



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE
CAMOTÉ DE PULPA ANARANJADO”**

(Ipomoea batata L)”

TESIS

**PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Bach. CUEVA LIZA JOSÉ EDINSON

Bach. PAZOS GONZALES CINDY FABIOLA

**LAMBAYEQUE - PERÚ
2015**



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE
CAMOTE DE PULPA ANARANJADO
(*Ipomoea batata L*)”**

TESIS

**PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Bach. CUEVA LIZA JOSÉ EDINSON

Bach. PAZOS GONZALES CINDY FABIOLA

LAMBAYEQUE-PERÚ

2015



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS

ALIMENTARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE
CAMOTE DE PULPA ANARANJADO
(*Ipomoea batata L*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

AUTORES:

**Bach. CUEVA LIZA JOSÉ EDINSON
Bach. PAZOS GONZALES CINDY FABIOLA**

ASESOR:

Ing. JAMES JENNER GUERRERO BRACO

CO-ASESOR:

Ing. MSc. MIGUEL ÁNGEL SOLANO CORNEJO

LAMBAYEQUE-PERÚ

2015



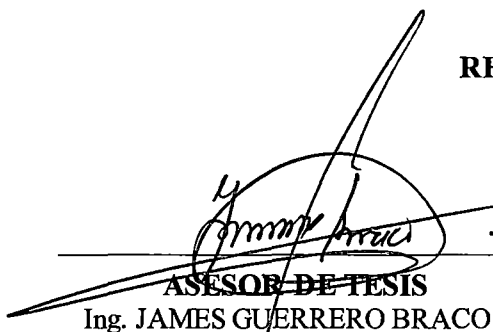
UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

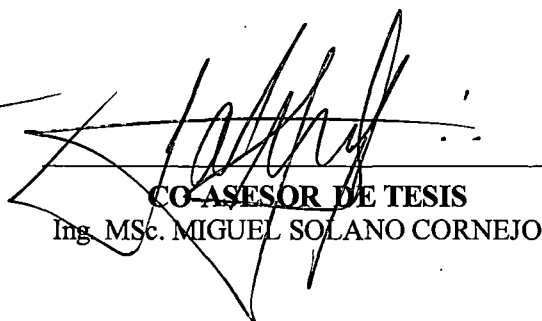
**“OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE CAMOTE DE PULPA
ANARANJADO
(*Ipomoea batata* L)”**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

REVISADO POR:


ASESOR DE TESIS
Ing. JAMES GUERRERO BRACO

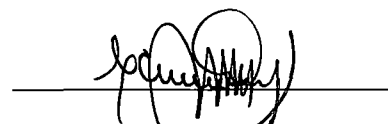

CO-ASESOR DE TESIS
Ing. MSc. MIGUEL SOLANO CORNEJO

**APROBADO POR LOS MIEMBROS DEL JURADO DE CALIFICACIÓN DE
TESIS:**

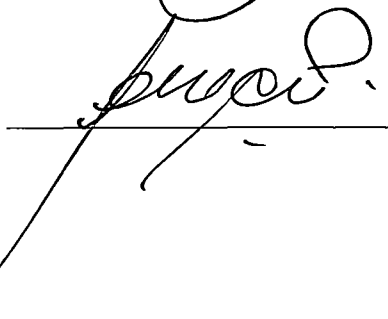
PRESIDENTE DE JURADO
Ing. MSc. RONALD A. GUTIÉRREZ MORENO



SECRETARIO
Ing. CARMEN A. CAMPOS SALAZAR



VOCAL
Ing. LUIS A. POZO SUCLUPE



AUTORÍA DE TESIS

Nosotros, José Edinson Cueva Liza; Cindy Fabiola Pazos Gonzales, declaramos que el trabajo aquí descrito sobre la "OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L)" es de nuestra autoría; este documento no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas por los autores.


Por la presente, la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo con fines estrictamente académicos o de investigación, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



JOSÉ EDINSON CUEVA LIZA

D.N.I.: 44837197

Correo: josecuevaliza@gmail.com



CINDY FABIOLA PAZOS GONZALES

D.N.I.: 46996306

Correo: cindyfabiolapazos@gmail.com

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo:

A Dios que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto de investigación.

A mis padres: Jorge y Lucia por estar ahí cuando más los necesité; en especial a mi madre por su ayuda y constante cooperación.

A mis hermanos: Oswaldo, Lucía, Mercedes, Beatriz, Freddy, Carlos, Richard y Mabel por apoyarme y ayudarme en los momentos más difíciles, en especial a mi hermano Jorge que desde el cielo me guía.

A mi abuelita Manuela que con su apoyo y consejos siempre me enseñó el camino correcto de la vida, y que ahora nos cuida desde el cielo.

José Edinson Cueva Liza.

DEDICATORIA

Mi *tesis* la dedico con todo mi amor, cariño y admiración,
En primer lugar a DIOS y a la VIRGEN por ser mi fortaleza, mi fe y por
regalarme una familia maravillosa.

A MIS AMADOS PADRES:

Alejandro Pazos y Blanca Gonzales, por su inmenso amor, por todo su
sacrificio, respaldo, comprensión, por ser los mejores padres y estar
conmigo incondicionalmente apoyándome en todas las decisiones que he
tomado en la vida.

A MIS QUERIDOS HERMANOS:

Edwin Alejandro y Ericka Yessenia, por su amor, paciencia y motivación,
ellos han sido sostén y apoyo en mis esfuerzos para la culminación de mis
estudios.

A MIS ADORADOS ABUELOS:

Genaro Pazos y Alejandrina de Pazos; Miguel Gonzales y Rosa de
Gonzales, por su cariño, por ser el mejor ejemplo de constancia y
perseverancia y por ser mi fuente de motivación para seguir adelante.

A MIS TÍOS:

Amanda, Israel, Juan, César, Maritza, Erica y William Pazos y Carlos
Gonzales, por sus consejos y los mejores deseos para mi persona.
En especial, a mi madrina Gloria Ballena, por representar en mi corazón a
una segunda madre y a mis hermanos Evelyn, Rafael, Ingrid, Katherine,
Patricia, Alexis y Ashley Pazos Ballena, por su amor, constante apoyo,
ayuda y solidaridad con los míos.

Cindy Fabiola Pazos Gonzales.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis es principalmente gracias a **Dios** por bendecirnos para llegar hasta donde hemos llegado y por permitir la culminación de nuestro trabajo de investigación, ya que nada pasa sin que tú no lo permitas.

A la **Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo**, pilar fundamental del desarrollo intelectual, moral y ético donde nos vimos formar como personas de bien.

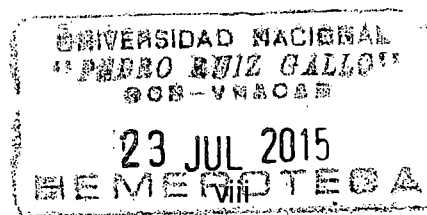
De manera muy especial, con nuestro respeto, cariño y admiración, a nuestro Co-asesor y amigo Ing. MSc. **Miguel Ángel Solano Cornejo**, quien con su perfil de investigador y de mucha experiencia en el campo alimentario, compartió y brindó sus conocimientos y técnicas para culminar exitosamente el desarrollo de éste trabajo investigativo.

A nuestro asesor Ing. **James Guerrero Braco**, a nuestra docente Ing. MSc. **Elena Gabriela Chau Lookung**, y a nuestro amigo Ing. MSc. **Julio Vidaurre Ruiz**, por su valiosa participación en este trabajo investigativo.

A todos nuestros catedráticos, personal administrativo, familiares, amigos y demás personas que de una u otra manera brindaron su apoyo para la finalización de esta investigación.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

Los autores.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
INTRODUCCIÓN.....	xxii
CAPITULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	01
1.1. ANTECEDENTES.....	01
1.2. MARCO TEÓRICO.....	04
1.2.1. EL CAMOTE (<i>Ipomoea batata</i> L.).....	04
1.2.1.1. Descripción Taxonómica.....	04
1.2.1.2. Descripción de la planta.....	05
1.2.1.3. Variedades.....	09
1.2.1.4. Composición Química del Camote.....	09
1.2.1.5. Propiedades.....	11
1.2.1.6. Operaciones cosecha y post-cosecha.....	12
1.2.1.7. Producción de Camote en el Perú.....	16
1.2.1.8. Usos del camote.....	18
1.2.2. ALMIDÓN.....	21
1.2.2.1. Generalidades.....	21
1.2.2.2. Composición Química.....	22
1.2.3. GELATINIZACIÓN.....	27
1.2.4. HIDROLISIS ENZIMÁTICA.....	28
1.2.4.1. Licuefacción.....	29
1.2.4.2. Sacarificación.....	30

1.2.4.3. Amilasas.....	30
1.2.5. FERMENTACIÓN.....	32
1.2.5.1. Fermentación alcohólica (FA).....	33
1.2.5.2. Factores que influyen en el Proceso Fermentativo.....	34
1.2.5.3. Microorganismos que influyen en la Producción de Etanol.....	35
1.2.5.4. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	36
1.2.6. ALCOHOL ETÍLICO.....	37
1.2.7. MODELOS CINÉTICOS DE PREDICCIÓN EN PROCESOS FERMENTATIVOS.....	38
1.2.7.1. Modelo de Gompertz.....	39
1.2.7.2. Modelo de Weibull.....	39
 CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO	 42
2.1. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	42
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	47
2.2.1. Población.....	47
2.2.2. Muestra.....	47
2.3. MATERIALES.....	47
2.3.1. Materiales de Laboratorio.....	47
2.3.2. Material Biológico.....	48
2.3.3. Sustancias, Reactivos y Soluciones.....	48
2.3.4. Equipos de Laboratorio.....	48
2.4. MÉTODOS.....	49
2.4.1. Acondicionamiento de la Materia Prima.....	49
2.4.2. Método en Proceso de Hidrólisis Enzimática.....	50
2.4.2.1. Evaluación de Temperatura óptima en pasta de camote para Hidrólisis enzimática.....	50
2.4.2.2. Evaluación de Dilución óptima en pasta de camote de Hidrólisis Enzimática.....	51

2.4.3. Método en Proceso de Fermentación Alcohólica.....	52
2.4.3.1. Evaluación de la Dilución óptima de pasta de camote hidrolizada para Fermentación alcohólica.....	53
2.4.3.2. Evaluación de la cantidad de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>bayanus</i>	53
2.4.4. Método en Proceso de Destilación.....	54
2.4.5. Métodos Analíticos.....	54
2.4.5.1. Análisis Proximal del camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.).....	55
2.4.5.2. Determinación de Azúcares Reductores.....	55
2.4.5.3. Determinación de pH.....	55
2.4.6. Modelamiento Matemático del Proceso de Hidrólisis y de Fermentación.....	55
2.4.6.1. Modelamiento de la Producción de Azúcares Reductores y Grados Alcohólicos.....	55
2.4.6.2. Modelamiento de la cantidad de Grados Brix.....	57
2.4.7. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (<i>Ipomoea batata</i> L.).....	58
CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	59
3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (<i>Ipomoea batata</i> L.).....	59
3.2. COCCIÓN DEL CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (<i>Ipomoea batata</i> L.).....	60
3.3. HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LA PULPA COCIDA DE CAMOTE.....	62
3.3.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE HIDRÓLISIS SOBRE LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN	

PULPA DE CAMOTE.....	63
3.3.1.1. Análisis estadístico del efecto de la temperatura de hidrólisis sobre la obtención de AR.....	64
3.3.1.2. Aplicación del modelo matemático de Gompertz en la temperatura de hidrólisis sobre la obtención de azúcares reductores por hidrólisis enzimática en pulpa cocida de camote.....	65
3.3.2. EFECTO DE LA DILUCIÓN DE HIDRÓLISIS SOBRE LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN PULPA COCIDA DE CAMOTE.....	67
3.3.2.1. Análisis estadístico del efecto de la dilución de hidrólisis sobre la obtención de AR.....	69
3.3.2.2. Aplicación del modelo matemático de Gompertz en la dilución de hidrólisis sobre la obtención de azúcares reductores por hidrólisis enzimática en pulpa cocida de camote.....	70
3.4. FERMENTACIÓN DE LA PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE.....	72
3.4.1. EFECTO DE LA DILUCIÓN DE FERMENTACIÓN EN EL CONTENIDO DE LOS GRADOS BRIX (°Brix) EN PASTA DE CAMOTE HIDROLIZADA.....	73
3.4.1.1. Análisis estadístico del efecto de la dilución de fermentación en el contenido de grados Brix.....	74
3.4.1.2. Aplicación del modelo matemático de Weibull para el contenido de °Brix en la fermentación a diferentes diluciones de fermentación.....	75
3.4.2. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LA CEPA <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> VAR. <i>BAYANUS</i> EN LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL.....	77
3.4.2.1. Análisis estadístico del efecto de la concentración	

de <i>S. cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> en la producción de alcohol.....	80
3.4.2.2. Aplicación del modelo matemático de Gompertz en la concentración de la cepa de <i>S. cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> para la producción de alcohol (GA).....	81
CAPITULO IV: CONCLUSIONES.....	84
CAPITULO V: RECOMENDACIONES.....	86
CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
CAPITULO VII: ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Composición química en 100g de camote crudo.....	10
Tabla 1.2. Producción Agropecuaria, según principales Productos, 2007-2013.....	17
Tabla 1.3. Producción de camote, según departamentos, 2013.....	18
Tabla 1.4. Contenido de Amilosa y Amilopectina en almidones nativos.....	24
Tabla 1.5. Composición química promedio de los almidones comerciales.....	25
Tabla 1.6. Composición química porcentual del almidón de camote (<i>Ipomoea batata</i> L).....	26
Tabla 1.7. Condiciones de Operación en las Etapas de Licuefacción y Sacarificación.....	28
Tabla 1.8. Características de la enzima α -amilasa bacteriana.....	31
Tabla 1.9. Factores del proceso de fermentación.....	34
Tabla 2.1. Análisis de varianza (ANOVA) para el DBCA de la investigación.....	44
Tabla 2.2. Matriz de hidrólisis enzimática para la evaluación de las temperaturas en el tiempo.....	45
Tabla 2.3. Matriz de hidrólisis enzimática para la evaluaciones de las diluciones en el tiempo.....	45
Tabla 2.4. Matriz de fermentación alcohólica para la evaluación de las diluciones en el tiempo.....	46
Tabla 2.5. Matriz de fermentación alcohólica para la evaluación de las concentraciones de <i>S. cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> en el tiempo.....	46
Tabla 3.1. Análisis Proximal de Camote de pulpa anaranjado	

(<i>Ipomoea batata</i> L).....	60
Tabla 3.2. Análisis de varianza del efecto de la temperatura en el tiempo para hidrólisis enzimática.....	65
Tabla 3.3. Resultados obtenidos aplicando el modelo matemático de Gompertz en las diferentes temperaturas para Hidrólisis Enzimática.....	66
Tabla 3.4. Análisis de varianza del efecto de la dilución en el tiempo para hidrólisis enzimática.....	69
Tabla 3.5. Resultados obtenidos aplicando el modelo matemático de Gompertz en las diferentes diluciones para Hidrólisis Enzimática.....	70
Tabla 3.6. Análisis de varianza del efecto de la dilución en el tiempo para fermentación alcohólica.....	74
Tabla 3.7. Resultados obtenidos aplicando el modelo matemático de Weibull en las diferentes diluciones de fermentación.....	75
Tabla 3.8. Análisis de varianza del efecto de la concentración de <i>S. cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> en el tiempo para fermentación alcohólica.....	81
Tabla 3.9. Resultados obtenidos aplicando el modelo matemático de Gompertz en las diferentes concentraciones de <i>S. cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> para fermentación alcohólica.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Planta de camote.....	05
Figura 1.2. Raíz Reservante (Camote).....	06
Figura 1.3. Partes del Tallo (Camote).....	07
Figura 1.4. Partes de la Flor (Camote).....	08
Figura 1.5. Partes del Fruto y Semillas (Camote).....	09
Figura 1.6 Estructura molecular de amilosa.....	23
Figura 1.7. Estructura molecular del almidón.....	23
Figura 1.8. Estructura molecular de la amilopectina.....	23
Figura 1.9. Gelatinización del almidón.....	28
Figura 2.1. Diagrama del diseño experimental para los tratamientos evaluados.....	43
Figura 2.2. Biorreactor de tipo estático.....	53
Figura 3.1 Temperatura y tiempo de calentamiento del camote que permite la gelatinización.....	61
Figura 3.2 Producción de AR (mg/ml) a 70, 80, 90 y 100 °C respectivamente en un tiempo de 120 min.....	63
Figura 3.3. Producción de AR (mg/ml) a 1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8 respectivamente en un tiempo de 180 min.....	68
Figura 3.4. Contenido de los °Brix en las diferentes diluciones 1:05; 1:1, 1:2 y 1:4.....	73
Figura 3.5. Contenido de los °Brix en las diferentes concentraciones de <i>S. cerevisiae</i> (var. <i>bayanus</i>).....	77
Figura 3.6. Obtención de alcohol (expresado en °GL) en las diferentes concentraciones de <i>S. cerevisiae</i> (var. <i>bayanus</i>).....	79

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°01. Procedimiento de la técnica del cuarteo.....	97
Anexo N°02. Acondicionamiento del camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.).....	98
Anexo N°03. Procedimiento para la medición de la temperatura interna del camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L) durante la cocción.....	99
Anexo N°04. Cocción del camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L) para obtener la pasta.....	100
Anexo N°05. Ficha técnica de la Enzima comercial Termamyl 120L, Type L.....	101
Anexo N°06. Hidrólisis enzimática de la dilución de pasta cocida de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L) en agua destilada con adición de la enzima comercial Termamyl.....	102
Anexo N°07. Prueba Espectofotométrica de la pasta hidrolizada de camote con el método de Ross para medir el contenido de azúcares reductores.....	103
Anexo N°08. Ficha técnica de la levadura Maurivin PDM (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> var. <i>Bayanus</i>).....	105
Anexo N°09. Fermentación alcohólica de la pasta hidrolizada diluida en agua e inoculada con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var <i>bayanus</i>	106
Anexo N°10. Tabla de conversión de gravedad específica a °Baumé, °Brix y alcohol probable.....	108
Anexo N°11. Destilación del mosto fermentado de pasta de camote hidrolizado.....	109
Anexo N°12. Análisis proximal de camote crudo de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.).....	112
Anexo N°13. Datos obtenidos de la medición de temperatura interna (°C) del camote (<i>Ipomoea batata</i> L.) durante la cocción....	113

Anexo N°14. Concentración de azúcares reductores (mg/l) obtenidos en la hidrólisis enzimática de la dilución de pasta cocida de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5) con la adición de la enzima comercial Termamyl a diferentes temperaturas de experimentación (70, 80, 90 y 100°C).....	114
Anexo N°15. Análisis estadístico de los resultados obtenidos en la hidrólisis enzimática de la dilución de pasta cocida de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5) con la adición de la enzima comercial Termamyl a diferentes temperaturas de experimentación (70, 80, 90 y 100°C).....	115
Anexo N°16. Aplicación del Modelo de Gompertz a la obtención de azúcares reductores (mg/l) en la hidrólisis enzimática de la dilución de pasta cocida de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5) con la adición de la enzima comercial Termamyl a diferentes temperaturas de experimentación (70, 80, 90 y 100°C).....	117
Anexo N°17. Curvas obtenidas aplicando el modelo de Gompertz para la obtención de azúcares reductores (mg/l) en la hidrólisis enzimática de la dilución de pasta cocida de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5) con la adición de la enzima comercial Termamyl a diferentes temperaturas de experimentación (70, 80, 90 y 100°C).....	118
Anexo N°18. Concentración de azúcares reductores (mg/l) obtenidos en la hidrólisis enzimática a diferentes diluciones de pasta cocida de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5, 1:1; 1:2, 1:4 y 1:8) con la adición de la enzima comercial Termamyl a 100°C.....	119
Anexo N°19. Análisis estadístico de los parámetros del Modelo de Gompertz obtenidos en la hidrólisis enzimática a diferentes diluciones de pasta cocida de camote de pulpa anaranjado	

(<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5, 1:1; 1:2, 1:4 y 1:8) con la adición de la enzima comercial Termamyl a 100°C.....	120
Anexo N°20. Aplicación del Modelo de Gompertz a la obtención de azúcares reductores (mg/l) en la hidrólisis a diferentes diluciones de pasta cocida de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5, 1:1; 1:2, 1:4 y 1:8) con la adición de la enzima comercial Termamyl a 100°C.....	122
Anexo N°21. Curvas obtenidas aplicando el modelo de Gompertz para la obtención de azúcares reductores (mg/l) en la hidrólisis a diferentes diluciones de pasta cocida de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8) a 100°C.....	123
Anexo N°22. Contenido de °Brix en la fermentación con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Var <i>Bayanus</i> (0.7g/l) a diferentes diluciones de fermentación de pasta hidrolizada de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5, 1:1; 1:2 y 1:4).....	124
Anexo N°23. Análisis estadístico de los resultados obtenidos en la fermentación con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> (0.7g/L) a diferentes diluciones de fermentación de pasta hidrolizada de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5, 1:1, 1:2 y 1:4).....	125
Anexo N°24. Aplicación del Modelo de Weibull al contenido de °Brix en la fermentación con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Var <i>Bayanus</i> (0.7g/l) a diferentes diluciones de fermentación de pasta hidrolizada de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5, 1:1; 1:2 y 1:4).....	127
Anexo N°25. Curvas obtenidas aplicando el modelo de Weibull para fermentación alcohólica con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> (0.7g/L) en las diluciones de experimentación de pasta hidrolizada de camote de pulpa anaranjado en agua destilada de	

1:0.5, 1:1; 1:2 y 1:4.....	128
Anexo N°26. Contenido de °Brix en la fermentación de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> a diferentes concentraciones (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2g/l) con pasta hidrolizada de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5).....	129
Anexo N°27. Obtención de grados alcohólicos probables en la fermentación de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> a diferentes concentraciones (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2g/l) con pasta hidrolizada de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5).....	130
Anexo N°28. Análisis estadístico del contenido de °Brix obtenidos en la fermentación de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> a diferentes concentraciones (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2g/l) con pasta hidrolizada de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5).....	131
Anexo N°29. Aplicación del Modelo de Gompertz en la obtención de grados alcohólicos probables alcanzados de la fermentación de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> a diferentes concentraciones (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2g/l) con pasta hidrolizada de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5).....	133
Anexo N°30. Curvas obtenidas aplicando el modelo de Gompertz en la obtención de grados alcohólicos probables alcanzados de la fermentación con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> var <i>bayanus</i> a diferentes concentraciones (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2 g/L) con pasta hidrolizada de camote de pulpa anaranjado (<i>Ipomoea batata</i> L.) en agua destilada (1:0.5).....	134

RESUMEN

En la actualidad existe el interés de desarrollar fuentes de carbohidratos para la obtención de alcohol, siendo una fuente atractiva frente a otros tubérculos, el camote, por considerarse además un cultivo económico, por lo cual la presente investigación tuvo como objetivo principal la utilización de camote para la obtención de alcohol, el proceso fue dividido en dos etapas: hidrólisis y fermentación. En la primera etapa se evaluó la hidrólisis del almidón empleando la enzima comercial Termamyl 120L, Type L al 1.5%, ésta fue optimizada empleando diferentes temperaturas de calentamiento (70, 80, 90 y 100°C) por un tiempo de 2h y diferentes concentraciones en relación pulpa de camote-agua (1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8) por un tiempo de 3h, dicho proceso se monitoreó a través de la producción de azúcares reductores. El grado de hidrólisis óptimo se alcanzó a temperatura y concentración que fueron 100°C y 1:0.5 (pulpa de camote: agua) respectivamente. La pasta hidrolizada se sometió a fermentación alcohólica de 5 días con agitación de 1 min cada 12 horas, adicionando metabisulfito de potasio como bactericida (0.10 g/L), como nutriente el fosfato de amonio monobásico (0.4 g/L) y se inoculó con *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus*, se optimizó el proceso evaluando el efecto de la dilución de la pasta hidrolizada en diferentes concentraciones 1:0.5, 1:1, 1:2 y 1:4 (relación de pasta hidrolizada: agua) monitoreándose por la cantidad de grados brix, asimismo se evaluó la concentración de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2 g/L) siendo monitoreada por la cantidad de grados brix y por la producción de grados alcohólicos. Obteniéndose los mejores resultados con la dilución 1:0.5, en la concentración *S. cerevisiae* var. *Bayanus* de 1.2 g/L en la cual mediante doble destilación simple del mosto se obtuvo un alcohol destilado de 4° y 16° GL respectivamente. Por lo cual, se logró demostrar que la batata o camote tiene el potencial para ser utilizada como materia prima en la obtención de alcohol.

PALABRAS CLAVES: CAMOTE/ HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA/ FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA/ ALCOHOL.

ABSTRACT

Currently there is interest in developing carbohydrate sources for obtaining alcohol, being an attractive source against other tubers, sweet potato, also considered by an economic crop, so this present investigation had as main objective the use of sweetpotato to obtain alcohol, the process was divided into two stages: hydrolysis and fermentation. In the first stage the hydrolysis of starch was evaluated using commercial enzyme Termamyl 120L, Type L to 1.5%, it was optimized using different heating temperatures (70, 80, 90 and 100°C) for a time of 2h and different concentrations in relation sweetpotato pulp-water (1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 and 1:8) for a time of 3h, this process was monitored by the production of reducing sugars. The optimum degree of hydrolysis is reached that temperature and concentration were 100°C and 1:0.5 (sweetpotato pulp: water) respectively. The hydrolyzed paste was subjected to alcoholic fermentation to five days with stirring of 1 min every 12 hours, adding bactericidal potassium metabisulfite (0.10 g/L); as nutrient monobasic ammonium phosphate (0.4 g/L) and inoculated with *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus*, the process was optimized by evaluating the effect of the diluting of the paste hydrolyzed in different concentrations 1:0.5, 1:1, 1:2 and 1:4 (ratio of hydrolyzed paste: water) to be monitored by the amount of brix degrees, also evaluated the *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* concentrations (0.4, 0.7, 0.9 and 1.2 g/L), being monitored by the amount of brix and alcoholic production. Best results being obtained with the dilution 1:0.5, concentration in *S. cerevisiae* var. *Bayanus* 1.2 g/L in which by a simple distillation double wort alcohol distillate was obtained 4° and 16° GL respectively. Therefore, it was possible to demonstrate that the sweet potato has the potential to be used as raw material in the production of alcohol.

KEY WORDS: SWEET POTATO/ ENZYMATIC HYDROLYSIS/ ALCOHOLIC FERMENTATION/ ALCOHOL.

INTRODUCCIÓN

Como materias primas para producir alcohol sirven los líquidos alcohólicos (vino y cerveza), sustancias azucaradas (azúcar de caña o de remolacha, entre otras) y materias primas que contengan almidón e inulina (frutas y vegetales, alcachofas, maguey, cereales, patatas, mandioca y como es el caso de las batatas), (Albán & Carrasco, 2012).

La batata (*Ipomoea batata L.*), camote o patata dulce es uno de los cultivos alimentarios del mundo más importantes en términos de consumo humano, en particular en el África subsahariana, partes de Asia y las islas del Pacífico. A pesar de su nombre, la batata no está relacionada con la patata pues es una raíz no un tubérculo, (CIP, 2010). Albán y Carrasco (2012) mencionan que se parte de la obtención de alcohol mediante la destilación a partir de líquidos alcohólicos; estos, pueden contener alcohol, resultar de la fermentación alcohólica de substratos que contengan azúcares fermentables a partir de una hidrólisis.

La mayor parte de los procesos que realizan hidrólisis de almidón usan hidrólisis enzimática, esto se debe a las ventajas que ofrece el mismo en comparación de una hidrólisis ácida, (Badui S., 2006). Para ello, las alfa amilasas son las que ayudarán a la degradación del almidón que contiene el camote, para facilitar el accionar de las levaduras que intervendrán en el proceso de fermentación. Todas las levaduras no presentan la misma sensibilidad al etanol, (Casp & Abril, 2003), *S. cerevisiae* es la especie de levadura utilizada por excelencia para la obtención de etanol a nivel industrial debido a que es un microorganismo de fácil manipulación, no es exigente en cuanto a su cultivo, no presenta alto costo, tolera altas concentraciones de etanol, en la fermentación produce bajos niveles de subproductos, es osmotolerante, capaz de utilizar altas concentraciones de azúcares, (Zambrano G., 2013). Lastimosamente, *S. cerevisiae* es incapaz de hidrolizar el almidón e incluso las dextrinas, es necesario efectuar un

pretratamiento de hidrólisis con enzimas para que *S. cerevisiae* pueda transformar los oligosacáridos obtenidos en etanol, (Casp & Abril, 2003).

Si hacemos mención a la composición del camote, resalta su elevado contenido de carbohidratos (27.6%) el cual lo hace un cultivo prometedor para la obtención de alcohol, debido a que posee almidón, que hidrolizado es fácilmente fermentable y puede lograr altos rendimientos. Sin embargo, debido a un marcado desconocimiento sobre las utilidades de esta raíz; es frecuente su utilización en las zonas rurales, netamente como alimentación para animales tales como cerdos y ganado, (Zambrano G., 2013).

Con el presente trabajo a partir de camote como materia prima para la obtención de alcohol, nos permitirá dar un valor agregado y un uso industrial a ésta raíz. Se utilizarán técnicas de hidrólisis y fermentación, en dónde la enzima comercial Termamyl 120 Type L (alfa amilasas de tipo bacterianas provenientes de *B. licheniformes*) ayudará a obtener azúcares reductores para facilitar el proceso fermentativo. Este estudio pretende a la vez ofrecer a los agricultores una alternativa para aumentar la producción de camote, y para poder comercializar este producto obtenido de sus cosechas ya que en algunos casos por la abundancia del cultivo (lo máximo estimado en los últimos años ha sido 304.0 miles de TM) tienden a sufrir un decremento en los precios en los mercados locales, y por el contrario cuando estos productos están en escasez se incrementará su valor, es decir que existe una alta fluctuación en el mercado, por lo que se desea con este trabajo contribuir de una mejor manera con el manejo del mismo canalizándolo como una oportunidad de generar empleos de agricultores, favoreciendo el desarrollo sustentable en su beneficio directo.

En esta investigación se tiene como objetivo general, obtener alcohol a partir de pulpa de camote anaranjado (*Ipomoea batata* L.), y como objetivos específicos se plantea determinar los parámetros de hidrólisis enzimática en camote de pulpa anaranjado y determinar los parámetros de fermentación de la pasta de camote hidrolizado en la obtención de alcohol.

CAPITULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. ANTECEDENTES

En el 2008, en Sincelejo (Colombia) se realizó hidrólisis enzimática y fermentación de los almidones de yuca de 2 variedades de uso industrial (Corpoica – Venezolana conocida como “MCOL 2215” y Corpoica-Tai como “MTAI 8”) en tres concentraciones (10%, 13% y 16% p/v) con el fin de evaluar los rendimientos de alcohol producido (Litros de alcohol / Kg de materia prima). Se utilizó un diseño experimental factorial categórico único individual aleatorizado en cuatro bloques y seis niveles para un total de 24 ejecuciones. En la hidrólisis enzimática se utilizaron las enzimas alfa-amilasas, con un tiempo de reacción de 2 horas y una temperatura de 90° C, determinándose los azúcares reductores o equivalentes de dextrosa (E.D) mediante el método del ácido 3,5 Dinitrosalicílico (DNS) y grados Brix; obteniéndose para la variedad industrial MCOL 2215 valores de E.D de 65 en las concentraciones del 13% y 16% p/v y grados Brix de 14.5 a una concentración de 16% p/v, mientras que en la variedad MTAI 8 se obtuvieron 100 E.D y 13,8 grados Brix en la concentración del 10% p/v. En el proceso de fermentación se evaluó varios parámetros: consumo de azúcares reductores, aumento de biomasa, grados Brix y producción de alcohol por medio del método de Winnick. La evaluación del rendimiento mostró que la variedad MTAI 8 a una concentración de 10% p/v presentó el mayor rendimiento, 618,425 litros de alcohol / tonelada de almidón, a diferencia de la variedad MCOL 2215 la cual presentó menor rendimiento, 478,35 litros de alcohol / tonelada de almidón a una concentración del 16% p/v, (Bohorquez & Madero, 2008).

En ese mismo año, uno de los problemas en la zona norte del Ecuador de tipo agrícola era la inestabilidad de producción de papa, lo que originó la necesidad de la presente investigación “Elaboración de una bebida alcohólica destilada (Vodka) a partir de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) utilizando dos tipos de enzimas”. Se estudiaron 2 factores:

Factor A: Variedades de papa (Super chola, Capiro, Gabriela) y Factor B: Tipos de enzima (Termamyl 120 Type L y Fungamyl 800 L). Se evaluó mediante las variables cualitativas: prueba de yodo y pruebas organolépticas y dentro de las variables cuantitativas: rendimiento de almidón, porcentaje de sólidos disueltos, pH, grado alcohólico, acidez total, esteres, aldehídos, alcoholes superiores, metanol, rendimiento de vodka. Para determinar la calidad química del Vodka se realizó un análisis mediante cromatografía de gases donde se analizó: ésteres, aldehídos, metanol, alcoholes superiores, furfural, (Benavides & Pozo, 2008).

