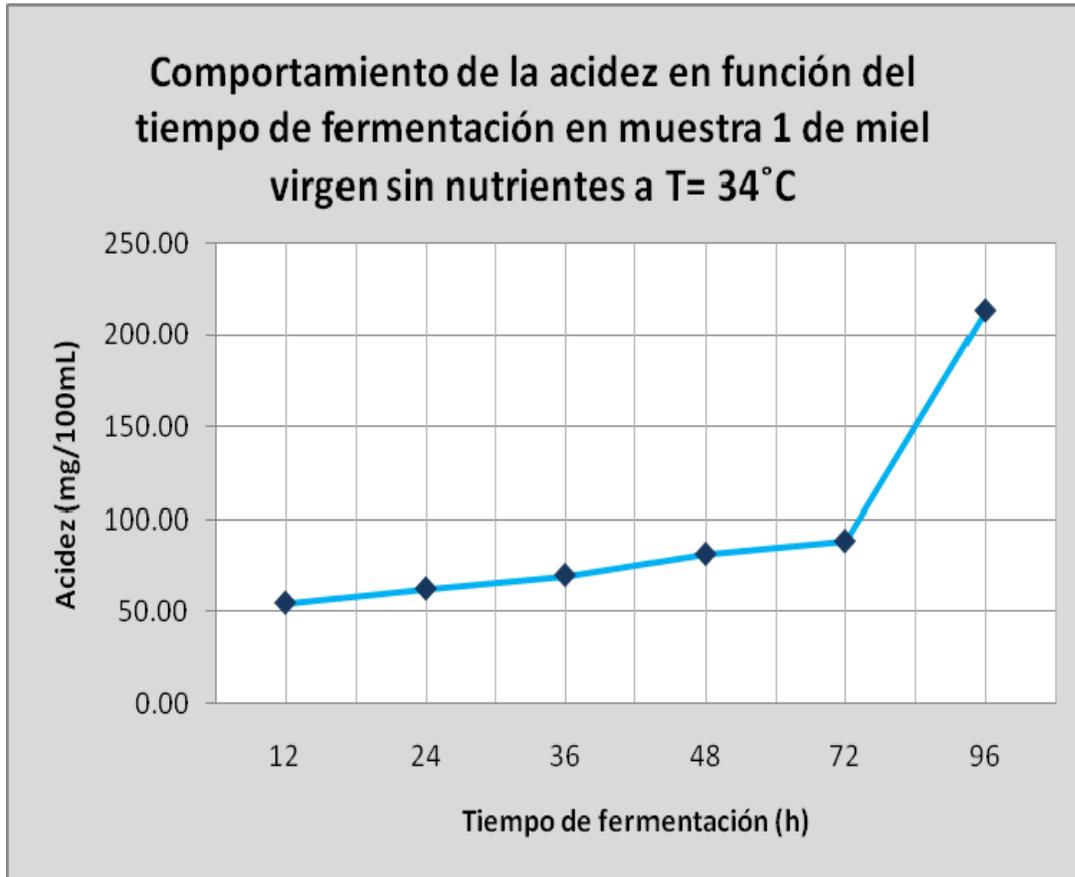
Fuente: Datos obtenidos del experimento

**Figura 25.** Comportamiento de los alcoholes superiores vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen sin nutrientes a T=34 °C



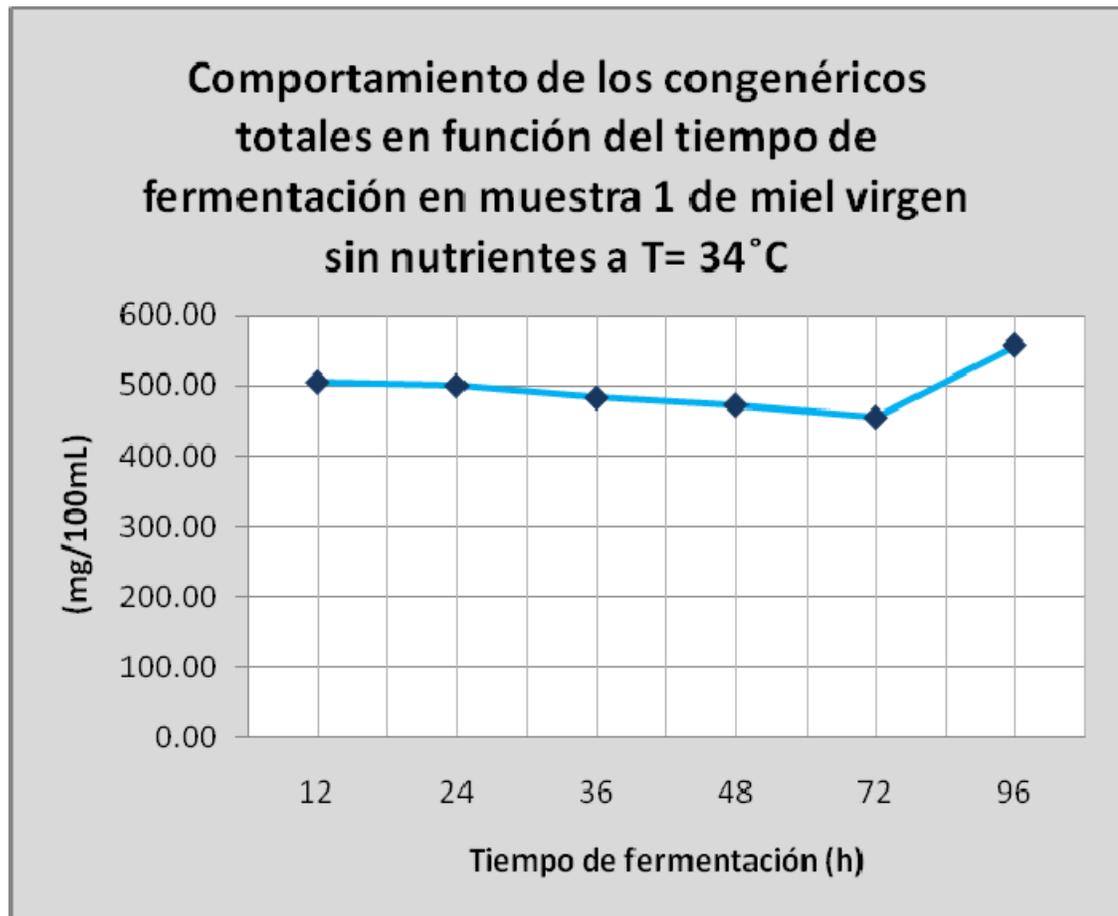
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 26.** Comportamiento de la acidez vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen sin nutrientes a T=34 °C



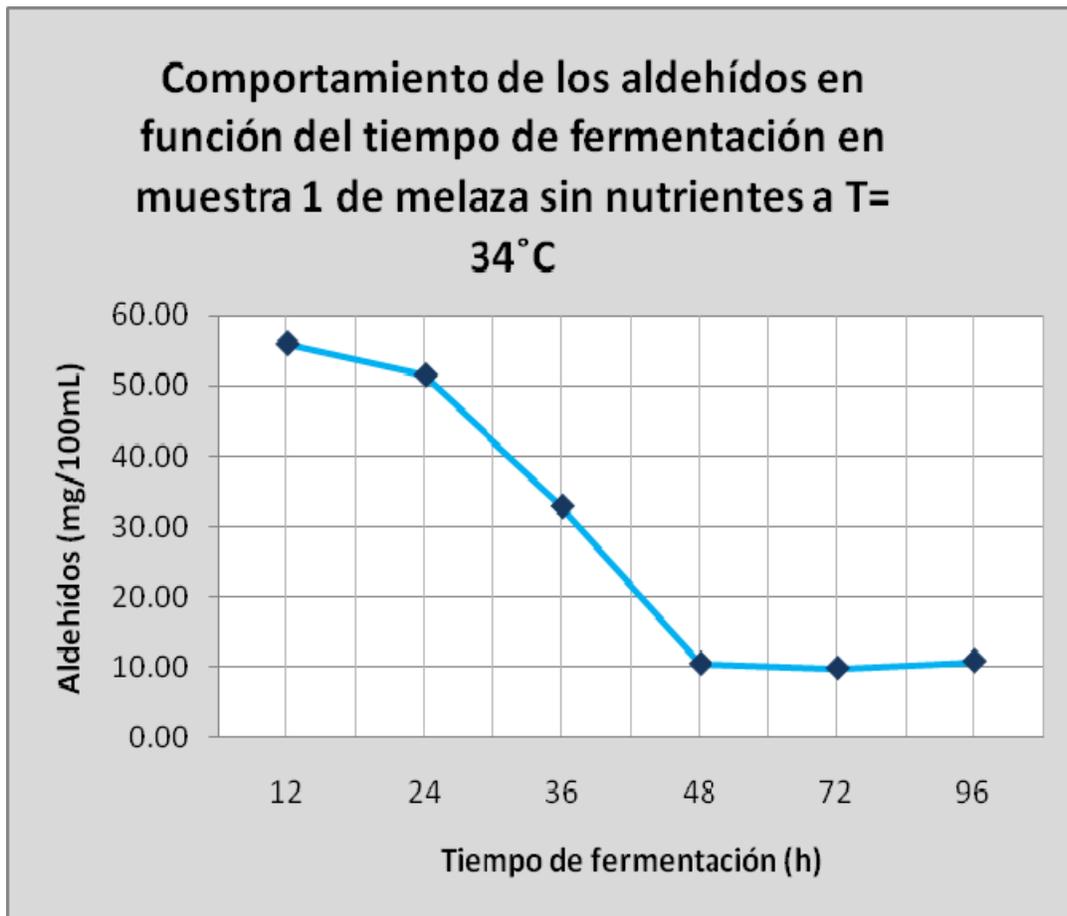
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 27.** Comportamiento de los congénicos totales vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen sin nutrientes a T=34 °C



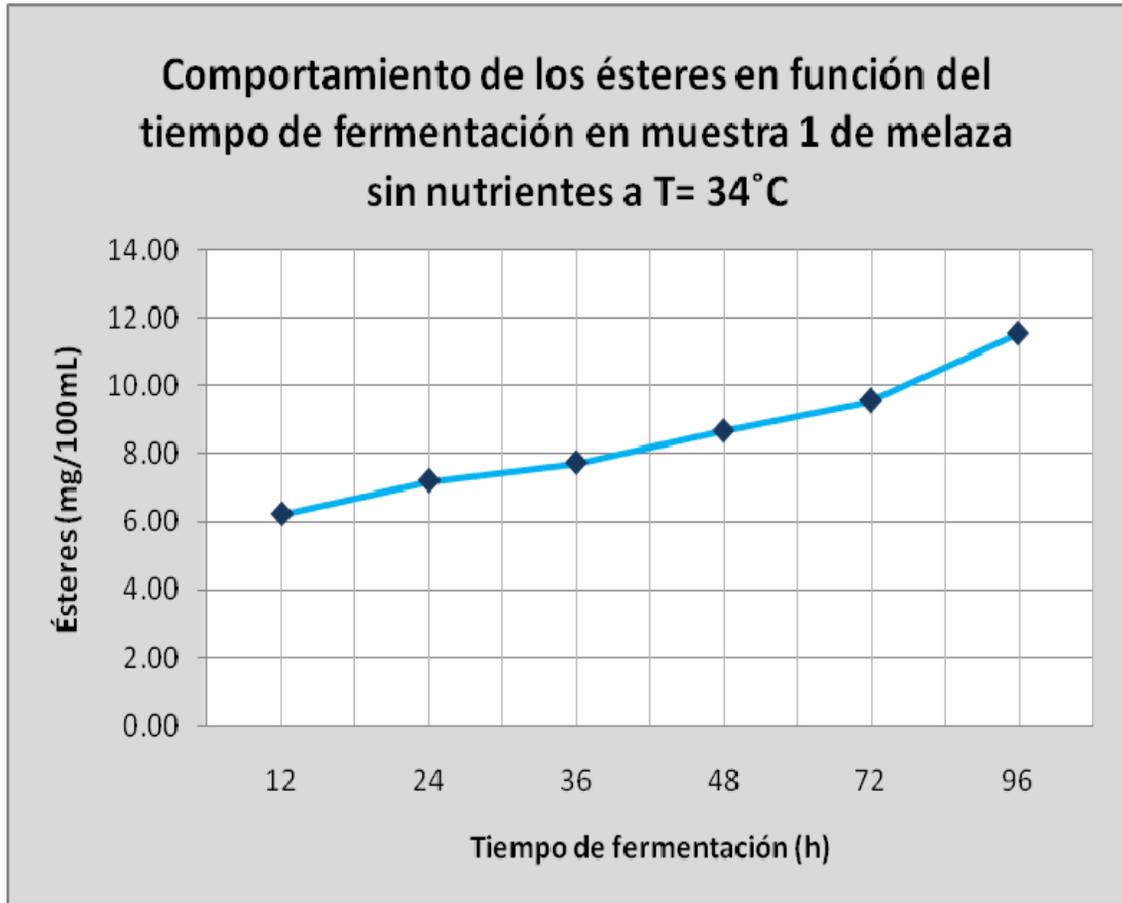
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 28.** Comportamiento de los aldehídos vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza sin nutrientes a T= 34 °C



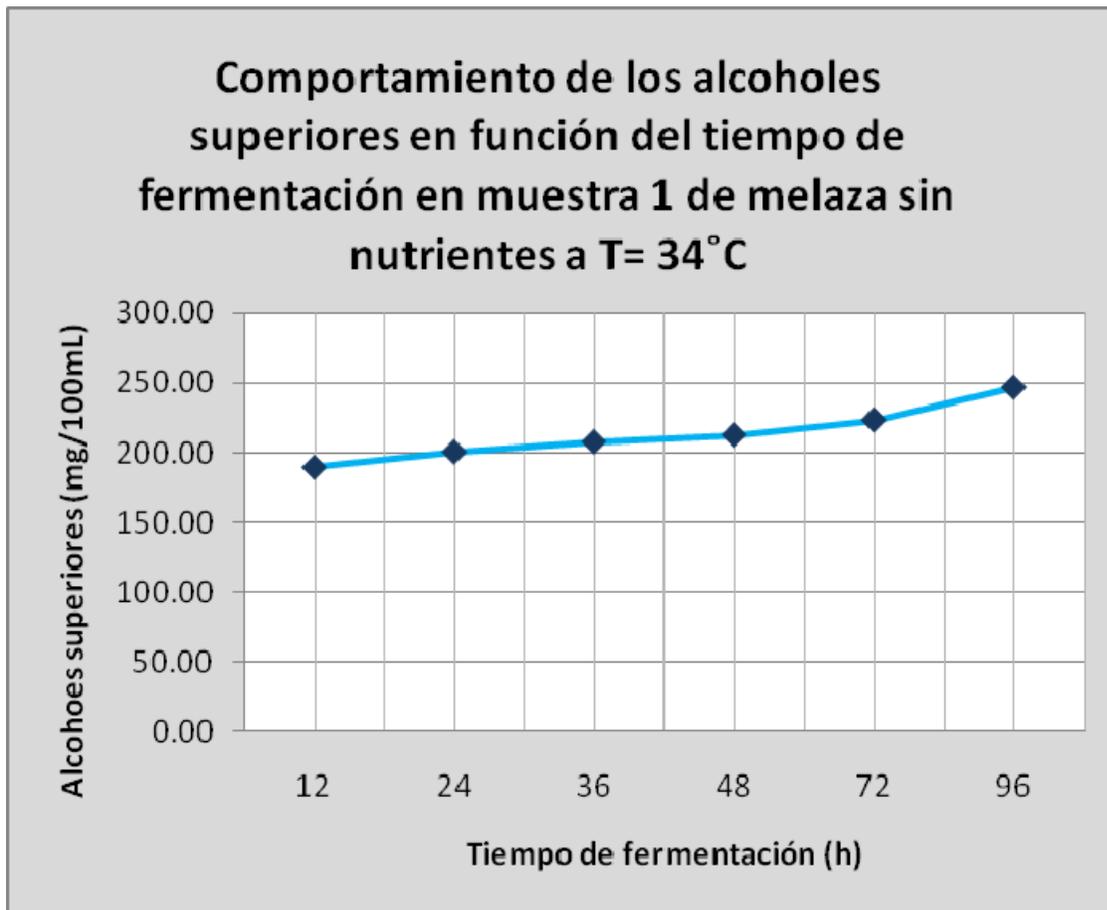
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 29.** Comportamiento de los ésteres vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=34 °C