Por otro lado, con el fin de generar alternativas para la utilización y transformación de la batata, se propuso obtener aguardiente en el laboratorio de bromatología de la Universidad de Sucre. La investigación consistió en adaptar el proceso de elaboración de bebidas alcohólicas, evaluando la hidrólisis del almidón, utilizando cuatro concentraciones de cebada germinada (0, 10, 15 y 20% p/v) y dos tiempos de calentamiento a 60°C (20 y 60 min). Los mostos obtenidos se sometieron a fermentación alcohólica utilizando inóculo *Saccharomyces cerevisiae*, destilándolos y evaluando la aceptabilidad de los aguardientes mediante una prueba hedónica. El tratamiento correspondiente a 0% de cebada germinada y 20 minutos de calentamiento a 60°C, mostró la mayor cantidad de azúcares reductores, presentando diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a los demás tratamientos y la evaluación sensorial indicó que los aguardientes más aceptados fueron los que contenían 15% de cebada, 20 y 60 minutos de calentamiento y los que contenían 20% de cebada, 20 y 60 minutos de calentamiento, (Andrade R., Torres R., Montes E., Pérez O., Acuña C. & Narváez G., 2009).

Asimismo en el 2009, en Ibarra (Ecuador) se realizó un trabajo de investigación sobre la clarificación del jugo de frutas, específicamente uvilla (*Physalis peruviana. L.*), proceso que consistió en la eliminación de los sólidos en suspensión, cuyo objetivo principal fue la obtención de jugo clarificado de uvilla (*Physalis peruviana. L.*) que reúna características físicas,

químicas y organolépticas de calidad, utilizando degradación enzimática y la técnica de la microfiltración tangencial, (León & Rosero, 2009).

En el 2010, la Universidad de la Salle, Bogotá, específicamente en la Facultad de Ingeniería de Alimentos se realizó una investigación basada en la aplicación de la enzima α -amilasa comercial BAN® 480L a la harina de arroz de la variedad Fedearroz 50 para la elaboración de una bebida vegetal. En la presente se mencionan las pruebas fisicoquímicas practicadas a las mezclas de harina de arroz-agua hidrolizado para verificar la acción de la enzima α -amilasa comercial BAN® 480L durante diferentes tiempos de acción sobre la mezcla, así como la descripción de pruebas fisicoquímicas según la norma A.O.A.C (*Association of Official Analytical Chemists International*) microbiológicas y sensoriales practicadas a la bebida vegetal obtenida, (Beltrán & Herreño, 2010).

En el 2012, en Guaranda (Ecuador) se realizó un estudio que consistió en obtener una bebida alcohólica destilada con características de un aguardiente a partir de sustratos de papa china y camote sometiendo las materias primas a 3 etapas como son: obtención de almidón de cada producto, proceso de hidrólisis y por último la fermentación. Las variables en estudio fueron: sólidos solubles, pH, grado alcohólico y acidez, esto durante la fermentación y en el mejor tratamiento los análisis fisicoquímicos y presencia de metanol realizado en un laboratorio. Para el desarrollo de la fase experimental se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial A x B; en el que A corresponde la cantidad de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), B es la cantidad de sustratos tanto de papa china como de camote utilizado. Posteriormente se determinó el mejor tratamiento, en los cuales se realizó análisis fisicoquímicos y presencia de metanol, concluyendo con el mejor tratamiento el que está constituido de 0.08g de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) mas (25% de sustrato de papa china y 75% de sustrato de camote) en el cual se obtuvo los mejores resultados y mejores rendimientos, (Albán & Carrasco, 2012).

Además, Acosta, C. (2012) en su investigación de pre-tratamientos de fermentación, en el cual seleccionó el pre-tratamiento por sulfitado con adición de 100ppm de metabisulfito de sodio, usó un bactericida para poder controlar la contaminación del mosto, Metabisulfito de Sodio a 100 ppm, este ensayo no solo tuvo una buena tasa de consumo de sustrato, sino que presentó niveles controlados de acético y metanol, que cumplen con la normatividad sanitaria. Asimismo que la acidez titulable final del producto logró estar dentro del rango establecido para vinos y de presentar muy buenos niveles de rendimiento y productividad.

1.2. MARCO TEÓRICO

1.2.1. EL CAMOTE (*Ipomoea batata* L)

La batata (*Ipomoea batata* L), camote o patata dulce es uno de los cultivos alimentarios del mundo más importantes en términos de consumo humano, en particular en el África subsahariana, partes de Asia y las islas del Pacífico. En primer lugar, el camote es el más domesticado desde hace 5.000 años en América Latina, que se cultiva en más países en desarrollo que cualquier otro cultivo de otras raíces. A pesar de su nombre, la batata no está relacionada con la patata pues es una raíz no un tubérculo. Muchas partes de la planta son comestibles, incluyendo las hojas, raíces, y las vides, y existen variedades con una amplia gama de color de la piel y la carne, de color morado, blanco a amarillo-naranja y profundo, (CIP, 2010).

1.2.1.1. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA.

- Reino: vegetal.
- División: Angiosperma.
- Clase: Dicotiledoneae.
- Orden: Tubifloras.
- Familia: Convolvulaceae.
- Género: *Ipomea*.

- Especie: *batatas*.

Fuente: Raudez G., Proveda M., (2004)

1.2.1.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.

El camote es una planta perenne, cultivada anualmente, pertenece a la familia de convolvuláceas (*Convolvulaceae*). A diferencia de la papa que es un tubérculo, o esqueje engrosado, el camote es una raíz reservante, (FAO, 2006).

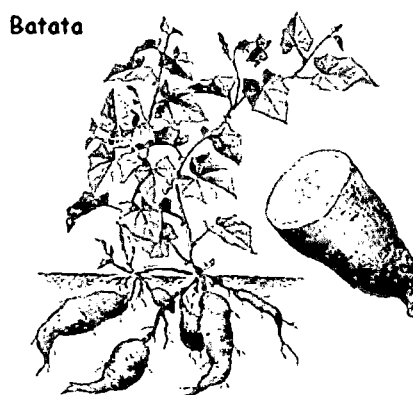


Figura 1.1. Planta del Camote.

Fuente: Dorta (2013)

• Raíces

Es fibrosa y extensiva, tanto con profundidad y en sentido lateral. La porción comestible es la raíz tuberosa cuya cáscara y pulpa varían del color blanco al amarillo naranja, las raíces se originan en los nudos del tallo que se encuentran bajo tierra, pueden medir de 30 a 40 cm de longitud y 15 a 20 cm de diámetro, (FAO, 2006). El camote se cultiva mediante la propagación vegetativa. Los productores toman esquejes de las vides, que luego las raíces y forman nuevas raíces de almacenamiento. Estas raíces de almacenamiento varían en forma y tamaño según el cultivar y el tipo de suelo donde se cultivan. El color de piel puede variar de color blanco-crema, pasando por el amarillo, naranja y rosa al rojo púrpura y muy oscuro púrpura. Color de la carne puede ser de color blanco, crema, amarillo, naranja o morado. Algunos cultivares tienen un color carne base con manchas o estrías en un color más oscuro. El sistema radicular de la batata

consiste de: a) raíces fibrosas que absorben nutrientes y agua, y sostienen a la planta, y b) raíces reservantes que son raíces laterales en las que se almacenan los productos fotosintéticos, (CIP, 2010). De la misma forma, Huamán (2000) menciona que el sistema radicular de las plantas que se obtienen por propagación vegetativa se inicia con las raíces adventicias. Estas se desarrollan como raíces fibrosas primarias que se ramifican lateralmente. Conforme la planta madura, se producen raíces de tipo lápiz que tienen alguna lignificación.

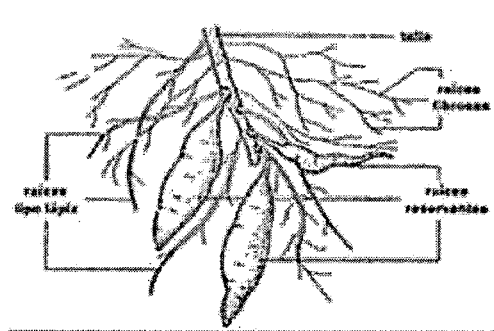


Figura 1.2. Raíz reservante (Camote).

Fuente: Huamán, Z. (2000)

Otras raíces que no tienen lignificación, son carnosas, engruesan bastante y se les llama raíces reservantes. La parte comercial de la batata son las raíces reservantes, algunas veces llamada erróneamente "tubérculos". La mayoría de los cultivares producen raíces reservantes en los nódulos de los esquejes sembrados originalmente y que permanecen bajo tierra. Sin embargo los cultivares de hábito muy rastrero forman raíces reservantes en algunos de los nudos de los tallos que están en contacto con el suelo, (Huamán Z., 2000).

- **Tallo**

Es una guía de hábito rastrero, aunque existen variedades del tipo arbustivo erecto. Su color varía de verde, verde bronceado a púrpura, con longitud de hasta 1.0 m. y superficie glabra o pubescente. Puede ser poco o muy ramificada, presentando 1 ó 2 yemas en cada axila foliar, (FAO, 2006).

Los tallos (bejucos o guías) son cilíndricos, así como la de los entrenudos, depende del hábito de crecimiento del cultivar y de la disponibilidad de agua en el suelo. Los cultivares de crecimiento erecto son de aproximadamente 1 metro de largo mientras que los muy rastreros pueden alcanzar más de 5 m de longitud. Dependiendo de los cultivares, el color de los tallos varía de totalmente verde a totalmente pigmentado con antocianinas (color rojo o morado). Los brotes apicales tiernos y, en algunos cultivares también los tallos, varían desde glabros (sin pelos) a muy pubescentes, (Huamán Z., 2000).

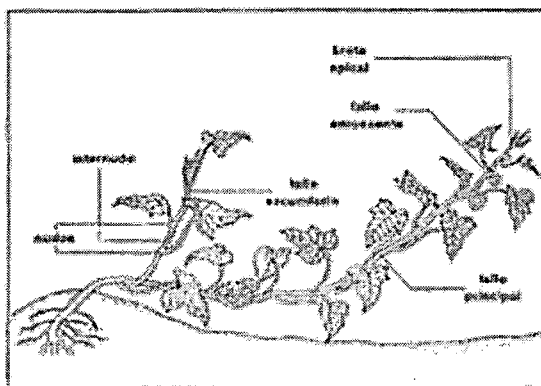


Figura 1.3. Partes del Tallo (Camote)

Fuente: Huamán Z. (2000)

- **Hojas**

Son simples, insertadas en el tallo, tiene una longitud de 4 a 20 cm, su forma puede ser orbicular ovalada, el borde se presenta como entero, dentado, lobulado o partido. La coloración varía de verde pálido hasta verde oscuro con pigmentaciones moradas, (FAO, 2006).

- **Flores**

Las flores están agrupadas en inflorescencias de tipo racimo, con un raquis de 5 a 20 cm de largo, su color va desde verde pálido hasta púrpura oscuro. El cáliz está formado por 5 sépalos libres, la corola libre abierta es infundibuliforme, el androceo posee 5 estambres soldados a la

corola, el gineceo tiene 2 carpelos y el ovario es supero, (FAO, 2006). Los cultivares de batata difieren en su hábito de floración. Bajo condiciones normales en el campo, algunos cultivares no florecen, otras producen muy pocas flores y otras florecen muy profusamente. La flor de la batata es bisexual, (Huamán Z., 2000).

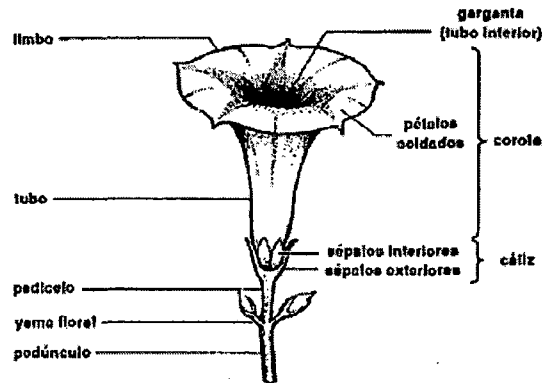


Figura 1.4. Partes de la Flor (Camote)

Fuente: Huamán Z. (2000)

- **Fruto y semilla**

El fruto es una cápsula más o menos esférica con una punta terminal y puede ser pubescente o glabro. La cápsula una vez madura se torna color marrón, (Huamán Z., 2000). La semilla tienen un diámetro de 2 a 4 mm, de forma irregular a redondas levemente achatadas, de color castaño a negro, el tegumento es impermeable, lo que dificulta su germinación, pero no posee latencia, (FAO, 2006).

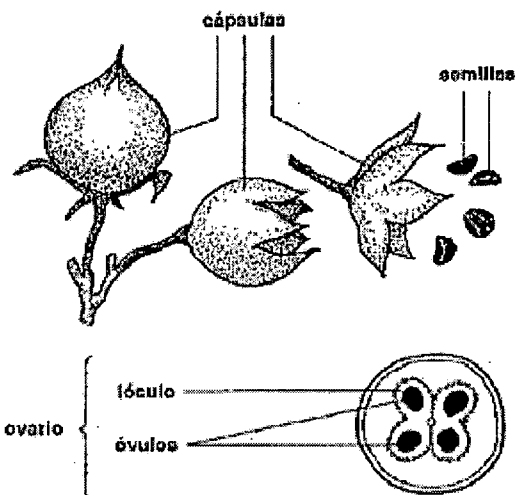


Figura 1.5. Partes del Fruto y Semillas (Camote)

Fuente: Huamán Z. (2000)

1.2.1.3. VARIEDADES.

En la actualidad, al describir un cultivar se toma en cuenta el carácter de la pulpa, húmeda o seca (moist o drytype), aclarando que estos términos se refieren al ablandamiento de los camotes cuando se cocinan, como consecuencia del desdoblamiento de los almidones en maltosa, (Folquer F., 2000). Así mismo, Folquer (2000) menciona que según este factor y el del color de la pulpa, la siguiente es la agrupación de las variedades con mayor difusión mundial:

a) Tipo seco:

- Pulpa blanca o cremosa.
- Pulpa amarilla.
- Pulpa morada.

b) Tipo húmedo:

- Pulpa anaranjada (con alto contenido en carotenoides).
- Pulpa amarilla.

1.2.1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAMOTE.

El camote es excelente productor de energía debido a que sus raíces están compuestas principalmente de almidón, cuyo contenido varía de 50-70% de la materia seca, lo que representa aproximadamente el 30% del peso fresco según los distintos cultivos.

En base húmeda el segundo constituyente en importancia en la composición del camote (*Ipomoea batata* L.) está representado por carbohidratos, cuyo contenido es de 20.1% y llega hasta un 80.25% en base seca. Los carbohidratos presentes en el camote están constituidos por dos fracciones principales que son el almidón y los azúcares reductores directos. Dado a su alto contenido de almidón, el empleo del camote como materia prima para la obtención de almidón tendría ventajas competitivas sobre la obtención industrial de este polímero.

Tabla 1.1. Composición química en 100g de camote crudo

NUTRIENTES	CANTIDAD (g/100g)	
	% BH ¹	% BS ²
Energía (Kcal/100g)	86	363.35
Agua	69.8	---
Carbohidratos	20.1	80.25
• Almidón	12.7	75.33
• Azúcares	4.2	5.46
Proteínas	1.6	5.83
Retinol (vit. A)	709 µg (79%)*	
• β-caroteno	8509 µg (79%)*	
Tiamina (vit. B ₁)	0.1 mg (8%)*	
Riboflavina (vit. B ₂)	0.1 mg (7%)*	
Niacina (vit. B ₃)	0.61 mg (4%)*	
Ácido pantoténico (vit. B ₅)	0.8 mg (16%)*	
Vitamina B ₆	0.2 mg (15%)*	
Ácido fólico (vit. B ₉)	11 µg (3%)*	5.92
Vitamina C	2.4 mg (4%)*	
Calcio	30.0 mg (3%)*	
Hierro	0.6 mg (5%)*	
Magnesio	25.0 mg (7%)*	
Fósforo	47.0 mg (7%)*	
Potasio	337 mg (7%)*	
Zinc	0.3 mg (3%)*	

¹ Porcentaje en base húmeda.

² Porcentaje en base seca.

* % Cantidad diaria requerida (CDR) para adultos.

Fuente: Espinola et al (1998)

Por otra parte, el contenido de azúcares reductores directos en base húmeda es de 1.42% y llega hasta 5.46% en base seca. Es precisamente el camote que presentan el mayor contenido de azúcares reductores directos en comparación a otras raíces y son estos azúcares

reductores directos “azúcares libres”, los responsables del sabor dulce que presenta el camote fresco, razón por la cual el camote también es conocido con el nombre de papa dulce. El alto contenido de humedad y su elevado contenido de carbohidratos y de azúcares reductores directos, convierten al camote en un alimento altamente perecedero. Las cenizas comprenden la suma de todos los minerales presentes y están compuestas principalmente por calcio, hierro, magnesio, fósforo, potasio y zinc.

El camote de pulpa naranja es una importante fuente de beta-caroteno, el precursor de la vitamina A. El camote es también una valiosa fuente de vitaminas B y C, (CIP, 2010).

1.2.1.5. PROPIEDADES

Presenta un sabor dulce debido a su elevado contenido en azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa) y por su riqueza en hidratos de carbono se puede decir que es un alimento de alto valor energético. Dado a su contenido de azúcares e hidratos de carbono complejos (almidón) y de su valor energético, la batata es un alimento adecuado para niños, personas que realizan esfuerzos físicos importantes o aquellas que se encuentran debilitadas o convalecientes. Sin embargo, en caso de sobrepeso u obesidad o de diabetes, se ha moderar la cantidad y frecuencia de consumo porque tiene almidón y su consumo diario puede aumentar el peso de las personas con tendencia a engordar, (Fundación Eroski, 2009).

Según la Tabla 1.1, 100 gramos de camote crudo equivale a 86 kilocalorías, por lo cual hay que tener moderación al comer para evitar sobrepasar los requerimientos de energía diaria, ya que como sabemos el exceso de energía primero se transforma en azúcares dentro del cuerpo y posteriormente en grasas corporales y por lo tanto eso provocaría descompensación metabólica del cuerpo de un diabético.

El camote contiene grandes cantidades de almidón, vitaminas, fibras (celulosa y pectinas) y minerales, y destaca entre estos el contenido de potasio. En valor energético supera a la patata y en vitaminas se destaca

por la provitamina A (betacaroteno) y las B1, C (ácido ascórbico). Cuanto más amarillenta es su raíz, más betacaroteno posee, por este motivo son más nutritivas las batatas amarillas que las blancas. Además, no posee altos contenidos de proteína, sí es importante en contenido de lisina. Por esto es que se la utiliza como complemento de algunas harinas de cereales. Su contenido de lípidos es bajo. Sus ácidos grasos principales son el linoleico, el oleico, el esteárico y el palmitoleico.

1.2.1.6. OPERACIONES COSECHA Y POST-COSECHA.

El potencial de producción de la batata es extraordinario, especialmente en las regiones tropicales donde se encuentra su hábitat natural, (Folquer, 2000). El Perú posee la mayor diversidad de variedades de camote del mundo, y crece en nuestro país desde hace 10 mil años, al igual que en Centroamérica. El agricultor peruano puede cultivarlo casi todos los días del año y crece en toda la a Costa, aunque la mayor zona productora de camote en el país se concentra en Lima; siendo Huaraz y Cañete las más representativas, aportando al mercado unas 120 mil toneladas métricas anuales, (INEI, 2013).

A. Operaciones Básicas de acondicionamiento

Teniendo en cuenta que, el periodo vegetativo del camote es de 120 a 125 días, éste necesita francos o suelos sueltos para su buen crecimiento a condiciones de 18 a 22°C, (INEI, 2013). Otros autores como Lardizábal (2003) mencionan que la cosecha se realizará a los 100 o 120 días dependiendo de los diversos factores como época del año, zona, altura sobre nivel del mar, riego, manejo, tamaño de raíz deseada, etc.

B. Recolección

En el Perú, la cosecha debe hacerse tan pronto las batatas alcancen un tamaño que haga económica su recolección y exista suficiente demanda en el mercado. La cosecha para guarda se hará

cuando las batatas de las variedades que se cultivar hayan alcanzado un desarrollo adecuado. En climas tropicales se deben evitar las cosechas muy tardías para que las raíces no se deformen por causa fisiológica debido a crecimientos secundarios que ocasionan rajadura, corazón hueco y otro tipo de anormalidad. Igualmente se recomienda en los climas templados evitar las cosechas tardías para prevenir al daño de las heladas a las raíces.

La primera operación de la cosecha es cortar la guía o bejucos y colocarlos en las entrelíneas. La extracción de las batatas se puede hacer con instrumentos manuales como escardillas en pequeñas extensiones, con arados arrancadores o con cosechadoras especiales para batatas. Una vez arrancadas las batatas hay que dejarlas a una breve exposición al sol para que así suelte la tierra que tiene adherida, (Mamani, 2011).

C. Lavado y clasificado

El camote se debe de lavar con agua corriente (no la que esta en el tanque de lavado) potable (o de pozo con cloro 100 ppm) para evitar enfermedades de post-cosecha, pudriciones en el transporte y evitar contaminación microbiológica. El camote se lava en las canastas plásticas para evitar manipuleo de vaciarlas dentro del tanque de lavado, evitando así perder más piel. Las canastas se meten en el tanque de lavado para aflojar el suelo que venga pegado en el camote. Luego se procede a lavar el camote con una esponja suave o con la mano sin frotar mucho. Solo lo suficiente para desprenderle la tierra o lodo que pueda tener el camote y así evitar pelarlo.

Inmediatamente después de lavarlo se coloca en los estantes, clasificándolos por tamaño. En otras palabras se ponen en el estante de arriba los grandes en los de en medio los medianos y abajo los pequeños para que al empacarlos en las cajas los empacadores hagan otra selección y el producto vaya perfecto por tamaño y daño.

Una vez lavados y clasificados, hay que esperar que el producto se seque antes de empezar a empacarlo. El tiempo de espera va a depender de la temperatura y humedad relativa. Esto va a variar entre 30 minutos hasta 4 horas, (Lardizábal R., 2003).

D. Curado

La curación tiene como objeto provocar la cicatrización de las lesiones causadas por la cosecha, evitando el ataque de microorganismos que provocan putrefacción, disminuir la pérdida de humedad y mayor intensidad respiratoria ocasionada por las heridas. El camote curado tiene mejor apariencia, la suberización de las heridas es completa y pueden conservarse por largo tiempo (hasta un año) con buen almacenaje, (FAO, 2006).

En el Perú, según Mamani (2011) el éxito de almacenamiento de camote requiere el período de curado, inmediatamente después de la cosecha, a una temperatura de 85°F y una humedad relativa de 85 a 90 por ciento y según Lardizábal (2003), el curado del camote se debe de realizar inmediatamente después de lavado a la misma temperatura de 29.6°C (85°F) pero con 90 a 95% de humedad relativa por 3 a 7 días. Un retraso de tan sólo 12 horas entre la cosecha y curado se ha demostrado que es perjudicial para curar con éxito.

Tanto la temperatura y la humedad correcta es necesario para la curación adecuada. La pérdida de peso normal durante el curado no debe exceder de 5 a 8 por ciento del peso recién cosechado, (Mamani, 2011). Durante los días de curado el área donde se cura el camote tiene que tener un recambio de aire en un 100% para evitar tener problemas de saturación de humedad y así con ello evitar pudriciones, (Lardizábal R., 2003).

E. Almacenamiento

En nuestro país, las condiciones óptimas para el almacenamiento a largo plazo de los camotes son una temperatura de

58 ° F y una humedad relativa de 85 por ciento. El camote bien curado pueden ser almacenados por hasta 12 meses con una pequeña reducción en la calidad si las condiciones ambientales adecuadas se mantienen. El almacenamiento adecuado limita la pérdida de humedad. La pérdida de peso por evaporación de la superficie del camote bajo condiciones de baja humedad no sólo puede resultar en la pérdida de peso, sino también arrugamiento de la piel. Aunque alguna pérdida de humedad sea prácticamente inevitable durante el curado y el almacenamiento, la pérdida excesiva de agua puede ser evitada por el buen control de humedad, (Mamani, 2011).

F. Empaque

En el Perú, cuando el producto va a los mercados directamente de la chacra, el camote fresco viene envasado en sacos que contienen un peso promedio de 110 Kg, es difícil su manipulación, además cada saco contiene una mezcla de tamaños, es decir que viene "cabeceado", y con mucha tierra, (Scott G., Herrera J., Espinola N., Daza M., Fonseca C., Fano H. & Benavides M., 1991).

Por el contrario, cuando el camote ha sido curado, al momento de empacar se vuelve a clasificar para garantizar que el producto vaya perfecto. El empaque se realiza en cajas de 50cm x 40cm x 23cm sin parafinar, con un peso neto de 10 kilogramos (22.1 Libras) por caja. El producto paletizado se debe dejar por un periodo de 2 a 4 días en la empacadora a temperatura ambiente paletizada antes de montarlo al contenedor, (Lardizábal R., 2003).

G. Transporte

El camote empacado es transportado en contenedores refrigerados a una temperatura de 12°C (55°F) y con 25% de ventilación. Temperatura por debajo de 10°C (50°F) se presenta daños por frío. Al llegar el contenedor a la planta empacadora es

recomendable realizar una revisión del mismo. Que esté limpio, sin olores extraños, etc., (USAID-RED, 2007).

Tomemos en cuenta que, la saturación del aire puede causar pudrición del camote. Lo grave es que esta pudrición por lo general no se desarrollará en la empacadora sino en el viaje del producto. Este camote encajado sin paletizar se debe de dejar aperchadas por 2 a 4 días también y al final de este curado paletizarlas y cargar inmediatamente en el contenedor. Todos los productos que sean exportados a Europa deben de proceder de productores que estén certificados con las buenas practicas agrícolas (Eurepgap), (Lardizábal R., 2003).

1.2.1.7. PRODUCCIÓN DE CAMOTE EN EL PERÚ

En el Perú se encuentra la mayor diversidad de variedades de camote del mundo, donde crece desde hace 10 mil años, al igual que en Centroamérica. El agricultor peruano puede cultivarlo casi todos los días del año. En el Perú, el camote se siembra en la costa, selva y valles interandinos ubicados entre 20 y 2000 metros sobre el nivel del mar.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), señala en la Tabla 1.2 mediante cifras actualizadas por el Ministerio de Agricultura y Riego, la producción agropecuaria de los principales productos en la sección de tubérculos desde el año 2007 al 2013, encontrándose el camote en el 3° lugar según los estudios estadísticos.

En estos últimos años, el área sembrada con este cultivo oscila entre 11,000 y 17,000 hectáreas (10 mil unidades agrícolas), con un volumen de producción de 190 mil a 224 mil toneladas (0.3% del valor bruto de producción agrícola) y un rendimiento promedio de 16 t/ha. Según registro de estadísticas, la mayor zona de producción de camote en el país es el

departamento de Lima, en donde se concentra el 70% de la superficie cultivada.

Las provincias de Huaral (800 ha) y Cañete (3,500 ha) son las principales zonas productoras de camote, y ofrecen al mercado capitalino 120 mil toneladas métricas anuales. Los valles del norte chico Huacho, Barranca (Perú) y Pativilca poseen menor superficie de siembra (700 ha) y aportan alrededor 12 mil Tm. para los mercados de Lima. Los valles costeros de Ancash cultivan aproximadamente 1,500 hectáreas que aportan al mercado capitalino 24 mil Tm. anuales.

En cambio, los valles costeros de los departamentos de Lambayeque y La Libertad registran una superficie de siembra de 2,300 ha, las cuales aportan 25 mil Tm. al mercado regional del norte. En los valles de Ica y Arequipa se cultivan 1000 ha y se producen 16 mil Tm., (Wikipedia.org, 2014). Estos datos se encuentran descritos en la Tabla 1.3 mediante cifras actualizadas por el Ministerio de Agricultura y Riego, en la producción de camote, según departamentos en el 2013.

**Tabla 1.2. Producción Agropecuaria, según principales productos,
2007 – 2013
(Miles de Toneladas Métricas)**

Tubérculos	2007	2008	2009	2010	2011 P/	2012 P/	2013 P/
Papa	3 383.0	3 597.1	3 765.3	3 805.5	4 067.5	4 473.5	4 570.7
Yuca	1 158.0	1 171.8	1 166.0	1 240.1	1 116.5	1 119.6	1 184.7
Camote	184.8	189.9	262.7	263.5	299.6	304.0	292.1
Oca	96.9	93.0	100.6	94.0	90.0	93.1	94.7
Olluco	156.4	157.4	162.6	158.7	160.9	180.5	185.9
Mashua	30.4	29.0	32.9	29.2	29.1	31.8	31.1

P/: parcial

Nota: Cifras actualizadas por el sector al 21-05-2014.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos.

**Tabla 1.3. Producción de Camote, según departamentos, 2013
(Toneladas Métricas)**

Departamento	Camote
Tumbes	172
Piura	16 165
Lambayeque	55 728
La Libertad	8 015
Cajamarca	9 220
Amazonas	234
Ancash	24 640
Lima	147 497
Ica	20 618
Huánuco	4 876
Pasco	-
Junín	-
Huancavelica	17
Arequipa	1 463
Moquegua	72
Tacna	313
Ayacucho	327
Apurímac	315
Cusco	136
Puno	1 244
San Martín	-
Loreto	-
Ucayali	787
Madre de Dios	277
Total	292 116

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riego - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos.

1.2.1.8. USOS DEL CAMOTE.

Muchas partes de la planta de camote son comestibles, incluyendo la raíz, las hojas y brotes. Esquejes de camote también proporcionan la base para un alimento para animales de alto valor proteico. El uso del camote se ha diversificado considerablemente en las últimas cuatro décadas. Con alto contenido de almidón, que es muy adecuado para el procesamiento y se ha convertido en una importante fuente de materia prima para el almidón y productos industriales derivados del almidón. Su valor añadido para los agricultores proviene de una variedad de productos e

ingredientes a base de raíz de camote, incluido harina, trozos secos, zumo, pan, fideos, dulces y pectina. Los nuevos productos incluyen licores y un creciente interés en el uso de los pigmentos antocianinas en las variedades púrpuras de colorantes de alimentos y su uso en la industria cosmética, (CIP, 2010).

A. ALIMENTACIÓN Y FORRAJE

Los camotes, desde el punto de vista de su aprovechamiento, se dividen en: tipos alimenticios y tipos forrajeros. Las raíces del camote pueden utilizarse frescas, enlatadas, deshidratadas y como forraje, (Montaldo, 1999). El camote presenta raíces que principalmente se usan para consumo humano como hortaliza en las sopas, la raíz también se usa para la alimentación de cerdos. En cuanto al follaje, sirve de forraje en alimentación y existen algunas variedades mejoradas cultivadas con el fin de que sirva de alimento a humanos por sus cualidades alimenticias y medicinales, (Raudez, 2004).

En Asia se prefiere el camote de pulpa seca, dura, blanca, con alto contenido de almidón, poca proteína y carotenos, que se utiliza en la industria de extracción del almidón, producción de alcohol y alimentación animal; mientras que en los países de occidente el camote es empleado para la alimentación humana, por lo que se prefiere que tenga más proteína y caroteno, (Ramón-Ávalos et al s.f.).

B. EN LA INDUSTRIA

Otro de los usos es el industrial. En el 2005, un equipo de técnicos de la Escuela Politécnica Nacional (ubicada en Quito, Ecuador) determinó que el almidón de camote al mezclarlo con dos plastificantes naturales, glicerol y sorbitol, puede servir como constituyente de láminas de plástico de alta resistencia, (SENACYT/FUNDACYT, 2005). También se usa para elaborar dulces, para obtener almidón, el cual a su vez es materia prima para la obtención de alcohol, (Raudez, 2004).

El camote se muestra muy versátil. Sus derivados tienen potencial para el mercado de consumo (elaboración de galletas y licor) y para el mercado industrial (alimento para ganado porcino, materia prima para la fabricación de etanol y para la elaboración de plástico biodegradable - los llamados bioplásticos). Algunos datos numéricos: el camote puede competir con la caña de azúcar como fuente de etanol. En las actuales condiciones una hectárea de camote morado puede rendir 5,000 litros de etanol/ha en cinco meses (6,500 m³ de agua). La caña de azúcar en Brasil llega en promedio a 7,000 litros/ha pero el camote lo hace en la mitad del tiempo que demanda la caña. Los cubanos siembran 60,000 ha de camote y procesan la mayor parte de la cosecha y en forma semilíquida alimentan cerdos, aprovechando toda la energía calórica residual de su avanzada industria azucarera, (Ginocchio, 2006).