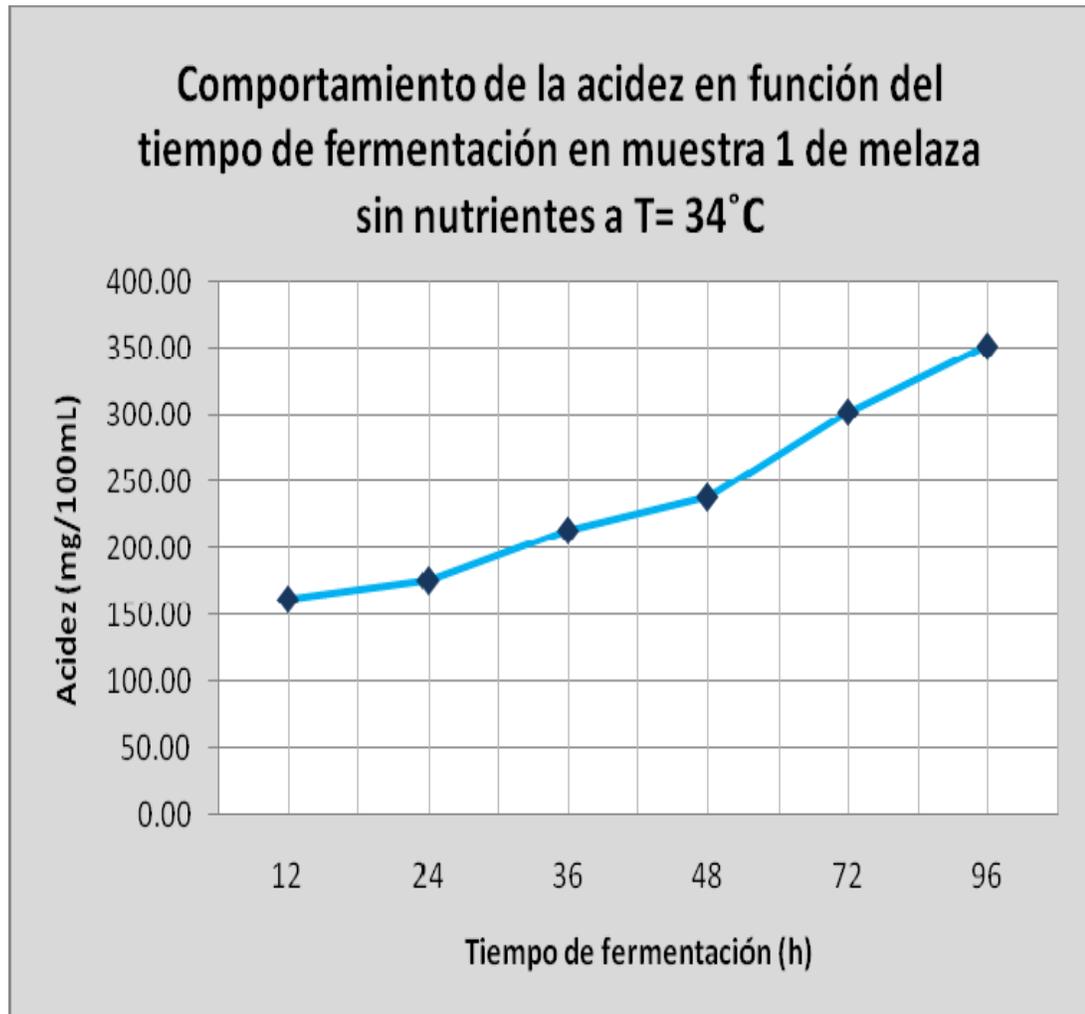
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 30.** Comportamiento de los alcoholes superiores vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=34 °C



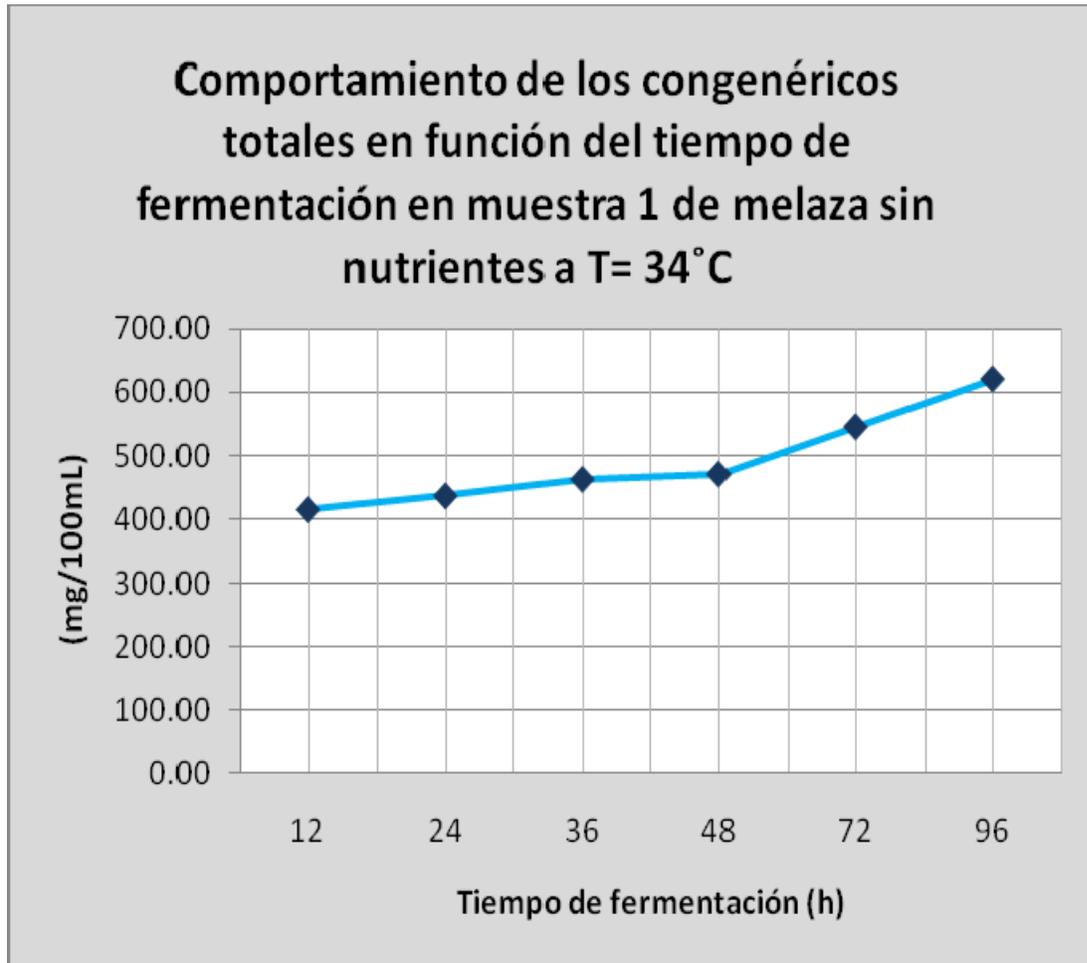
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 31.** Comportamiento de la acidez vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=34 °C.



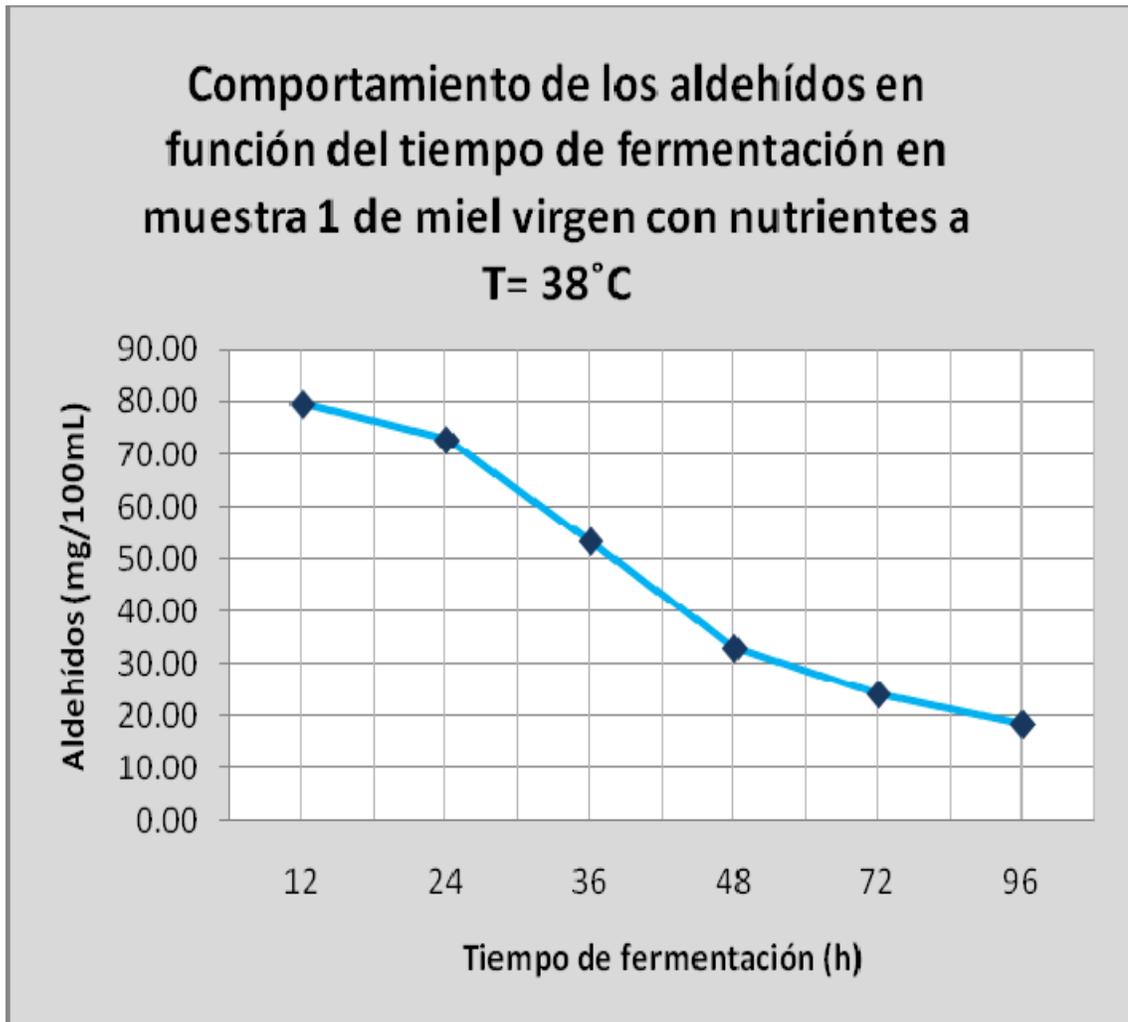
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 32.** Comportamiento de los congénicos totales vrs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=34 °C



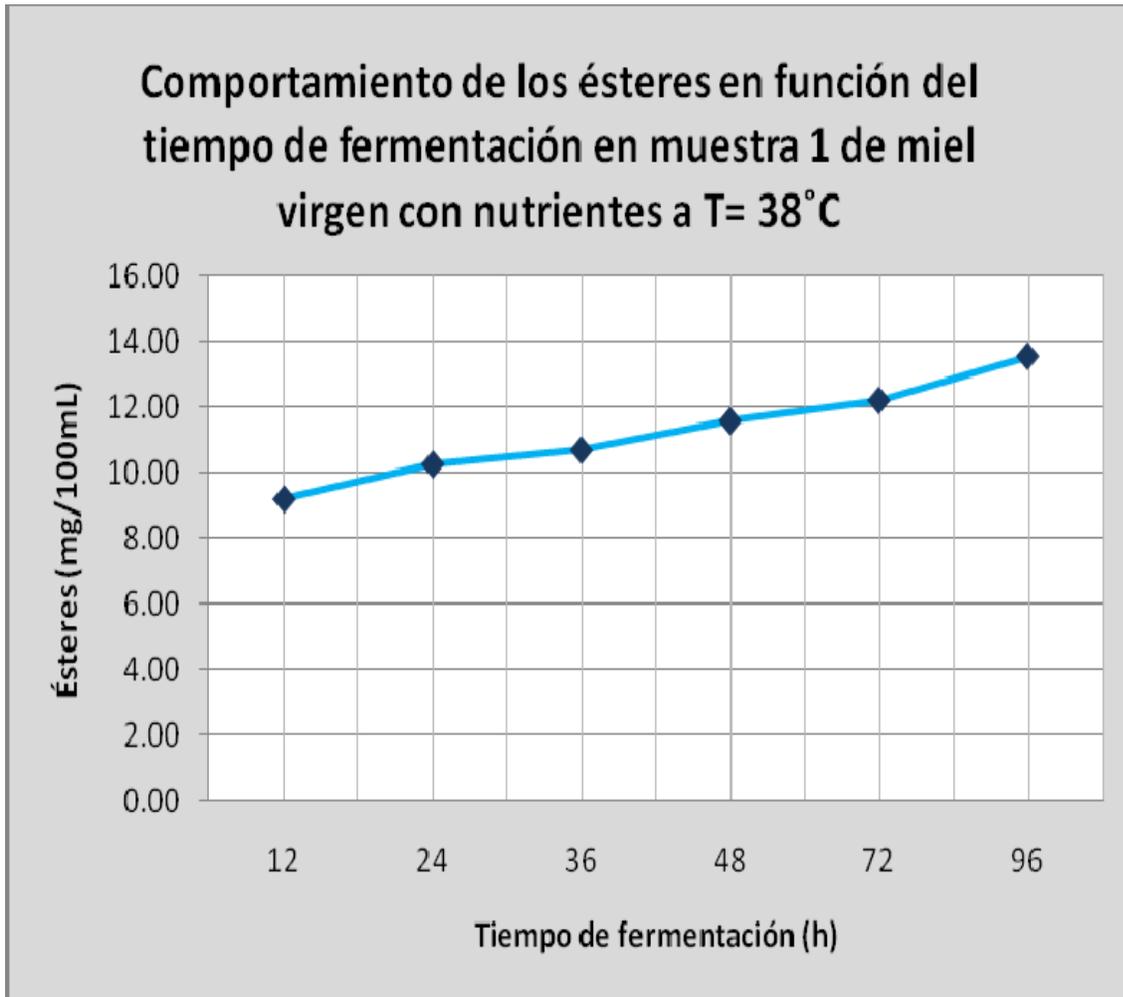
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 33.** Comportamiento de los aldehídos vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T= 38 °C



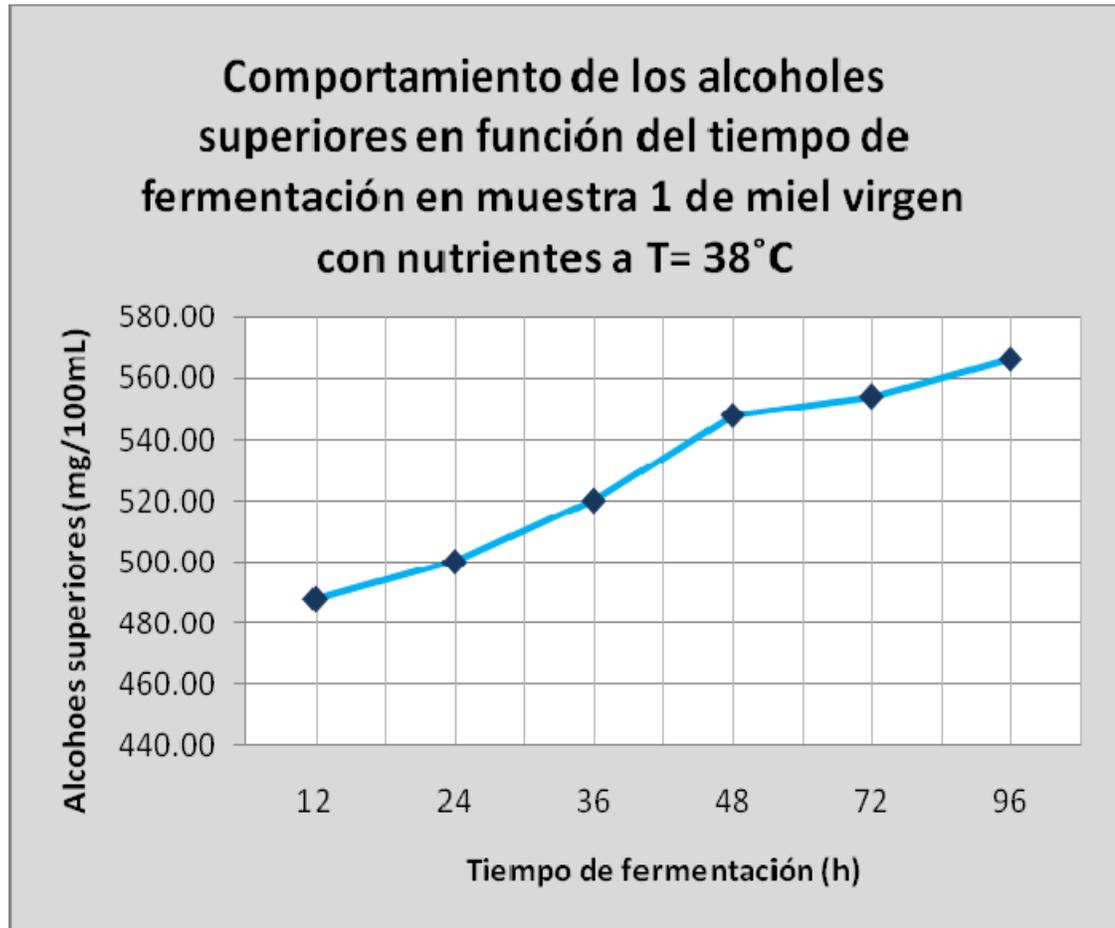
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 34.** Comportamiento de los ésteres vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=38 °C



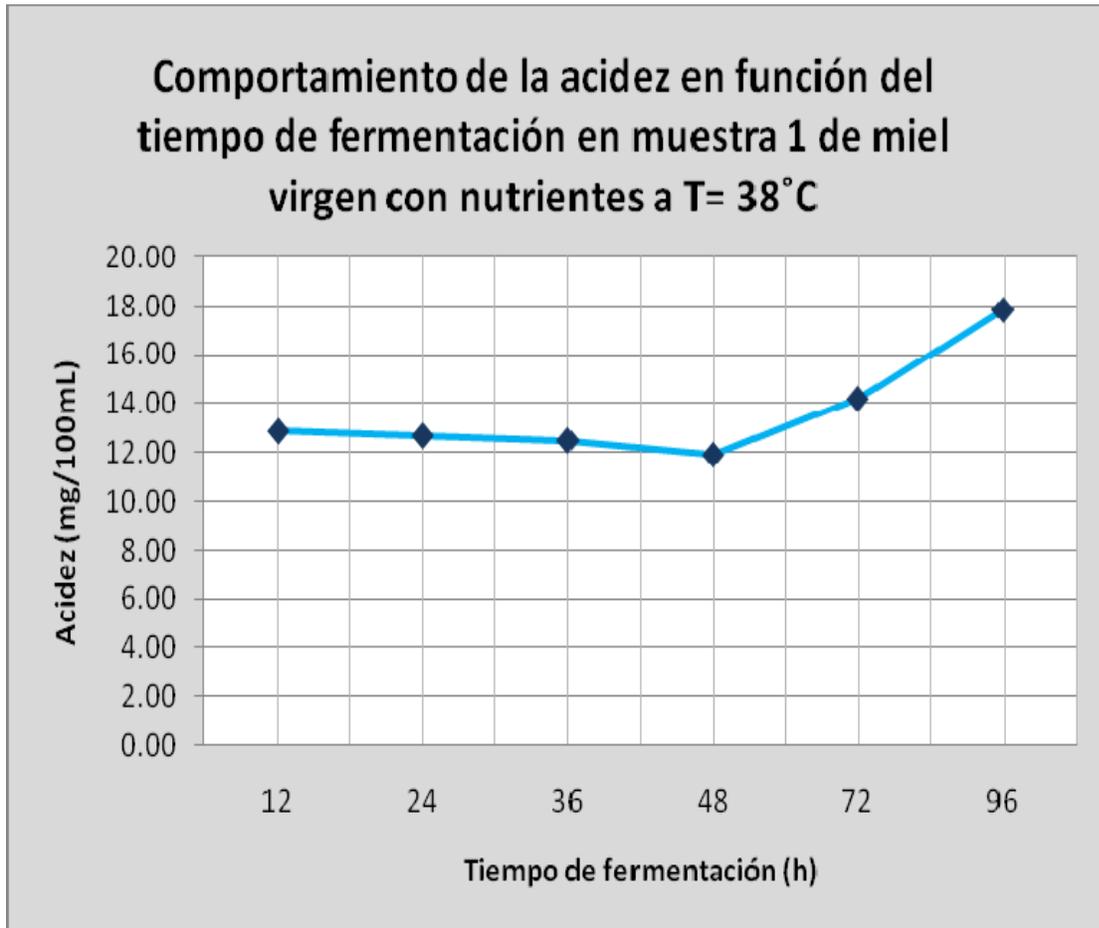
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 35.** Comportamiento de los alcoholes superiores vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=38 °C



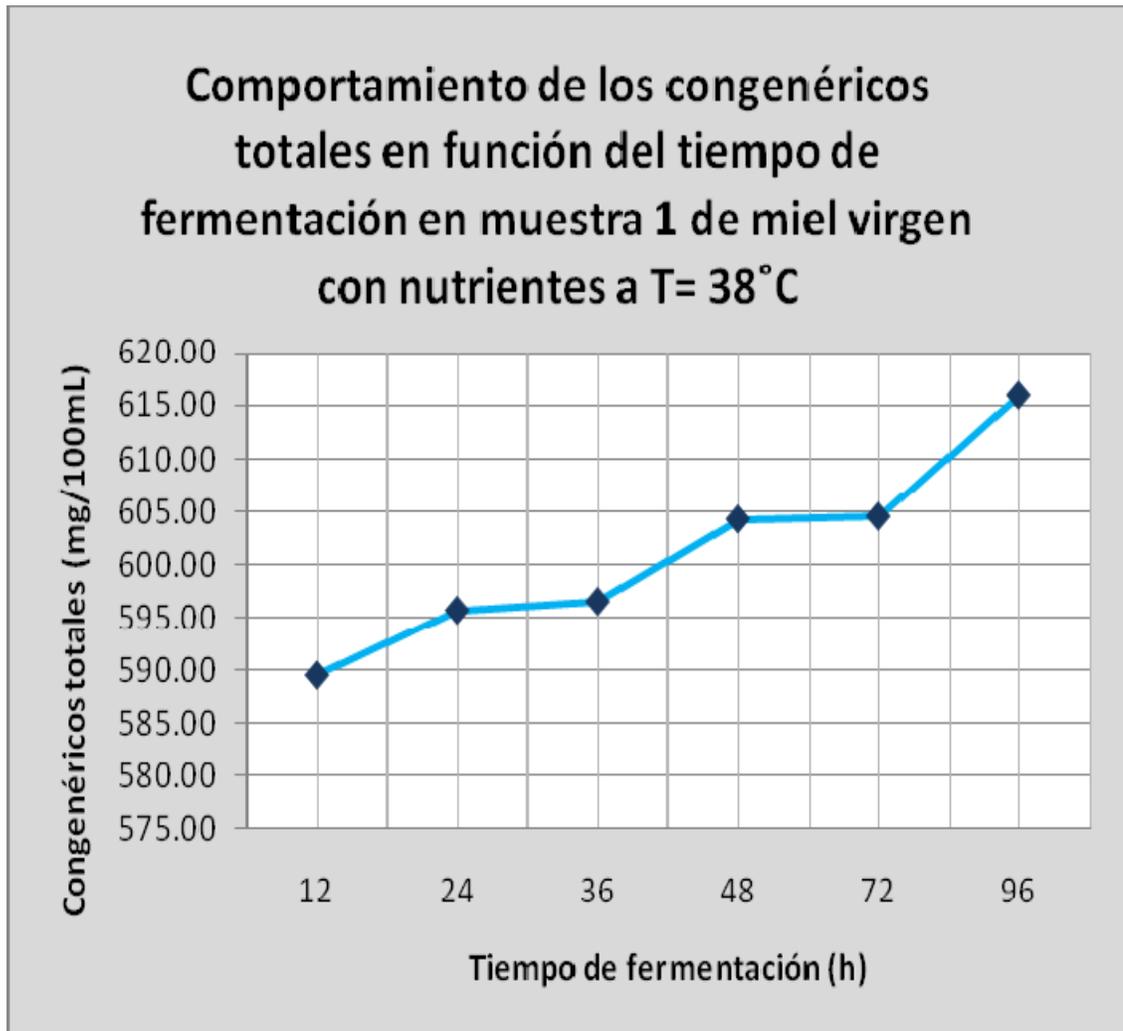
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 36.** Comportamiento de la acidez vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=38 °C



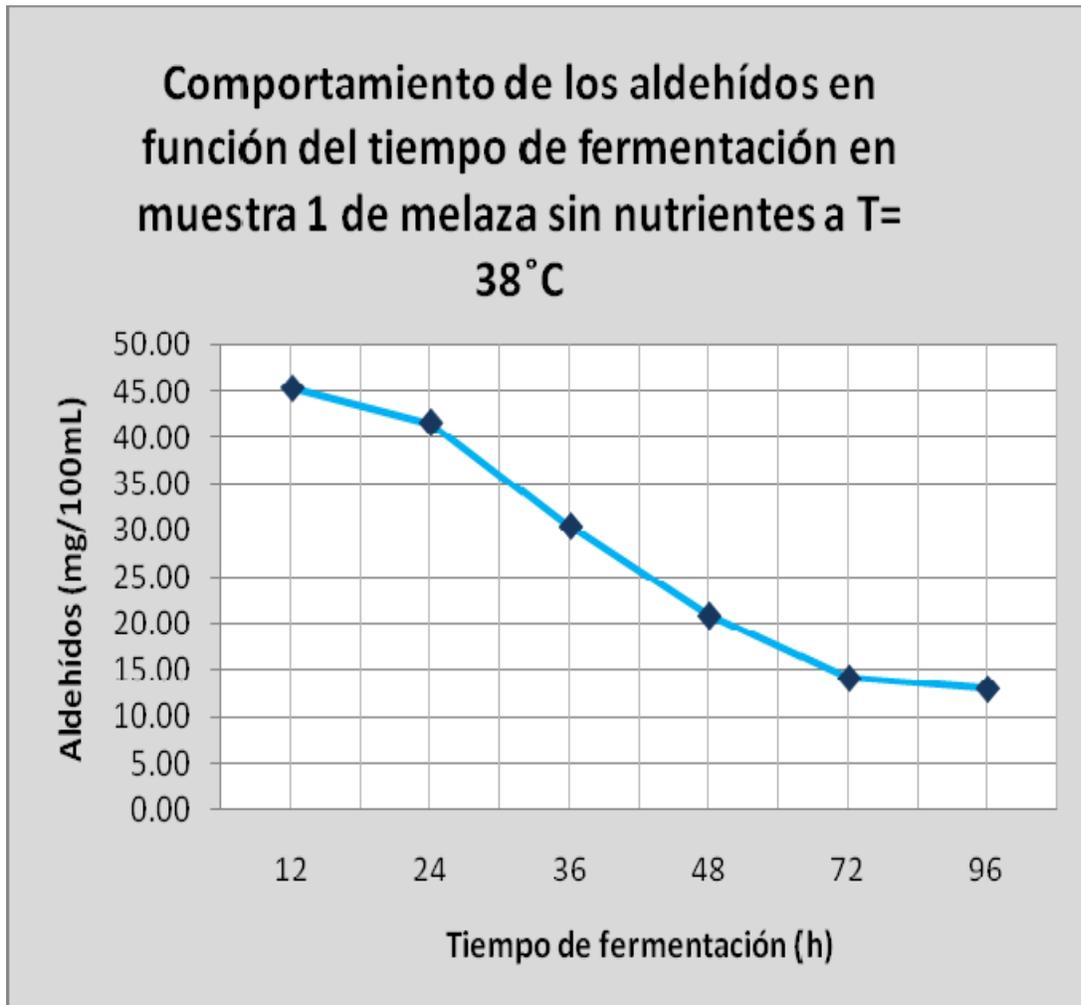
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 37.** Comportamiento de los congénicos totales vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de miel virgen con nutrientes a T=38 °C



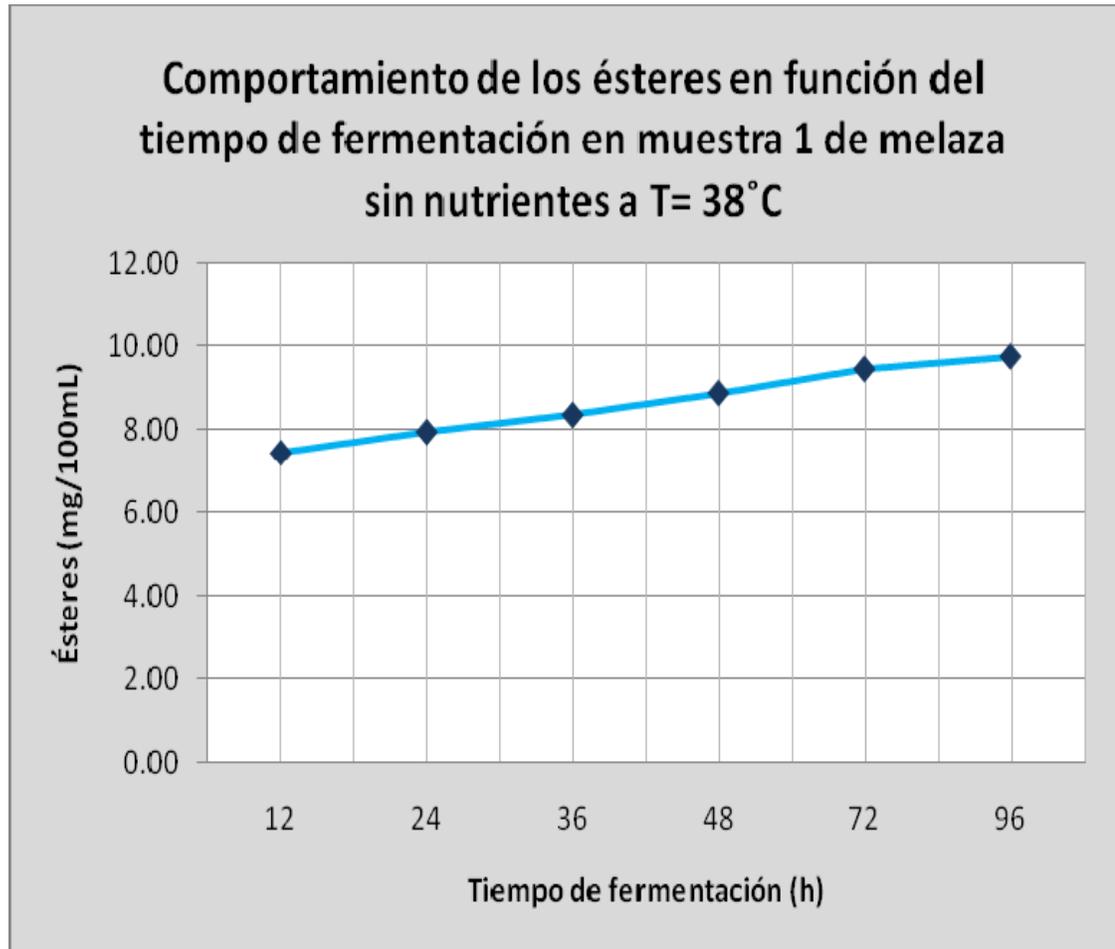
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 38.** Comportamiento de los aldehídos vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza sin nutrientes a T= 38 °C