Pruebas de laboratorio efectuadas en el Perú demuestran que se puede obtener 125 litros de alcohol por tonelada métrica de camote; teóricamente es posible obtener 22 000 litros de alcohol por ha/año. El siguiente paso es instalar una planta que produzca alcohol para el consumo humano, para la fabricación de Shochu (popular bebida alcohólica destilada japonesa a partir de camote), y para la reproducción de plántulas libres de virus. Actualmente, en Japón se consumen 980 millones de litros de Shochu, equivalentes a 7 litros por persona. Después de lograr la producción de alcohol y Shochu, se puede pasar a la producción de etanol, (Paz L., s.f.).

El etanol reemplazará a la gasolina en 7% a partir del 2007 en nuestro país. Y con mejor tecnología (riego por goteo y variedades superiores) la productividad del cultivo del camote sería aún mayor y el consumo de agua menor reduciéndose el costo por litro. La harina de camote puede reemplazar en un 25 a 30% a la de trigo en galletas (en pan sólo hasta el 8%) lo que traería un ahorro de unos 15 millones de dólares/año, al menos en menores importaciones trigueras. Una

empresa peruana ya está comercializando "Shochu", el licor de camote típico de Japón, (Ginocchio, 2006).

1.2.2. ALMIDÓN

1.2.2.1. GENERALIDADES

El almidón es el principal carbohidrato de reserva, que se encuentran distribuido en los vegetales (granos de cereales, guisantes y tubérculos) que lo sintetizan durante la fotosíntesis en el cual, la luz solar provee la energía para convertir CO₂ y el H₂O en glucosa más oxígeno, (Zambrano, 2013).

El almidón es el hidrato de carbono que, por su comportamiento, condiciona a las preparaciones cuando en ella se incluyen cereales. Según el C.A.A se denomina almidones a los derivados de semillas y féculas a los derivados de tubérculos, (Medin, 2003).

El almidón proviene de diversas fuentes con diferentes estructuras cristalinas. Los granos de cereal como maíz, trigo arroz son fuentes de almidón, como lo son raíces y tubérculos. Por ejemplo: la tapioca, y las patatas se usan frecuentemente en la preparación de alimentos sin gluten", (Vaclavik, 2002).

Los almidones importantes de los alimentos son en primer lugar de origen vegetal y exhiben las siguientes propiedades: (1) no son dulces; (2) no se disuelven fácilmente en agua fría; (3) forman engrudos y geles en agua caliente; (4) sirven como fuente de reserva de energía en las plantas y suministran energía en nutrición; (5) se encuentran en semillas y tubérculos como gránulos de almidón característicos, (Potter, 1999). Su funcionalidad depende del peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina, así como de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo, (Aguilar, 2007).

1.2.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

El almidón consta de dos tipos de moléculas: la **amilosa** de larga de cadena lineal que constituyen del 20 al 30% del total del almidón y poseen la capacidad de formar geles. El otro tipo de molécula es la **amilopectina**, es más abundante que la amilosa y ramificada irregularmente. Está formada por miles de unidades de glucosa interconectadas débilmente, constituyendo una especie de formación cristalina que se rompe con facilidad. Es la responsable de la pegajosidad y viscosidad del almidón dada su capacidad de absorción de agua, también del hinchamiento del gránulo del almidón dada su capacidad de absorción de agua, (Medin, 2003). Si hablamos de porcentajes, el almidón está compuesto esencialmente de polímeros de D-glucosa en un 98-99%; químicamente, el almidón consiste en dos polímeros de diferente estructura, amilosa (24 al 27%) y amilopectina (77 al 76%), además de que algunos almidones se han identificado un tercer componente denominado material intermedio, (Aguilar, 2007).

Desde el punto de vista químico, Badui (2006) menciona que la amilosa es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2 500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En ciertos casos, cuando una de estas fracciones está en exceso, puede traer consigo algunos inconvenientes.

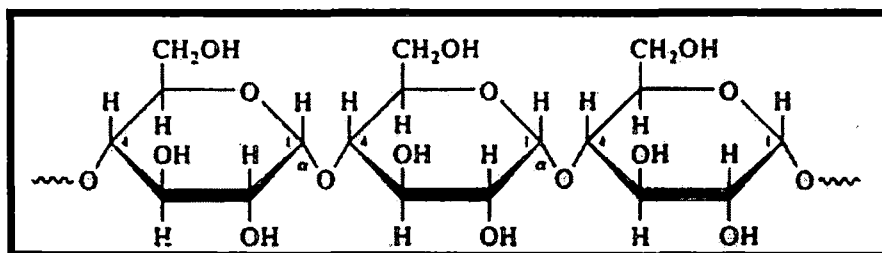


Figura 1.6. Estructura molecular de amilosa.

Fuente: Badui, S. (2006).

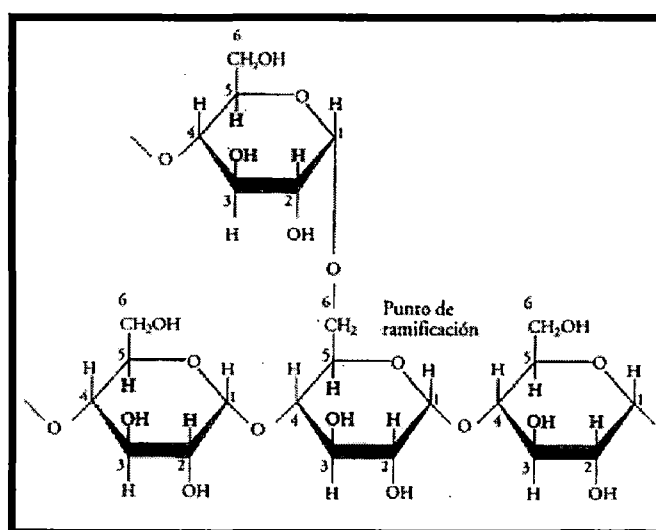


Figura 1.7. Estructura molecular del almidón

Fuente: Badui, S. (2006).

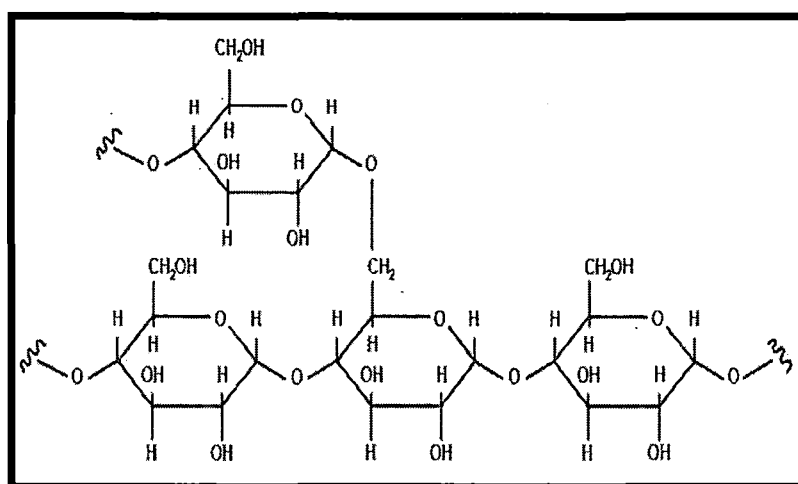


Figura 1.8. Estructura molecular de la amilopectina

Fuente: Badui, S. (2006).

Las propiedades reológicas del almidón, dependen de varios factores, entre ellos, el tipo de clima o región geográfica donde se desarrolle la planta, la proporción de amilosa y amilopectina en la estructura molecular del gránulo que cada uno de los dos componentes que lo conforman, guarden en la estructura molecular de estas cadenas, la arquitectura del gránulo y la presencia de otras sustancias que pueden interaccionar y cuya presencia depende de la pureza después de su extracción, (Ramón-Ávalos et al s.f.).

Sin embargo, se ha encontrado, que de todos los factores mencionados, la concentración de sus componentes amilosa y amilopectina, es el factor que ejerce mayor influencia en el comportamiento del almidón y que dependiendo de su origen, los almidones pueden contener, de manera general, 20-39 g de amilosa y 61 a 80 g de amilopectina/100 g de almidón, (Ramón-Ávalos et al s.f.), pero en algunos casos específicos estas proporciones se presentan en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Contenido de amilosa y amilopectina en almidones nativos

ORIGEN DEL ALMIDÓN	AMILOSA (g/100g DE ALMIDÓN)	AMILOPECTINA (g/100g DE ALMIDÓN)
CHÍCHARO	36.2	63.8
TRIGO	28	72
MAÍZ	26.2-28	72-73.8
MAÍZ CEROSO	0-1	99-100
PAPA	21	79
ARROZ	17.3	82.7
ARROZ CEROSO	0-2	98-100
YUCA	17	83
PLÁTANO	9.11-17.16	91.99-82.4
CAMOTE	24	76

Fuente: (Ramón-Ávalos et al s.f.).

La composición química de los almidones comerciales depende de la fuente y del proceso de obtención y purificación, y de las condiciones de almacenamiento, (Medina, 2013). Los gránulos de almidón contienen entre 6 a 16% de humedad y pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, fosforo y trazas de materiales inorgánicos (Tabla 1.5), el máximo contenido de humedad sugerida para un almacenamiento seguro en los almidones es de 13%, dado que un contenido mayor de humedad puede ocasionar daño microbiano y por tanto el deterioro en la calidad del polímero, (Moorthy, 2002).

Tabla 1.5. Composición química promedio de los almidones comerciales

FUENTE	HUMEDAD ¹ %	LÍPIDOS %	PROTEINAS ² %	FOSFORO %	CENIZAS %
Maíz	13	0.60	0.35	0.015	0.10
Papa	19	0.05	0.06	0.080	0.40
Trigo	14	0.80	0.40	0.060	0.15
Tapioca	13	0.10	0.10	0.010	0.20
Maíz ceroso	13	0.20	0.25	0.007	0.07
Sorgo	13	0.70	0.30	---	0.08
Arroz	---	0.80	0.45	0.100	0.50
Camote	13	---	---	---	0.10

1: Contenido de humedad relativa del 65%

2: Contenido de proteína calculado en base al % de nitrógeno x 6.25

Fuente: Moorthy, (2002)

Los almidones de tubérculos como la papa, camote y tapioca contienen pequeñas cantidades de sustancias grasas (<0.1%), en comparación con los almidones provenientes de cereales como el maíz, arroz y sorgo, cuyo contenido de lípidos oscila entre 0.6 a 0.8%. estos lípidos forman complejos con la amilosa y son insolubles en agua fría; sin embargo, se disocian al calentarse por arriba de 125°C. la presencia de los lípidos

modifica las propiedades reológicas y reprime el poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones. También son responsables de la opacidad de las dispersiones de almidón, así como de su rancidez, la cual puede producirse durante el almacenamiento de los granos y/o del almidón, (Hsu et al, 2000).

Tabla 1.6. Composición química porcentual del almidón de camote
(*Ipomoea batatas* L.)

PARÁMETRO	CONTENIDO (% B.S.)
Humedad	6.15 ± 0.10
Cenizas	0.51 ± 0.02
Lípidos	0.90 ± 0.03
Proteínas (N*5.75)	0.48 ± 0.02
Carbohidratos totales	98.11 ± 0.80
ART	98.15 ± 0.7
Amilosa aparente	19.25 ± 0.3
Amilopectina	80.75 ± 0.5
Amilosa total ¹	20.42 ± 0.4
Fósforo	0.05 ± 0.01
Forma del gránulo	Esférica-oval
Tamaño del gránulo (µm)	10 - 30

1: Previa extracción de lípidos con n-propanol agua 3:1 (v/v).

Fuente: Medina, L. (2013)

También los almidones de tubérculos contienen pequeñas cantidades de proteína (<0.1%) en comparación con los almidones de cereales, los cuales contienen de 0.3 a 0.5%, estas pueden conferir al almidón un aroma y sabor a harina así como capacidad espumante. Cerca del 10% de las proteínas asociadas al almidón, se encuentran en la superficie del gránulo y pueden ser fácilmente extraídas con agua o soluciones salinas. Estas proteínas pueden afectar la carga superficial del gránulo, lo cual afecta directamente la velocidad de hidratación, velocidad de

hinchamiento, así como en la gelatinización del mismo. Entre las proteínas que pueden estar asociadas a la superficie del gránulo, está la α -amilasa, las cuales resultan de gran importancia, ya que por su poder hidrolítico afectan las propiedades reológicas, tales como la viscosidad de la dispersión del almidón, (Moorthy, 2002).

1.2.3. GELATINIZACIÓN

El almidón se encuentra en los tejidos en forma de gránulo de distinta forma y tamaño. Los granos están recubiertos por polifosfatos y el almidón en los gránulos está altamente replegado sobre si mismo (estratificado). En estas condiciones las enzimas amilasas presentan una baja actividad. Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura está altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes; sin embargo, cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrogeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas, es decir que cuando el almidón es tratado con agua caliente los granos de almidón absorben agua y gradualmente cambian su estructura, dispersándose en la solución. Este proceso es denominado "gelatinización". Una mayor temperatura determina un aumento de la velocidad de la gelatinización y rendimiento, aumento de la velocidad de hidrólisis enzimática, disminución de la viscosidad y un aumento de la filtrabilidad del mosto, (Badui, 2006).

Para visualizar mejor este fenómeno, la figura 1.9, muestra esquemáticamente el aumento de volumen de los gránulos contra el aumento de la viscosidad de la dispersión acuosa. Una vez que los gránulos se rompen, la viscosidad se reduce hasta alcanzar un valor estable en el que se genera un gel cuyas características físicas y químicas son diferentes según el almidón de que se trate, (Badui, 2006).

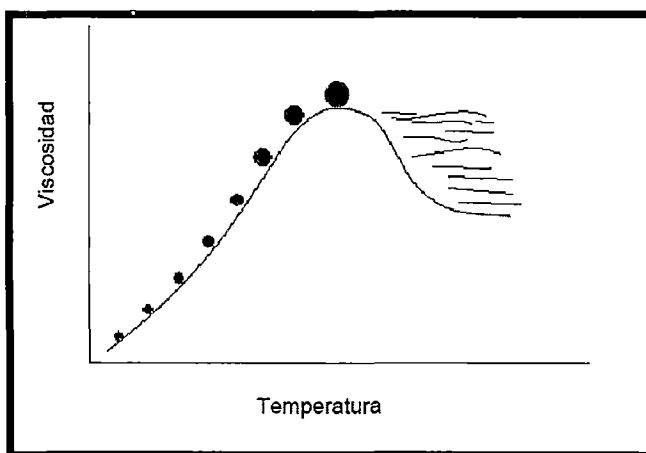


Figura 1.9.
Gelatinización del
almidón

Fuente: Badui, S. (2006).

1.2.4. HIDROLISIS ENZIMÁTICA

La hidrólisis enzimática es el proceso que tiene por objeto la transformación del almidón de las materias primas amiláceas en azúcares. Con enzimas termoestables se lleva a cabo el método convencional realizando primero la licuefacción de almidón, luego la conversión del almidón en glucosa o sacarificación. Mediante la *licuefacción*, se liberan los gránulos de almidón, pues a consecuencia del calor, éste absorbe agua y se hincha, ocasionando la ruptura de la pared celular, y el almidón se gelatiniza.

En el proceso de *sacarificación*, mediante la acción de la enzima Glucoamilasa, se da el fraccionamiento de las cadenas de azúcares largos (dextrinas, triosas y maltosa) hasta obtener glucosa, (Zambrano, 2013).

Tabla 1.7. Condiciones de Operación en las etapas de licuefacción y sacarificación

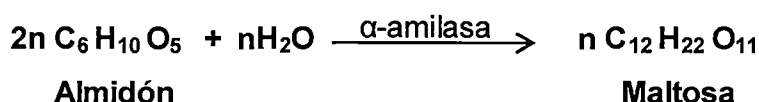
CONDICIÓN	HIDRÓLISIS	
	Licuefacción	Sacarificación
T, °C	85-95	55
pH	6.0-6.5	5.5

Fuente: Zambrano, G., (2013)

La degradación del almidón gelatinizado cuenta de dos etapas: licuefacción y sacarificación.

1.2.4.1. LICUEFACCIÓN

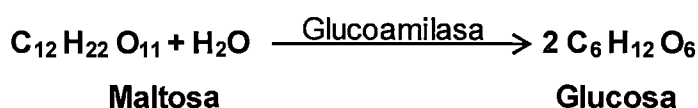
Es el primer paso en la producción de glucosa, en este la alta concentración de almidón, hasta 45% es calentada para gelatinizarlo. Se efectúa por medio de la actividad de una α -amilasa, las hay de distintos orígenes y con distinta tolerancia a la temperatura. Actualmente, existen α -amilasas termorresistentes producidas por *Bacillus licheniformis*. En la licuefacción se remite a bajar la viscosidad de la pasta obtenida, ésta etapa es crítica puesto que si la pasta de elevada viscosidad se enfría, se produce una cristalización de la amilosa, la que se torna insoluble (almidón retrogradado). La amilosa en estas condiciones constituye una pérdida ya que no es hidrolizada por las enzimas, (Zambrano, 2013). La reacción que ocurre en ésta etapa es la siguiente:



La α -amilasa es una endoenzima, específicamente una endohidrolasa que corta en forma al azar el almidón en los enlaces α -1,4, tanto de amilosa como de la amilopectina con lo cual producen dextrinas de 10 a 20 unidades de glucosa; se le da el nombre de enzima licuante debido a que su presencia provoca la rápida reducción de la viscosidad de las soluciones de almidón. Su accionar degrada la amilosa en maltosa y pequeños compuestos de glucosa, transformando así una sustancia inicialmente viscosa (almidón) en una sustancia dulce y menos viscosa debido a los productos formados. Sin embargo, esta enzima solo es capaz de degradar parcialmente la amilopectina debido a que no es capaz de desdoblar los enlaces glicosídicos 1-6 encontrados en los puntos de ramificación de la cadena del polisacárido, (Zambrano, 2013), es decir que es capaz de romper las uniones glucosídicas adyacentes a ambos lados del enlace α -(1-6) de la amilopectina, aunque no ataca específicamente a este enlace, (Badui, 2006).

1.2.4.2. SACARIFICACIÓN

Los procesos enzimáticos para la producción de glucosa requieren de una segunda etapa después de la licuefacción del almidón. Esta etapa se efectúa por medio de una enzima que actúa frente a cualquiera de los dos tipos de enlaces presentes, conocida como amiloglucosidasa o glucoamilasa. Ésta enzima es producida por numerosos tipos de hongos y algunas bacterias, (Zambrano, 2013).



La glucoamilasa también llamada amiloglucosidasa, es una de las enzimas producidas en mayor cantidad por la industria biotecnológica. Se emplea en el procesado del almidón degradándolo y liberando residuos de glucosa al medio, (Latorre L., 2008). Es una exoenzima, específicamente una exohidrolasa ya que actúa sobre el terminal de la molécula produciendo cada vez una molécula de glucosa; su nombre sistemático es 1,4-alfa-D-glucano glucohidrolasa. Se obtiene del hongo *Aspergillus niger* y actúa sobre las dextrinas produciendo glucosa lo que se traduce en una aceleración de la fermentación. La enzima glucoamilasa tiene la capacidad de hidrolizar tanto los enlaces alfa (1,4) como los alfa (1,6) glicosídicos de moléculas de almidón; su acción prolongada puede causar la ruptura total del polisacárido, el principal producto final de la acción de la Glucoamilasa sobre el almidón es la glucosa, lo que la diferencia claramente de las alfa y beta amilasa. Su actividad máxima entre pH 4 y 5.5 y temperatura alrededor de 55-65°C, (Zambrano, 2013).

1.2.4.3. AMILASAS

Las amilasas, son enzimas que hidrolizan los almidones, se encuentran no solo en los animales sino también en las plantas superiores y en los microorganismos. El almidón contribuye de una manera principal a la

viscosidad y a la textura de los alimentos y su hidrólisis durante el procesado y almacenamiento es importante.

Existen tres tipos principales de amilasas: α -amilasas, β -amilasas y glucoamilasas; estas enzimas se extraen de cuatro fuentes principales: las α -amilasas pueden ser de origen fúngico (*Aspergillus oryzae*), bacteriano (*Bacillus stearothermophilus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*), céreo y pancreático. En el caso de las β -amilasas pueden ser producidas a partir de cereales, soya y batata. Y las glucoamilasas son producidas por numerosos tipos de hongos y algunas bacterias. La principal fuente de glucoamilasas son los hongos filamentosos donde destaca el género *Aspergillus*, y en concreto, *A. niger* y *A. awamory* (Ford, 1999). Algunos cultivos de bacterias y levaduras también se han utilizado como fuente de glucoamilasas, destacando las bacterias *Bacillus coagulans* y *Lactobacillus brevis* y las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomycopsis fibuliger*, (Pretorius y Lambrechts, 1991; Pandey et al., 2000).

Tabla 1.8. Características de la enzima alfa amilasa bacteriana

CARACTERÍSTICAS	ACCIÓN
Especificidad	Enlace 1-4 glucosídico
Mecanismo	Endoamilasas
Principal producto de la hidrólisis	Dextrinas
Disminución de la viscosidad	Rápida
Perdida del color del yodo	Rápida
Aumento del poder del reductor	Lento
Producción de glucosa	Lenta
Producción de maltosa	Lenta
Producción de dextrinas	Rápida

Fuente: Beltrán A., Herreño L. (2010)

Para la hidrólisis industrial del almidón a D- glucosa se utilizan tres o cuatro enzimas diferentes, la más utilizada es la alfa amilasa. La α -amilasa no ataca tampoco a segmentos del polímero del almidón que está

formando dobles hélices, ni a los que se encuentran en forma de complejo con un lípido polar segmento de hélice sencilla estabilizado, (Beltrán, 2010). La α -amilasa es una enzima proteica que se encuentra en la saliva humana cataliza la degradación del almidón, que es un polisacárido de reserva vegetal, (Garrido, 2008).

Para su favorable acción catalítica sobre el almidón, ésta enzima requiere un activador como el cloruro de sodio y un pH óptimo que se encuentra entre 5 y 7, siendo este valor para la enzima alfa amilasa bacteriana de 6.5. Cabe resaltar que este es una enzima termorresistente, pues a 70°C conserva aún actividad amilolítica en un 70%, por ello algunas α -amilasa microbianas tienen temperaturas altas de inactivación y si no se han inactivado, pueden tener efectos muy indeseables sobre la estabilidad de los alimentos cuya base sea el almidón. La alfa amilasa es una enzima altamente sensible a una acidez elevada y se inactiva a $\text{pH} \leq 3.3$ en un tiempo aproximado de 15 minutos. Actúa sobre el almidón en estado sólido y granulado (almidón crudo o nativo) y sobre preparaciones en las que el almidón ya se encuentra gelatinizado. La acción de las enzimas amilasas sobre una sustancia se cuantifica en unidades de actividad amilolítica, la cual se define como la cantidad de enzima que se requiere para hidrolizar 1g de almidón en solución para que llegue a dextrinas a 30°C por un tiempo de 1 hora. Esta actividad se expresa en unidades de enzima por gramo de almidón preparado, (Beltrán, 2010).

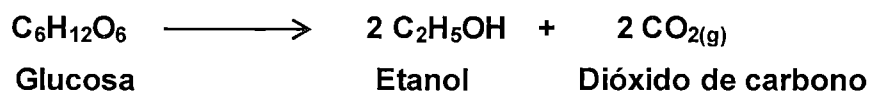
1.2.5. FERMENTACIÓN

El término “fermentación” ha adquirido significados en cierta forma diferentes a medida que sean ido conociendo mejor las causas que desencadenan el proceso. La raíz de la palabra fermentación significa un estado de burbujeo suave. La acción burbujeante era debida a la conversión del azúcar en dióxido de carbono. Posteriormente, Pasteur demostró la relación de las levaduras con esta reacción, con lo que la palabra “fermentación” quedó asociada con microorganismos y, más tarde, con enzimas, (Potter, 1999).

Es una reacción de obtención de energía en ausencia de oxígeno, en donde el reactivo inicial es la glucosa, esencialmente el proceso que se lleva a cabo en un recipiente llamado fermentador o en general, biorreactor, mediante el cual determinados sustratos que componen el medio de cultivo son transformados por acción microbiana en metabolitos y biomasa. El microorganismo va aumentando en su concentración en el transcurso del proceso al mismo tiempo que el medio se va modificando y se forman productos nuevos como consecuencia de las actividades anabólicas y catabólicas. Existen distintos tipos de fermentación según los productos obtenidos, los más conocidos son: alcohol etílico, ácido láctico, ácido butírico, ácido cítrico y ácido acético, (Zambrano, 2013).

1.2.5.1. FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA (FA)

Es una reacción anaerobia (ausencia de oxígeno molecular) que desprende energía y es catalizada por enzimas o bacterias, y que implica la descomposición de carbohidratos (azúcares y almidones) en alcohol y dióxido de carbono, (Zambrano, 2013), cuya reacción fundamental conocida como la ecuación de Gay-Lussac, es la siguiente:



La fermentación alcohólica es la etapa esencial de fabricación de las bebidas fermentadas: vino, cerveza y sidra, y bebidas destiladas, por lo tanto es fundamental controlar el proceso de conversión a alcohol, para favorecer la producción de los componentes favorables del aroma y al mismo tiempo, minimizar la formación de los desfavorables, (Casp & Abril, 2003).

Glucosa y fructosa, dos azúcares metabolizados por la levadura son degradados durante la glicólisis. El alcohol representa el principal producto de la FA según la reacción mostrada anteriormente. Una parte significativa de los azúcares es utilizada para formar la biomasa y otros

subproductos de la fermentación (glicerol, ácidos orgánicos, ésteres, alcoholes superiores), lo que significa que el índice de transformación de los azúcares en alcohol alcanza del 92% al 93%, (Lallemand, 2007).

1.2.5.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO FERMENTATIVO

En la siguiente tabla se muestran los factores más importantes que cumplen un papel desencadenante en el proceso fermentativo, siendo el grado brix, el pH y temperatura los factores más importantes.

Tabla 1.9. Factores del proceso de fermentación

FACTORES	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Levadura	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Si es seca debe activarse en agua a 20°C.
Grado Brix	16-20	Si el Brix es muy bajo el grado alcohólico obtenido será pobre, por lo contrario si el Brix es muy alto la fermentación no se efectúa, pues la presión osmótica que se ejerce sobre las levaduras es grande y no permite que actúen sobre los azúcares.
pH	4 – 5.5	La levadura trabaja mejor en medio relativamente ácido; por lo que deberá ajustarse el mosto a este requerimiento.
Temperatura	27 - 35	La descomposición de los azúcares produce una reacción exotérmica es decir con desprendimiento de calor. Si la temperatura es muy baja la fermentación es lenta, si la temperatura excede de los 35°C disminuye la acción de las levaduras y si esta aumenta por encima de los 40 esta se puede detener.
Nutrientes	Nitrógeno y fósforo (urea y fosfato de amonio)	La levadura necesita la presencia de nutrientes para que la fermentación sea correcta.

Fuente: Zambrano, G. (2013)

En cuanto a los nutrientes es de suma importancia su adición ya que según Acosta, C. (2012) menciona que en función de los nutrientes incluidos o ausentes del medio de fermentación se hacen aportes importantes en la protección de las células a factores de estrés, lo que influye directamente en la tasa de crecimiento, la degradación de sustrato y los cambios sobre el producto final. Cabe indicar que, para diluciones de sustrato en fermentación es necesario adicionar requerimientos nutricionales como menciona Lorenzo (2011) en el que hace alusión a diluciones con contenidos de sólidos de 19 a 21 °Bx. Dicha solución fue enriquecida con sales de amonio, generalmente fosfatos y sulfatos de manera que se aporte los nutrientes básicos al medio. Si se empleara fosfato de amonio monobásico, como único nutriente en el proceso, para asegurar el aporte de nitrógeno y fósforo al mosto, y de este modo, promover un proceso con el mínimo contenido de componentes químicos, en cuanto a la cantidad a usar Queris (2010), reporta que el valor medio de fosfato evaluado se definió en función de los diferentes reportes bibliográficos y aplicaciones industriales, que establecen el valor de 0,4 mg/L como concentración promedio.

1.2.5.3. MICROORGANISMOS QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

Las levaduras son los microorganismos más utilizados para la producción de etanol por la vía fermentativa, debido a su alta productividad en la conversión de azúcares a bioetanol y a que se separan mejor después de la fermentación. Además, la producción de toxinas es muy inferior a la de otros microorganismos. Entre las especies más utilizadas están: *Saccharomyces cerevisiae*, *S. ellipsoideus*, *S. anamensis*, *Candida pseudotropicalis*, *S. carlsbergensis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Candida bytyrii*, *Pichia stipitis*, *Schizosaccharomyces pombe* y *Pichia membranaefaciens*.” (Zambrano, 2013).

Todas las levaduras no presentan la misma sensibilidad al etanol, las más resistentes son las *Saccharomyces* que se utilizan en los procesos

de fermentación alcohólica para la elaboración de bebidas o la producción de alcohol industrial, (Casp & Abril, 2003).

1.2.5.4. *Saccharomyces Cerevisiae*

S. cerevisiae es la especie de levadura utilizada por excelencia para la obtención de etanol a nivel industrial debido a que es un microorganismo de fácil manipulación, no es exigente en cuanto a su cultivo, no presenta alto costo, tolera altas concentraciones de etanol, en la fermentación produce bajos niveles de subproductos, es osmotolerante, capaz de utilizar altas concentraciones de azúcares, presenta alta viabilidad celular para el reciclado y características de floculación y sedimentación para su procesamiento posterior, (Zambrano, 2013).

S. cerevisiae es la levadura más ampliamente utilizada en las fermentaciones industriales, metaboliza los azúcares: sacarosa, glucosa, fructosa, maltosa y maltotriosa en distinto orden. La sacarosa debe ser primero hidrolizada por la invertasa localizada en el espacio periplásmico extracelular. Desgraciadamente, *S. cerevisiae* es incapaz de hidrolizar el almidón e incluso las dextrinas, es necesario efectuar un pretratamiento de hidrólisis con enzimas bacterianas para que *S. cerevisiae* pueda transformar los oligosacáridos obtenidos en etanol, (Casp & Abril, 2003).

• **Características generales:** *S. cerevisiae* pertenece al grupo de las levaduras; estos son organismos eucarióticos. Como un microorganismo perteneciente al grupo de las levaduras, comparte con ellas las siguientes características, (Zambrano, 2013):

- Dimensiones (micras): 4– 8
- Tiempo de duplicación (horas): 1– 3
- pH (rango óptimo): 4– 5,5
- Nitrógeno (%): 7,5–8,5
- Proteína (%): 35–45
- Ácidos Nucleicos (%): 6– 12

- **Metabolismo.** *S. cerevisiae* realiza fermentación alcohólica, en la cual el etanol es formado a partir de la D-glucosa; éste azúcares convertido en piruvato por la vía de Embden Meyerhof Parnas (glucólisis). El piruvato producido durante la glucólisis es descarboxilado a acetaldehído por la piruvato descarboxilasa, después el acetaldehído es reducido a etanol por el alcohol deshidrogenada, (Zambrano, 2013).

1.2.6. ALCOHOL ETÍLICO

Conocido como etanol, es un alcohol que se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78°C, al mezclarse con agua en cualquier proporción, da una mezcla azeotrópica. Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$, es el componente activo esencial de las bebidas alcohólicas. Puede obtenerse a través de dos procesos de elaboración: la fermentación o descomposición de los azúcares contenidos en distintas frutas, y la destilación, consistente en la depuración de las bebidas fermentadas, (Zambrano, 2013).

- **Propiedades Fisicoquímicas.**

– Estado de agregación:	Líquido
– Apariencia:	Incoloro
– Densidad:	810 Kg/m ³ ; 0.810g/cm ³
– Masa molecular:	46.07 uma
– Punto de fusión:	158.9 K (-114.1°C)
– Punto de ebullición:	351.6 K (78.6°C)
– Temperatura crítica:	514 K (241°C)
– Presión crítica:	63atm
– Temperatura de inflamación:	13°C

Con la fermentación se realiza la conversión de los carbohidratos en alcohol. La determinación de los grados alcohólicos (GA) probables, expresados también en grados Gay Lussac (°GL) se puede hallar en función

de los grados Brix, grados baumé y de la densidad, (M. A. Amerine & Cornelius S. Ough, 2001).