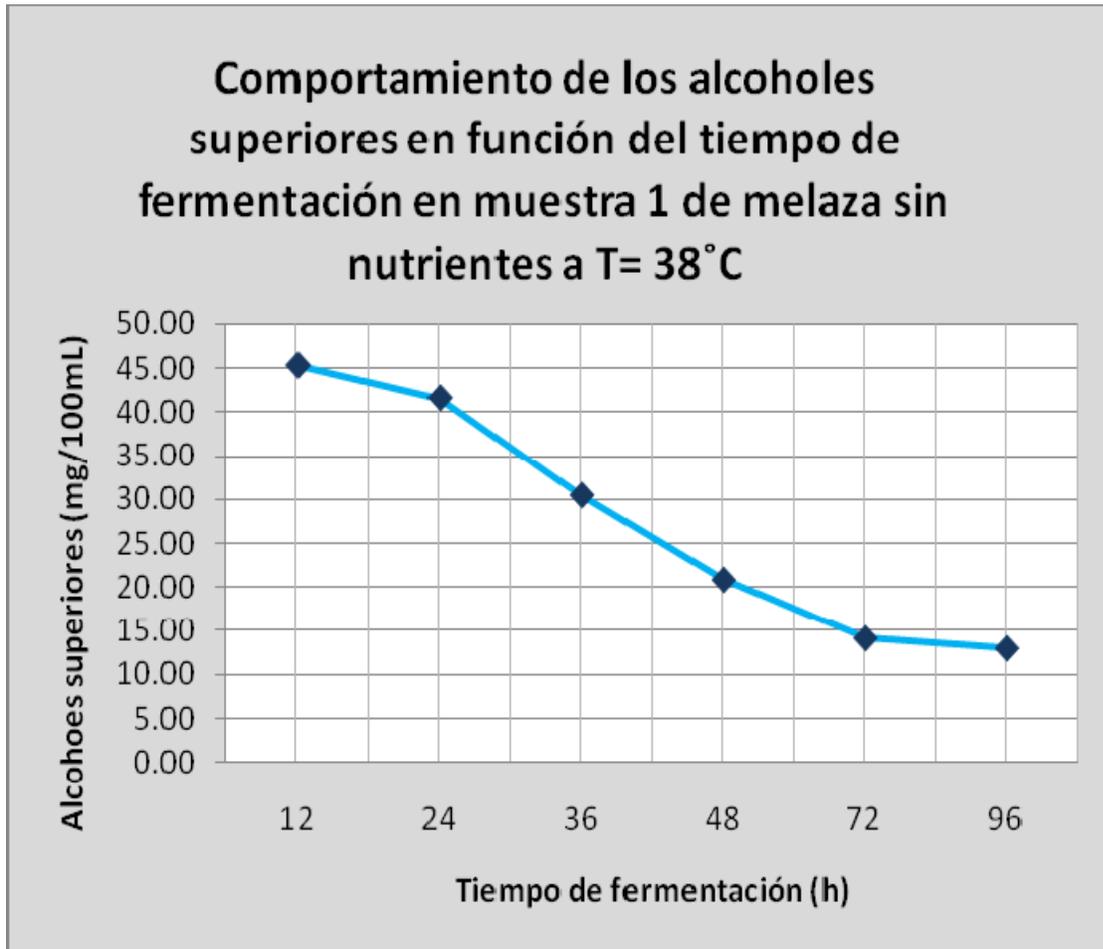
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 39.** Comportamiento de los ésteres vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=38 °C



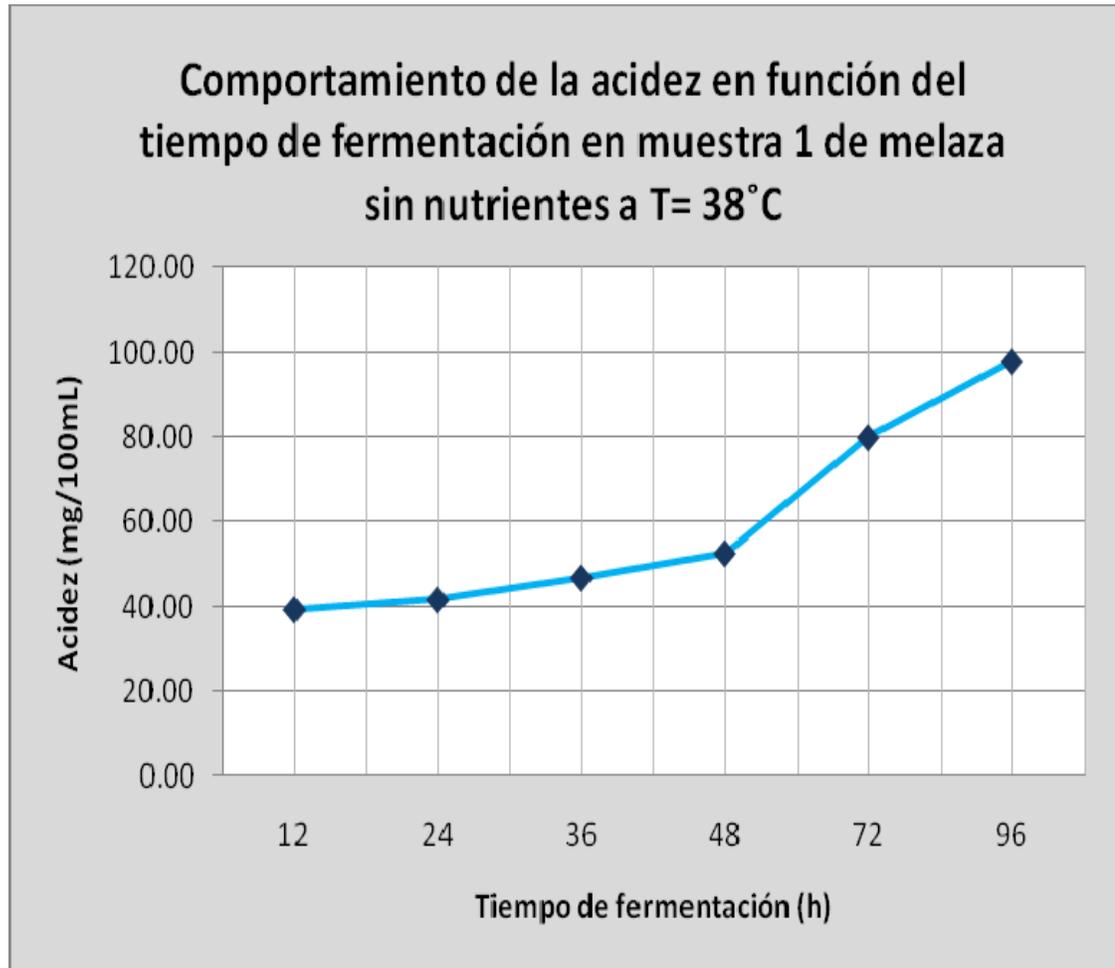
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 40.** Comportamiento de los alcoholes superiores vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=38 °C



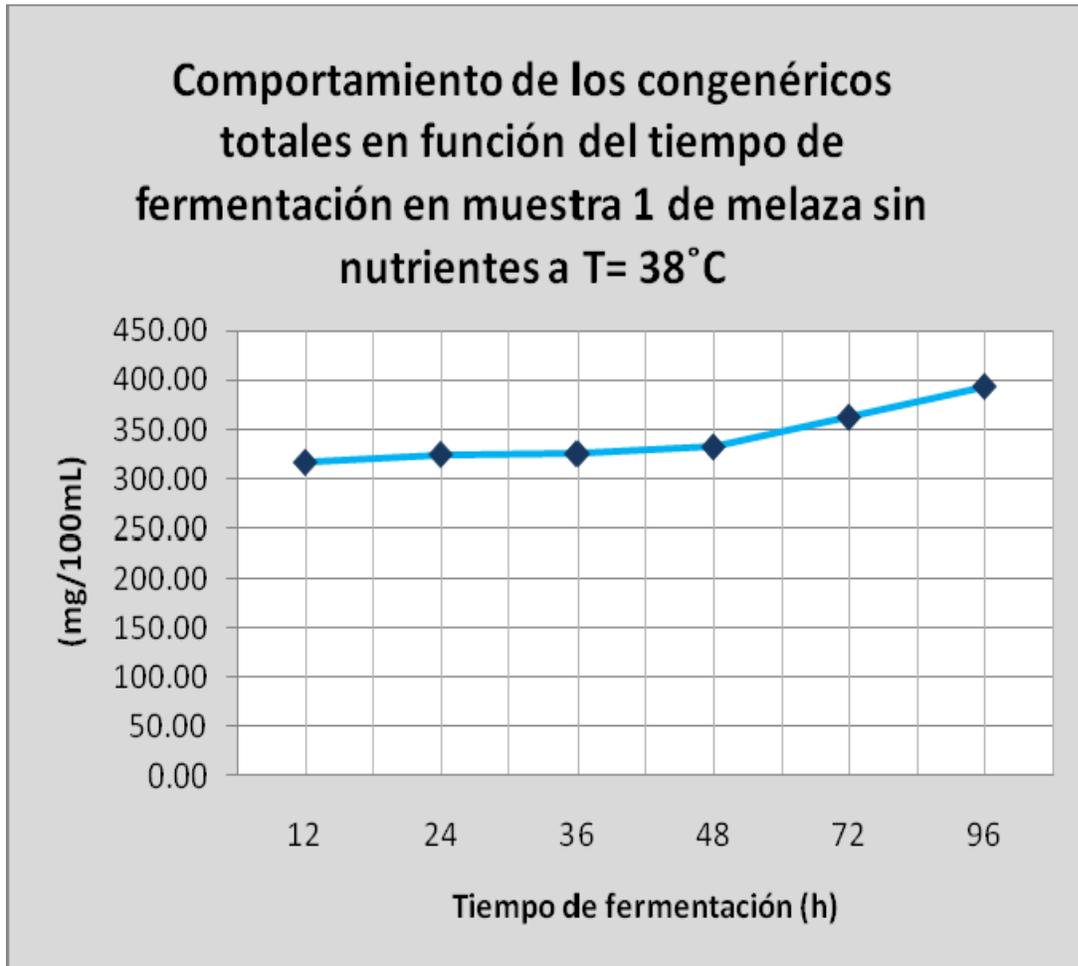
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 41.** Comportamiento de la acidez vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=38 °C



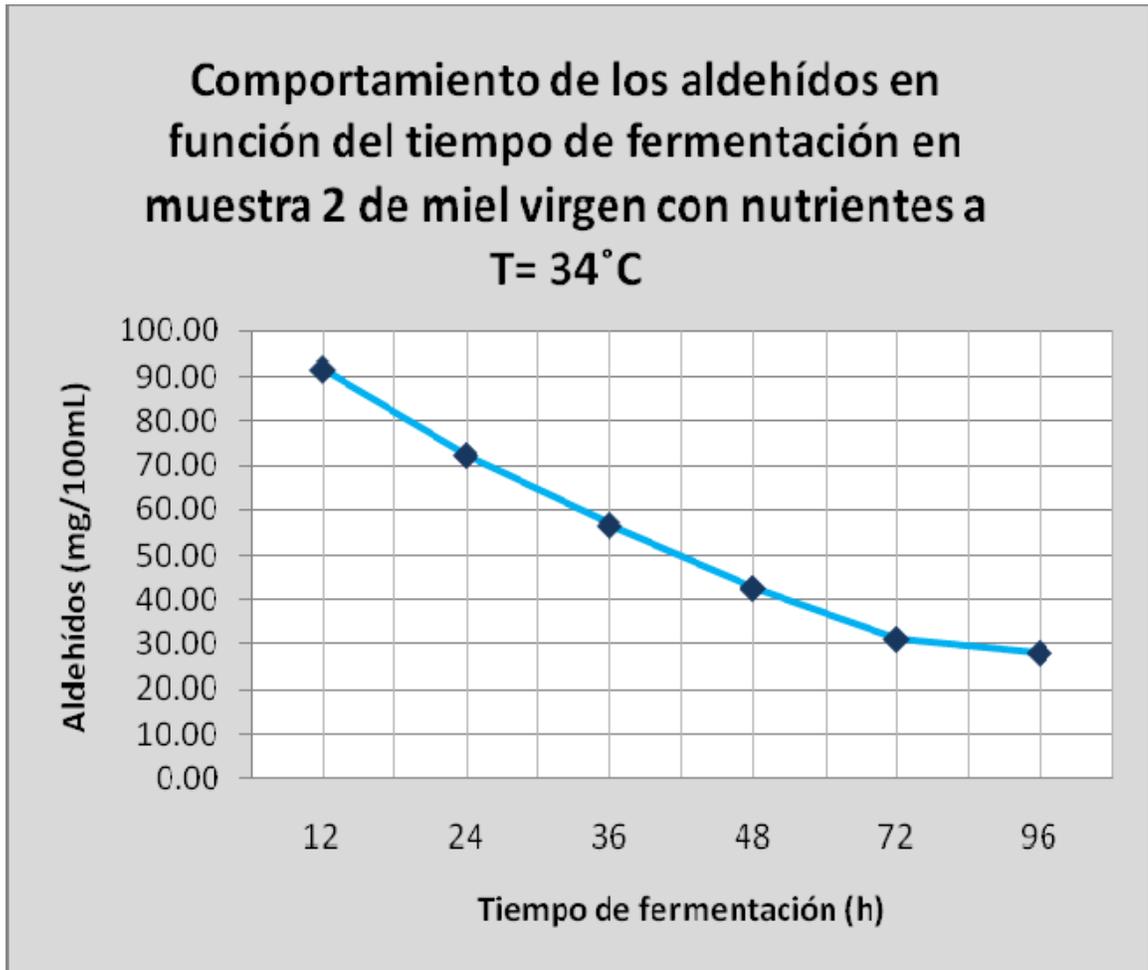
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 42.** Comportamiento de los congénicos totales vs. tiempo de fermentación en muestra 1 de melaza sin nutrientes a T=38 °C



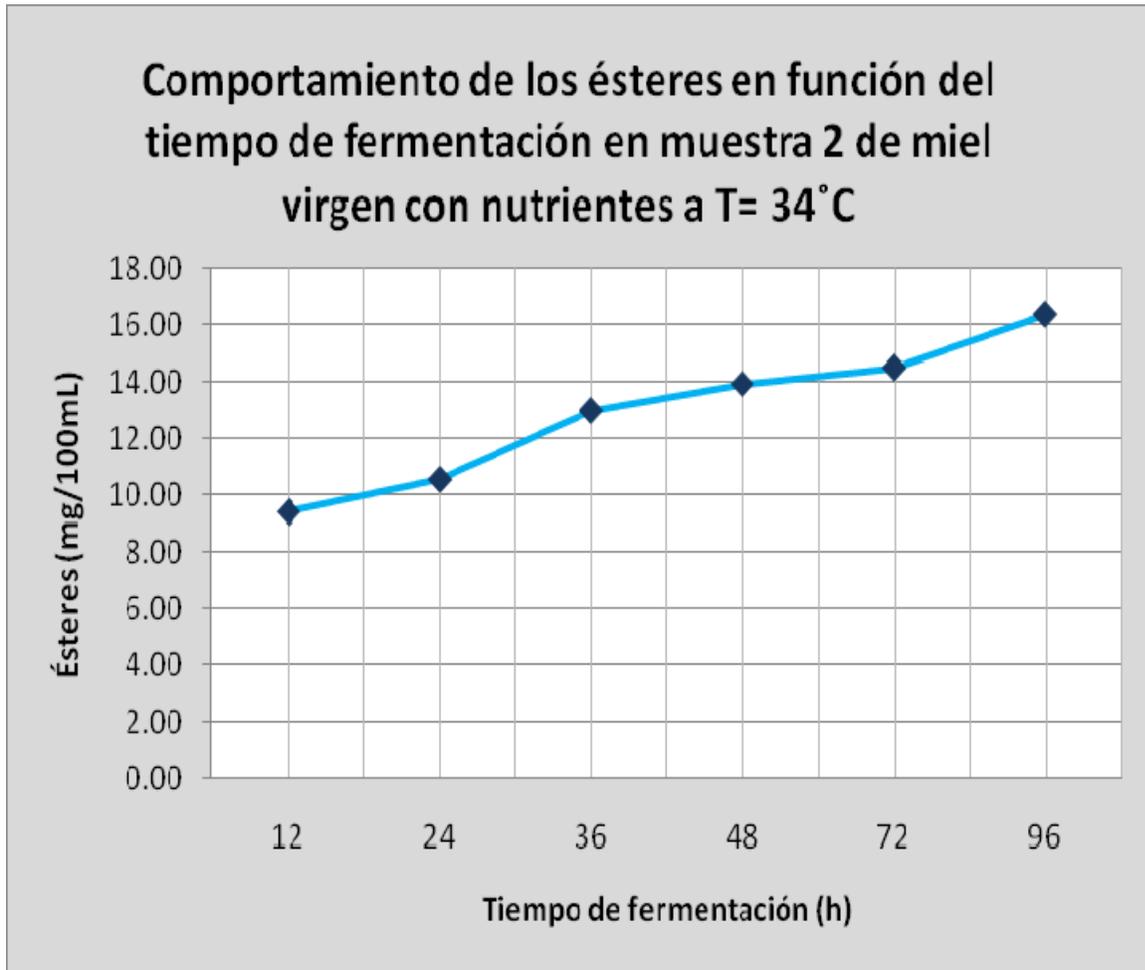
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 43.** Comportamiento de los aldehídos vs. tiempo de fermentación en muestra 2 de miel virgen con nutrientes a T= 34 °C



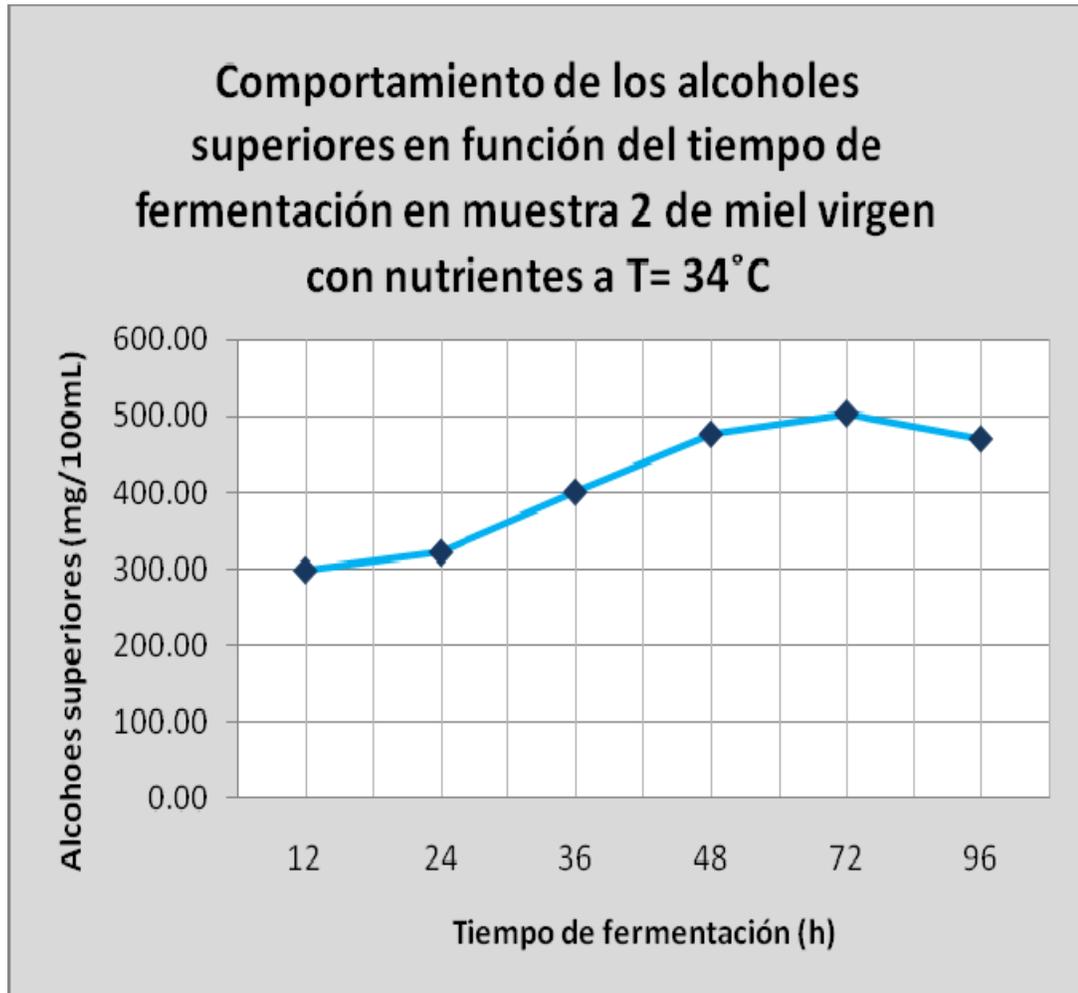
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 44.** Comportamiento de los ésteres vs. tiempo de fermentación en muestra 2 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C



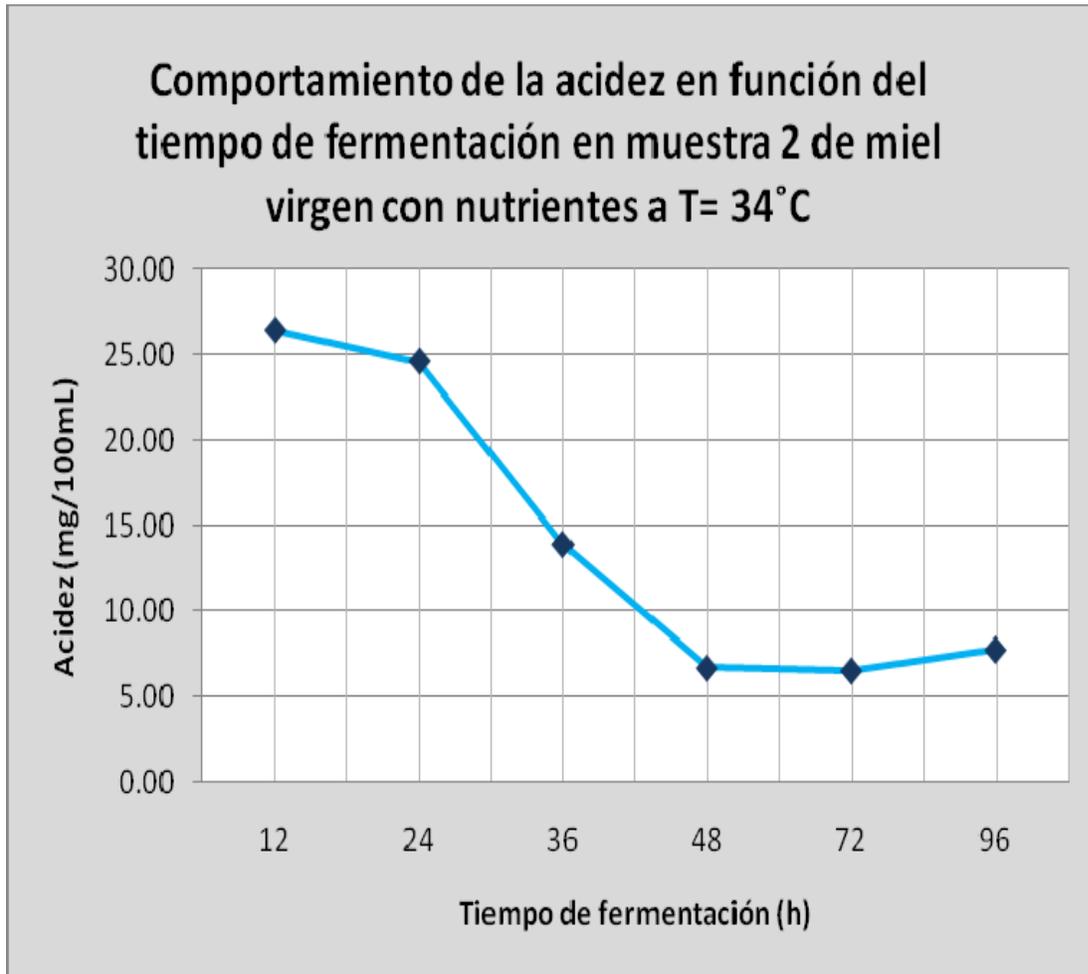
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 45.** Comportamiento de los alcoholes superiores vs. tiempo de fermentación en muestra 2 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C



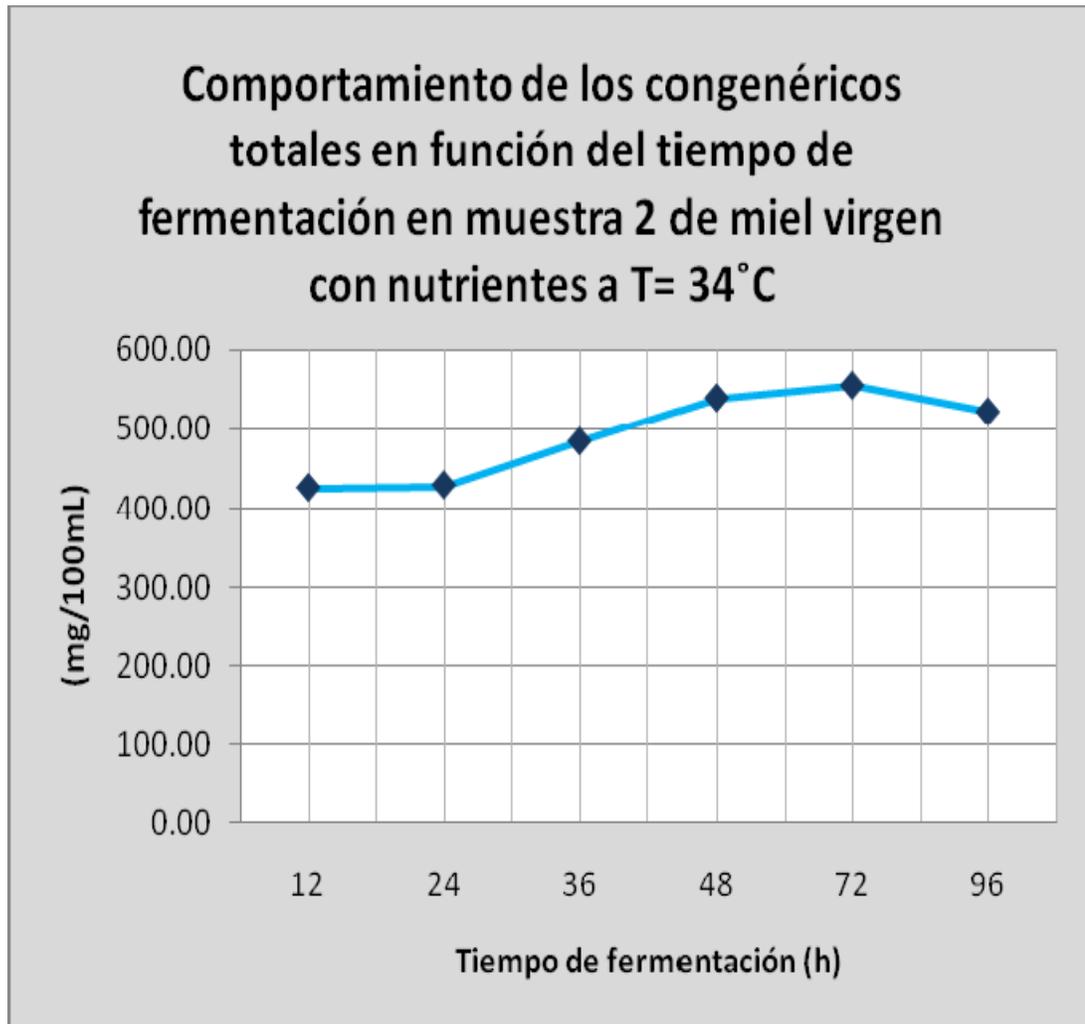
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 46.** Comportamiento de la acidez vs. tiempo de fermentación en muestra 2 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C



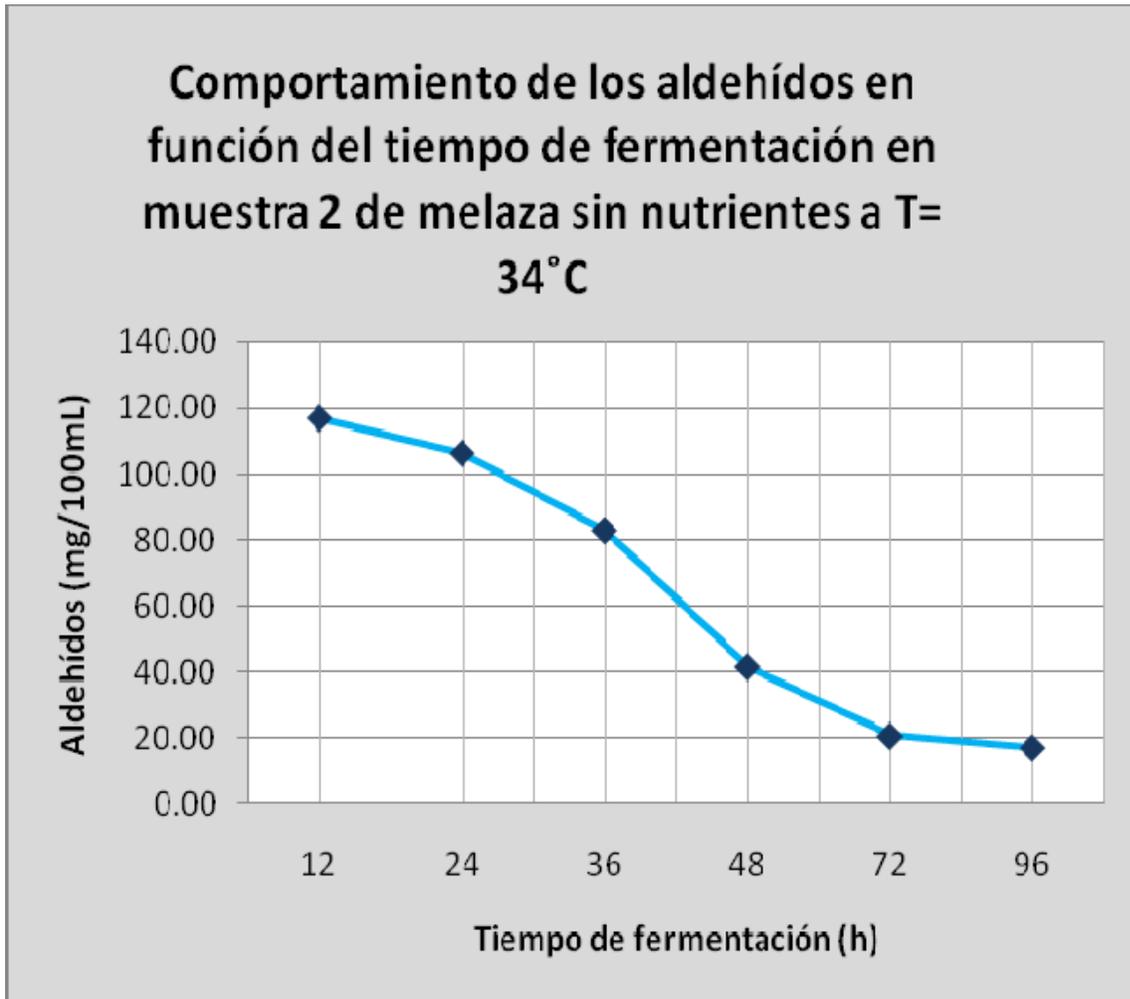
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 47.** Comportamiento de los congénicos totales vs. tiempo de fermentación en muestra 2 de miel virgen con nutrientes a T=34 °C