1.2.7. MODELOS CINÉTICOS DE PREDICCIÓN EN PROCESOS FERMENTATIVOS

El propósito de los modelos es conocer en forma adelantada el comportamiento de variables bajo condiciones pre establecidas. Para hacer esto, se requiere un rígido control de los factores fisicoquímicos (tales como temperatura, pH, a_w , sólidos solubles, concentración, etc), que puedan influenciar en la producción y contenido de azúcares reductores (AR) así como un profundo conocimiento acerca de las características biológicas de los organismos biológicos intervinientes.

Los modelos primarios o de Primer Orden, que ayudan a describir la cinética de un proceso con tan pocos parámetros como sean necesarios sirven para definir con precisión las fases de producción y/o contenido. Ellos representan el incremento o decrecimiento, en este caso, de la cantidad de AR en función del tiempo.

La aplicación de un modelo primario a un conjunto de datos microbiológicos es como sigue:

1. Un modelo matemático es asumido para explicar los datos experimentales ($^{\circ}$ Brix, AR, GA) que cambian en el tiempo.
2. El modelo definirá los datos experimentales por medio de una regresión (lineal o no lineal). Como consecuencia de la definición, un set de parámetros cinéticos propios del modelos serán proveídos, tales como velocidad de producción, velocidad de degradación fase lag (en procesos de producción) y hombros o colas (en procesos de caída).

Los datos usados en la definición del modelo normalmente obtenidos bajo factores intrínsecos y extrínsecos específicos. Por esta razón, los

parámetros cinéticos obtenidos solo son aplicables cuando estos factores intrínsecos y extrínsecos se repiten.

1.2.7.1. MODELO DE GOMPERTZ

Los modelos de incremento en funciones Sigmoidales tales como los Modelos de Gibson, el Modelo Logístico Modificado y el Modelo Modificado de Gompertz, se aplican para estos modelos. El último plantea la ecuación que se muestra:

$$\text{Log } N = A + C \times \exp - \exp -B \times t - M \quad (1)$$

En donde:

A es la concentración inicial

C es el máximo valor de concentración

B es la velocidad máxima de crecimiento

t es el tiempo

M es el tiempo al que se alcanza la máxima velocidad de crecimiento, (Valbuena, 2005).

1.2.7.2. MODELO DE WEIBULL

Los modelos de contenido correlacionan la disminución de una población o metabolito determinado bajo condiciones de degradación o destrucción pre determinadas, entre los que destacan el modelo de Weibull.

El modelo de Weibull se ha utilizado como un modelo primario de inactivación de células vegetativas, (Van Boekel, 2002). Este modelo supone la no linealidad semilogarítmica de las curvas de supervivencia en los procesos de inactivación térmica a través de considerar la variabilidad biológica con respecto a la inactivación térmica y es básicamente un modelo de distribución estadística de los tiempos de inactivación. El modelo está construido por dos parámetros, el parámetro de escala α y el parámetro adimensional de forma β . El logaritmo del parámetro de escala α depende

linealmente de la temperatura, sin embargo, esta relación para el parámetro β no está tan bien establecida, la distribución de Weibull plantea:

$$\log_e S(t) = -\frac{t}{\beta}^\alpha \quad (2)$$

$$S(t) = \exp -\frac{t}{\beta}^\alpha \quad (3)$$

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\alpha\beta^{-\alpha}t^{\alpha-1} \exp -\frac{t}{\beta}^\alpha \quad (4)$$

Donde α y β son los factores de forma y ubicación, respectivamente.

Tenga en cuenta que al contrario de diversos reportes en la literatura de la microbiología de los alimentos, la forma y la ubicación de los factores de distribución de Weibull (α y β en las ecuaciones (2) - (4)) debe ser calculado a partir de los datos de supervivencia primas antes de su transformación logarítmica, es decir, utilizando Ec. (3) como el modelo, no Ec. (2), (Peleg y Cole, 1998).

En muchos estudios de cinética de inactivación, sin embargo, es imperativo para presentar los datos experimentales de supervivencia en la forma de $\log_{10}N(t)$ o $\log_{10}S(t)$ frente a las relaciones de tiempo. Esto se debe a la diferencia entre una relación de supervivencia de 10^{-3} y 10^{-6} , decir, puede tener consecuencias graves de seguridad a pesar de que ambos valores son numéricamente pequeños e insignificante en relación a un ratio de supervivencia de 0,5 por ejemplo. En todos estos casos, especialmente cuando los datos tienen una dispersión considerable, sería prudente utilizar la 'versión empírica' del modelo de supervivencia de Weibull, es decir,

$$\log_{10}S(t) = -bt^n \quad (5)$$

Donde b y n son coeficientes de ubicación y forma, respectivamente.

Aunque esta forma de presentación no cambia el modelo de Weibull en sí, que eliminará una posible confusión entre las características de la curva experimental de supervivencia semi logarítmica y los de la distribución subyacente de los eventos de mortalidad, (Peleg, 2006).

La ecuación (5) se denota matemáticamente de la siguiente forma, teniendo en cuenta que $S(t)=N_{(t)}/N_0$:

$$\text{Log } \frac{N_{(t)}}{N_0} = -bt^n \quad (6)$$

$$\text{Log } N_{(t)} - \text{Log } N_0 = -bt^n \quad (7)$$

$$\text{Log } N_{(t)} = \text{Log } N_0 - bt^n \quad (8)$$

Donde $N(t)$ y N_0 serían el momentáneo e inicial número de células, respectivamente.

CAPITULO II: MARCO METODOLÓGICO

2.1. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El diseño experimental se presenta esquemáticamente en la Figura N°2.1, el cual fue estructurado de tal forma que permita la evaluación correspondiente. El diseño de contrastación que permitió establecer la validación o negación de la hipótesis se hizo aplicando un Diseño en Bloques Completamente Aleatorizado (DBCA) para las dos etapas: hidrólisis enzimática y fermentación alcohólica; a fin de evaluar, para la primera, la temperatura y dilución de hidrólisis y para la segunda, dilución de fermentación y concentración de *S. cerevisiae* var. *bayanus*, respectivamente. A continuación se muestra la ecuación de un DBCA usada en el análisis estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + e_{ij} \quad (9)$$

En donde:

Y es el valor observado en la i -ésima repetición para el j -ésimo tratamiento.

μ es el efecto de la media general.

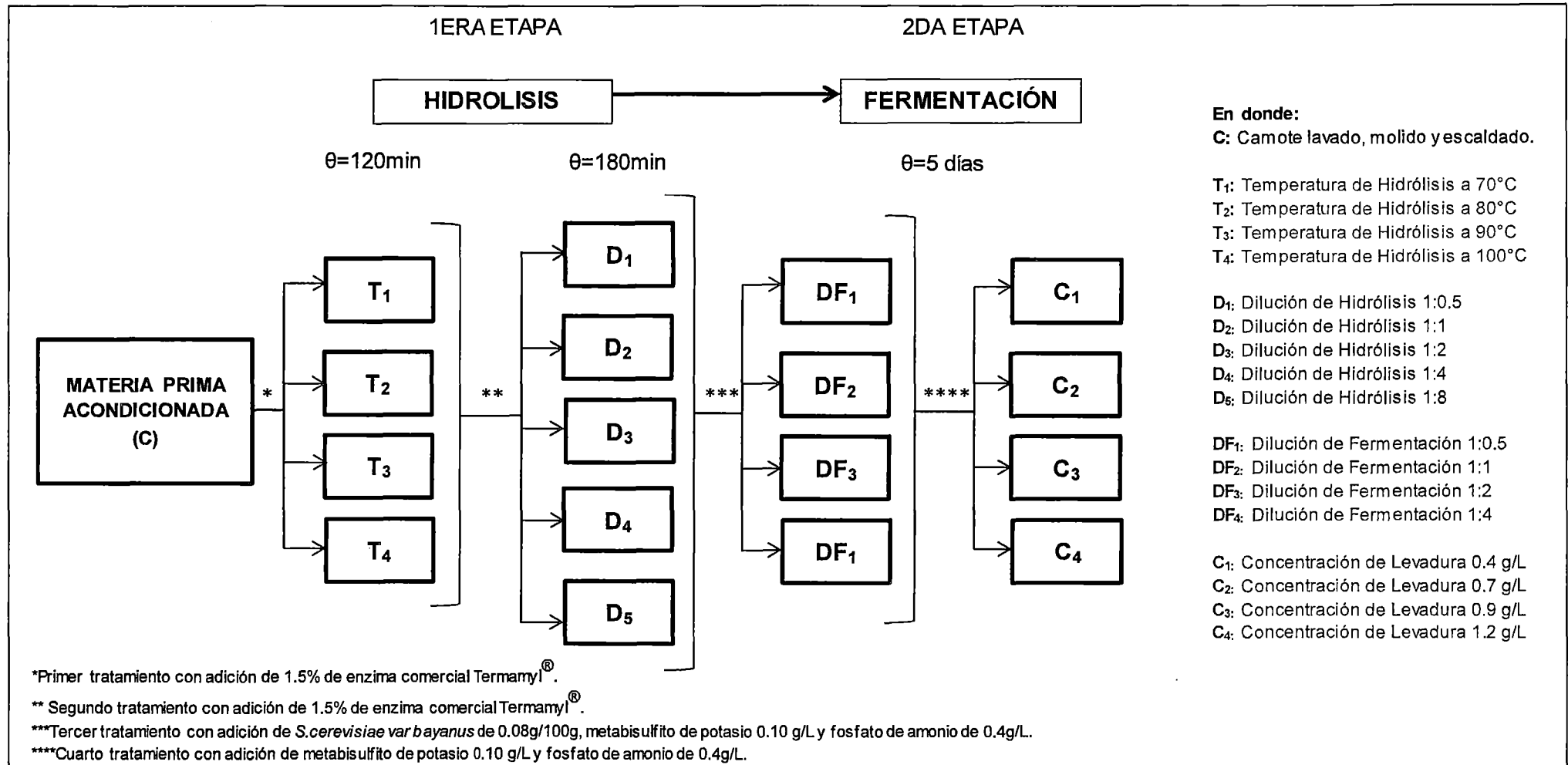
β_j es el efecto del j -ésimo bloque (Tiempo).

τ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento (Para temperatura de hidrólisis, dilución de hidrólisis, dilución de fermentación y concentración de levadura según corresponda)

e_{ij} es el efecto aleatorio del error experimental.

Para el análisis estadístico de esta investigación se utilizó como herramienta tecnológica el software Statgraphics Centurion XVI.I para realizar el análisis de varianza (ANOVA) citada en la Tabla 2.1, en donde se trabajó con un nivel de significancia o error estadístico del 5% (0.05) que permitió determinar si los datos arrojados en la investigación existen o no variaciones significativas de las variables ensayadas, se realizaron 4 análisis de varianza para las matrices citadas en las Tablas 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5.

FIGURA N°2.1: DIAGRAMA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS



Fuente: De los autores (2014)

Tabla 2.1. Análisis de varianza (ANOVA) para el DBCA de la investigación.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SC)	Grados de libertad (gl)	Cuadrados Medios (CM)	Razón F
Entre Tratamientos (Para temperatura de hidrólisis, dilución de hidrólisis, dilución de fermentación y concentración de levadura)	SCA	t-1	$T = SCA / (t-1)$	T/E
Entre Bloques (Tiempo)	SCB	b-1	$B = SCB / (b-1)$	B/E
Error experimental	SCE	(t-1)(b-1)	$E = SCE / (t-1)(b-1)$	
Total	SCT	t.b-1		

Fuente: biblioteca.itson.mx/oa/proyecto_OA/diseño_bloques_Azar/

En donde:

SCA es la suma de cuadrados de los tratamientos (Para temperatura de hidrólisis, dilución de hidrólisis, dilución de fermentación y concentración de levadura según corresponda).

SCB es la suma de cuadrados de los tiempos.

SCE es la suma de cuadrados del error.

SCT es la suma cuadrada del total.

T son los cuadrados medios de los tratamientos (Para temperatura de hidrólisis, dilución de hidrólisis, dilución de fermentación y concentración de levadura según corresponda).

B son los cuadrados medios de los tiempos.

E son los cuadrados medios del error.

t es el número de tratamientos (t=4 para temperatura de hidrólisis, dilución de fermentación y concentración de levadura y t=5 para dilución de hidrólisis).

b es el número de tiempos (b=7 para la hidrólisis y b=5 para fermentación).

Tabla 2.2. Matriz de Hidrólisis enzimática para la evaluación de las temperaturas en el tiempo.

TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)			
	70(T ₁)	80(T ₂)	90(T ₃)	100(T ₄)
0(t ₀)	T ₁ t ₀	T ₂ t ₀	T ₃ t ₀	T ₄ t ₀
20(t ₁)	T ₁ t ₁	T ₂ t ₁	T ₃ t ₁	T ₄ t ₁
40(t ₂)	T ₁ t ₂	T ₂ t ₂	T ₃ t ₂	T ₄ t ₂
60(t ₃)	T ₁ t ₃	T ₂ t ₃	T ₃ t ₃	T ₄ t ₃
80(t ₄)	T ₁ t ₄	T ₂ t ₄	T ₃ t ₄	T ₄ t ₄
100(t ₅)	T ₁ t ₅	T ₂ t ₅	T ₃ t ₅	T ₄ t ₅
120(t ₆)	T ₁ t ₆	T ₂ t ₆	T ₃ t ₆	T ₄ t ₆

Fuente: De los autores (2014)

Tabla 2.3. Matriz de Hidrólisis enzimática para la evaluación de las diluciones en el tiempo.

TIEMPO (min)	DILUCIÓN DE HIDRÓLISIS (pasta cocida de camote: agua)				
	1:0.5(D ₁)	1:1(D ₂)	1:2(D ₃)	1:4(D ₄)	1:8(D ₅)
0(t ₀)	D ₁ t ₀	D ₂ t ₀	D ₃ t ₀	D ₄ t ₀	D ₅ t ₀
30(t ₁)	D ₁ t ₁	D ₂ t ₁	D ₃ t ₁	D ₄ t ₁	D ₅ t ₁
60(t ₂)	D ₁ t ₂	D ₂ t ₂	D ₃ t ₂	D ₄ t ₂	D ₅ t ₂
90(t ₃)	D ₁ t ₃	D ₂ t ₃	D ₃ t ₃	D ₄ t ₃	D ₅ t ₃
120(t ₄)	D ₁ t ₄	D ₂ t ₄	D ₃ t ₄	D ₄ t ₄	D ₅ t ₄
150(t ₅)	D ₁ t ₅	D ₂ t ₅	D ₃ t ₅	D ₄ t ₅	D ₅ t ₅
180(t ₆)	D ₁ t ₆	D ₂ t ₆	D ₃ t ₆	D ₄ t ₆	D ₅ t ₆

Fuente: De los autores (2014)

Tabla 2.4. Matriz de Fermentación alcohólica para la evaluación de las diluciones en el tiempo.

TIEMPO (días)	DILUCIÓN DE FERMENTACIÓN (pasta hidrolizada de camote: agua)			
	1:0.5(DF ₁)	1:1(DF ₂)	1:2(DF ₃)	1:4(DF ₄)
1(t ₀)	DF ₁ t ₀	DF ₂ t ₀	DF ₃ t ₀	DF ₄ t ₀
2(t ₁)	DF ₁ t ₁	DF ₂ t ₁	DF ₃ t ₁	DF ₄ t ₁
3(t ₂)	DF ₁ t ₂	DF ₂ t ₂	DF ₃ t ₂	DF ₄ t ₂
4(t ₃)	DF ₁ t ₃	DF ₂ t ₃	DF ₃ t ₃	DF ₄ t ₃
5(t ₄)	DF ₁ t ₄	DF ₂ t ₄	DF ₃ t ₄	DF ₄ t ₄

Fuente: De los autores (2014)

Tabla 2.5. Matriz de Fermentación alcohólica para la evaluación de las concentraciones de *S. cerevisiae* var. *bayanus* en el tiempo.

TIEMPO (días)	CONCENTRACIÓN DE <i>S. CEREVISIAE</i> VAR. <i>BAYANUS</i> (g/L)			
	0.4(C ₁)	0.7 (C ₂)	0.9 (C ₃)	1.2 (C ₄)
0(t ₀)	C ₁ t ₀	C ₂ t ₀	C ₃ t ₀	C ₄ t ₀
1(t ₁)	C ₁ t ₁	C ₂ t ₁	C ₃ t ₁	C ₄ t ₁
2(t ₂)	C ₁ t ₂	C ₂ t ₂	C ₃ t ₂	C ₄ t ₂
3(t ₃)	C ₁ t ₃	C ₂ t ₃	C ₃ t ₃	C ₄ t ₃
4(t ₄)	C ₁ t ₄	C ₂ t ₄	C ₃ t ₄	C ₄ t ₄
5(t ₅)	C ₁ t ₅	C ₂ t ₅	C ₃ t ₅	C ₄ t ₅

Fuente: De los autores (2014)

Cada matriz se experimentó por duplicado (n=2), de las cuales se obtuvo un promedio. Asimismo se tuvo en cuenta el criterio de evaluación para ambos procesos: hidrólisis enzimática (temperatura y dilución) será la mayor de cantidad de azúcares reductores producida y para la fermentación (dilución de pasta hidrolizada en agua y concentración de *Saccharomyces*

cerevisiae var. *bayanus*) serán la menor cantidad de °Brix final (para la primera) y el mayor valor de grado alcohólico (para la segunda).

Habiéndose determinado que existen diferencias significativas entre los tratamientos se procedió a realizar la Prueba de Tukey a cada ANOVA obtenido, el cual permitió mediante una mayor exigencia de comparación identificar la significancia entre los tratamientos y poder decir si son iguales o diferentes entre ellos.

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

2.2.1. POBLACIÓN

Constituida por 40 Kg de un puesto de los mayoristas del mercado Moshoqueque.}

2.2.2. MUESTRA

La muestra estuvo constituida por 5 Kg de camote de pulpa anaranjado (*Ipomoea batata* L.) que fueron acondicionados para los tratamientos.

2.3. MATERIALES

2.3.1. MATERIALES DE LABORATORIO

- Agitador de vidrio.
- Alcohómetro a 20°C.
- Bagueta de vidrio.
- Buretas de 25 y 50 ml c/u.
- Cocina eléctrica.
- Cronómetro.
- Cuchillos de acero inoxidable.
- Embudos de vidrio.
- Matraces de 250ml.
- Fiolas de 50, 100, 250, 500 y 1000 ml c/u.
- Papel filtro Wathman N°04.

- Picetas.
- Pipetas de 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10 ml c/u.
- Probetas de 10, 100 Y 250 ml c/u.
- Termómetros de -10°C a 250°C.
- Tubos de ensayo.
- Vasos de precipitación de 50, 100, 250 y 500ml c/u.

2.3.2. MATERIAL BIOLÓGICO

- Camote entero (*Ipomoea batata* L.).
- Enzima Comercial Termamyl® 120 L, Type L.
- Levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus*.

2.3.3. SUSTANCIAS, REACTIVOS Y SOLUCIONES

- Ácido Cítrico al 1% (w/v).
- Agua destilada.
- Buffer citrato y fosfato
- Fenol Q.P.
- Glucosa anhidra Q.P.
- Hidróxido de sodio 0,1 y 1 N y al 5%
- Metabisulfito de potasio Q.P.
- Reactivo 2,4 DNF
- Solución de fenolftaleína al 1%
- Solución de Yodo 1%
- Tartrato de sodio y potasio Q.P.
- Fosfato de amonio monobásico Q.P.

2.3.4. EQUIPOS DE LABORATORIO

- Balanza analítica electrónica marca KERN precisión 500 g / 0.01 g.
- Cocina marca TECNOGAS.
- Congeladora Coldex modelo CH10P.

- Espectrofotómetro marca Génesis, filtro de absorción de 620 milimicrones.
- Estufa marca INDUMELAB (300°C).
- Molino de granos manual marca CORONA.
- Muffa Thermolyne 100-1100°C.
- pHmetro marca HANNA ® tipo lapicero modelo PH009.
- Refractómetro digital de bolsillo ATAGO PAL-1, rango de medida Brix 0.0 a 53% a temperatura de 9.0 - 99.9°C, precisión Brix $\pm 0.2\%$ hasta $\pm 0.1\%$.
- Refrigerador LG modelo GR-B207DBC.
- Termocupla tipo J. Marca FLUKE, modelo 051, precisión $\pm 0.5^\circ\text{C}$

2.4. MÉTODOS

2.4.1. ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima a usar fue camote de pulpa anaranjado (*Ipomoea batata* L). Ésta fue adquirida en el periodo de febrero 2014 y se caracterizaron mediante un análisis proximal por duplicado hecho con la técnica del cuarteo (procedimiento descrito en el Anexo 1) con el fin de obtener una muestra más representativa. El acondicionamiento del camote de pulpa anaranjado (*Ipomoea batata* L) se realizó de la siguiente manera:

1. Seleccionar camotes de buena apariencia física (sin daño físico).
2. Lavarlos con agua a presión con el fin de eliminar impurezas (tierra, partículas extrañas, etc.). (Ver ilustración del punto 2 de Anexo 2).
3. Someterlos al vapor (90°C) por 30 minutos aprox. Medir temperatura interna según el procedimiento descrito en el Anexo 3.
4. Moler el camote escaldado en un molino de granos manual previamente lavado y desinfectado con alcohol al 70% a temperatura ambiente y por un tiempo de 10 minutos.

2.4.2. MÉTODO EN PROCESO DE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA

Posteriormente al acondicionamiento del camote se toma como materia prima al camote escaldado molido, con el propósito de aprovechar el almidón existente en todo el sustrato. La pasta fue colocada en bolsas plásticas de polietileno con cierre hermético tipo Ziploc® a razón de 1 Kg (como se ilustra en el punto 3 del Anexo 4) teniendo cuidado de expulsar la máxima cantidad de aire posible, e inmediatamente congeladas en el túnel de aire forzado hasta alcanzar una temperatura de -20°C en un plazo de 3 horas; y mantenidas en congelación hasta su uso en los ensayos de Hidrólisis Enzimática.

Se utilizó la enzima comercial Termamyl® 120 L alfa-amilasa (cuya ficha técnica se muestra en el Anexo 5). Según Zambrano, G. (2013), la concentración de enzima α -amilasa óptima es de 1,5% referida al peso del sustrato a hidrolizar.

En ésta investigación se desarrollarán dos pruebas: la mejor temperatura y la dilución óptima de la pasta cocida de camote. Asimismo, el pH es un condicionante para la efectividad de acción de la enzima Termamyl, por ello se deberá ajustar el pH de la pasta diluida de camote cocido a 6.5 para beneficiar el proceso.

Para proceder a los ensayos, la pasta fue descongelada en agua fría y esta se cambia cada cierto tiempo (unos 30 minutos) para que continúe con la descongelación y luego se colocó en una olla de acero inoxidable y procediendo a lo siguiente:

2.4.2.1. Evaluación de la Temperatura óptima en pasta de camote para Hidrólisis Enzimática.

Los ensayos a diferentes temperaturas de experimentación para llevar a cabo el proceso de Hidrólisis enzimática fueron evaluados buscando la mejor temperatura de hidrólisis en la que la α -amilasa genere mayor cantidad de azúcares reductores en el menor tiempo posible.

1. Preparar en un vaso de precipitación de 250 ml una solución en peso en dilución de 1:0.5 (pasta cocida de camote: agua destilada) que para fines de esta investigación correspondió un peso de 66g: 33g.
2. Medir el pH y ajustarlo a 6.5, mediante el uso de ácido cítrico al 1%(w/v).
3. Medir el °Brix inicial de la solución.
4. Una vez diluida la pasta cocida de camote realizar el procedimiento descrito en el Anexo 6. Los tubos de ensayo fueron sometidos a temperatura de experimentación de 70, 80, 90 y 100°C según corresponda, mantener agitación continua durante el proceso.
5. Medir espectrofotométricamente cantidad de azúcares reductores mediante el método de Ross (procedimiento descrito en el Anexo 7.1) en intervalos de tiempo de 0, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 min.
6. Medir pH final de hidrólisis.

Se probó por duplicado las muestras a diferentes temperaturas de experimentación en un plazo de tiempo de 120 min obtenidas mediante el procedimiento indicado en este ítem.

2.4.2.2. Evaluación de la Dilución óptima de pasta de camote para Hidrólisis Enzimática.

Los ensayos a diferentes diluciones de experimentación para llevar a cabo el proceso de Hidrólisis enzimática fueron evaluados buscando la mejor dilución del sustrato en la que la α -amilasa genere la mayor cantidad de AR final en el menor tiempo posible. El parámetro de respuesta fisiológica a valorar fue la cantidad de azúcares reductores generada por la enzima Termamyl®.

1. Preparar en un vaso de precipitación de 250 ml una solución en peso en diluciones de experimentación (pasta cocida de camote: agua destilada) de 1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8 que para fines de esta investigación correspondió a pesos de 66g:33g, 50g:50g, 33g:66g, 20g:80g y 11g:88g respectivamente.
2. Igual al punto 2 del ítem 2.4.2.1.

3. Igual al punto 3 del ítem 2.4.2.1.
4. Una vez diluida la pasta cocida de camote realizar el procedimiento descrito en el Anexo 6 a la temperatura de 100°C, mantener en agitación continua durante el proceso.
5. Medir espectrofotométricamente cantidad de azúcares reductores (según el procedimiento descrito en el Anexo 7.1) en intervalos de tiempo de 0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 min para determinar la dilución óptima.
6. Igual al punto 6 del ítem 2.4.2.1.

Se probó por duplicado las muestras a diferentes diluciones de experimentación en un plazo de tiempo de 120 min obtenidas mediante el procedimiento indicado en este ítem.

2.4.3. MÉTODO EN PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Terminada la etapa de hidrolisis se obtuvo la pasta de camote hidrolizada, materia prima para ésta etapa de fermentación, en la cual se desarrollaron dos pruebas: la dilución correcta de la pasta de camote hidrolizada y la cantidad de levadura a adicionar a dicha pasta. Los criterios de evaluación están referidos a establecer una dilución que nos permita obtener la menor cantidad de grados Brix (°Bx) terminada la fermentación y a determinar la cantidad de levadura que permita obtener el mayor valor de grados alcohólicos (GA). Para poder optimizar este proceso se decidió utilizar una de la cepa de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* (cuya ficha técnica se muestra en el Anexo 8) buscando la mejor respuesta fisiológica del cultivo de fermentación.

Para esta prueba, la pasta de camote hidrolizado deberá ajustarse a un pH de 6.0 para facilitar el proceso de fermentación, esto debido a que en ensayos previos no presentados el medio se acidificaba más rápido, en tanto se paró la fermentación en 5 días por el mismo motivo. Se usó fermentadores de tipo estático (matraces tipo Erlenmeyers) como se muestra en la siguiente figura:

Figura 2.2. Biorreactor de tipo estático

Fuente: De los autores (2014)



2.4.3.1. Evaluación de la Dilución óptima de pasta de camote hidrolizada para Fermentación Alcohólica.

1. Diluir la solución hidrolizada según el procedimiento descrito en Anexo 9.1 que para los fines de esta investigación correspondió un peso de 66g:33g, 50g:50g, 33g:66g y 20g:80g (camote hidrolizado: agua destilada) en matraces de 250ml respectivamente.
2. Ajustar cada matraz a pH de 6,0 para que pueda ser fermentado.
3. Adicionar la levadura en proporción de 0.08g/100 g (dato recomendado según Albán & Carrasco, 2012). Para la activación de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* ver el procedimiento citado en el Anexo 9.2.
4. Adicionar metabisulfito de potasio en proporción de 0.10 g/L (dato recomendado según Acosta, C. 2012). Adicionar su peso a cada uno de los 4 matraces. Agitar.
5. Adicionar fosfato de amonio monobásico en cantidad de 0.4 g/L (dato recomendado según Queris, 2010).
6. Dejar que la solución fermente por 5 días a temperatura de 27°C, con agitación de 1 min cada 12 horas.
7. Medir °Brix de las muestras fermentadas diariamente.
8. Detener la fermentación cuando en la solución permanezca estable el valor de °Brix, y la levadura se haya precipitado. Medir pH final.

2.4.3.2. Evaluación de la cantidad de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus*.

1. Diluir la solución hidrolizada en proporción de 1:0.5 (camote hidrolizado: agua destilada) que para fines de esta investigación

correspondió un peso de 83.35g : 41.65g. Se hace 4 muestras de igual proporción en matraces de 250ml respectivamente.

2. Igual al punto 3 del ítem 2.4.3.1.

3. Pesar *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* en concentraciones de experimentación de 0.4, 0.7, 0.9 y 1.2 g/L para adicionar a las 4 diluciones previamente homogenizadas. Para la activación de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* ver el procedimiento citado en el Anexo 9.2.

4. Igual al punto 4 del ítem 2.4.3.1.

5. Igual al punto 5 del ítem 2.4.3.1.

6. Igual al punto 6 del ítem 2.4.3.1.

7. Igual al punto 7 del ítem 2.4.3.1.

8. Igual al punto 8 del ítem 2.4.3.1.

La producción de alcohol con las diferentes concentraciones de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2 g/l) tuvo una fermentación de 5 días. Mediante la tabla citada en el Anexo N°10 se hizo la conversión de los datos de °Bx a GA.

2.4.4. MÉTODO EN PROCESO DE DESTILACIÓN

1. Filtrar dos veces la solución fermentada.

2. Armar el equipo de destilación simple.

3. Destilar la solución fermentada filtrada. Detener la destilación hasta que quede la cuarta parte del volumen inicial. (Anexo 11)

4. Medir GA del 1er destilado a la temperatura a 20°C.

5. Se realiza una 2da destilación a partir del primer destilado hasta que se haya consumido las tres cuartas partes del volumen del primer destilado.

6. Medir GA del 2do destilado a la temperatura a 20°C.

2.4.5. MÉTODOS ANALÍTICOS

Los métodos utilizados fueron:

2.4.5.1. Análisis Proximal del camote de pulpa anaranjado (*Ipomoea batata* L.)

La materia prima de camote de pulpa anaranjado fue analizada en forma proximal con los siguientes métodos:

- A. Humedad por el Método AOAC 925.10 (2002).
- B. Proteína por el Método de Kjeldhal, según AOAC 991.20 (2002).
- C. Cenizas por el Método AOAC 923.03 (2002).
- D. Extracto Etéreo por el Método de extracción de Soxhlet, según AOAC 920.35 (2002).
- E. Fibra Total por el Método AOAC 991.43 (2002).
- F. Carbohidratos por diferencia.

2.4.5.2. Determinación de Azúcares Reductores

Se utilizó el método de "DINITROFENOL DE ROSS", utilizado en el Centro Internacional de la Papa, desde 1975, (CIP, 2010). Y que fue recomendado para la presente investigación, procedimiento descrito en el punto 5 del ítem 2.4.2.1.

2.4.5.3. Determinación de pH

Se tomaron 10 ml de las diluciones de experimentación: pasta de camote-agua y camote hidrolizado-agua respectivamente, midiéndose el pH con un pHmetro marca HANNA ® tipo lapicero modelo PH009, calibrado previamente a pH 4.0 y 7.0 con buffer citrato y fosfato respectivamente.

2.4.6. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DEL PROCESO HIDROLISIS Y DE FERMENTACIÓN

2.4.6.1. Modelamiento para la Producción de Azúcares Reductores y Grados alcohólicos

Durante el proceso de hidrólisis enzimática a diferentes diluciones y temperaturas las variaciones de azúcares reductores fueron modeladas utilizando una regresión polinómica usando el software MS Excel®, (Microsoft, 2010).

Durante dicha evaluación de la hidrólisis enzimática de pasta de camote la cinética de producción de azúcares reductores (AR) fue modelada utilizando el Modelo de Gompertz, cuya ecuación base se presenta en el ítem 1.2.7.1. Los parámetros del modelo de Gompertz que caracterizan la producción de AR; fueron determinados usando una regresión no lineal utilizando el software Statística 7.0 ®, (Statsoft Inc., 2004).

El modelamiento permitió determinar con precisión los indicadores utilizados para evaluar el proceso de Hidrólisis en dilución y temperatura más óptimas: Velocidad de incremento de AR (B), tiempo de producción de AR (M) y producción de AR (C); aplicando la ecuación (10) descrita a continuación:

$$AR = AR_i + C \times \exp - \exp - B \times t - M \quad (10)$$

En donde:

AR_i es el azúcar reductor inicial (mg/ml)

C es la diferencia entre el máximo valor y el valor inicial de AR (mg/ml)

B es la velocidad máxima de incremento

t es el tiempo (min)

M es el tiempo al que se alcanza la máxima velocidad de incremento.

Durante la evaluación de Fermentación Alcohólica, la cinética de producción de grados alcohólicos (GA) en las diferentes concentraciones de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* ensayados fue modelada utilizando el Modelo de Gompertz, cuya ecuación base se presenta en el ítem 1.2.7.1. El modelamiento de la cinética microbiana utilizando el modelo de Gompertz nos permitió obtener o calcular los siguientes parámetros de crecimiento: Producción de grados alcohólicos (C), velocidad máxima de incremento (B) y tiempo en el que se alcanza la velocidad máxima (M), aplicando la ecuación (11) descrita a continuación:

$$A = C \times \exp - \exp - B \times t - M \quad (11)$$

En donde:

A es el grado alcohólico (GA) producido.