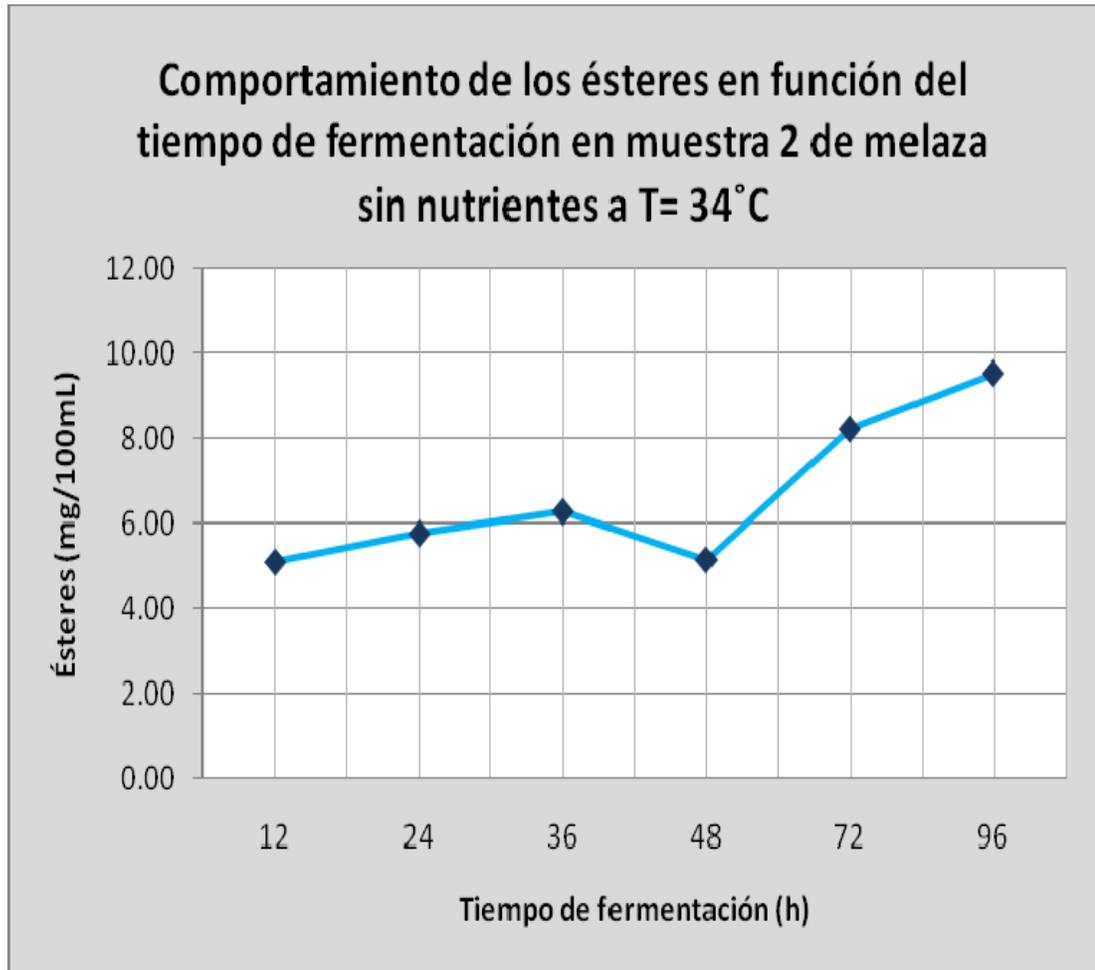
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 48.** Comportamiento de los aldehídos vs. tiempo de fermentación en muestra 2 de melaza sin nutrientes a T= 34 °C



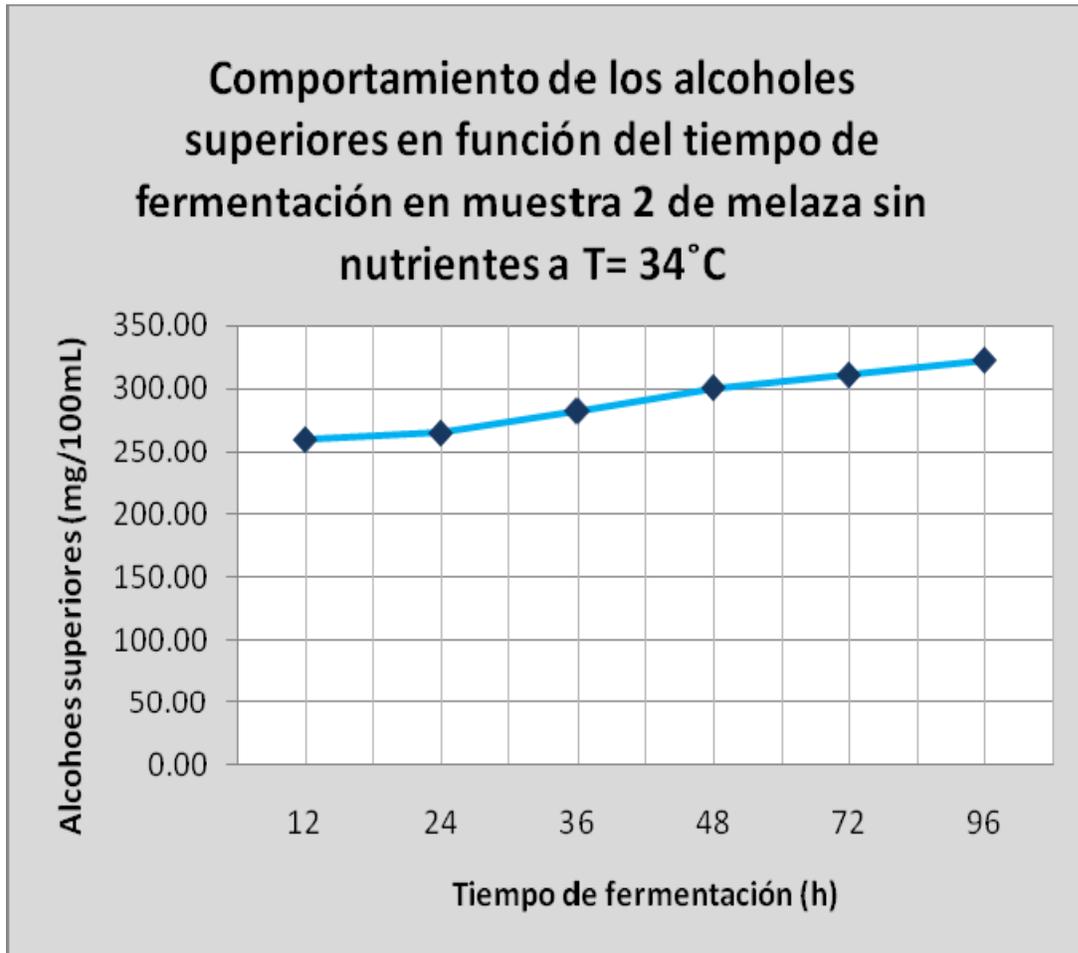
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 49.** Comportamiento de los ésteres vs. tiempo de fermentación en muestra 2 de melaza sin nutrientes a T=34 °C



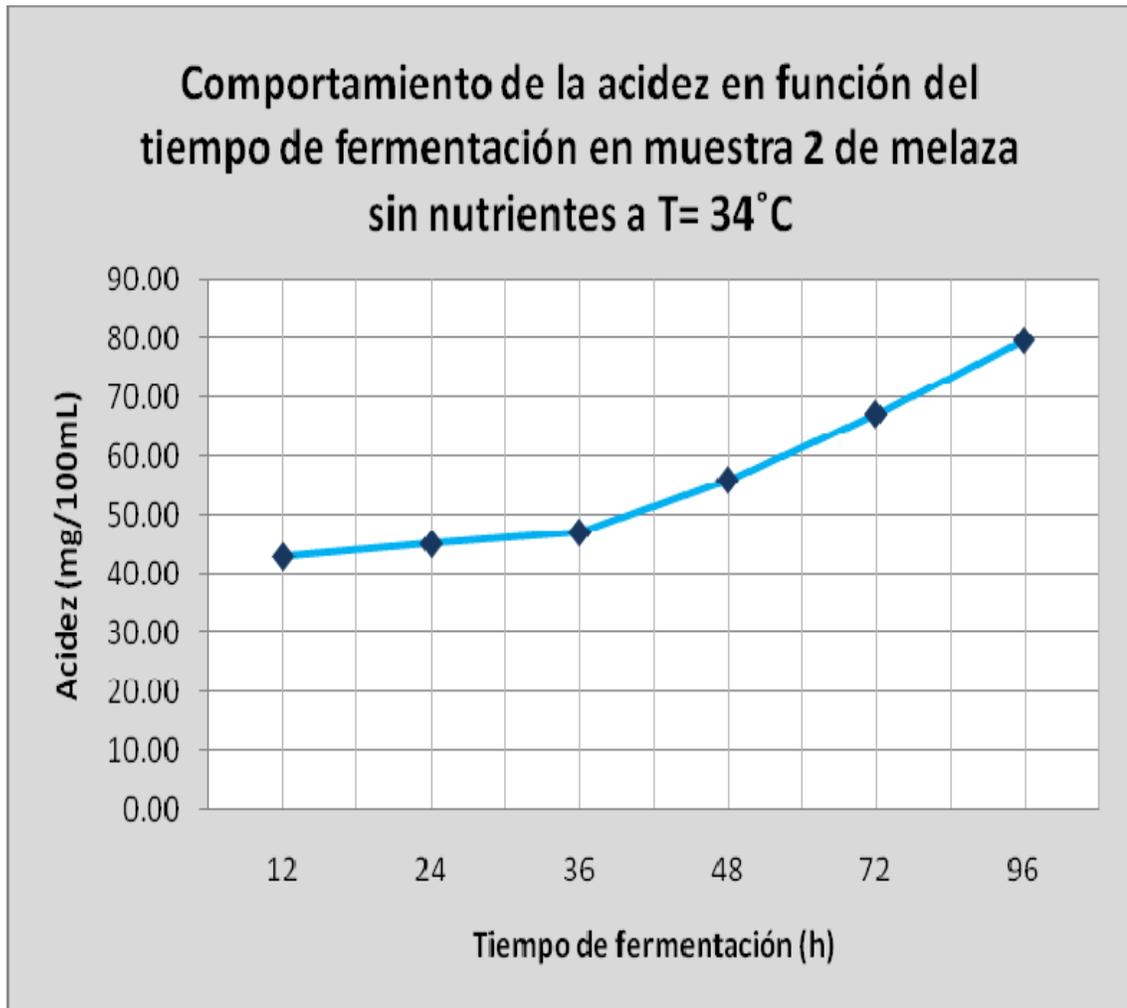
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 50.** Comportamiento de los alcoholes superiores vs. tiempo de fermentación en muestra 2 de melaza sin nutrientes a T=34 °C



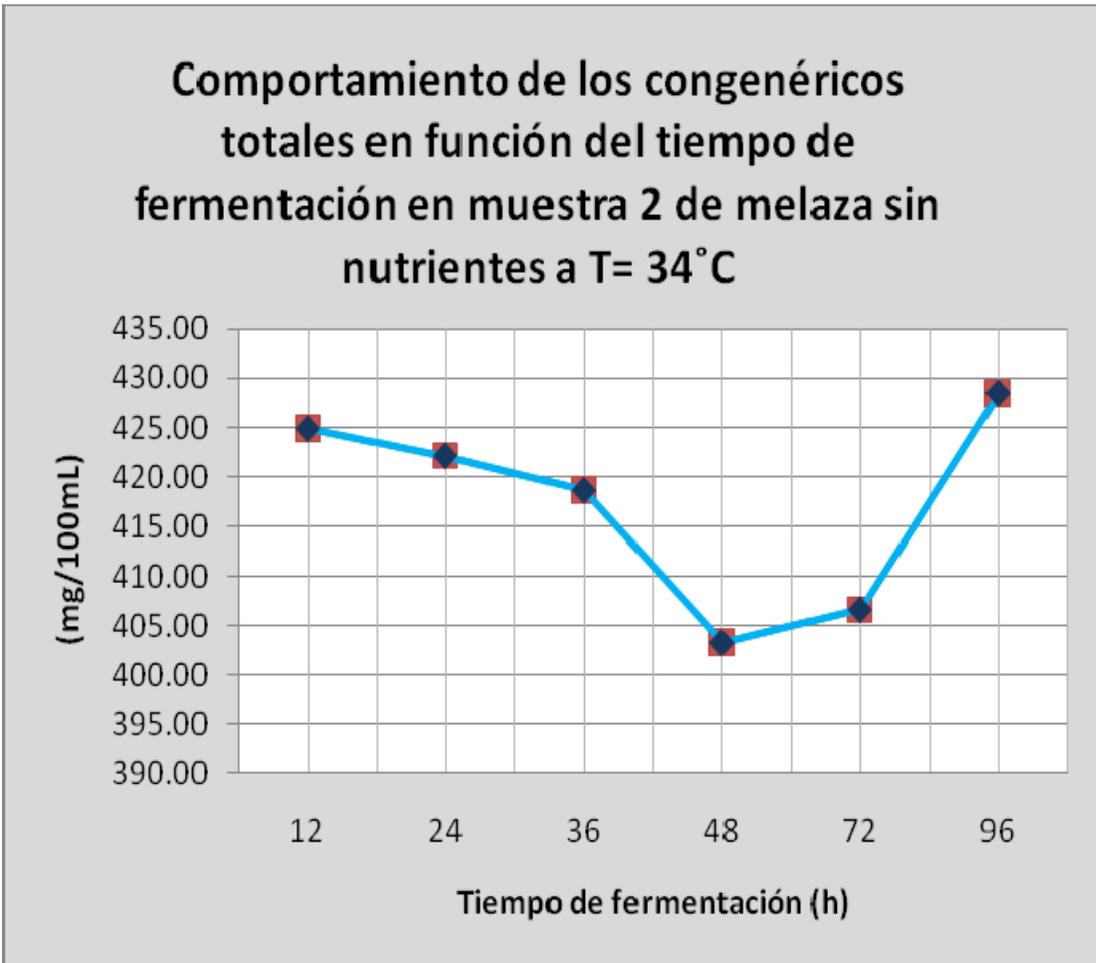
Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 51.** Comportamiento de la acidez vs. tiempo de fermentación en muestra 2 de melaza sin nutrientes a T=34 °C



Fuente: datos obtenidos del experimento

**Figura 52.** Comportamiento de los congénicos totales vs. tiempo de fermentación en muestra 2 de melaza sin nutrientes a T=34 °C



Fuente: datos obtenidos del experimento

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En las figuras 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48, donde se evalúa el comportamiento del grupo de los aldehídos, se puede concluir que a lo largo de la fermentación presentan un carácter descendente, es decir, su concentración disminuye a lo largo del tiempo de fermentación, esto es lo adecuado, ya que presenta el mismo comportamiento observado a nivel industrial; éstos se encuentran en un rango de 10-15 mg/100mL en la muestra destilada luego de un tiempo de fermentación de 96 h.

Lo contrario sucede con los otros grupos presentes en el ron pesado (ésteres, alcoholes superiores y acidez), ya que éstos presentan un aumento de la concentración a lo largo del tiempo de fermentación, los ésteres presentan una concentración en la solución destilada de 6 a 14 mg/100mL, los alcoholes superiores se presentan en un rango que va de 300 a 500 mg/100mL y la acidez se presenta en un rango de 40 a 250 mg/100mL en la solución fermentada.

Los compuestos congenéricos totales van en el rango de 400 a 600 mg/100mL, los cuales se encuentran entre los valores aceptados por el cliente, según comentarios realizados por personas que laboran en esa empresa.

Estos resultados fueron medidos a través de un cromatógrafo de gases, el cual toma lectura de todos los compuestos presentes en la solución ya destilada, se obtuvieron tres corridas por cada ensayo, para luego obtener un promedio y así concluir acerca de él.

Se obtuvieron resultados mayores para el total de los compuestos congenéricos utilizando una temperatura de 38 °C, esto se debe principalmente

a que existe mayor actividad de la levadura y permite obtener un mayor cambio en la concentración de congenéricos en las primeras fases de la fermentación.

Para las muestras de miel virgen se concluyó que era necesario la presencia de nutrientes, ya que éstos aceleraron el grado de alcohol y el porcentaje de congenéricos presentes en la muestra, con la melaza se obtuvo resultados opuestos, esto se debe principalmente a la composición inicial de la materia prima.

Para las pruebas sensoriales se realizó un panel en el que participó personal capacitado, el cual comparaba las muestras destiladas de los ensayos realizados con patrones o estándares, dándole un valor de 10 al estándar y un valor a la muestra que se estaba analizando, el cual se encontraba en el rango de 1 a 10 dependiendo que tanto se parecía con el patrón, esto se hacía en base al color, sabor y olor. El panel era conformado por seis personas, incluyendo al gerente de la planta, quienes cuentan con años de experiencia en el tema. Luego de obtener los resultados de los seis análisis, se obtuvo un promedio para poder concluir.

Para las muestras de miel virgen se obtuvo resultados más cercanos a los del patrón establecido, mientras que para la melaza se obtenían resultados más variados, esto se debe principalmente a la contaminación que presenta la melaza y a las características físicas de ésta. Las características físicas de la solución destilada de miel virgen obtenida son más agradables que las de melaza.

La variación de los resultados se dio principalmente por la variación de la temperatura y la contaminación de las muestras, ya que no se contaba con sistemas cerrados durante las 96 horas de fermentación.

## CONCLUSIONES

1. El único grupo que presenta comportamiento descendente a lo largo del tiempo de fermentación son los aldehídos, es decir, la concentración de éstos disminuye a lo largo de la fermentación.
2. Los grupos que presentan comportamiento ascendente a lo largo de la fermentación son: ésteres, alcoholes superiores, acidez y por consiguiente los congenéricos totales.
3. Los grupos de compuestos que tienen mayor influencia para evaluar el comportamiento de los compuestos congenéricos son los alcoholes superiores y los aldehídos.
4. La concentración de aldehídos y ésteres obtenidas en las muestras fermentadas de miel virgen son mayores que los obtenidos para las muestras de melaza.
5. Las muestras fermentadas de melaza sin nutrientes presentaron mayores concentraciones de compuestos congenéricos totales que las muestras de melaza con nutrientes, por lo que se concluye que cuando se utilice como materia prima melaza no es necesario adicionarle nutrientes a la muestra que se va a fermentar.
6. Para las muestras fermentadas a temperatura de 38 °C se obtuvieron mayores concentraciones de compuestos congenéricos que a temperatura de 34 °C.

7. Los resultados de las pruebas sensoriales para las muestras de miel virgen son satisfactorios, ya que se acercan a los valores establecidos por la empresa, lo cual no sucede con las muestras de melaza, esto se debe a que las muestras de melaza presenta mayor contaminación, que afecta principalmente su aroma.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar las pruebas a nivel industrial necesarias para evaluar el comportamiento de los compuestos congenéricos y compararlos con los resultados obtenidos en este trabajo.
2. Llevar a cabo los mismos ensayos utilizando como temperaturas de fermentación 32 °C y 40 °C para comprobar si el comportamiento de los compuestos congenéricos es igual al de las temperaturas estudiadas en este trabajo.
3. Evaluar el efecto que tiene la contaminación microbiana (cocos, bastones, bacilos), en la formación de compuestos congenéricos y su comportamiento a lo largo de la fermentación.
4. Analizar el comportamiento de los compuestos congenéricos cada seis horas para obtener datos que permitan realizar las curvas de su comportamiento con mayor confiabilidad.
5. Evaluar el comportamiento de cada aldehído y alcohol presente en la solución para concluir si cada miembro del grupo presenta el mismo comportamiento que el grupo al que corresponde.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AOAC International. **Official methods of analysis**. 16<sup>a</sup> ed. Volumen II. Chapter 28.44.
2. Chang, Raymond. **Química**. 6<sup>a</sup> ed. México: Mc Graw Hill. 1999 Pág. 956 - 961.
3. Espinosa Smith, Rodolfo. **The alcoholic fermentation of molasses**. Tesis Doctoral, Century University. California 1984. P. 5-83.
4. Honig, Pieter. **Principios de tecnología azucarera**. Tomo II. México: Continental. 1969 p. 264.
5. Hugot, E. **Handbook of cane sugar engineering**. 1986. Elsevier Science Publishers B.V. Chapter 38. 1986. p. 836-837.
6. Jacques, K. **The Alcohol Textbook**. 3<sup>a</sup> ed. Jacques Lyons Kelsall. 1999. 49.96 p.
7. Perry, Robert H. **Manual del Ingeniero Químico**. 6<sup>a</sup> ed. México: Mc Graw Hill. 1999. Capítulo 4, 13, 16, 17, 27. Tomo 2
8. Rosseau, Felder. **Principios elementales de los procesos químicos**. 3<sup>a</sup>. Ed. LIMUSA WILEY. 1992. Pág. 71, 237, 238, 278, 482.
9. Shuichi, A. **Biochemical Engineering**. 2<sup>a</sup>. ed. University of Tokyo, 1973. Chapter 1-3.
10. Quintero Ramírez, Rodolfo. **Ingeniería bioquímica**. México: Alhambra Mexicana. 1981. Pág. 17-53.

## **APÉNDICE**

## APÉNDICE 1. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Tabla XI. Pruebas de laboratorio a muestras de inicio y final de fermentación

Fecha de carga:		Fecha de descarga:
No.	Datos del ensayo	T= 34 °C o T= 38 °C
1.-	Materia prima (miel virgen o melaza)	
2.-	Volumen del ensayo (Litros)	
<b>Análisis de materia prima</b>		
3.-	Brix (°Brix)	
4.-	Azúcar total (mg/L)	
<b>Análisis de Carga</b>		
5.-	Hora carga	
6.-	Brix (°Brix)	
7.-	Azúcar total (mg/L)	
8.-	pH (unidades de pH)	
9.-	Acidez total (mg/100 mL)	
<b>Conteo de levadura al inicio y al final de la fermentación.</b>		
10.-	Volumen agregado (mL/L)	
11.-	Vivas UFC/mL	
12.-	Muertas UFC/mL	
13.-	Cocos UFC/mL	
14.-	Bacilos UFC/mL	
15.-	Recuento UFC/mL	
16.-	Viabilidad (%)	
<b>Nutrientes</b>		
17.-	Fosfato diamónico (gr/L)	
18.-	Sulfato de magnesio (gr/L)	
<b>Análisis de descarga</b>		
19.-	Hora descarga	
20.-	Temperatura (°C)	
21.-	Acidez Total (mg/100 mL)	
22.-	Brix (°Brix)	
23.-	Azúcar residual (%)	

**Continuación de tabla XI.**

24.-	Azúcar total (mg/L)	
25.-	pH (unidades de pH)	
26.-	% de alcohol de la muestra (% v/v)	
27.-	Producción total de alcohol (mL/L)	

**Fuente: Pruebas de laboratorio.**

**Tabla XII. Resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 con nutrientes a T= 34 °C**

		Temperatura																	
		T=34°C																	
		Con Nutrientes																	
Materia Prima	Repeticiones	1,00				2,00				3,00				Promedio					
	Tiempo (h)	12,00	24,00	36,00	48,00	72,00	96,00	12,00	24,00	36,00	48,00	72,00	96,00	12,00	24,00	36,00	48,00	72,00	96,00
Miel Virgen 1	Prueba sensorial																		
Melaza 1	Prueba sensorial																		

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**Tabla XIII. Resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 sin nutrientes a T= 34 °C**

Temperatura																			
T=34°C																			
Sin Nutrientes																			
Repeticiones		1.00			2.00			3.00			Promedio								
Materia Prima	Tiempo (h)	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00
Miel Virgen 1	Prueba sensorial																		
Melaza 1	Prueba sensorial																		

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**Tabla XIV. Resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 con nutrientes y melaza 1 sin nutrientes a T= 38 °C**

Temperatura																			
T=38°C																			
Repeticiones		1,00			2,00			3,00			Promedio								
Materia Prima	Tiempo (h)	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00
Miel Virgen 1 con nutrientes sensorial	prueba sensorial																		
Melaza 1 Sin Nutrientes	prueba sensorial																		

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**Tabla XV. Resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 2 con nutrientes y melaza 2 sin nutrientes a T= 34 °C**

Temperatura																			
T=34°C																			
Repeticiones		1.00			2.00			3.00			Promedio								
Materia Prima	Tiempo (h)	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00
Miel Virgen 2	Prueba sensorial																		
Melaza 2	Prueba sensorial																		

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**Tabla XVI. Resultados de los ensayos de miel virgen 1 y melaza 1 con nutrientes a T= 34 °C**

Temperatura																								
T=34°C																								
Con Nutrientes																								
Repeticiones	1.00						2.00						3.00						Promedio					
	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00
Aldehídos (mg/100ml)																								
Ésteres (mg/100ml)																								
Alcoholes superiores (mg/100ml)																								
Acidez (mg/100ml)																								
Congenericos totales (mg/100ml)																								
Aldehídos (mg/100ml)																								
Ésteres (mg/100ml)																								
Alcoholes superiores (mg/100ml)																								
Acidez (mg/100ml)																								
Congenericos totales (mg/100ml)																								

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.



**Tabla XVIII. Resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 1 con nutrientes y melaza 1 sin nutrientes a T= 38 °C**

		Temperatura																							
		T=38 °C																							
		1,00						2,00						3,00						Promedio					
Materia Prima	Repeticiones	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00
	Tiempo (h)																								
Miel Virgen 1 con nutrientes	Aldehidos (mg/100ml)																								
	Ésteres (mg/100ml)																								
	Alcoholes superiores (mg/100ml)																								
	Acidez (mg/100ml)																								
Melaza 1 Sin Nutrientes	Congénicos totales (mg/100ml)																								
	Aldehidos (mg/100ml)																								
	Ésteres (mg/100ml)																								
	Alcoholes superiores (mg/100ml)																								
	Acidez (mg/100ml)																								
	Congénicos totales (mg/100ml)																								

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**Tabla XIX. Resultados de pruebas sensoriales para los ensayos de miel virgen 2 con nutrientes y melaza 2 sin nutrientes a T= 34 °C**

		Temperatura																									
		T=34°C																									
		1.00						2.00						3.00						Promedio							
Materia Prima	Repeticiones	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00	12.00	24.00	36.00	48.00	72.00	96.00		
	Tiempo (h)																										
	Aldehídos (mg/100mL)																										
	Ésteres (mg/100mL)																										
	Alcoholes superiores (mg/100mL)																										
	Acidez (mg/100mL)																										
	Congénéricos totales (mg/100mL)																										
	Aldehídos (mg/100mL)																										
	Ésteres (mg/100mL)																										
	Alcoholes superiores (mg/100mL)																										
	Acidez (mg/100mL)																										
	Congénéricos totales (mg/100mL)																										

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

## APÉNDICE 2

**Tabla XX. Control de temperatura para los ensayos de miel virgen y melaza a las diferentes temperaturas y con presencia o ausencia de nutrientes.**