C la diferencia entre el máximo valor y el valor inicial de GA, expresado en GA o °GL.

B es la velocidad máxima de incremento, expresado en min^{-1} .

t es el tiempo (días)

M es el tiempo al que se alcanza la máxima velocidad de incremento, expresado en minutos.

2.4.6.2. Modelamiento de la Cantidad de Grados Brix

Durante el proceso de Fermentación alcohólica a diferentes diluciones y concentraciones de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* las variaciones de grados Brix fueron modeladas utilizando una regresión polinómica usando el software MS Excel®, (Microsoft, 2010).

Durante la evaluación del proceso de fermentación la cinética de la cantidad de grados Brix fue modelada utilizando el Modelo Modificado de Weibull, cuya ecuación base se presenta en el ítem 1.7.7.2. Los parámetros del Modelo Modificado de Weibull que caracterizan la caída de °Brix; fueron determinados usando una regresión no lineal utilizando el software Estadística 7.0®, (Statsoft Inc., 2004).

El modelamiento permitió determinar con precisión los indicadores utilizados para evaluar el proceso de fermentación alcohólica en sus parámetros de dilución y de concentración de levadura más óptimos:

- Tiempo (días) de caída de °Brix
- Factor de ubicación (b)
- Factor de forma (n)

Denotados en la ecuación (8) anteriormente mencionado en el ítem 1.2.7.2 y adecuada a nuestra investigación de la siguiente forma:

$$\text{Log } Bx_f = \text{Log } Bx_0 - bt^n \quad (12)$$

Donde:

Bx_f es el Brix final

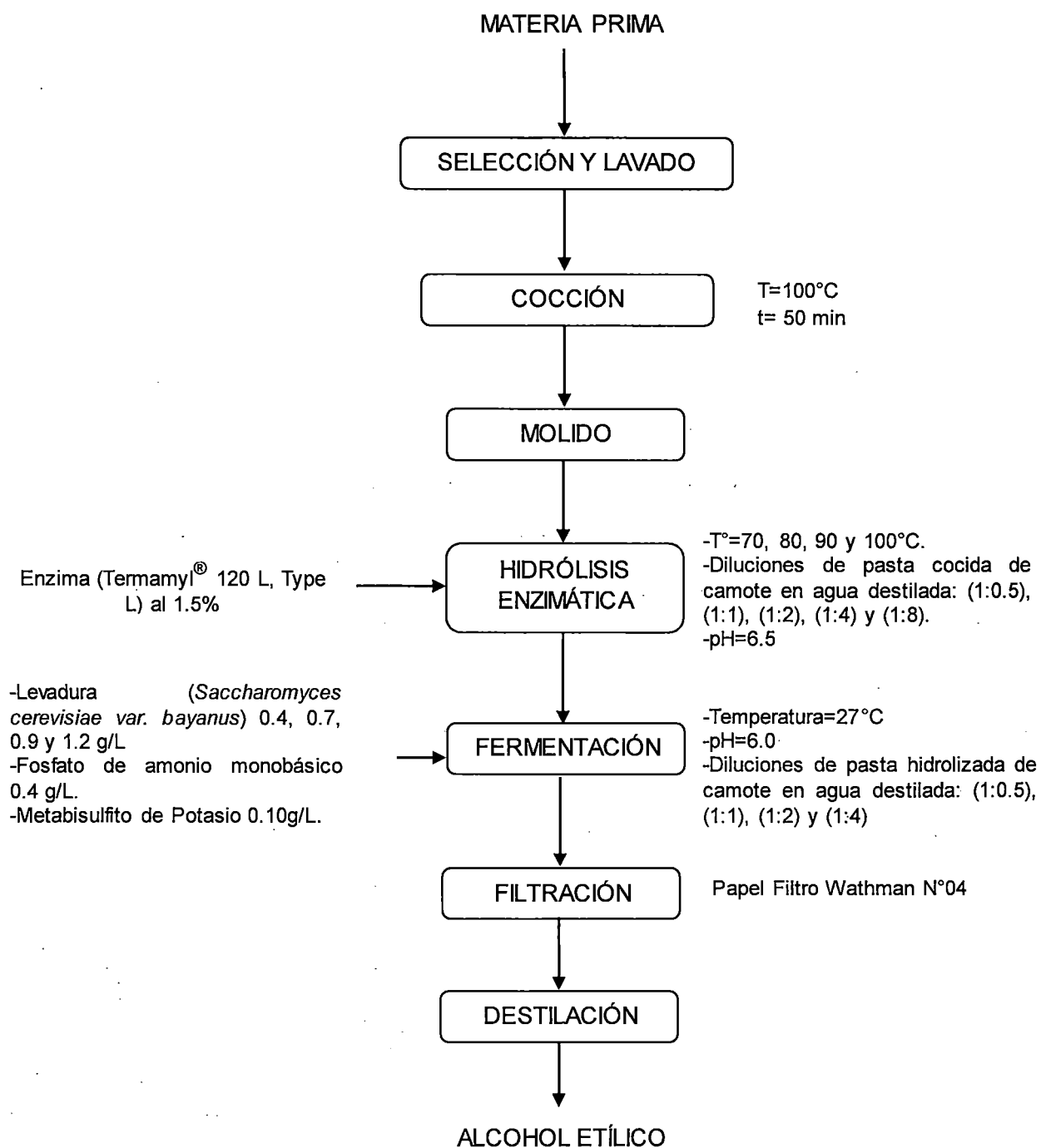
Bx_0 es el Brix inicial

b es el coeficiente de ubicación

n es el coeficiente de forma

t es el tiempo (días) de caída de °Brix

2.4.7. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL DE CAMOTE A PARTIR DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.)



Fuente: De los autores (2014)

CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.)

Los datos del análisis proximal de la composición química realizado al camote crudo de pulpa anaranjado (*Ipomoea batata* L.) se presentan el Anexo N°12, cuyos promedios que se muestran en la Tabla 3.1 son parecidos a lo que se reporta Espinola et al (1998) en la Tabla 1.1. Comparativamente el contenido de humedad en el camote fue mayor al que se presenta teóricamente, que señala un contenido de humedad de 69.8%, valor significativo a lo determinado por esta investigación (75.81%). Con referencia a esto, otros trabajos obtienen mayor cantidad de azúcares reductores, pero en nuestro caso, la materia prima tenía un exceso en la cantidad de agua como lo expresa la Tabla 3.1, lo cual al reducir la cantidad de materia seca reduce la cantidad de almidones presentes en dicha materia, tal relación es concordante con lo indicado por Folquer (2000) y Guizar Miranda A. et al (2008), cuyos autores mencionan que en el camote la humedad representa el principal constituyente seguido de carbohidratos, y que en base húmeda el contenido de carbohidratos representa un 20% pero llegaría a 80% si el camote se encontrara en base seca, dichos porcentajes se ajustan a lo establecido en la Tabla 1.1, donde se señala 20.1 y 80.25% de carbohidratos para BH (Base húmeda) y BS (Base seca) respectivamente. Asimismo la Tabla 3.1 muestra la desviación estándar de sus componentes y en donde se interpreta que hay muy poca variación entre los datos de cada componente del análisis proximal de camote. De esto, se afirma que los resultados en composición química muestran variaciones explicables por efecto de la variación de azúcares, principalmente por el contenido de humedad.

Tabla 3.1. Análisis Proximal de Camote de pulpa anaranjado (*Ipomoea batata* L)

COMPONENTE	PROMEDIO (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Agua	75.81	0.0578
Proteína Cruda	1.05	0.005
Extracto Etéreo	0.215	0.00045
Cenizas	0.06	0
Fibra	0.815	0.00045
Carbohidratos	22.05	0.045
TOTAL	100.0	

Fuente: De los autores (2014)

3.2. COCCIÓN DEL CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.)

Los resultados de la gelatinización del almidón en el camote se presentan en el Anexo 13, en el cual se muestra la toma de temperatura interna mediante el uso de una termocupla, cada 1, 2 y 5 minutos progresivamente mientras ocurre la cocción.

Teóricamente, según Pineda–Gómez et al (2010) durante la gelatinización ocurren cambios irreversibles que provocan el hinchamiento y disrupción del gránulo con una consecuente pérdida de cristalinidad. Los cambios que ocurren en la transición están influenciados por factores intrínsecos como tipo de almidón, tamaño de los gránulos, etc., y por factores extrínsecos, como la velocidad de calentamiento, el contenido de humedad, la historia térmica de la muestra y las condiciones de extracción del almidón, entre otras. Para dicha transición se requiere un porcentaje de agua mayor al 30% y una temperatura entre 60 y 75°C, valor que depende de la fuente de origen del almidón. Cabe mencionar que, el gránulo de almidón de camote presenta en su composición química 13% de humedad relativa al 65% y $6.15 \pm 0.10\%$ de humedad en B.S. como se muestra en las

Tablas 1.5 y 1.6 respectivamente, por tanto, la cantidad de agua que hay dentro de los gránulos almidón de camote no es suficiente para poder hinchar y gelatinizar, de este modo se debe adicionar agua en la cocción para producir la imbibición o incorporación de agua en el gránulo. Por dicha razón, es que se realizó una cocción para poder asegurar que el agua esté garantizada en cantidad suficiente.

Con respecto a lo citado anteriormente, Pineda–Gómez et al (2010), se enfocó al estudio de la gelatinización del almidón pero de maíz, en donde se evaluó cómo afecta la gelatinización del almidón con la cantidad de agua en la solución y cómo influye la velocidad de calentamiento en el proceso de la transición haciendo énfasis en el porcentaje de agua en la solución y la velocidad de calentamiento, teniendo como conclusión que la cantidad de agua afecta el proceso de gelatinización del almidón, pero su influencia se ve menos marcada cuando la velocidad de calentamiento es menor, pues se permite la aproximación hacia el equilibrio.

Por otro lado, la relación directamente proporcional entre el tiempo y la temperatura de gelatinización se presenta en la Figura 3.1.

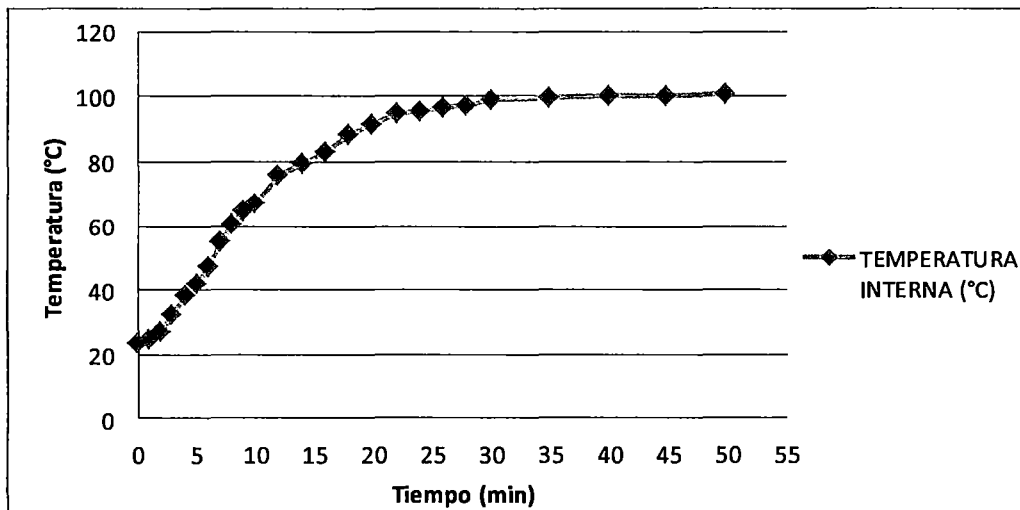


Figura 3.1. Temperatura y tiempo de calentamiento del camote que permite la gelatinización.

Fuente: De los autores (2014)

Dicha figura muestra la progresión paulatina de ambos. Hernández et al (2008), reporta que hasta los 50°C, el factor de hinchamiento (FH) del almidón de camote (*Ipomoea batata* L) no es considerable, pero a temperaturas mayores de 50°C, el FH incrementa alcanzando su máximo valor a una temperatura de 80°C, posteriormente a temperaturas superiores el FH del almidón de camote disminuye como consecuencia de la ruptura de gránulos y la liberación de las fracciones de amilosa y amilopectina al seno de la dispersión. Asimismo la gelatinización del almidón de camote se completa a 88-90°C (190-194°F) según Vaclavick (2002), y como se puede observar en el Anexo 13 dicha temperatura se lleva a cabo a los 18 minutos de iniciada la cocción. Pero a fin de obtener una cantidad suficiente de azúcares reductores mediante la cocción es que se aplicó mayor tiempo de gelatinización y por tanto mayor temperatura del mismo, llegando a T° de 100°C en un tiempo de 50 minutos de calentamiento. Con referencia a esto, Solorza et al (2002) menciona que si se continúa incrementando el calor, la dispersión de almidón perderá la conformación micelar provocada por la absorción de agua y el incremento de tamaño del gránulo con un probable incremento de sólidos solubles. Asimismo, Badui (2006) menciona que, una mayor temperatura determina un aumento de la velocidad de la gelatinización y rendimiento, además de un aumento en la velocidad de hidrólisis enzimática, disminución de la viscosidad y aumento de la filtrabilidad del mosto.

3.3. HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LA PULPA COCIDA DE CAMOTE

La hidrólisis enzimática de la pulpa cocida de camote (*Ipomoea batata* L.) se efectuó por medio de la actividad de una alfa amilasa bacteriana, utilizando de esta forma la enzima comercial Termamyl® (producida por *B. licheniformis*) que permitió la obtención de azúcares reductores, materia prima para el proceso fermentativo de obtención de alcohol.

La actividad de esta enzima depende principalmente del pH y la temperatura (Anaya V.F., 2004). Por ello cabe resaltar que, la enzima comercial Termamyl trabajó a pH de 6.5 disminuyendo en el tiempo a pH de

5.63; estos datos obtenidos se correlacionan con lo expuesto por Beltrán (2010), donde cita que, la α -amilasa para su favorable acción catalítica sobre el almidón, requiere un pH que se encuentra entre 5 y 7, siendo 6.5 el valor óptimo para la enzima α -amilasa bacteriana.

La presencia de Termamyl® sobre el almidón de camote ya gelatinizado evaluó dos efectos en este proceso: el primero fue el efecto de la temperatura de hidrólisis y segundo el efecto de la dilución de hidrólisis, ambas sobre la obtención de azúcares reductores por hidrólisis enzimática en pulpa cocida de camote.

3.3.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE HIDRÓLISIS SOBRE LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN PULPA COCIDA DE CAMOTE.

La concentración de los azúcares reductores (AR) a las temperaturas de experimentación (70, 80, 90 y 100°C) obtenidas en los diferentes ensayos por duplicado (cuyos datos se presentan en el Anexo 14), donde los promedios de cada temperatura de experimentación se muestran en las curvas de la Figura 3.2.

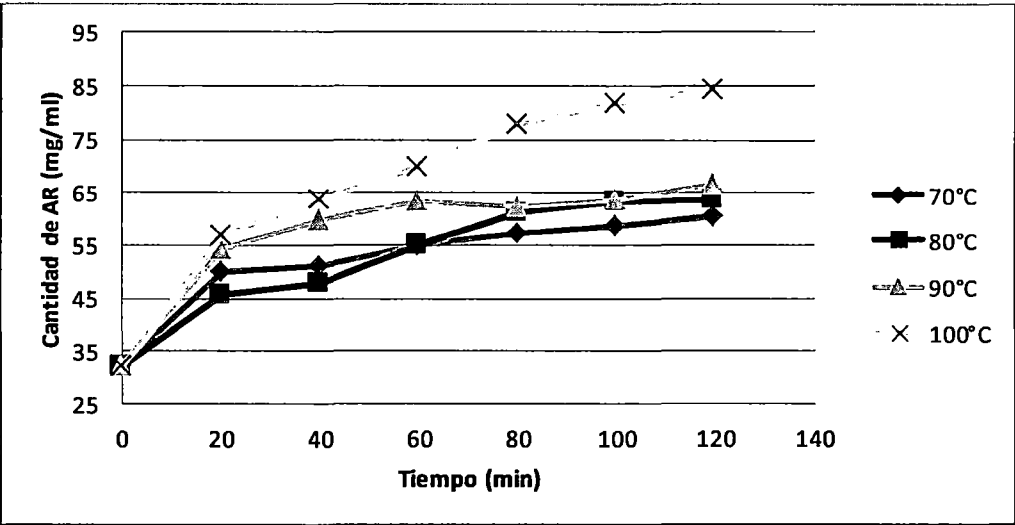


Figura 3.2. Producción de AR (mg/ml) a 70, 80, 90 y 100 °C respectivamente en un tiempo de 120 min.

Fuente: De los autores (2014)

Dicha figura ilustra el comportamiento de la cantidad de azúcares reductores que se obtiene a medida que transcurre el tiempo (2 horas) en el desarrollo de la hidrólisis enzimática, en donde los valores de AR empezaron para las 4 temperaturas en 32.152 mg/ml culminando para la T° de 70°C en 60.232 mg/ml de AR, T° de 80°C en 63.526 mg/ml de AR, T° de 90°C en 66.388 mg/ml y para la T° de 100°C en 84.316 mg/ml, mostrándose de tal manera que la acción de la enzima fue más efectiva a la temperatura de 100°C por evidenciar el AR más alto (84.316mg/ml).

Estos resultados concuerdan con lo referenciado por Norouzian et al (2006), quienes establecen que la actividad enzimática óptima de la alfa-amilasa se encuentra entre 90 y 100°C. Sin embargo, según Rueda L.(2012), las enzimas se diferencian por su termorresistencia, siendo la amilasa de *B. licheniformis* (Termamyl®) más estable con un rango de temperatura de 85 a 95°C pero resaltando lo revisado anteriormente en otras investigaciones, sabemos que no necesariamente estos valores coincidirán con los valores óptimos de funcionamiento, como lo afirma Potter, N. & Hotchkiss, J. (1999) citando que en general, se tienen que determinar si con las características que tiene el alimento (o con una ligera modificación), la enzima actúa de manera razonable aunque no necesariamente en sus condiciones óptimas.

3.3.1.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE HIDRÓLISIS SOBRE LA OBTENCIÓN DE AR

El análisis estadístico completo se presenta en el Anexo 15, obteniéndose así el análisis de varianza (ANOVA) para el efecto de la temperatura de hidrólisis como lo muestra la Tabla 3.2, asimismo se utilizó un nivel de significancia al 5% y teniendo en cuenta que existe diferencia significativa cuando los valores de la probabilidad (p) es menor a 0.05, por tanto dicho análisis señala que existe significancia tanto para las filas (tiempo de hidrólisis enzimática) como para las columnas (temperaturas de experimentación) en las variaciones del contenido de AR producido.

Tabla 3.2. Análisis de Varianza del efecto de la Temperatura en el tiempo para hidrólisis enzimática.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	3806.56306	6	634.427177	33.3743042	8.32E-09	2.66130452
Columnas	957.566911	3	319.18897	16.7910679	1.8695E-05	3.15990759
Error	342.170105	18	19.0094503			
Total	5106.30008	27				

Fuente: De los autores (2014)

Habiéndose encontrado diferencias significativas en el ANOVA se realizó la prueba de Tukey, en donde se muestra que la temperatura de 100°C es diferente a las restantes y evidencia el mejor promedio en comparación de las demás. Por lo que estadísticamente se elige a la temperatura de 100°C por ser la mejor para dicha prueba.

3.3.1.2. APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE GOMPERTZ EN LA TEMPERATURA DE HIDRÓLISIS SOBRE LA OBTENCIÓN DE AZUCARES REDUCTORES POR HIDROLISIS ENZIMÁTICA EN PULPA COCIDA DE CAMOTE.

En la obtención de AR a las diferentes temperaturas de experimentación (70, 80, 90 y 100°C) se aplicó el modelo de Gompertz de acuerdo a la ecuación (10) indicada en el ítem 2.4.6.1. El modelamiento de Gompertz en la cinética de producción de AR nos permitió calcular los siguientes parámetros: Producción de azúcares reductores (C), expresada en mg/ml; velocidad máxima de incremento (B), expresada en min⁻¹; y tiempo en el que se alcanza la velocidad máxima (M), expresada en minutos, como se muestra en la Tabla 3.3 (cuyos datos completos se presentan en el Anexo 16).

Tabla 3.3. Resultados obtenidos aplicando el modelo matemático de Gompertz en las diferentes temperaturas para Hidrólisis Enzimática.

PARÁMETROS	TEMPERATURAS			
	70°C	80°C	90°C	100°C
Velocidad de incremento (B) (min ⁻¹)	0.046247	0.037626	0.075228	0.037086
Tiempo de Velocidad máximo (M) (min)	14.71213	24.22653	12.58760	20.91108
Diferencia de Max. AR y AR inicial (C) (mg/ml)	28.08	31.374	34.236	52.164

Fuente: De los autores (2014)

Comparando los 3 parámetros obtenidos (B, M y C) para cada temperatura ensayada, notamos que:

- La producción de AR (C) máxima la obtuvo la temperatura de 100°C con un diferencial de AR de 52.164 mg/ml en un plazo de tiempo de 120 minutos, en comparación a las otras 3 temperaturas restantes (70, 80 y 90°C) que obtuvieron diferenciales de AR de 28.08, 31.374 y 34.236 mg/ml respectivamente. Teniendo en cuenta estos datos, se deduce que efectivamente para el caso de camote, mayores temperaturas nos permiten obtener mayor cantidad de AR.

- Las velocidades de incremento de AR (B) para cada temperatura ensayada fueron de 0.046247, 0.037626, 0.075228 y 0.037086 min⁻¹ para 70, 80, 90 y 100°C respectivamente, donde la más baja velocidad de incremento fue la temperatura de 100°C (0.037086 min⁻¹). Murgas J., Vásquez M. (2012), asegura que la temperatura tiene una influencia directa sobre la velocidad de reacción, sin embargo Badui (2006), menciona que la velocidad de las reacciones enzimáticas se incrementa con la temperatura, al aumentar la energía cinética de las moléculas, pero sólo en el intervalo en que la enzima es estable y retiene su capacidad catalítica. Dicho esto, las

bajas velocidades de incremento a altas temperaturas no impide producir la mayor cantidad de AR en el menor tiempo posible.

- Se reportan tiempos de velocidad máxima (M) de producción de AR más prolongados cuando las temperaturas alcanzan los 80 y 100°C (24.22653 y 20.91108 min, respectivamente), sin embargo, se hace referencia que estos tiempos obtuvieron elevadas cantidades de azúcares reductores de 31.374 y 52.164 mg/ml, respectivamente, de tal modo la cantidad de AR es condicionante para la elección de la mejor temperatura en este parámetro.

De esta manera según el modelo de Gompertz, se comprueba matemáticamente que la mejor condición de temperatura para la hidrólisis se da a 100°C. Analizados estos parámetros (Producción de azúcares reductores, velocidad máxima de incremento y tiempo en el que se alcanza la velocidad máxima) resaltamos que dicho modelo ajusta los datos experimentales en dónde presenta un coeficiente de determinación (R^2) muy próximo a la unidad, lo que indica un ajuste bastante bueno por parte del modelo que nos permite graficar las curvas que seguirá el proceso de hidrólisis para cada temperatura y que podrá servir como primera aproximación para predecir datos dentro de los límites del tiempo experimental. Dichas curvas se presentan en el Anexo 17.

3.3.2. EFECTO DE LA DILUCIÓN DE HIDRÓLISIS SOBRE LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN PULPA COCIDA DE CAMOTE.

Los ensayos a diferentes diluciones de experimentación (1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8) para llevar a cabo el proceso de Hidrólisis enzimática fueron evaluados buscando la mejor dilución del sustrato en que Termamyl® genere mayor cantidad de AR en un tiempo determinado. El parámetro de respuesta fisiológica a valorar fue la cantidad de AR generada por la enzima

Termamyl[®] a una temperatura de hidrólisis de 100°C (temperatura elegida por presentar en ensayos anteriores la mejor producción de AR).

La concentración de los azúcares reductores (AR) con adición de Termamyl a dichas diluciones, obtenidas en los diferentes ensayos por duplicado (cuyos datos se presentan en el Anexo 18), donde los promedios de cada dilución de experimentación se muestran en las curvas de la Figura 3.3.

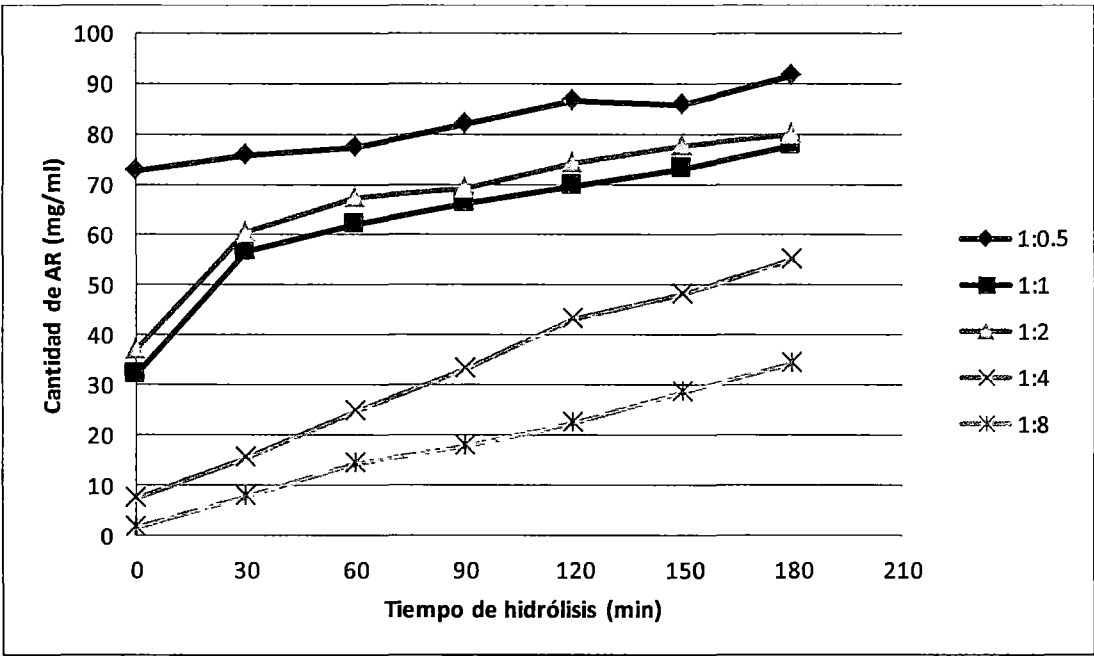


Figura 3.3. Producción de AR (mg/ml) a 1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8 respectivamente en un tiempo de 180 min.

Fuente: De los autores (2014)

Dicha figura ilustra el comportamiento de la cantidad de azúcares reductores que se obtiene a medida que transcurre el tiempo (3 horas) y se desarrolla la hidrólisis enzimática, en donde los valores máximos de AR para las 5 diluciones fueron: 91.552 mg/ml (dilución 1:0.5), 77.836 mg/ml (dilución 1:1), 80.05 mg/ml (dilución 1:2), 55.048 mg/ml (dilución 1:4) y 34.474 mg/ml (dilución 1:8), mostrándose de tal manera que la acción de la enzima fue más efectiva a la dilución de 1.0.5 por evidenciar el AR más alto (91.552mg/ml). Así esto concuerda con lo referenciado por Badui (2006),

citando que los valores más altos de AR se obtienen en sustratos menos diluidos, esto nos indica que cuando la hidrólisis enzimática se realiza en condiciones de menor dilución, la α -amilasa puede generar más cantidad de AR antes de ser inactivado por saturación de azúcares.

3.3.2.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL EFECTO DE LA DILUCIÓN DE HIDRÓLISIS SOBRE LA OBTENCIÓN DE AR

El análisis estadístico completo se presenta en el Anexo 19, determinándose así por el análisis de varianza (ANOVA) que en los ensayos existen diferencias significativas ($p<0.05$) como lo muestra la Tabla 3.4, tanto para las filas (tiempo de hidrólisis enzimática) en el tiempo transcurrido (180 min) como para las columnas (diluciones de experimentación) donde nos indica que de acuerdo con las diluciones experimentales (1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8) existen variaciones de cantidad de AR producida en el mismo tiempo.

Tabla 3.4. Análisis de Varianza del efecto de la dilución en el tiempo para hidrólisis enzimática.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	4886.89845	6	814.483075	29.2535015	6.60E-10	2.50818882
Columnas	19191.4182	4	4797.85456	172.322851	2.652E-17	2.77628929
Error	668.213814	24	27.8422422			
Total	24746.5305	34				

Fuente: De los autores (2014)

Habiéndose encontrado diferencias significativas en el ANOVA se realizó la prueba de Tukey, en donde se muestra que la dilución de 1:0.5, 1:4 y 1:8 son diferentes entre sí y que las diluciones 1:1 y 1:2 presentan similitud en su producción de AR, por lo que estadísticamente la elección de la mejor dilución se ajustó según al criterio evaluado. Dicho esto, se eligió la dilución de 1:0.5 por presentar estadísticamente el mayor promedio según la prueba Tukey.

3.3.2.2. APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE GOMPERTZ EN LA DILUCIÓN DE HIDRÓLISIS SOBRE LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA EN PULPA COCIDA DE CAMOTE.

En la obtención de AR a las diferentes diluciones de experimentación (1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8) se aplicó el modelo de Gompertz de acuerdo a la ecuación (10) indicada en el ítem 2.4.6.1. El modelamiento de la cinética de producción de AR utilizando el Modelo de Gompertz de 3 componentes nos permitió obtener o calcular los siguientes parámetros: Producción de azúcares reductores (C), expresada en mg/ml, velocidad máxima de incremento (B), expresada en min^{-1} y tiempo en el que se alcanza la velocidad máxima (M), expresada en minutos, como se muestra en la Tabla 3.5 (cuyos datos completos se presentan en el Anexo 20).

Tabla 3.5. Resultados obtenidos aplicando el modelo matemático de Gompertz en las diferentes diluciones para Hidrólisis Enzimática.

PARÁMETROS	DILUCIONES				
	1:0.5	1:1	1:2	1:4	1:8
Velocidad de incremento (B) (min^{-1})	0.019626	0.023899	0.027753	0.021591	0.018501
Tiempo de Velocidad máximo (M) (min)	68.84304	27.19844	25.19203	61.35488	64.35286
Diferencia de Max. AR y AR inicial (C) (mg/ml)	18.9	45.684	42.93	47.682	32.67

Fuente: De los autores (2014)

Comparando los 3 parámetros obtenidos (B, M y C) para cada dilución ensayada, notamos que:

- La producción de AR (C) máxima la obtuvo la dilución de 1:4 con un diferencial de AR de 47.682 mg/ml en un plazo de tiempo de 180

minutos, en comparación a las otras 4 diluciones restantes (1:0.5, 1:1, 1:2 y 1:8) que obtuvieron diferenciales de AR de 18.9, 45.684, 43.93 y 32.67 mg/ml respectivamente. Teniendo en cuenta estos datos, se corrobora con lo mencionado por Potter, N., Hotchkiss, J., (1999) donde afirma que una enzima funciona de manera más eficiente cuando la concentración de sustrato está en exceso en relación con la concentración de la enzima. (1999). Por lo que la dilución en la hidrólisis con pasta de camote se tiene que hacer necesariamente con el fin que la α -amilasa puede generar más cantidad de AR, siendo este diferencial no determinante para la producción de AR final.

- Las velocidades de incremento de AR (B) para cada dilución ensayada fueron de 0.019626, 0.023899, 0.027753, 0.021591 y 0.018501 min^{-1} 1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8 respectivamente, donde las más bajas velocidades de incremento las presentan las diluciones de 1:0.5 y 1:8 (0.019626 y 0.018501 min^{-1}), en tanto la dilución 1:2 obtiene la velocidad máxima (0.027753 min^{-1}) y aunque tiene un pico de aceleración más alto, la dilución 1:0.5 mantiene constante la velocidad dando un mejor resultado de AR final.

- Se reportan tiempos de producción de AR más prolongado cuando la dilución está en 1:0.5 (68.84304 min), respecto a las demás diluciones 1:1(27.19844 min), 1:2 (25.19203 min), 1:4 (61.35488 min) y 1:8 (64.35286 min). Sin embargo, este mayor tiempo para la dilución 1:0.5 produjo mayor valor de AR final.

De esta manera según el modelo de Gompertz, se escoge matemáticamente que la mejor condición de dilución para la hidrólisis a 100°C será 1:0.5. Analizados estos parámetros (Producción máxima de azúcares reductores, velocidad máxima de incremento y tiempo en el que se alcanza la velocidad máxima) destacamos que dicho modelo ajusta los datos experimentales en donde presenta un coeficiente de determinación (R^2) muy próximo a la unidad, lo que indica un ajuste bastante bueno por parte del

modelo de Gompertz que nos permite graficar las curvas que seguirá el proceso de hidrólisis para cada dilución y que podrá servir como primera aproximación para predecir datos dentro de los límites del tiempo experimental. Dichas curvas se presentan en el Anexo 21.

3.4. FERMENTACIÓN DE LA PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE

La fermentación de la pasta hidrolizada de camote (*Ipomoea batata* L.) inoculado con la cepa *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus*, la cual permitió la obtención del contenido de grados Brix y la obtención de grados alcohólicos en la producción de alcohol (expresado en °GL).

Dentro de los factores que influyen en el proceso fermentativo se encuentra el pH, donde Zambrano, G. (2013) menciona en la Tabla 1.9 que el pH en dicho proceso está en el rango de 4 a 5.5. Dicho parámetro se extiende hasta pH de 6.0 como lo cita Murgas, J., Vásquez, M. (2012), que refiere que el pH óptimo para algunos organismos en especial para las levaduras se encuentra en un rango de 4.0 a 6.0. Por lo que para esta prueba, la pasta de camote hidrolizado se ajustó a un pH de 6.0 para facilitar el proceso de fermentación, esto debido a que en ensayos previos no presentados el medio se acidificaba más rápido. Cabe resaltar que comportamiento en el proceso fermentativo mostró disminución a través del tiempo variando de 6.0 (pH inicial) a 4.0 (pH final).

Otro de los factores influyentes es la temperatura de fermentación, la cual fue de 27°C, tomando en cuenta la referencia de Coronel, M. (2010) que menciona que la temperatura óptima para la fermentación oscila entre 24 y 32°C siendo 27 ° C la más adecuada. Parámetro que se encuentra dentro del rango de temperatura óptima de crecimiento de la cepa *S. cerevisiae* var. *bayanus* (20-30°C), citado en su respectiva ficha técnica.

La fermentación con agitación es ligeramente más rápida que la fermentación sin agitación (Albán, C., Carrasco, J., 2012) de tal manera que en nuestro proceso fermentativo se efectuó una agitación de un minuto cada 12 horas.

En este proceso se evaluó dos efectos: el primero fue el efecto de la dilución de fermentación para evaluar el contenido de grados Brix, el segundo fue el efecto de la concentración de la cepa *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* para evaluar la producción de alcohol.

3.4.1. EFECTO DE LA DILUCIÓN DE FERMENTACIÓN EN EL CONTENIDO DE LOS GRADOS BRIX (°Brix) EN PASTA DE CAMOTE HIDROLIZADA.

Las cuatro diluciones de experimentación (1:0.5; 1:1, 1:2 y 1:4) para la etapa de fermentación alcohólica fueron ensayados para poder evaluar el contenido de °Brix, buscando la mejor dilución del sustrato que la cepa de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* consuma la mayor cantidad de °Brix en un tiempo establecido. El contenido de °Brix en la fermentación con *S. cerevisiae* var. *bayanus* a diferentes diluciones de experimentación obtenidas en los ensayos por duplicado (cuyos datos se presentan en el Anexo 22), donde los promedios de cada dilución ensayada se muestran en las curvas de la Figura 3.4.

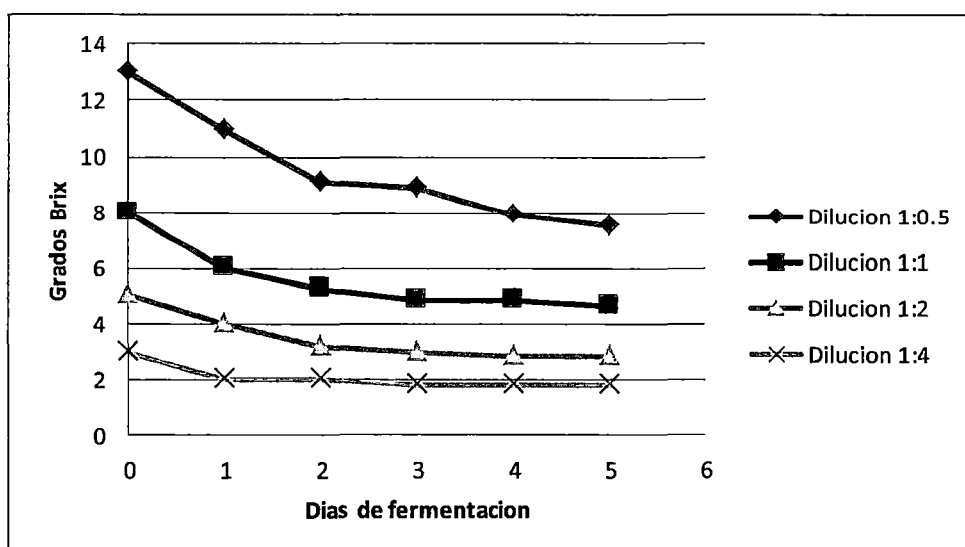


Figura 3.4. Contenido del °Brix en las diferentes diluciones de 1:0.5; 1:1, 1:2 y 1:4

Fuente: De los autores (2014)

Dicha figura ilustra la disminución progresiva de los °Brix que se obtiene a lo largo del proceso fermentativo (5 días), en donde los valores máximos y mínimos de °Brix para las 4 diluciones fueron: de 13 a 7.5 °Brix (dilución 1:0.5), de 8 a 4.6 °Brix (dilución 1:1), de 5 a 2.8 °Brix (dilución 1:2) y de 3 a 1.8 °Brix (dilución 1:4), por lo que se destaca que la dilución de 1:05 presentó la mayor disminución de °Brix presentes en la muestra. Con respecto a esto, Murgas, J., Vásquez, M. (2012), señala que la mayor parte de las levaduras crece mejor en medios en los que está disponible una buena cantidad de agua, sin embargo, muchas de ellas pueden crecer en medios con relativamente poca agua como en soluciones con una concentración elevada de solutos (en este caso azúcar), por lo que puede decirse que en general requiere para su crecimiento menos humedad.

3.4.1.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL EFECTO DE LA DILUCIÓN DE FERMENTACIÓN EN EL CONTENIDO DE LOS GRADOS BRIX

El análisis estadístico completo se presenta en el Anexo 23, determinándose así por el análisis de varianza (ANOVA) que en los ensayos existen diferencias significativas ($p < 0.05$) como lo muestra la Tabla 3.6, tanto para las filas (tiempo de fermentación alcohólica) en el tiempo transcurrido (5 días), asimismo para las columnas (diluciones de experimentación) nos indica que de acuerdo con las dichas diluciones (1:0.5, 1:1, 1:2 y 1:4), existen variaciones de contenido de °Brix en el mismo tiempo.

Tabla 3.6. Análisis de varianza del efecto de la dilución en el tiempo para fermentación alcohólica.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	26.88875	5	5.37775	10.5497793	0.00017234	2.90129454
Columnas	191.24125	3	63.7470833	125.055583	7.7552E-11	3.2873821
Error	7.64625	15	0.50975			
Total	225.77625	23				

Fuente: De los autores (2014)

Habiéndose encontrado diferencias significativas en el ANOVA se realizó la prueba de Tukey, en donde se muestra que todas las diluciones son diferentes entre si a niveles de la disminución de °Brix, por lo que estadísticamente la elección de la mejor dilución quedó establecido por el tratamiento con mejor promedio, siendo para este caso la dilución 1:0.5. Por lo que el criterio evaluado queda confirmado, el cual es: mientras menos diluido se encuentre la muestra, permitirá obtener mayor disminución del contenido de °Brix.

3.4.1.2. APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE WEIBULL PARA EL CONTENIDO DE °BRIX EN LA FERMENTACIÓN A DIFERENTES DILUCIONES DE FERMENTACIÓN.

El contenido de los °Brix fue evaluado en diferentes diluciones de fermentación (1:0.5, 1:1, 1:2 y 1:4) por 5 días, al cual se le aplicó el modelo de Weibull de acuerdo a la ecuación (12) indicada en el ítem 2.4.6.2. El modelamiento de la cinética microbiana utilizando el modelo de Weibull nos permitió obtener o calcular los siguientes parámetros de crecimiento: Coeficiente de Ubicación (b), Coeficiente de Forma (n), Diferencia de °Brix (C), expresados en °Brix, como se muestran en la Tabla 3.7 (cuyos datos completos se presentan en el Anexo 24).

Tabla 3.7. Resultados obtenidos aplicando el modelo matemático de Weibull en las diferentes diluciones de fermentación.

PARÁMETROS MODELO WEIBULL	DILUCIONES			
	1:0.5	1:1	1:2	1:4
Coeficiente de Ubicación (b)	0.087971	0.138126	0.122650	0.171081
Coeficiente de Forma (n)	0.629448	0.362200	0.492019	0.176302
Diferencia de °Brix (C)	5.5	3.4	2.2	1.2

Fuente: De los autores (2014)

Comparando los 3 parámetros obtenidos (b, n y C) para cada dilución ensayada, notamos que:

- La diferencia de °Brix (C) máxima la obtuvo la dilución 1:05 con un diferencial de 5.5°Brix en comparación a las tres diluciones restantes (1:1, 1:2 y 1:4) que presentaron diferenciales de 3.4, 2.2 y 1.2 °Brix consumidos respectivamente. Dicho comportamiento es determinado por la concentración de sustrato donde según la Guía de fermentación (Universidad Nacional de Colombia, 2000) cita que cuando se trabaja con concentraciones de azúcar muy altas, del orden de 22%, se observa una deficiencia respiratoria en la levadura y un descenso de la velocidad de fermentación; por el contrario, al trabajar con concentraciones muy bajas, el proceso resulta antieconómico ya que requiere un mayor volumen para la fermentación. Suele ser satisfactoria una concentración de azúcar del 10 al 18%. Cabe resaltar que el proceso fermentativo para la dilución 1:0.5 empezó en 13% obteniéndose un mayor diferencial de °Brix consumidos (5.5).

- El coeficiente de ubicación (b) más bajo lo obtuvo la dilución 1:0.5 con un resultado de 0.087971, frente a las demás diluciones de experimentación (1:1, 1:2 y 1:4) cuyos resultados fueron 0.138126, 0.122650 y 0.171081 respectivamente. Este parámetro deduce que el arranque de la curva es mucho mejor en esta dilución (1:0.5) por consiguiente es la mejor curva que se ubica en el tiempo con respecto a las diluciones restantes.

- El coeficiente de forma (n) más bajo lo obtuvo la dilución 1:4 con un resultado de 0.176302, comparado con las diluciones restantes (1:0.5, 1:1 y 1:2) cuyos resultados son 0.629448, 0.362200 y 0.492019 respectivamente. Siendo estos resultados menores a la unidad, se interpreta que las curvas obtenidas son monótonas decreciente (es decir, "n" no varía para las cuatro diluciones ensayadas).

De esta manera según el modelo de Weibull, se escoge matemáticamente que las mejores condiciones de dilución para la fermentación alcohólica será una dilución de 1:0.5. Analizados estos parámetros (coeficiente de ubicación, coeficiente de forma y diferencia de

°Brix) destacamos que dicho modelo nos permite graficar las curvas que seguirá el proceso de fermentación para cada dilución resaltando que cada curva graficada presenta un coeficiente de determinación (R^2) muy próximo a la unidad, lo que indica un ajuste bastante bueno por parte del modelo de Weibull que puede servir como primera aproximación para predecir datos dentro de los límites del tiempo experimental. Dichas curvas se presentan en el Anexo 25.

3.4.2. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LA CEPA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* VAR. *BAYANUS* EN LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL.

Los ensayos a diferentes concentraciones de levadura (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2 g/L) fueron evaluados buscando la mejor respuesta fisiológica del cultivo de fermentación compuesto por *Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus*. Para evaluar el efecto de dichas concentraciones en la producción de alcohol (expresado en °GL), se empezó por determinar el consumo de °Brix, (cuyos datos fueron ensayados por duplicado y se presentan en el Anexo 26), en donde los promedios de °Brix se grafican en la Figura 3.5.

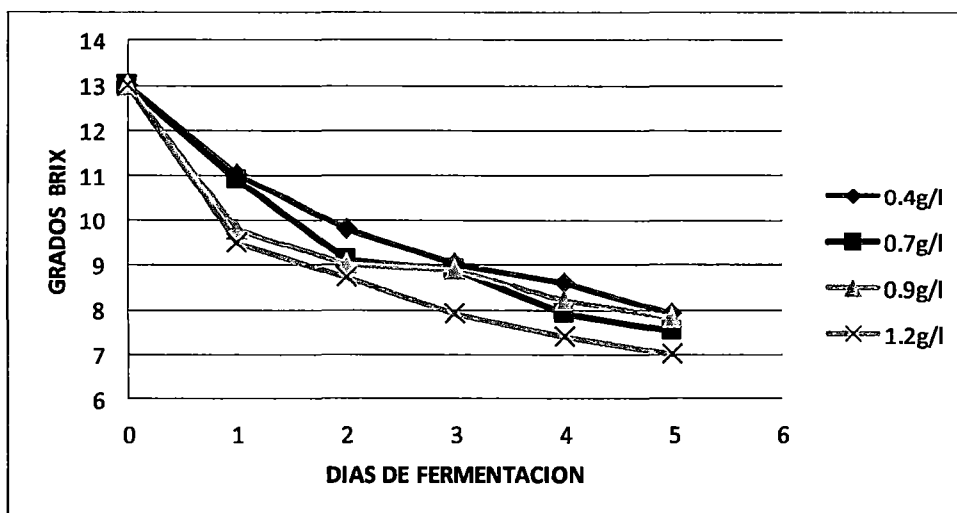


Figura 3.5. Contenido de °Brix en las diferentes concentraciones de *S. cerevisiae* (var. *bayanus*).

Fuente: De los autores (2014)

En dicha figura podemos observar que durante el primer día de ensayo fermentativo la levadura ha metabolizado cantidades apreciables de azúcar por la cantidad de *S. cerevisiae var bayanus* presente (principalmente en las curvas de 0.9 y 1.2 g/L), considerando que las primeras horas de iniciado el proceso la población del microorganismo se encuentra en fase de latencia (es decir, el reconocimiento del medio mínimo de sales enriquecido con la solución de camote hidrolizado en el que se encuentran) y posteriormente se da la fase exponencial en donde según Garzón, S. & Hernández, C. (2009), las células en crecimiento están en el estado fisiológico más sano y la fermentación es notoria ya que se generan grandes cantidades de gas y espuma (factores usados para el seguimiento del proceso); además presenta disminución en forma lineal de la concentración de azúcares.

A medida que transcurre el tiempo y la cantidad de microorganismo aumenta debido a las condiciones favorables del medio, la caída de azúcares es mayor, generándose así un limitante para el proceso fermentativo. Asimismo se observa como la tendencia de la curva es mantenerse constante indicando que la población de *S. cerevisiae var bayanus* está entrando en fase estacionaria, y posteriormente de muerte, puesto que la caída de los azúcares empieza a disminuir notoriamente en comparación con los días anteriores.

La caída de azúcares durante toda la gráfica es de forma irregular, esto puede deberse a la cantidad de azúcar considerando que según Garzón S. & Hernández C., (2009), la concentración de azúcar puede empezar a afectar el proceso de ósmosis en las células de la levadura y generando también problemas en su proceso de respiración celular. Por otro lado; a medida que el tiempo transcurre el pH comienza a disminuir, como lo afirma Rueda, L., (2012), debido a un aumento en la producción de ácidos formados durante el proceso, puesto que las células de las levaduras, toman los nitrógenos de los aminoácidos y estos pierden así su carácter anfótero, trayendo como consecuencia una disminución del pH, variando en nuestra investigación de pH 6.0 a pH 4.0.

De la misma manera, al aumentar el tiempo de fermentación es de esperarse una disminución de los nutrientes puesto que, según Rueda, L. (2012), el número de células presentes en el medio aumentan por lo cual es posible que se presenten deficiencias en su crecimiento y en la síntesis de los tejidos celulares.

El proceso culminó en concentraciones de azúcares finales de 7.9, 7.5, 7.8, 7.0 °Brix para 0.4, 0.7, 0.9 y 1.2 g/L respectivamente, siendo la concentración de *S. cerevisiae var bayanus* de 1.2 g/L la que mejor consumo de °Brix obtuvo con 6.0 °Brix (de 13 a 7.0 °Brix). Cabe resaltar que nuestro proceso fermentativo terminó a los 5 días debido a que no se presentaba burbujeo ni espuma, tomando esta observación como parámetro para la determinación del tiempo óptimo, puesto que según Garzón S. & Hernández C., (2009), la producción de CO₂ es directamente proporcional a la producción de etanol.

Posteriormente, el consumo de °Brix obtenido fueron convertidos a valores de grados alcohólicos (presentados en el Anexo 27). Dichos valores se muestran en la Figura 3.6.

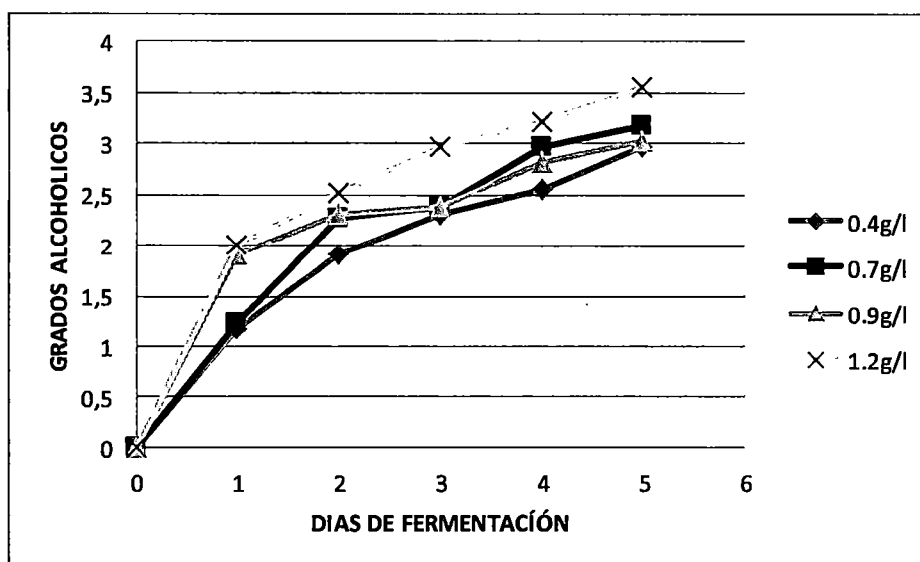


Figura 3.6. Obtención de alcohol (expresado en °GL) en las diferentes concentraciones de *S. cerevisiae* (var. *bayanus*).

Fuente: De los autores (2014)

La presente figura ilustra la obtención de los grados alcohólicos durante el tiempo de fermentación (5 días) para las mismas concentraciones de *S. cerevisiae* var. *bayanus* antes mencionadas, observándose de esta manera el incremento progresivo de las curvas con una concentración final de alcohol de 2.9644, 3.166, 3.0148 y 3.548 °GL para 0.4, 0.7, 0.9 y 1.2 g/L respectivamente. Siendo la concentración de 0.4 g/L la que mostró el menor valor de grado alcohólico (2.9644 |GL), sin embargo la que mayor valor obtuvo fue la concentración de 1.2 g/L con 3.548 °GL. Este comportamiento explica lo citado por Zambrano, G. (2013), donde refiere que la levadura tolera una cierta concentración de azúcares hasta que el proceso de fermentación presente un agotamiento en los nutrientes o en la concentración de azúcares y por ende muestre un aumento en el porcentaje de alcohol.

3.4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LA CEPA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* VAR. *BAYANUS* EN LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL.

El análisis estadístico completo se presenta en el Anexo 28, determinándose así por el análisis de varianza (ANOVA) que en los ensayos existen diferencias significativas ($p < 0.05$) como lo muestra la Tabla 3.8, tanto para las filas (tiempo de fermentación alcohólica) en el tiempo transcurrido (5 días), asimismo para las columnas (concentración de levadura) nos indica que de acuerdo con las dichas concentraciones (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2 g/L), existen variaciones de contenido de GA en el mismo tiempo.

Habiéndose encontrado diferencias significativas en el ANOVA se realizó la prueba de Tukey, en donde se muestra que las concentraciones 0.4 y 0.7 g/L son diferentes a la concentración 1.2g/L, pero las concentraciones de 0.9 y 1.2 g/L son iguales, por lo que estadísticamente la elección de la mejor dilución quedó establecido por el tratamiento con mejor promedio, siendo para este caso la concentración 1.2 g/L. Por lo que para este ensayo el criterio evaluado se cumplió, donde mientras más

concentración de *S. cerevisiae* var. *bayanus* se encuentre en la muestra, permitirá obtener mayor grado alcohólico.

Tabla 3.8. Análisis de varianza del efecto de la concentración de *S. cerevisiae* var *bayanus* en el tiempo para fermentación alcohólica.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	26.510772	5	5.302154394	152.763872	2.5863E-12	2.90129454
Columnas	0.97192152	3	0.323973842	9.33422433	0.00100052	3.2873821
Error	0.52062255	15	0.03470817			
Total	28.003316	23				

Fuente: De los autores (2014)

3.4.3.1. APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE GOMPERTZEN LA CONCENTRACIÓN DE LA CEPA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* VAR. *BAYANUS* PARA LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOL (GA)

En la obtención de grados alcohólicos (expresado °GL) a las diferentes concentraciones de *S. cerevisiae* var. *bayanus* (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2 g/L) se aplicó el modelo de Gompertz de acuerdo a la ecuación (11) indicada en el ítem 2.4.6.1.

El modelamiento de Gompertz en la cinética de producción de alcohol nos permitió calcular los siguientes parámetros: Producción de grados alcohólicos (C), expresada en GA o °GL; velocidad máxima de incremento (B), expresada en min^{-1} ; y tiempo en el que se alcanza la velocidad máxima (M), expresada en minutos, como muestra la Tabla 3.9 los resultados de los parámetros obtenidos aplicando dicho modelo para cada concentración de *S. cerevisiae* var *bayanus* evaluada en la fermentación alcohólica (cuyos datos completos se presentan en el Anexo 29).

Tabla 3.9. Resultados obtenidos aplicando el modelo matemático de Gompertz en las diferentes concentraciones de *S. cerevisiae* var *bayanus* para fermentación alcohólica.

PARÁMETROS MODELO GOMPERTZ	CONCENTRACIONES DE <i>S.CEREVISIAE</i> VAR <i>BAYANUS</i>			
	0.4g/L	0.7g/L	0.9g/L	1.2g/L
Velocidad de incremento (B) (min ⁻¹)	0.840810	0.940167	1.153400	1.014890
Tiempo de Velocidad máximo (M) (min)	1.096255	1.042099	0.675146	0.785811
Diferencia de Max. GA y GA inicial (C) (°GL)	2.9644	3.166	3.0148	3.548

Fuente: De los autores (2014)

Comparando los 3 parámetros obtenidos (B, M y C) para cada temperatura ensayada, notamos que:

▪ La producción de GA (C) máxima la obtuvo la concentración de *S. cerevisiae* var. *bayanus* 1.2g/L con un diferencial de alcohol de 3.548°GL en un plazo de tiempo de 5 días de fermentación, en comparación a las otras 3 concentraciones restantes (0.4, 0.7 y 0.9 g/L) que obtuvieron valores de grados alcohólicos de 2.9644, 3.166 y 3.0148 °GL respectivamente. Teniendo en cuenta estos datos, se deduce que la disminución rápida de los azúcares llevó a que las células de la levadura degradaran de manera rápida la cantidad de azúcar presente y estuvieran en un rango óptimo en poco tiempo superando las dificultades de la respiración y produciendo así un buen porcentaje de alcohol. Por el contrario, según según Garzón S. & Hernández C., (2009), la poca capacidad fermentativa puede deberse a que posiblemente su membrana celular no presenta alto contenido de ácidos grasos insaturados y la longitud de las cadenas carbonadas no es la necesaria para minimizar los efectos de la fluidez que produce el etanol.

- Las velocidades de incremento de grados alcohólicos (B) para cada concentración de *S. cerevisiae* var. *bayanus* ensayada fueron de 0.80810, 0.940167, 1.153400 y 1.014890 min⁻¹ para 0.4, 0.7, 0.9 y 1.2 g/L respectivamente, donde las más altas velocidades de incremento fueron a las concentraciones de 0.9 g/L (1.153400 min⁻¹) y 1.2 g/L (1.014890 min⁻¹). Se pretende elegir aquella concentración de levadura que genere el mayor grado alcohólico a una velocidad máxima. Dicho esto, el criterio de B se ve mejor reflejado en la concentración de 1.2g/L.

- Asimismo, la producción de alcohol reportan tiempos de velocidad máxima (M) muy cortos para las concentraciones de *S. cerevisiae* var. *bayanus* 0.9 g/L (0.675146 min) y 1.2 g/L (0.785811 min), sin embargo, se hace referencia que estos tiempos obtuvieron cantidades de grados alcohólicos de 3.0148°GL y 3.548°GL, de tal modo la cantidad de grado alcohólico es condicionante para la elección de la mejor concentración en este proceso.

De esta manera según el modelo de Gompertz, se comprueba matemáticamente que las mejores condiciones para que *S. cerevisiae* var. *bayanus* obtenga el mayor grado alcohólico será a concentración de 1.2g/L. Analizados estos parámetros (Producción de grados alcohólicos, velocidad máxima de incremento y tiempo en el que se alcanza la velocidad máxima) resaltamos que dicho modelo nos permite graficar las curvas que seguirá el proceso de fermentación alcohólica para cada concentración de levadura y destacando que las curvas graficadas por el modelo presentan un coeficiente de determinación (R^2) casi cercanos a la unidad, lo que indica un ajuste bastante bueno por parte del modelo de Gompertz que puede servir como primera aproximación para predecir datos dentro de los límites del tiempo experimental. Dichas curvas se presentan en el Anexo 30.

CAPITULO IV:

4.1. CONCLUSIONES

Luego de haber realizado el proceso de investigación sobre la "OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L)" podemos concluir lo siguiente:

1. El camote de pulpa anaranjado (*Ipomoea batata* L) usado como materia prima muestra un análisis proximal de 75.94% en humedad, 22.2% en carbohidratos, 1.1% en proteínas, 0.2% en extracto etéreo, 0.05% en cenizas y 0.8% en fibra. El contenido de humedad define la cantidad de materia seca en relación al contenido de almidones presentes.
2. Durante la etapa de hidrólisis enzimática se logró establecer que la producción de azúcares reductores fue directamente proporcional a las temperaturas de experimentación de 70, 80, 90 y 100°C, obteniendo valores máximos de AR a niveles de 52.164 mg/ml en la T° de 100°C en un plazo de 2h. El incremento de temperatura permite mayor cantidad de AR en la muestra. Asimismo, las diluciones de experimentación de 1:0.5, 1:1, 1:2, 1:4 y 1:8 muestran la máxima cantidad de AR final a niveles de 91.552mg/ml en la dilución de 1:0.5 en un plazo de 3h. A menor dilución en la muestra, mayor cantidad de AR final.
3. Las mejores condiciones para el proceso de hidrólisis enzimática en la pulpa cocida de camote se dieron a: pH 6.5, temperatura 100°C, dilución de hidrólisis 1:0.5 (pulpa de camote: agua), concentración de enzima 1.5% (referida al peso de la solución a hidrolizar).
4. Durante el proceso de fermentación alcohólica se logró establecer que la mejor dilución de pasta hidrolizada de camote se dió a 1:0.5 por presentar la mayor disminución de °Brix a niveles de 5.5°Bx en comparación a las diluciones restantes (1:1, 1:2 y 1:4). Del mismo modo, en las

concentraciones ensayadas de *S. cerevisiae* var. *Bayanus* (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2g/l), fue la concentración de 1.2g/L la que obtuvo mayor cantidad de grados alcohólicos por presentar niveles de 3.548° GL en comparación a las restantes. De manera preliminar con el fin de elevar el contenido alcohólico, la doble destilación simple del mosto obtuvo un alcohol destilado de 4 y 16 °GL respectivamente.

5. En el proceso fermentativo de pasta hidrolizada de camote los mejores resultados se vieron a condiciones de: pH 6.0, temperatura 27°C, dilución 1:0.5 (en relación pasta de camote hidrolizada en agua), concentración de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* 1.2 g/L, concentración de metabisulfito de potasio 0.10g/L, concentración de fosfato de amonio monobásico 0.4 g/L, con agitación de 1min cada 12h.

6. Se logró demostrar que la batata, camote o patata dulce tiene el potencial para ser utilizada como materia prima en la obtención de alcohol pues generó un rendimiento del 86% de alcohol a partir de una doble destilación.

CAPITULO V:

5.1. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y para siguientes investigaciones nos permitimos recomendar:

- Siendo la humedad un parámetro determinante de la materia prima (camote) sobre el rendimiento de etanol, éste debe ser menor al 70%; se puede optar por el soleado o marchitamiento del camote.
- Investigar otros métodos de obtención de almidón como la trituración, molienda, pulverización, etc. del camote para mejorar el rendimiento de alcohol.
- Los fermentadores a usar deben ser esterilizados a fin de evitar la contaminación y el desarrollo de otro tipo de microorganismos que alteren el proceso de obtención de alcohol.
- Efectuar el monitoreo del contenido de alcohol mediante pruebas físicas o químicas.
- Escalar el proceso correspondiente a ésta investigación que permita verificar las condiciones de fermentación y de obtención de etanol monitoreando el pH de los procesos de hidrólisis y fermentación alcohólica mediante soluciones buffers o amortiguadoras para asegurar el correcto funcionamiento de la enzima y de la levadura en ambos procesos respectivamente.

CAPITULO VI:

6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA ROMERO, C. (2012). *Evaluación de la Fermentación Alcohólica para la Producción de Hidromiel*. (Tesis de grado para la obtención del Título de Magister en Ingeniería Química) Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/9933/1/300060.2012.pdf>

AGUILAR CHÁVEZ, C. (2007). *Optimización del Proceso de Modificación del Almidón de Maíz Ceroso por Extracción y el Uso de Mezclas de Almidones Modificados con Mucílagos de Nopal para la Encapsulación de Aceite Esencial de Naranja empleando el Secado por Aspersión*. (Tesis de Grado para la Obtención de Título de Licenciada en Química de los Alimentos) Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. Recuperado de: <http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Optimizacion%20del%20proceso%20de%20modificacion%20del%20almidon%20de%20maiz.pdf>

ALBÁN GARCÍA, C. & CARRASCO ORDÓÑEZ, J. (2012). *Elaboración de una Bebida Alcohólica Destilada, evaluando dos niveles de levadura utilizando como sustrato Papa China (Colocasia Esculenta) Y Camote (Ipomoea batatas L)*. (Tesis de Grado para la Obtención de Título de Ingeniero Agroindustrial). Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda, Ecuador. Disponible en: <http://www.biblioteca.ueb.edu.ec/bitstream/15001/1049/1/0.34%20Al.pdf>

AMERINE M.A. & OUGH C.S. (2001). *Análisis de vinos y mostos*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. (Pags. 151).

- ANAYA VEGA, F. (2004) obtención de jarabes de glucosa a partir de almidón de yuca mediante hidrólisis ácida asistida por microondas. (Tesis de pregrado en Química). Bucaramanga, Colombia.
- ANDRADE R., TORRES R., MONTES E., PÉREZ O., ACUÑA C. & NARVÁEZ G. (2009). Obtención de Aguardiente a partir de Batata (*Ipomoea batatas*). Universidad de Córdoba. Recuperado de: <http://www.unicordoba.edu.co/revistas/rta/documentos/14-1/obtencion%20de%20aguardiente%20a%20partir%20de%20batata.pdf>
- BADUI, S. (2006). Química de los alimentos. 4^{ta} edición. Pearson Educación. México.
- BELTRÁN MONDRAGÓN, A. & HERREÑO TÉLLEZ L. (2010). *Aplicación de la enzima α -amilasa comercial BAN® 480L a la Harina de Arroz de la Variedad fedearroz 50 para la Elaboración de una Bebida Vegetal*. (Tesis de Grado para optar el Título de Ingeniería de Alimentos). Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/15599/1/T43.10%20B419a.pdf>
- BENAVIDES ARTEAGA, I. & POZO LÓPEZ, M. (2008). *Elaboración de una Bebida Alcohólica Destilada (Vodka) a partir de tres variedades de Papa (*Solanum tuberosum*) utilizando dos tipos de Enzimas*. (Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniera Agroindustrial). Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/327/1/03%20AGI%20226%20TESIS.pdf>
- BOHORQUEZ NAVARRO, D. & MADERO CHAMORRO, J. (2008). *Evaluación de los rendimientos en litros de*

alcohol/kilogramo de almidón de yuca (Manihot esculenta crantz) de las variedades industriales MCOL 2215 Y MTAI 8, vía enzimática. (Tesis de Grado para optar el Título de Biólogo, UNIVERSIDAD DE SUCRE). Recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/145358992/Tesis-Dina>

CASP A., ABRIL J. (2003). Procesos de Conservación de Alimentos. 2^{da} edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

CIP. (2010). El Camote. Consultado el 15 de noviembre del 2013. Disponible en:

http://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&ei=6e7CT8K2D4Gg9QTE89GnCW&hl=es&prev=/search%3Fq%3Dcip%26hl%3Des%26rlz%3D1R2SKPT_esEC438%26biw%3D1280%26bih%3D534%26prmd%3Dimvns&rurl=translate.google.com.ec&sl=en&u=http://cipotato.org/sweetpotato/&usg=ALkJrhgVVe60PBDoJI0WdJ0hoL1v2cklbA

CORONEL, M. (2010). Los vinos de frutas. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.