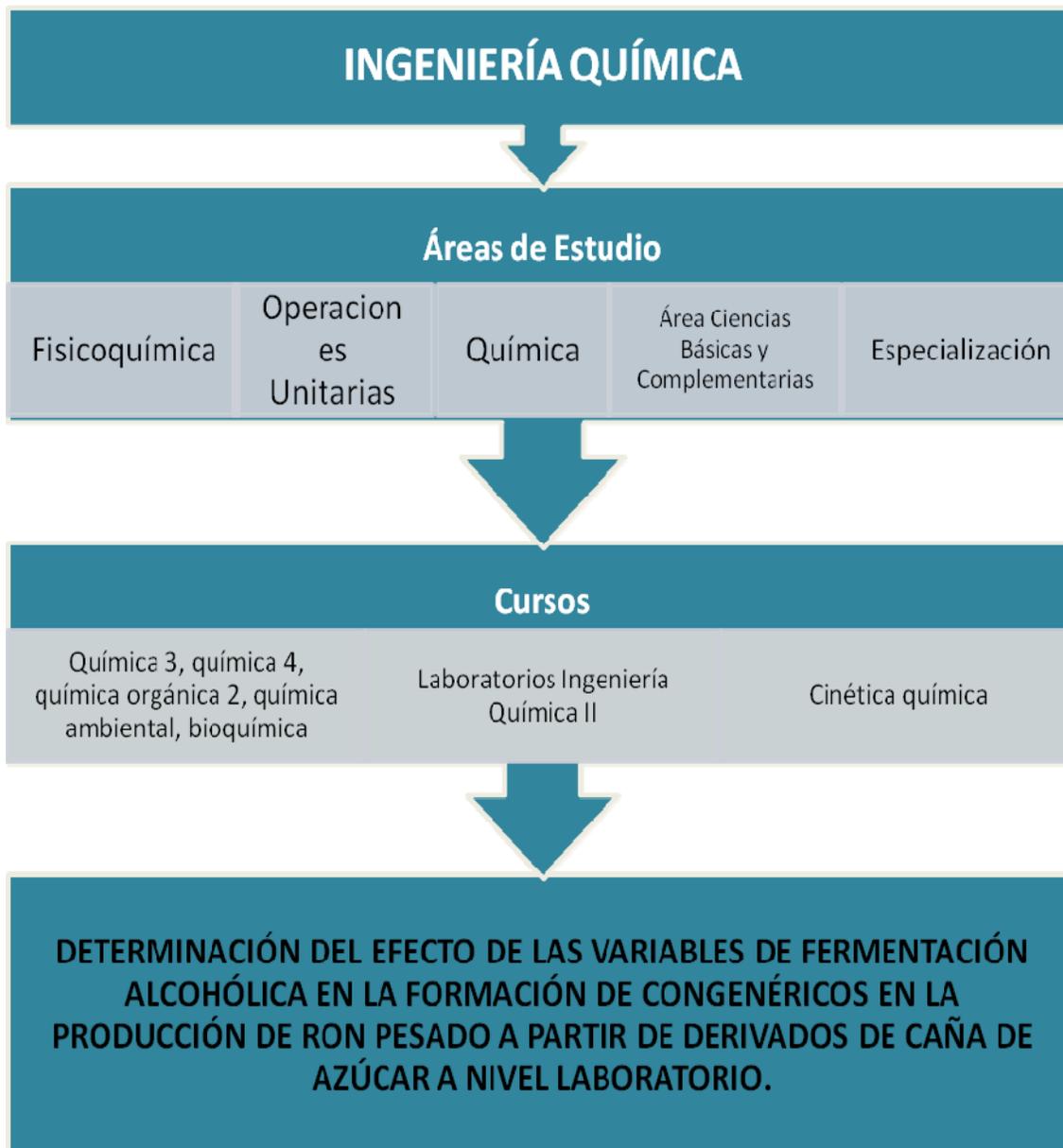
Tiempo (h)/No. De ensayo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	34	34	34	34	33	34	34	34	34	34	34	34
4	34	34	33	33.8	31	34	34	33.2	34	34	33.9	34
6	34	34	31	33.9	34	34	33.8	33.6	34	34	33.8	34
8	34	34	34	34	34	34	34	33.9	33.8	34	34	33.9
10	33.5	34	34	33.9	34	33.4	34	34	33.7	34	34	34
12	33	33	34	34.2	33	33	34	34	34	34.5	34	34
14	31	33.6	34.3	34	31	31	34	33.8	34	35	34	33.8
16	34	33.7	33.8	34	34	34	34	33	34	34.3	34	33
18	34	33	34	33.8	34	34	33.5	31	34.3	34	33.5	31
20	34	34	34	33	34	34	33.8	34	33.8	33.6	34	35
22	34.3	34	33.5	31	34.3	33.8	34	34.5	33.9	33.9	34	34.3
24	33.8	35	33.8	34	33.8	33.8	34	35	34	33.6	33.5	34
26	33.7	34.5	34	34	33.8	33.9	34	34.3	33.9	32.4	33.8	33.6
28	34	33	34	34	34	34	33	34	34.2	32.7	34	33.9
30	34	33.8	34	34.3	34	34	31	33.6	34	32.9	34	33.6
32	34	33.6	33.8	33.8	33.5	34	34	33.9	34	33	34	34
34	34	34.3	33.7	33.9	33.8	34	34	33.6	34.3	31	34.5	34
36	32.5	33.2	34	33.7	34	33	34	33	33.8	34	35	34
38	32.9	34	34	33.2	34	32.9	34.3	31	33.9	34	34.3	34
40	33.9	33.7	33.8	33.6	34	33.7	33.8	34	33.7	34	34	34
42	34	34	34	33.9	33.8	34	34.5	34	33.2	34.3	33.6	33
44	34	34	34	34	33.7	34	35	34	33.6	33.8	33.9	33.8
46	34	34	34	34	34	33	34.3	34.3	34	34	33.6	33.5
48	33.5	34.2	34	33.6	34	33	34	33.8	34	34	33.6	34
50	33.8	34.4	34	34.3	33.8	34	33.6	34	33.9	34	34.3	34
52	34	33.9	32.5	33.2	33.2	34	33.9	34	33.7	32.5	33.2	33
54	34	33.7	32.9	34	33.6	34	33.6	34	33.2	32.9	34	34
56	34	33.2	33.9	33.7	33.9	33	34	33.8	33.6	33.9	33.7	34.7
58	33.8	33.6	34	34	34	33.8	34.3	34	33	34	34	34.2
60	33.7	34	34	33.8	34	33.5	34.2	34	31	34	34	34
62	34	34	33.8	33.6	33.6	34	34	33.6	34	34	34	34
64	34	33.8	34	33.9	34	34	34	34.3	34	34	33.9	33
66	34	33.6	34	33.7	34.5	33	32.5	33.2	34	34	33.7	34
68	33.9	34.1	34	33.2	35	34	32.9	34	34.3	34	33.2	31
70	34.7	34	33.8	33.6	34.3	34.7	33.9	33.7	33.8	33.8	33.6	34
72	34.2	34	33.8	34	34	34.2	34	34	34	34	33.8	34
74	34	34.2	34	34	33.6	34	33.7	34	34	34	33.6	34
76	34	34.4	34	34	33.9	34	34	34	33.9	33.9	34.1	34.3
78	34	34.8	33.9	34	33.6	33	34	33.8	33.7	34.7	34	33.8
80	34	34.5	33.7	33.6	34	34	34	33.8	33.8	34.2	34	34.3
82	34.2	35	33.8	34.3	34	34.2	33.9	34	34.2	34	34	34.4
84	34.6	34.3	34.2	33.2	34	34.6	34.7	34	34.1	34	34	34.4
86	34.7	34.7	34.1	34	34.3	34	34.2	33.9	34.5	33.7	33.8	34
88	34	34.8	34.5	33.7	33.8	34	34	34	35	34	34	34
90	34	34	35	34	34	34	34	33.8	34.3	33.6	34	34
92	34	34	34.3	33.6	34	34	34	33.6	33	33.8	34	33.9
94	34	34	34	34.3	34	34	33.9	34.1	34	33.6	34	33.7
96	34	34	33.6	33.2	34	34	34.7	34	34	34.1	34	33.2
98	34	34.5	33.9	34	34.3	33.6	34.2	34	34	34	33.8	33.6
100	34	33.2	33.6	33.7	33.8	34	34.1	33.7	33.9	34	34	34
<b>Media</b>	33.87	33.99	33.84	33.76	33.80	33.76	33.91	33.78	33.86	33.79	33.91	33.80
<b>Desviación estándar</b>	0.55	0.47	0.55	0.50	0.66	0.58	0.58	0.66	0.53	0.63	0.29	0.70

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica



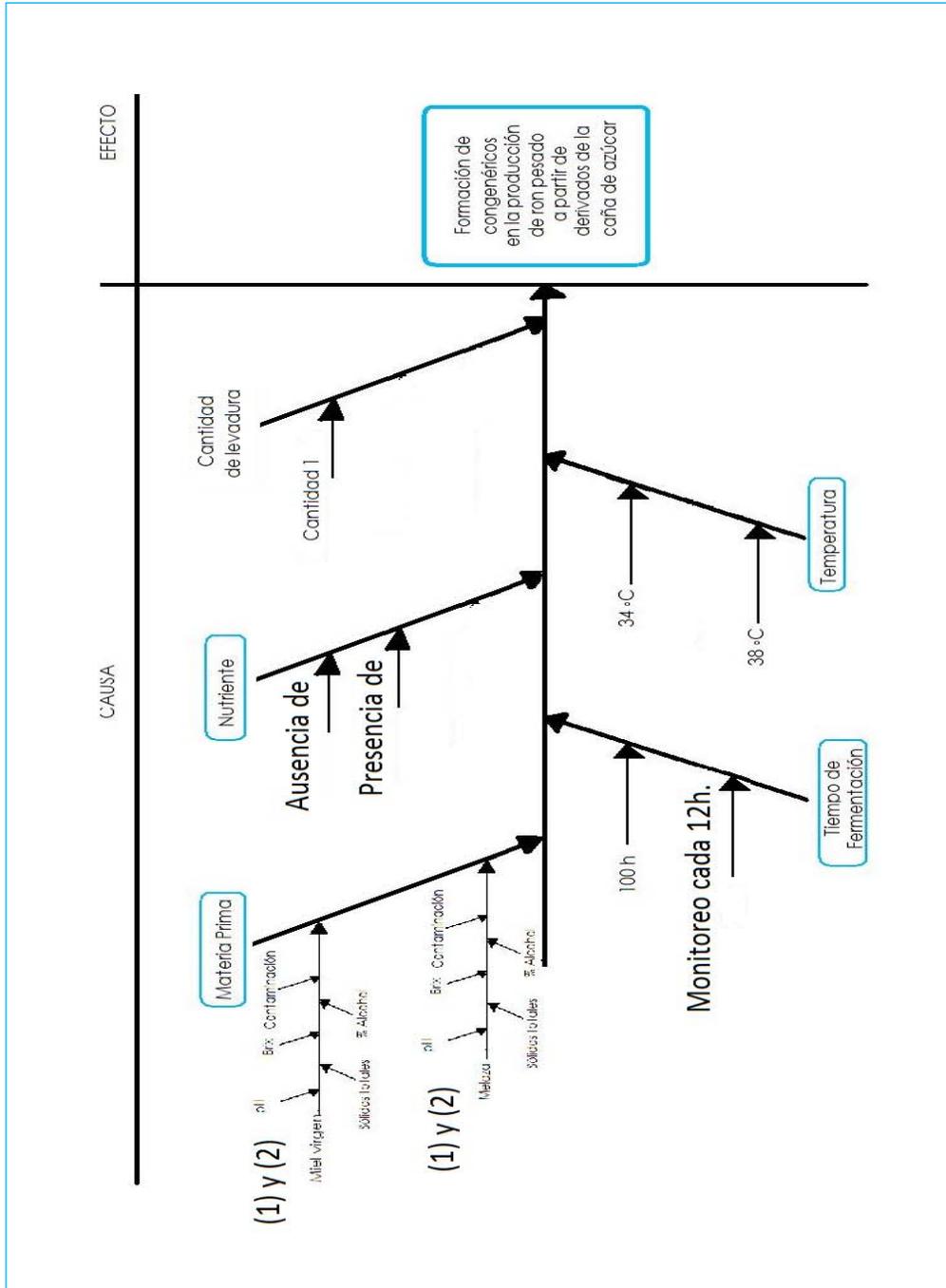
## **ANEXO**

## ANEXO 1: Requisitos académicos



Fuente: pensum de la carrera de Ingeniería Química.

**ANEXO 2: Diagrama de Ishikawa y/o árbol de problemas**



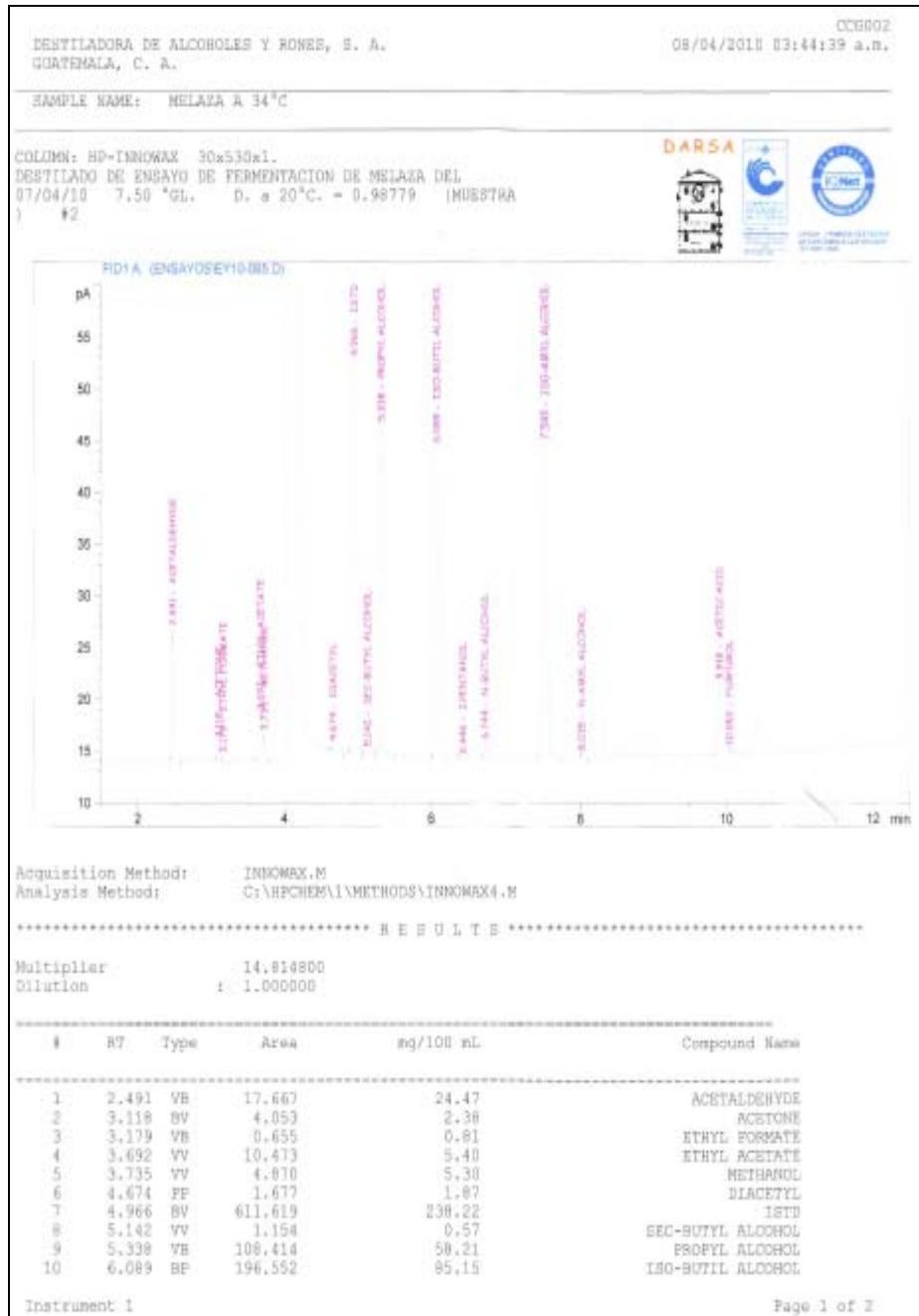
**ANEXO 3:** Composición de la melaza de caña de azúcar aproximada

**Tabla XXI.** “Composición de la melaza de caña de azúcar aproximada

Components		Contenido
Agua		17-25%
Azúcar	Sacarosa	30-40%
	Glucosa (dextrosa)	4-9%
	Fructuosa (levulosa)	5-12%
Sustancias reductoras		1-4%
Carbohidratos	Gomas, xilosa, arabinosa, etc.	2-5%
Cenizas	K <sub>2</sub> O, CaO, MgO Na <sub>2</sub> O, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SO <sub>3</sub> , Cl, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , SiO <sub>2</sub> e insolubles.	7-15%
Ácidos no nitrogenados	Cítrico, málico, succínico y otros.	2-8%
Compuestos nitrogenados	Alanina, aminobutírico, ácido aspártico, ácido glutámico, glicina, leucina, lisina, serina, etc.	0.3-0.5%
Vitaminas	ácido fólico, ácido pantótenico, riboflavina (B2), piridoxina (B6), tiamina (B1).	
Pigmentos	Clorofila, taninos.	

**Fuente:** Rodolfo Espinosa Smith. *The Alcoholic Fermentation of Molasses*, p. 11

## ANEXO 4. Cromatograma obtenido para cada ensayo, parte 1



Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

**ANEXO 5. Cromatograma obtenido para cada ensayo, parte 2**

DESTILADORA DE ALCOHOLES Y ROMES, S. A. GUATEMALA, C. A.		CCG002 08/04/2010 03:44:39 a.m.			
SAMPLE NAME: MELAZA A 34°C					
#	RT	Type	Area	ng/100 mL	Compound Name
11	0.000		0.000	0.00	3-PENTANOL
12	6.446	PV	0.206	0.09	2-PENTANOL
13	6.744	BV	3.700	1.78	N-BUTYL ALCOHOL
14	0.000		0.000	0.00	N-AMYL ACETATE
15	7.549	VP	548.898	237.45	ISO-AMYL ALCOHOL
16	8.035	VP	0.575	0.26	N-AMYL ALCOHOL
17	0.000		0.000	0.00	2-METHYL-1-PENTANOL
18	9.918	MM R	20.733	64.31	ACETIC ACID
19	10.052	MM T	0.182	0.15	FURFUSOL
Group Name		ng/100 mL			
ALDEHYDES		24.62			
ESTERS		6.21			
HIGHER ALCOHOLS (FUSEL OILS)		383.51			
DIACETYL		1.87			
ACIDITY		64.31			
METHANOL		5.30			
ACETONE		2.38			
CONGENERS		ng/100 mL			
		488.2091			
*** End of Report ***					
 (F) MAURO TORRES Aq. Oper. Lab.			(F) Vo. Bo. Ing. Jose Quintana		
Instrument 1			Page 2 of 2		

Fuente: datos obtenidos durante el desarrollo de la práctica.