DORTA, Y. (3 de Mayo de 2013). Partes de la planta. Las plantas. Recuperado de http://yolydorta2013.blogspot.com/2013_04_28_archive.html

ESPINOLA, N.; CREED, H.; UGAZ, M. (1998). Desarrollo de un alimento complementario con camote para niños de 6 meses a 3 años. Documento de trabajo. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú.

FAO. (2006). Fichas Técnicas Productos frescos y fermentados. Recuperado de:

http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pfrescos/CAMOTE.HTM

FOLQUER, F. (2000) La Batata (Camote), Estudio de la Planta y su Producción Comercial. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.

FORD, C. (1999). *Improving operating performance of glucoamylase by mutagenesis. Curr. Opin. Biotech.* 10: 353-357.

Fundación Eroski. (16 de Enero de 2009). La batata o Camote. Recuperado el 21 de Setiembre de 2014, de Eroski Consumer: <http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/guia-alimentos/legumbres-y-tuberculos/2004/08/02/106718.php>

GARRIDO, A. (2001). Actividad enzimática de la alfa amilasa. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf900/actividad-enzimaticaamilasa/actividad-enzimatica-amilasa.pdf>

GARZÓN, S. & HERNÁNDEZ, C. (2009). Estudio comparativo para la producción de etanol entre *Saccharomyces cerevisiae* silvestre, *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 y *Candida utilis* ATCC 9950. (Tesis de Grado para optar el Título de Químico Industrial, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA). Pereira, Colombia. Recuperado de: <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Frepositorio.utp.edu.co%2Fdspace%2Fbitstream%2F11059%2F1689%2F1%2F66182G245.pdf&ei=NgtsVf0iw66CBPL2gsgK&usg=AFQjCNE7aNxCwPqSfamgKw7vZQbP0HW6gQ&sig2=BbEIT6fa4ayvXRju-BswFg&bvm=bv.94455598,d.eXY>

GINOCCHINO, L. (2006). Camote, innovación, oportunidades y reinención.

Disponible en: <http://peruenrumba.blogspot.com/search?q=camote>

GUÍZAR MIRANDA A., MONTAÑÉZ SOTO J. L., GARCÍA RUIZA I. (2008).

Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del Cerro (*Dioscorea spp*) de Rev. Iber. Tecnología Postcosecha. Vol 9(1):81-88.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2013). Ministerio de

Agricultura y Riego - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos.

Producción Nacional de Camote Disponible en:

<http://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>

LALLEMAND I&D. (2010). La Producción de Alcohol por las Levaduras

Vínicas. Tolouse, Francia. Disponible en:

<http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7>

[&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fenologos2](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fenologos2)

[008.unicongress.org%2Farchivos%2Ffile%2FMadrid%2FENOLOGOS](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fenologos2)

[%2F09%2520grado%2520alcoholico%2520segun%2520levadura.pdf](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fenologos2)

[&ei=MceIVKqyKMqpNorEg-](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fenologos2)

[AD&usg=AFQjCNFz4F5JpgVaegPCrpMRQRHH7qspRQ&bvm=bv.81](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fenologos2)

[456516,d.eXY](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0CD8QFjAG&url=http%3A%2F%2Fenologos2)

LATORRE, L. (2008). *Análisis Estructural y Modificación Funcional de la*

Glucoamilasa de Saccharomyces cerevisiae var. diastaticus. (Tesis

doctoral, UNIVERSIDAD DE VALENCIA). Valencia, España.

Recuperado de: <http://roderic.uv.es/handle/10550/15876>

LARDIZÁBAL, R. (Abril de 2003). Manual de Producción de Camote. Centro de Desarrollo de Agronegocios.

LEÓN, G., ROSERO, E. (2009). *Obtención de jugo clarificado de uvilla (Physalis peruviana. L.), utilizando degradación enzimática y microfiltración tangencial*. (Tesis de Grado para optar el Título de Ingeniero Industrial, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE). Recuperado de:
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/529/3/03%2520AGI%2520240%2520TESIS.pdf&h=7AQHIBHaG>

LORENZO, M., FARJARDO, M., PÉREZ, J. (2011). Evaluación de una cepa de levadura para fermentar diferentes concentraciones de miel de Apis mellifera. Disponible en
http://www.culturaapicola.com.ar/apuntes/consumidor/05_cepa_levadura_fermentacion_alcoholica_miel.pdf.

MAMANI, R. (29 De Diciembre De 2011). Curado De Camote. Calidad De Exportación. Recuperado El 17 De Febrero De 2015, De Innovación Integral: [Http://Innovacion-Integral-2011.Blogspot.Com/](http://Innovacion-Integral-2011.Blogspot.Com/)

MARTINEZ, C. (2012). El camote - Propiedades Medicinales y Beneficios. Blogspot. Disponible en:
<http://carlosmartinezm.blogspot.com/2012/09/el-camote-propiedades-medicinales-y.html>

MEDIN, R & MEDIN S. 2003. Alimentos, Introducción Técnica y Seguridad. 2^{da} edición. Ediciones Turísticas de Mario Banchik. Buenos Aires, Argentina.

- MEDINA, L.(2013). *Obtención de Maltodextrinas por vía enzimática a partir del almidón de camote (Ipomoea batatas)*. (Tesis para optar el Grado de Maestro en Ciencias en producción agrícola sustentable). Instituto Politécnico Nacional CII DIR. Jiquilpan, Michoacán.
- MONTALDO, A & PINEDO, M. (1999). Tipos de Cultivos – Hortalizas Amazónicas– Name. Apoyo Agro Tecnología innovación. Agrícola Cultivos. Disponible en: <http://www.concope.gov.ec/>
- MOORTHY, S. N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch*, 54: 559-592.
- MURGAS TORRES, J. & VÁSQUEZ MONTERROSA, M. (2012). Evaluación de la obtención de bioetanol a partir del almidón de ñame (*Dioscorea rotundata*, *Dioscorea alata* y *Dioscorea trifida*) mediante la hidrólisis enzimática y posterior fermentación. (Tesis para optar el Grado de Ingeniero Químico). Universidad de San Buenaventura. Cartagena, Colombia.
- NOROUZIAN, D., AZIMAKBARZADEH, JENO M.SHARER, MURRAY MOO YOUNG. (2006). Fungal glucoamylases. *Biotechnology Advances* 24. Páginas 80-85. Disponible en: www.sciencedirect.com
- PANDEY A., NIGAM P., SOCCOL CR., SOCCOL VT., SINGH D. & MOHAN R. (2000). *Advances in microbial amylases. Biotechnol. Appl. Biochem.* 31:135-152.
- PAZ, L. (s. f). Tecnología y Valor Agregado (en línea). Universidad Católica del Perú. Disponible en: <http://palestra.pucp.edu.pe/index.php?id=274&num=1>

PÉLEG, MICHA. (2007). *Evaluation of the Weibull and log normal distribution functions as survival models of Escherichia coli under isothermal and non isothermal condition*. International Journal of Food Microbiology 119. Elsevier B.V. Florida, USA. Pags. 243–257

PINEDA-GÓMEZ P., CORAL D. F., ARCINIEGAS M. L., RORALES-RIVERA A. & RODRÍGUEZ GARCÍA M. E. (Enero, 2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. De Ingeniería y ciencia. (Vol. VI, n°11).v Medellín, Colombia.

PRETORIUS IS Y LAMBRECHTS MG (1991). *The glucoamylase multigene family in Saccharomyces cerevisiae var. diastaticus: An overview*. Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol. 26: 53-76.

POTTER, N. N. & HOTCHKISS, J. H. (1999). Ciencia de los Alimentos. 5^{ta} edición. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España.

QUERIS, J. (2010). Memorias curso fermentación de vinos y vinagres de fruta. Vinos. Bogotá.

RAMÓN AVALOS, S., ARAMBULA VILLA, G. & ROSAS ACEVEDO, J. (s. f.). El uso de la Yuca y Camote en la Industria Alimenticia, como recurso potencial para la obtención de almidones y alternativas de desarrollo para la agricultura rural. Disponible en: <http://www.eumed.net/jirr/1/AMECIDER2006/PARTE%208/89%20Silvio%20Oswaldo%20Ramon%20Avalos%20et%20al.pdf>

RAUDEZ MAYORGA, G. & POVEDA MEZA, M. (2004). *Caracterización y Evaluación Preliminar de seis Genotipos de Camote (ipomea batatas l) con Fertilización Orgánica e Inorgánica*. (Tesis para optar el Grado de Ingeniero Agrónomo en la orientación de Fitotecnia). Universidad

Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. Recuperado de:
<http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf30r243.pdf>

RUEDA ROJAS, L. (2012). Determinación de los parámetros cinéticos del extracto enzimático de *Aspergillus spp.* para la producción de jarabes de glucosa. (Tesis para optar el Grado de Químico). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. Recuperado de:
http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2F repositorio.uis.edu.co%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F474%2F2%2F145149.pdf&ei=yQxsVe7KB8WhNs22gNgJ&usg=AFQjCNGIUloDjEScVXPiYbuf20aWG5BNAg&sig2=7RxUHoVgKT_q0x5ZVCbdWg&bvm=bv.94455598,d.eXY

SENACYT/FUNDACYT, EC. (2005). Almidones en reemplazo del Plástico. s.n.t. Disponible en:
<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/696/1/T-SENESCYT-0148.pdf>

SCOTT, G., HERRERA, J., ESPINOLA, N., DAZA, M., FONSECA, C., FANO, H., Y BENAVIDES, M. (1991). Desarrollo de Productos de Raíces y Tubérculos - América Latina. En Memorias del Taller de Procesamiento, Comercialización y Utilización de Raíces y Tubérculos en América Latina, en ICTA, Villa Nueva, Guatemala. (Vol. II, 375 pág.). CIP. Lima, Perú.

SOLORZA F., JIMÉNEZ A., ARENAS M. L., BELLO P. (2002). Rheology of *Okenia hypogaea* starch dispersions in aqueous solutions of DMSO. Starch, 54: 198-202.

- USAID-RED. (2007). Manejo Pos-Cosecha del Camote "BUCH BACK" (en línea). Boletín Técnico de pos-cosecha. Disponible en: <http://www.usaid.gov/news-information/newsletter>
- VACLAVIK, A. (2002). Fundamentos de Ciencias de los Alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España.
- VALBUENA, E.; BARREIRO, J.; SANCHEZ, E.; CASTRO, G.; BRÍÑEZ, W.; TOVAR, A. (2005). Modelos cinéticos aplicados al crecimiento de *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis* en leche. *Revista Científica*, vol. XV. Número 5. Diciembre, 2005, pp. 464-475.
- van BOEKEL M.A.J.S. (2002). On the use of the Weibull model to describe thermal inactivation of microbial vegetative cells. *International Journal Food Microbiology*. Vol. 74. Pags 139-159.
- VARGAS, P., HERNÁNDEZ, D. (2012). *Cassava, yam, sweet potato and ñampi starch: functional properties and possible applications in the food industry*. Tecnología en Marcha. Vol. 26, Nº 1 Pág 37-45
- Wikipedia (2014). *Ipomoea batatas*. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de Sitio web de Fundación Wikipedia.org.: http://es.wikipedia.org/wiki/Ipomoea_batatas
- ZAMBRANO BEDÓN, G. (2013). *Estudio Técnico-Económico para la obtención de alcohol a partir de camote (Ipomoea batata)*. (Tesis de Grado para la Obtención de Título de Ingeniería Química). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://es.scribd.com/doc/170814998/Alcohol-de-Camote>

CAPITULO VII

7.1. ANEXOS

ANEXO N°01

PROCEDIMIENTO DE LA TÉCNICA DEL CUARTEO

1. Se vierte la muestra del alimento en una fuente rectangular o de forma definida.
2. Una vez que la muestra este en un recipiente, pues dividirlo en cuatro partes exactas, si es pues, de forma rectangular una división en cruz.
3. De las 4 partes tomar la muestra contenida en dos extremos no juntos.

TOMAR "I"	DESECHAR
DESECHAR	TOMAR "II"

4. De las partes que tomamos, realizamos una homogenización en otro recipiente.

TOMAR "I" + "II"

5. Procedemos a realizar la misma operación del paso N°03.

TOMAR "I"	DESECHAR
DESECHAR	TOMAR "II"

6. Las nuevas partes a tomar las llevamos a un tercer recipiente, homogenizamos y trabajamos como muestra final.

MUESTRA FINAL

7. La "MUESTRA FINAL" es en definitiva la que está sujeta a los análisis que se pretende realizar.

ANEXO N°02

ACONDICIONAMIENTO DEL CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.)

1. Pesado del camote de pulpa anaranjado (*Ipomoea batata* L.).



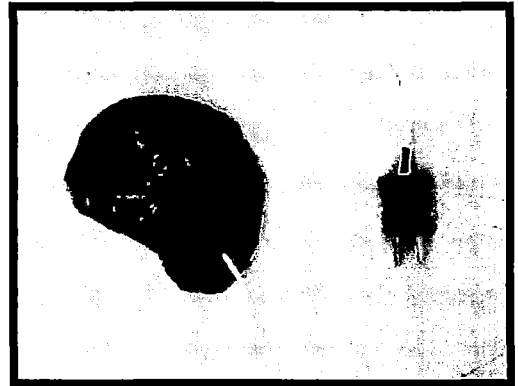
2. Lavado y escobillado del camote de pulpa anaranjado (*Ipomoea batata* L.).



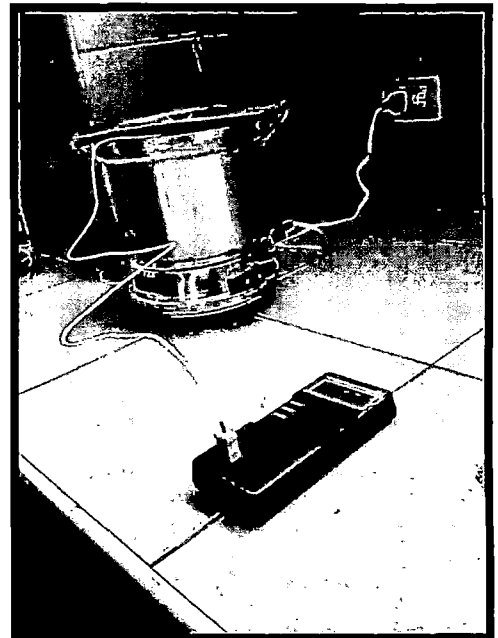
ANEXO N°03

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA INTERNA DEL CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) DURANTE LA COCCIÓN.

1. Insertar la termocupla a una muestra significativa del camote crudo de pulpa anaranjado.



2. Cocción del camote de pulpa anaranjado con termocupla para medir la temperatura interna.



ANEXO N°04

COCCIÓN DEL CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) PARA OBTENER LA PASTA.

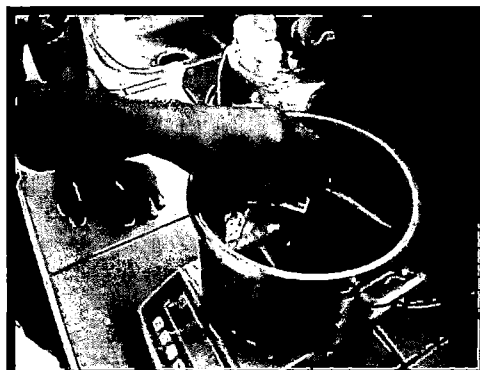
1. Cocción del camote de pulpa anaranjado (*Ipomoea batata* L.)



2. Molido del camote cocinado.



3. Pasta cocida de camote colocada en bolsas de polietileno con cierre hermético tipo Ziploc®.



ANEXO N°05

FICHA TÉCNICA DE ENZIMA COMERCIAL TERMAMYL® 120L, TYPE L

Product Data Sheet



Termamyl® 120 L, Type L

Valid from 13-Oct-2005

Product Characteristics:

Enzyme Class	Alpha-amylase
Declared activity	120 KNU-T/g
Colour	Light to dark brown Colour can vary from batch to batch. Colour intensity is not an indication of enzyme activity.
Physical form	Liquid
Approximate Density (g/ml)	1.28
Viscosity (cPs)	1-25
Stabiliser	Methionine Sodium chloride Sucrose
Production organism	Bacillus licheniformis Produced by fermentation of a microorganism which is self-cloned according to the EU definition (further information available upon request). The enzyme protein is separated and purified from the production organism.

Product Specification:

	Lower Limit	Upper Limit	Unit
Alpha Amylase Units KNU-T	120	138	/g
pH at 25°C	5.5	7.0	
Density	-	-	g/ml
Total Viable Count	-	50000	/g
Coliform Bacteria	-	30	/g
Enteropathogenic E.Coli		None Detected	/25g.
Salmonella		None Detected	/25g.

The product complies with the recommended purity specifications for food-grade enzymes given by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) and the Food Chemical Codex (FCC).

Packaging: See the standard packaging list for more information.

Recommended Storage:

Best before	When stored as recommended, the product is best used within 3 months from date of delivery.
Storage temperature	0-25°C (32°F-77°F)
Storage Conditions	In unbroken packaging - dry and protected from the sun. The product has been formulated for optimal stability. Extended storage or adverse conditions such as higher temperature or higher humidity may lead to a higher dosage requirement.

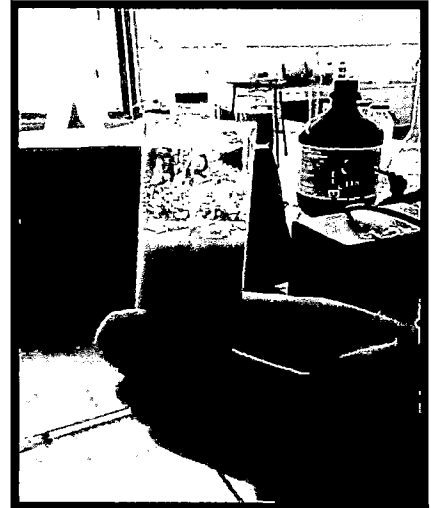
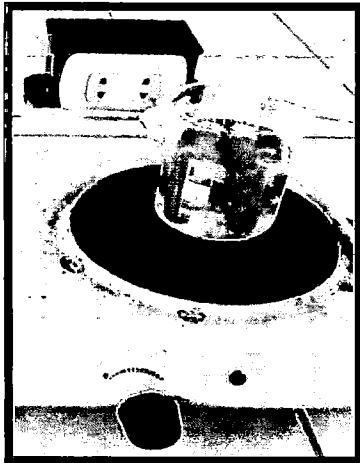
Safety and handling precautions:

Enzymes are proteins. Inhalation of dust or aerosols may induce sensitization and may cause allergic reactions in sensitized individuals. Some enzymes may irritate the skin, eyes and mucous membranes upon prolonged contact. The product may create easily inhaled aerosols if splashed or vigorously stirred. Spilled product may dry out and create dust. Spilled material should be flushed away with water. Avoid splashing. Left over material may dry out and create dust. Wear suitable protective clothing, gloves and eye/face protection as prescribed on the warning label. Wash contaminated clothes. A Material Safety Data Sheet is supplied with all products. See the Safety Manual for further information regarding how to handle the product safely.

ANEXO N°06

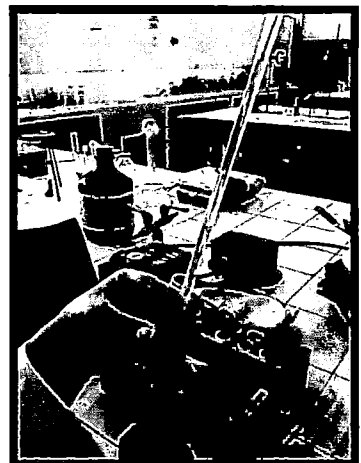
HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LA DILUCIÓN DE PASTA COCIDA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA CON LA ADICIÓN DE LA ENZIMA COMERCIAL TERMAMYL®.

1. Tomar 2 muestras de igual volumen en 2 tubos de ensayos.



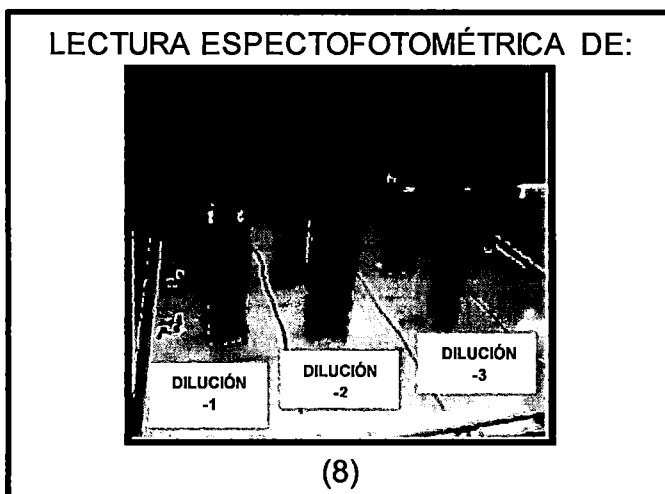
2. Se somete a cocción en baño María los tubos a la temperatura que corresponda.

3. Y se adiciona la enzima comercial Termamyl® (1.5% en peso referido al peso de la solución inicial).



ANEXO N°07**PRUEBA ESPECTOFOTOMÉTRICA DE LA PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE CON EL MÉTODO DE ROSS PARA MEDIR EL CONTENIDO DE AZUCARES REDUCTORES.****Anexo 7.1: Determinación de azúcares reductores mediante el método Dinitrofenol de Ross.**

1. Se toma 1g de muestra de la solución (pasta de camote y agua) en un 1° tubo de ensayo, se agrega 9 ml de agua destilada. Agitar bien. Filtrar con Wathman N°04. (Dilución -1).
2. Del filtrado se toma 1ml de su solución para ser adicionado con 9ml de agua destilada en el tubo N°02 (Dilución -2).
3. Del Tubo N°02 se extrae 1ml de su solución para ser adicionado con 9ml de agua destilada en el tubo N°03 (Dilución -3).
4. De cada dilución (-1, -2 y -3) se tomará 1ml de sus respectivas soluciones en 3 tubos de ensayo diferentes (A, B y C).
5. Luego se le adicionará 3ml del Reactivo de Ross a los 3 tubos de ensayo respectivamente.
6. Se calienta en agua hirviendo por 6 minutos exactamente.
7. Enfriar con agua fría de caño que corra por las paredes exteriores del tubo.
8. Se lee la transmitancia en el espectofotómetro. Para este análisis se usa un filtro de absorción de 620 milimicrones.



Anexo 7.2: Marcha para la preparación del Reactivo de Ross (Solución A + Solución b)

SOLUCIÓN A:

1. Disolver 7.145g de 2.4 dinitrofenol en 230ml de hidróxido de sodio al 5%.
2. Calentar en agua hirviendo hasta que el 2.4 dinitrofenol se disuelva.
3. Pesar y adicionar 2.5g de fenol.
4. Calentar 2 a 3 minutos más o menos hasta que la solución no tenga trazas de color claro.

SOLUCIÓN A:



(1)



(2)



(3)

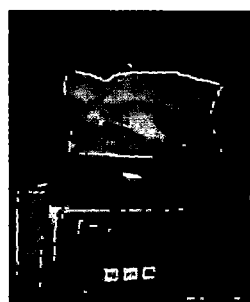


(4)

SOLUCIÓN B:

1. Pesar 100 g de sal de Rochelle (tartrato de sodio y potasio).
2. Disolver en 500 ml más o menos de agua destilada.

SOLUCIÓN B:



(1)

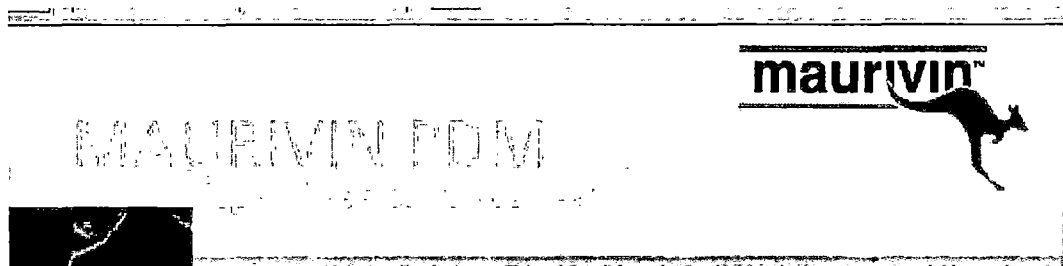


(2)

Mezclar las dos soluciones A y B y completar a 1L en una fiola cuando el líquido se haya enfriado.

ANEXO N°08

FICHA TÉCNICA DE LA LEVADURA MAURIVIN PDM (*Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus*)



Producto

Una levadura pura, seca, activa, de vino, seleccionada por sus características aromáticas medias.

Tipo

Saccharomyces cerevisiae (var. *bayanus*).

Tasa de fermentación

Maurivin PDM es apropiado para la fermentación a bajas temperaturas, debido a su vigor inherente. Es un fermentador constante a bajas temperaturas (8-15°C; 46-59°F) con una demanda alta de control refrescante o refrigerante. Maurivin PDM es un fermentador de velocidad rápida a temperaturas más cálidas (20-30°C; 68-86°F) con un tiempo de demora corto.

Requerimiento de nitrógeno

La fermentación a altas temperaturas puede resultar en agotamiento acelerado de amino nitrógeno libre en el mosto/jugo. En estas situaciones puede ser necesario agregar nitrógeno libre o disponible.

Tolerancia alcohólica

Maurivin PDM exhibe una tolerancia alcohólica excelente en el rango de 15-17% (v/v).

Acidez volátil

Generalmente menos de 0,3 g/l.

Formación de Espuma

Es una cepa de espuma baja a moderada.

Floculación

Maurivin PDM tiene propiedades de sedimentación excelentes luego de la fermentación alcohólica.

Producción total de SO₂

Maurivin PDM se considera un productor moderado de SO₂ (hasta 40 mg/L SO₂ total).

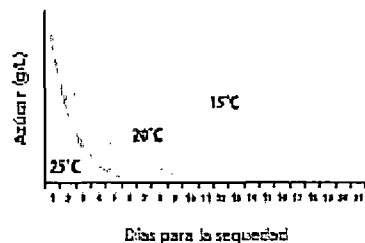
Contribución al vino

Maurivin PDM produce niveles moderados a bajos de compuestos de aroma y sabor en el vino. Es una cepa de levadura muy deseada cuando el enólogo requiere una contribución aromática sutil pero positiva de la levadura.

Aplicaciones

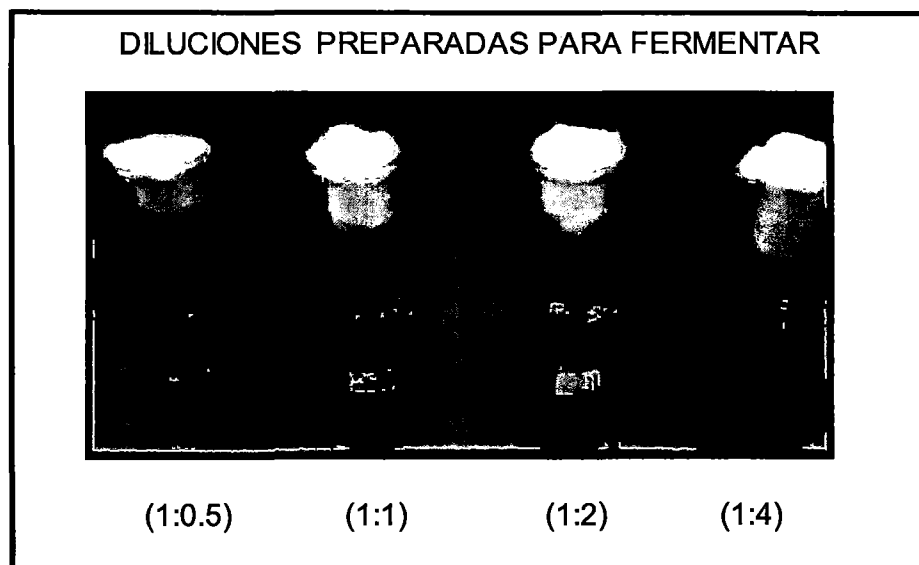
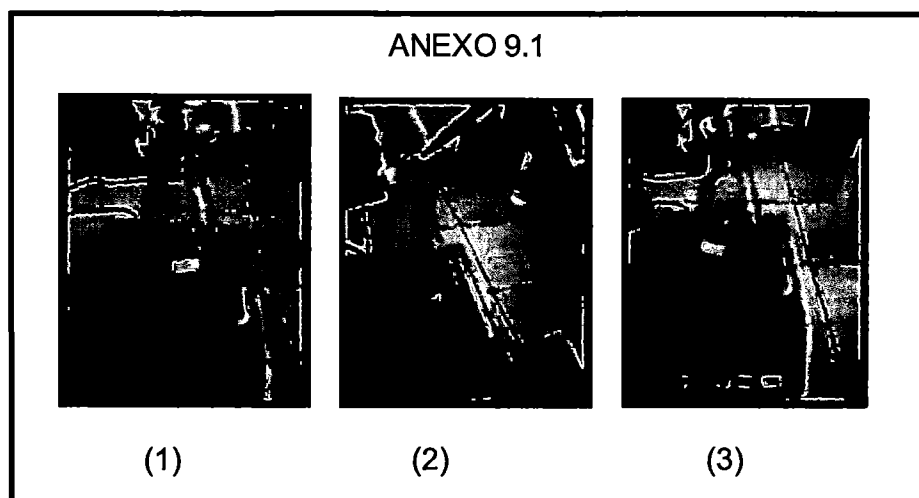
Una cepa de levadura de propósito general recomendada para la producción de vinos blancos y tintos, particularmente variedades blancas tales como el Chardonnay, Chenin Blanc, Sauvignon Blanc, Semillon, Riesling, Cabernet, Merlot y Syrah. Maurivin PDM también es apropiado para la producción de vinos estilo méthode champenoise.

Tasas de fermentación de PDM a diferentes temperaturas de fermentación



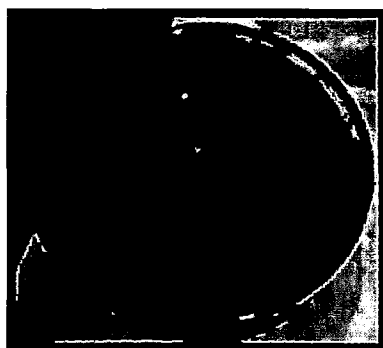
ANEXO N°09**FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE LA PASTA HIDROLIZADA DILUIDA EN AGUA E INOCULADA CON *Saccharomyces cerevisiae* var *bayanus*.****Anexo9.1: Preparación de la dilución de la pasta hidrolizada en agua destilada.**

1. Pesar el camote hidrolizado de acuerdo a la dilución a experimentar (1:0.5), (1:1), (1:2) ó (1:4) teniendo en cuenta que la relación es camote hidrolizado: agua destilada.
2. Se adiciona agua destilada al matraz según la dilución.
3. Y se homogeniza la solución.

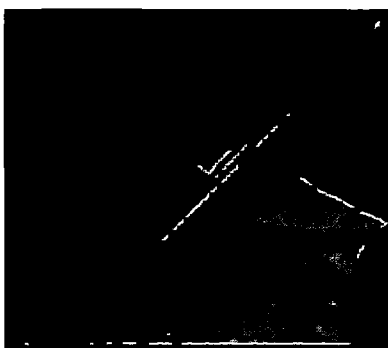


Anexo 9.2: Activación de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus*

1. Se adiciona *Saccharomyces cerevisiae* var *bayanus* (según proporción establecida) a una pequeña cantidad de la solución a fermentar.
2. Se controla la temperatura ($T=37^{\circ}\text{C}$). Se deja activar durante 15 min.
3. Colocar la levadura activada en el resto de la solución del matraz.

ANEXO 9.2

(1)



(2)



(3)

ANEXO N°10

**TABLA DE CONVERSIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA A °BAUMÉ,
°BRIX Y ALCOHOL PROBABLE**

Tablas de conversión de unidades de medida

1 de 3

Densidad	Grado Baumé	Grado Brix	Alcohol probable
1000	0		
1001	0.14		
1002	0.28		
1003	0.43		
1004	0.57		
1005	0.71		
1006	0.85		
1007	1.00		
1008	1.14		
1009	1.28		
1010	1.42		
1011	1.56		
1012	1.70	0.20	0.11
1013	1.84	0.47	0.23
1014	1.98	0.73	0.43
1015	2.12	1.10	0.59
1016	2.27	1.26	0.70
1017	2.41	1.53	0.88
1018	2.55	1.80	1.06
1019	2.68	2.06	1.18
1020	2.82	2.33	1.35
1021	2.91	2.59	1.47
1022	3.10	2.86	1.65
1023	3.24	3.13	1.82
1024	3.37	3.39	1.94
1025	3.51	3.66	2.21
1026	3.65	3.92	2.30
1027	3.79	4.19	2.41
1028	3.92	4.46	2.69
1029	4.06	4.72	2.77
1030	4.20	5.00	2.95
1031	4.33	5.27	3.06
1032	4.47	5.54	3.24
1033	4.60	5.80	3.42
1034	4.74	6.07	3.54
1035	4.88	6.33	3.71
1036	5.01	6.6	3.7
1037	5.15	6.9	4.0
1038	5.28	7.2	4.2
1039	5.41	7.4	4.4

Densidad	Grado Baumé	Grado Brix	Alcohol probable
1101	13.23	23.9	14.1
1102	13.34	24.2	14.3
1103	13.46	24.4	14.4
1104	13.58	24.7	14.6
1105	13.69	25.0	14.7
1106	13.81	25.2	14.9
1107	13.93	25.5	15.0
1108	14.05	25.8	15.2
1109	14.16	26.0	15.3
1110	14.28	26.3	15.5
1111	14.40	26.6	15.7
1112	14.52	26.8	15.9
1113	14.64	27.1	16.0
1114	14.75	27.4	16.2
1115	14.87	27.6	16.3
1116	14.99	27.9	16.4
1117	15.11	28.2	16.6
1118	15.23	28.4	16.7
1119	15.34	28.7	16.9
1120	15.46	29.0	17.1
1121	15.57	29.2	17.3
1122	15.68	29.5	17.4
1123	15.80	29.8	17.6
1124	15.91	30.1	17.7
1125	16.03	30.3	17.9
1126	16.14	30.6	18.0
1127	16.26	30.9	18.2
1128	16.37	31.1	18.3
1129	16.48	31.4	18.5
1130	16.60	31.6	18.7
1131	16.71	31.9	18.8
1132	16.82	32.2	19.0
1133	16.93	32.5	19.1
1134	17.05	32.7	19.3
1135	17.16	33.0	19.5
1136	17.27	33.2	19.6
1137	17.39	33.5	19.8
1138	17.50	33.8	19.9
1139	17.61	34.1	20.1
1140	17.76	34.3	20.2

1040	5.50	7.6	4.5
1041	5.68	8.0	4.7
1042	5.81	8.2	4.8
1043	5.95	8.4	5.0
1044	6.08	8.7	5.1
1045	6.21	9.0	5.3
1046	6.34	9.2	5.4
1047	6.48	9.5	5.6
1048	6.61	9.8	5.7
1049	6.74	10.0	5.9
1050	6.87	10.3	6.0
1051	7.00	10.6	6.2
1052	7.13	10.8	6.3
1053	7.26	11.1	6.5
1054	7.39	11.4	6.7
1055	7.52	11.6	6.8
1056	7.65	11.9	7.0
1057	7.78	12.2	7.2
1058	7.91	12.4	7.3
1059	8.03	12.7	7.5
1060	8.16	13.0	7.6
1061	8.29	13.2	7.8
1062	8.42	13.5	7.9
1063	8.55	13.8	8.1
1064	8.67	14.0	8.2
1065	8.80	14.3	8.4
1066	8.93	14.6	8.6
1067	9.06	14.8	8.7
1068	9.18	15.1	8.9
1069	9.31	15.4	9.0
1070	9.43	15.6	9.2
1071	9.56	15.9	9.3
1072	9.68	16.2	9.5
1073	9.81	16.4	9.6
1074	9.93	16.7	9.8
1075	10.06	17.0	10.0
1076	10.18	17.2	10.1
1077	10.31	17.5	10.3
1078	10.43	17.8	10.5
1079	10.56	18.0	10.6
1080	10.68	18.3	10.8
1081	10.80	18.6	10.9
1082	10.93	18.8	11.0
1083	11.05	19.1	11.2
1084	11.18	19.4	11.4
1085	11.30	19.6	11.5
1086	11.42	19.9	11.7
1087	11.55	20.2	11.9

1141	17.83	34.6	20.4
1142	17.94	34.9	20.5
1143	18.05	35.1	20.7
1144	18.16	35.4	20.9
1145	18.28	35.7	21.1
1146	18.39	35.9	21.2
1147	18.48	36.2	21.3
1148	18.59	36.5	21.5
1148	18.70	36.7	21.7
1150	18.81	37.0	21.8
1151	18.92	37.3	22.0
1152	19.03	37.5	22.2
1153	19.14	37.8	22.3
1154	19.25	38.1	22.4
1155	19.36	38.3	22.6
1156	19.47	38.6	22.8
1157	19.58	38.9	23.0
1158	19.69	39.1	23.1
1159	19.79	39.4	23.2
1160	19.90	39.7	23.4
1161	20.01	39.87	23.5
1162	20.11	40.1	23.6
1163	20.22	40.4	23.8
1164	20.33	40.7	24.1
1165	20.44	41.0	24.2
1166	20.54	41.2	24.3
1167	20.65	41.5	24.5
1168	20.75	41.8	24.6
1169	20.86	42.1	24.8
1170	20.96	42.3	25.0
1171	21.05	42.6	25.1
1172	21.16	42.9	25.3
1173	21.26	43.1	25.5
1174	21.37	43.4	25.6
1175	21.47	43.7	25.8
1176	21.58	43.9	26.0
1177	21.68	44.2	26.1
1178	21.79	44.5	26.3
1179	21.89	44.7	26.4
1180	22.05	45.0	26.5
1181	22.15	45.3	26.8
1182	22.25	45.5	26.8
1183	22.35	45.8	27.0
1184	22.45	46.1	27.2
1185	22.55	46.3	27.3
1186	22.65	46.6	27.4
1187	22.75	46.8	27.6
1188	22.85	47.1	27.8

1088	11.67	20.4	12.0
1089	11.79	20.7	12.2
1090	11.91	21.0	12.3
1091	12.03	21.2	12.5
1092	12.15	21.5	12.6
1093	12.27	21.8	12.8
1094	12.39	22.0	12.9
1095	12.52	22.3	13.1
1096	12.64	22.6	13.3
1097	12.76	22.8	13.4
1098	12.87	23.1	13.6
1099	12.99	23.4	13.8
1100	13.11	23.6	13.9

1189	22.95	47.4	27.9
1190	23.05	47.6	28.1
1191	23.15	47.9	28.2
1192	23.25	48.2	28.4
1193	23.35	48.5	28.6
1194	23.45	48.7	28.7
1195	23.55	49.0	28.9
1196	23.65	49.3	29.1
1197	23.75	49.5	29.2
1198	23.85	49.9	29.4
1199	23.95	50.1	29.5
1200	24.05	50.3	29.7

Tablas de corrección de temperatura (grados Brix)

		Grados Brix															
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
Temperatura °C	10	A restar	0.50	0.54	0.58	0.61	0.64	0.66	0.68	0.70	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76	0.78	0.79
	11		0.46	0.46	0.53	0.55	0.58	0.60	0.62	0.64	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71
	12		0.42	0.45	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.63	0.63
	13		0.37	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49	0.50	0.51	0.52	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55
	14		0.33	0.35	0.37	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45	0.46	0.46	0.47	0.48
	15		0.27	0.29	0.31	0.33	0.34	0.34	0.35	0.36	0.37	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40	0.40
	16		0.22	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.28	0.29	0.29	0.30	0.30	0.31	0.31	0.32	0.32
	17		0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24
	18	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	
	19	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	21	A sumar	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	22		0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
	23		0.19	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
	24		0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	0.32	0.32
	25		0.33	0.35	0.36	0.37	0.38	0.38	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
26	0.40		0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	
27	0.48		0.50	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	
28	0.56		0.57	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	
29	0.64		0.66	0.68	0.69	0.71	0.72	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	
30	0.72	0.74	0.77	0.78	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81		

Fuente: Amerine M.A & Ough C.S. (2001)

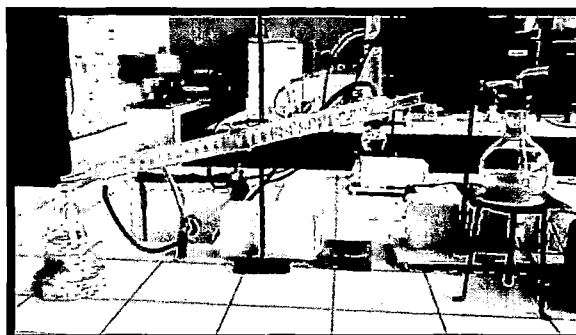
ANEXO N°11

DESTILACIÓN DEL MOSTO FERMENTADO DE PASTA DE CAMOTE HIDROLIZADO.

1. Una vez filtrado el mosto se coloca en el balón del equipo de destilación simple.



2. Se procede a destilar en el equipo de destilación.



3. Se recoge el destilado.



ANEXO N°12

ANÁLISIS PROXIMAL DE CAMOTE CRUDO DE PULPA ANARANJADO
(*Ipomoea batata* L)

COMPONENTE	Muestras		PROMEDIO (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Agua	75.64	75.98	75.81	0.0578
Proteína Cruda	1.1	1.0	1.05	0.005
Extracto Etéreo	0.2	0.23	0.215	0.00045
Cenizas	0.06	0.06	0.06	0
Fibra	0.8	0.83	0.815	0.00045
Carbohidratos	22.2	21.9	22.05	0.045
TOTAL	100	100	100	

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°13

DATOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN DE TEMPERATURA INTERNA (°C) DEL CAMOTE (*Ipomoea batata* L) DURANTE LA COCCIÓN.

TIEMPO (min)	TEMPERATURA INTERNA (°C)
0	23.4
1	24.7
2	27.2
3	32.1
4	38.1
5	41.8
6	47.2
7	55.1
8	60.4
9	64.5
10	66.7
12	75.7
14	79.4
16	83.2
18	88.1
20	91.3
22	94.5
24	95.5
26	96.8
28	97.3
30	99.0
35	99.6
40	100.1
45	100.4
50	100.5

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°14

CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES (mg/l) OBTENIDOS EN LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LA DILUCIÓN DE PASTA COCIDA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5) CON LA ADICIÓN DE LA ENZIMA COMERCIAL TERMAMYL® A DIFERENTES TEMPERATURAS DE EXPERIMENTACIÓN (70, 80, 90 y 100°C).

TIEMPO	TEMPERATURA							
	70°C		80°C		90°C		100°C	
0 min	29.02	35.284	29.02	35.284	29.02	35.284	29.02	35.284
20 min	51.916	47.704	47.38	43.924	57.64	50.836	62.392	51.268
40 min	53.644	48.676	57.748	37.768	59.908	59.368	66.172	61.312
60 min	60.556	49.648	52.24	57.64	63.688	62.824	71.248	68.656
80 min	62.608	51.808	60.556	61.42	64.876	59.26	79.78	75.892
100 min	64.444	52.996	67.36	59.26	65.416	62.068	85.936	77.512
120 min	66.172	54.292	59.044	68.008	69.52	63.256	87.988	80.644

Fuente: De los autores (2014)

Promedio de las concentraciones de azúcares reductores (mg/l)

Tiempo	Temperatura			
	70°C	80°C	90°C	100°C
0 min	32.152	32.152	32.152	32.152
20 min	49.81	45.652	54.238	56.83
40 min	51.16	47.758	59.638	63.742
60 min	55.102	54.94	63.256	69.952
80 min	57.208	60.988	62.068	77.836
100 min	58.72	63.31	63.742	81.724
120 min	60.232	63.526	66.388	84.316

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°15

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LA DILUCIÓN DE PASTA COCIDA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5) CON LA ADICIÓN DE LA ENZIMA COMERCIAL TERMAMYL® A DIFERENTES TEMPERATURAS DE EXPERIMENTACIÓN (70, 80, 90 y 100°C).

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0min	4	128.608	32.152	0
20 min	4	206.53	51.6325	24.296841
40 min	4	222.298	55.5745	54.601857
60 min	4	243.25	60.8125	52.199073
80 min	4	258.1	64.525	83.089476
100 min	4	267.496	66.874	103.173912
120 min	4	274.462	68.6155	115.884513
70°C	7	364.384	52.0548571	91.5156051
80°C	7	368.326	52.618	133.292304
90°C	7	401.482	57.3545714	138.257002
100°C	7	466.552	66.6502857	328.390617

Fuente: De los autores (2014)

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	3806.56306	6	634.427177	33.3743042	8.32E-09	2.66130452
Columnas	957.566911	3	319.18897	16.7910679	1.8695E-05	3.15990759
Error	342.170105	18	19.0094503			
Total	5106.30008	27				

Fuente: De los autores (2014)

PRUEBA TUKEY**Multiple Range Tests for AR by Temperature***Method: 95.0 percent Tukey HSD*

Temperatura	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
70	7	52.0549	1.64792	X
80	7	52.618	1.64792	X
90	7	57.3546	1.64792	X
100	7	66.6503	1.64792	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
70 - 80		-0.563143	6.58925
70 - 90		-5.29971	6.58925
70 - 100	*	-14.5954	6.58925
80 - 90		-4.73657	6.58925
80 - 100	*	-14.0323	6.58925
90 - 100	*	-9.29571	6.58925

* denotes a statistically significant difference.

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°16

APLICACIÓN DEL MODELO DE GOMPERTZ A LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES (mg/l) EN LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LA DILUCIÓN DE PASTA COCIDA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5) CON LA ADICIÓN DE LA ENZIMA COMERCIAL TERMAMYL® A DIFERENTES TEMPERATURAS DE EXPERIMENTACIÓN (70, 80, 90 y 100°C).

PARÁMETROS MODELO GOMPERTZ		TEMPERATURAS			
		70°C	80°C	90°C	100°C
Prefijados	Brix inicial (B ₀)	32.152	32.152	32.152	32.152
	Velocidad de incremento (B)	0.046247	0.037626	0.075228	0.037086
Determinados	Tiempo de Velocidad máximo (M) (min)	14.71213	24.22653	12.58760	20.91108
	R	0.95499	0.97892	0.96946	0.9775
Calculado	Diferencia de Max. AR y AR inicial (C)	28.08	31.374	34.236	52.164

Fuente: De los autores (2014)

PARÁMETROS	TEMPERATURAS			
	70°C	80°C	90°C	100°C
Velocidad de incremento (B) (min ⁻¹)	0.046247	0.037626	0.075228	0.037086
Tiempo de Velocidad máximo (M) (min)	14.71213	24.22653	12.58760	20.91108
Diferencia de Max. AR y AR inicial (C) (mg/ml)	28.08	31.374	34.236	52.164

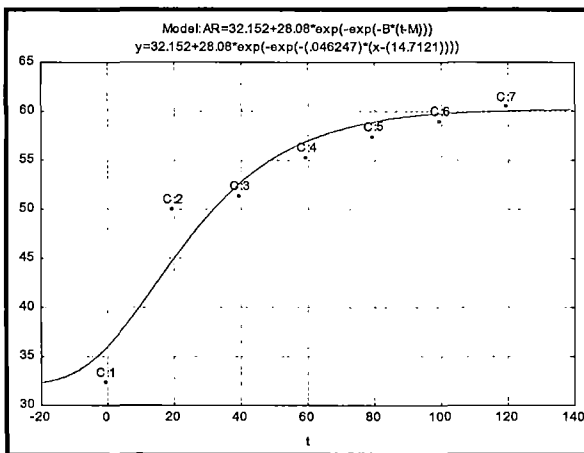
Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°17

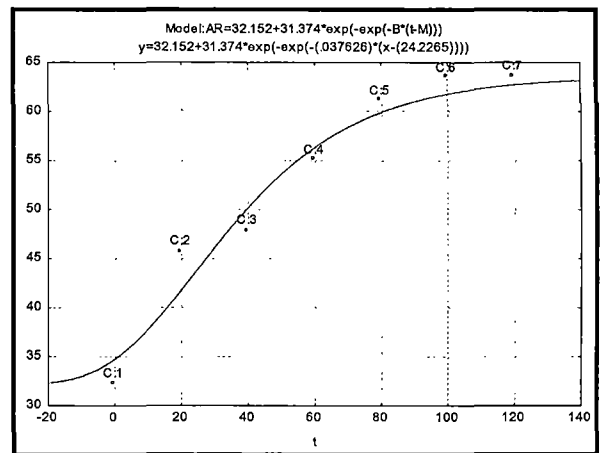
CURVAS OBTENIDAS APLICANDO EL MODELO DE GOMPERTZ PARA LA OBTENCIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES (mg/l) EN LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LA DILUCIÓN DE PASTA COCIDA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5) A DIFERENTES TEMPERATURAS DE EXPERIMENTACIÓN (70, 80, 90 y 100°C).

Azúcares reductores (mg/l) vs. Tiempo (min)

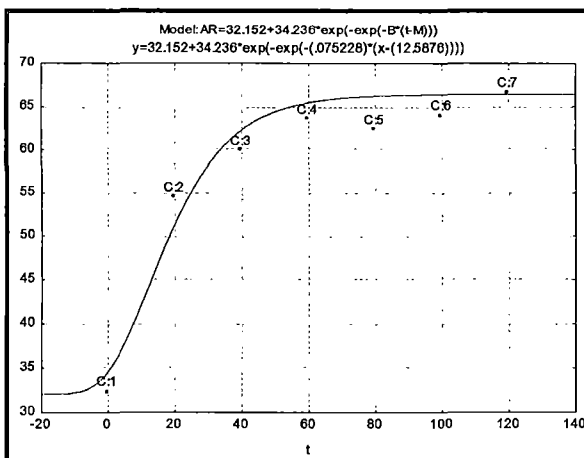
70°C



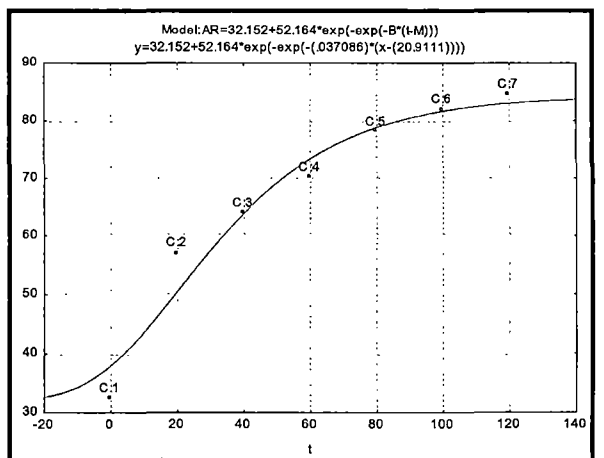
80°C



90°C



100°C



Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°18

CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES (mg/l) OBTENIDOS EN LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA A DIFERENTES DILUCIONES DE PASTA COCIDA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5, 1:1; 1:2, 1:4 y 1:8) CON LA ADICIÓN DE LA ENZIMA COMERCIAL TERMAMYL® A 100°C.

TIEMPO	DILUCIONES									
	1:0.5		1:1		1:2		1:4		1:8	
0 min	71.356	73.948	29.02	35.284	34.96	39.28	6.232	8.5	1.912	1.696
30 min	72.49	79.672	62.392	51.268	63.904	57.424	10.984	20.38	12.604	3.1
60 min	73.786	81.346	66.172	57.856	65.848	69.304	16.816	32.368	21.244	7.204
90 min	80.05	84.154	71.248	61.312	67.9	70.6	26.644	39.604	25.348	10.012
120 min	87.772	85.882	74.056	65.524	72.112	76.324	38.956	47.704	28.264	16.816
150 min	85.936	86.152	77.62	68.656	76.324	79.348	46.948	49.54	33.556	23.728
180 min	91.444	91.66	79.78	75.892	77.404	82.696	51.916	58.18	38.848	30.1

Fuente: De los autores (2014)

Promedio de las concentraciones de azúcares reductores

Tiempo	DILUCIONES				
	1:0.5	1:1	1:2	1:4	1:8
0 min	72.652	32.152	37.12	7.366	1.804
30 min	76.081	56.83	60.664	15.682	7.852
60 min	77.566	62.014	67.576	24.592	14.224
90 min	82.102	66.28	69.25	33.124	17.68
120 min	86.827	69.79	74.218	43.33	22.54
150 min	86.044	73.138	77.836	48.244	28.642
180 min	91.552	77.836	80.05	55.048	34.474

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°19

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA A DIFERENTES DILUCIONES DE PASTA COCIDA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5, 1:1; 1:2, 1:4 y 1:8) CON LA ADICIÓN DE LA ENZIMA COMERCIAL TERMAMYL® A 100°C.

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

RESUMEN	CUENTA	SUMA	PROMEDIO	VARIANZA
0	5	151.094	30.2188	795.397903
30	5	217.109	43.4218	894.600952
60	5	245.972	49.1944	783.845003
90	5	268.436	53.6872	731.885965
120	5	296.705	59.341	674.163162
150	5	313.904	62.7808	562.970833
180	5	338.96	67.792	522.04419
1:0.5	7	572.824	81.832	45.464571
1:1	7	438.04	62.5771429	228.189497
1:2	7	466.714	66.6734286	212.904658
1:4	7	227.386	32.4837143	308.510301
1:8	7	127.216	18.1737143	130.783017

Fuente: De los autores (2014)

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	4886.89845	6	814.483075	29.2535015	6.60E-10	2.50818882
Columnas	19191.4182	4	4797.85456	172.322851	2.652E-17	2.77628929
Error	668.213814	24	27.8422422			
Total	24746.5305	34				

Fuente: De los autores (2014)

PRUEBA TUKEY

Multiple Range Tests for AR by Diluciones

Method: 95.0 percent Tukey HSD

Diluciones	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
8	7	18.1737	1.99436	X
4	7	32.4837	1.99436	X
1	7	62.5771	1.99436	X
2	7	66.6734	1.99436	X
0.5	7	81.832	1.99436	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
0.5 - 1	*	19.2549	8.31104
0.5 - 2	*	15.1586	8.31104
0.5 - 4	*	49.3483	8.31104
0.5 - 8	*	63.6583	8.31104
1 - 2		-4.09629	8.31104
1 - 4	*	30.0934	8.31104
1 - 8	*	44.4034	8.31104
2 - 4	*	34.1897	8.31104
2 - 8	*	48.4997	8.31104
4 - 8	*	14.31	8.31104

* denotes a statistically significant difference.

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°20

APLICACIÓN DEL MODELO DE GOMPERTZ A LA OBTENCIÓN DE AZUCARES REDUCTORES (mg/l) EN LA HIDRÓLISIS A DIFERENTES DILUCIONES DE PASTA COCIDA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5, 1:1; 1:2, 1:4 y 1:8) CON LA ADICIÓN DE LA ENZIMA COMERCIAL TERMAMYL® A 100°C.

PARÁMETROS DEL MODELO GOMPERTZ		DILUCIONES				
		1:0.5	1:1	1:2	1:4	1:8
Prefijados	Brix inicial (B ₀)	72.652	32.152	37.12	7.366	1.804
	Velocidad de incremento (B)	0.019626	0.023899	0.027753	0.021591	0.018501
	Tiempo de Velocidad máximo (M)	68.84304	27.19844	25.19203	61.35488	64.35286
	R	0.97818	0.9569	0.96273	0.99435	0.98392
Calculado	Diferencia del Max AR y AR inicial (C)	18.90	45.684	42.93	47.682	32.67

Fuente: De los autores (2014)

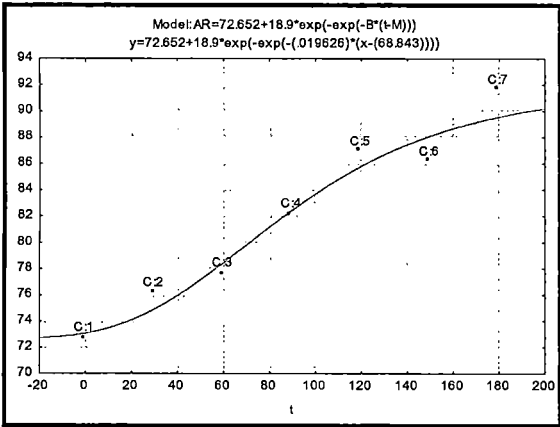
PARÁMETROS	DILUCIONES				
	1:0.5	1:1	1:2	1:4	1:8
Velocidad de incremento (B) (min ⁻¹)	0.019626	0.023899	0.027753	0.021591	0.018501
Tiempo de Velocidad máximo (M) (min)	68.84304	27.19844	25.19203	61.35488	64.35286
Diferencia de Max. AR y AR inicial (C) (mg/ml)	18.9	45.684	42.93	47.682	32.67

Fuente: De los autores (2014)

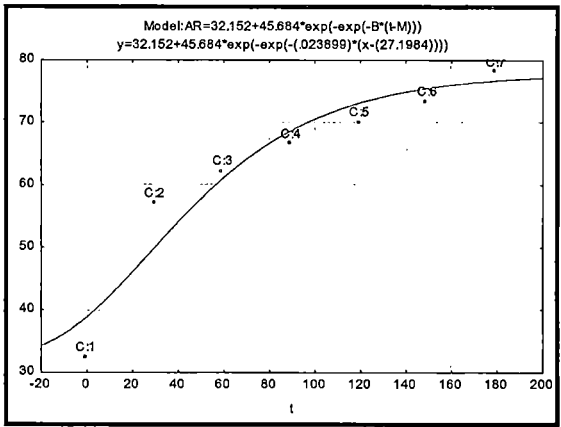
ANEXO N°21
CURVAS OBTENIDAS APLICANDO EL MODELO DE GOMPERTZ PARA
OBTENCIÓN DE AR (mg/l) EN LA HIDRÓLISIS A DIFERENTES
DILUCIONES DE PASTA COCIDA DE CAMOTE DE PULPA
ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5, 1:1;
1:2, 1:4 y 1:8) A 100°C.

Azúcares reductores (mg/l) vs. Tiempo (min)

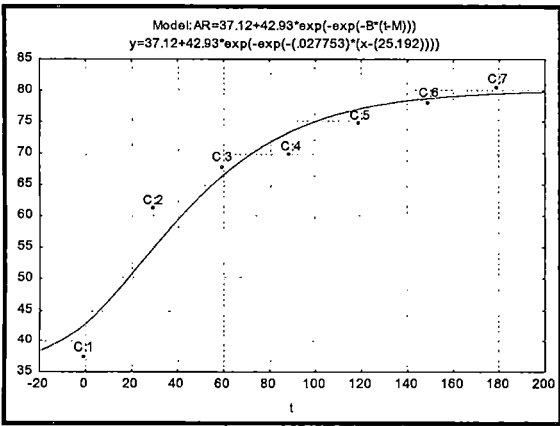
1:0.5



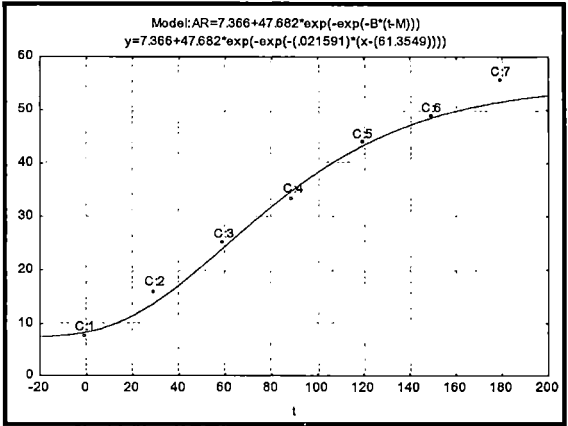
1:1



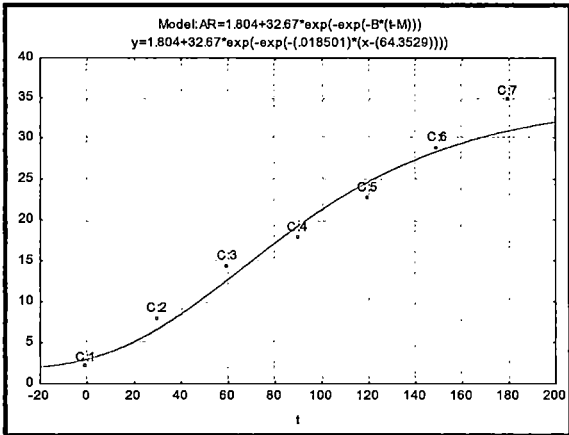
1:2



1:4



1:8



ANEXO N°22

CONTENIDO DE °BRIX EN LA FERMENTACIÓN CON *Saccharomyces cerevisiae* Var *Bayanus* (0.7g/l) A DIFERENTES DILUCIONES DE FERMENTACIÓN DE PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5, 1:1; 1:2 y 1:4).

Días	DILUCIONES							
	1:0.5		1:1		1:2		1:4	
0	12	14	8	8	5	5	3	3
1	10.1	11.7	6.1	5.9	4.1	3.9	1.9	2.1
2	9	9.2	5.3	5.1	3.3	3.1	1.9	2.1
3	8.9	8.9	4.7	4.9	3.1	2.9	1.7	1.9
4	8	7.8	4.7	4.9	2.9	2.7	1.7	1.9
5	7.7	7.3	4.4	4.8	2.9	2.7	1.7	1.9

Fuente: De los autores (2014)

Promedio del contenido de °Brix

Días	DILUCIONES			
	1:0.5	1:1	1:2	1:4
0	13	8	5	3
1	10.9	6	4	2
2	9.1	5.2	3.2	2
3	8.9	4.8	3	1.8
4	7.9	4.8	2.8	1.8
5	7.5	4.6	2.8	1.8

Fuente: de los Autores (2014)

ANEXO N°23

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA FERMENTACIÓN CON *Saccharomyces cerevisiae* Var *Bayanus* (0.7g/l) A DIFERENTES DILUCIONES DE FERMENTACIÓN DE PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5, 1:1; 1:2 y 1:4).

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

RESUMEN	CUENTA	SUMA	PROMEDIO	VARIANZA
0 día	4	29	7.25	18.9166667
1 día	4	22.9	5.725	14.5691667
2 días	4	19.5	4.875	9.67583333
3 días	4	18.5	4.625	9.6425
4 días	4	17.3	4.325	7.23583333
5 días	4	16.7	4.175	6.25583333
1:0.5	6	57.3	9.55	4.255
1:1	6	33.4	5.56666667	1.67066667
1:2	6	20.8	3.46666667	0.76266667
1:4	6	12.4	2.06666667	0.21866667

Fuente: De los autores (2014)

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	26.88875	5	5.37775	10.5497793	0.00017234	2.90129454
Columnas	191.24125	3	63.7470833	125.055583	7.7552E-11	3.2873821
Error	7.64625	15	0.50975			
Total	225.77625	23				

Fuente: De los autores (2014)

PRUEBA TUKEY

Multiple Range Tests for Bx by Diluciones

Method: 95.0 percent Tukey HSD

Diluciones	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
4	6	2.06667	0.291476	X
2	6	3.46667	0.291476	X
1	6	5.56667	0.291476	X
0.5	6	9.55	0.291476	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
0.5 - 1	*	3.98333	1.18865
0.5 - 2	*	6.08333	1.18865
0.5 - 4	*	7.48333	1.18865
1 - 2	*	2.1	1.18865
1 - 4	*	3.5	1.18865
2 - 4	*	1.4	1.18865

* denotes a statistically significant difference.

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°24

APLICACIÓN DEL MODELO DE WEIBULL AL CONTENIDO DE °BRIX EN LA FERMENTACIÓN CON *Saccharomyces cerevisiae* Var *Bayanus* (0.7g/l) A DIFERENTES DILUCIONES DE FERMENTACIÓN DE PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5, 1:1; 1:2 y 1:4).

Conversión de los °Brix en logaritmos para poder aplicar el de Weibull

DÍAS	DILUCIONES			
	1:0.5	1:1	1:2	1:4
0	1.11394335	0.90308999	0.69897	0.47712125
1	1.0374265	0.77815125	0.60205999	0.30103
2	0.95904139	0.71600334	0.50514998	0.30103
3	0.94939001	0.68124124	0.47712125	0.25527251
4	0.89762709	0.68124124	0.44715803	0.25527251
5	0.87506126	0.66275783	0.44715803	0.25527251

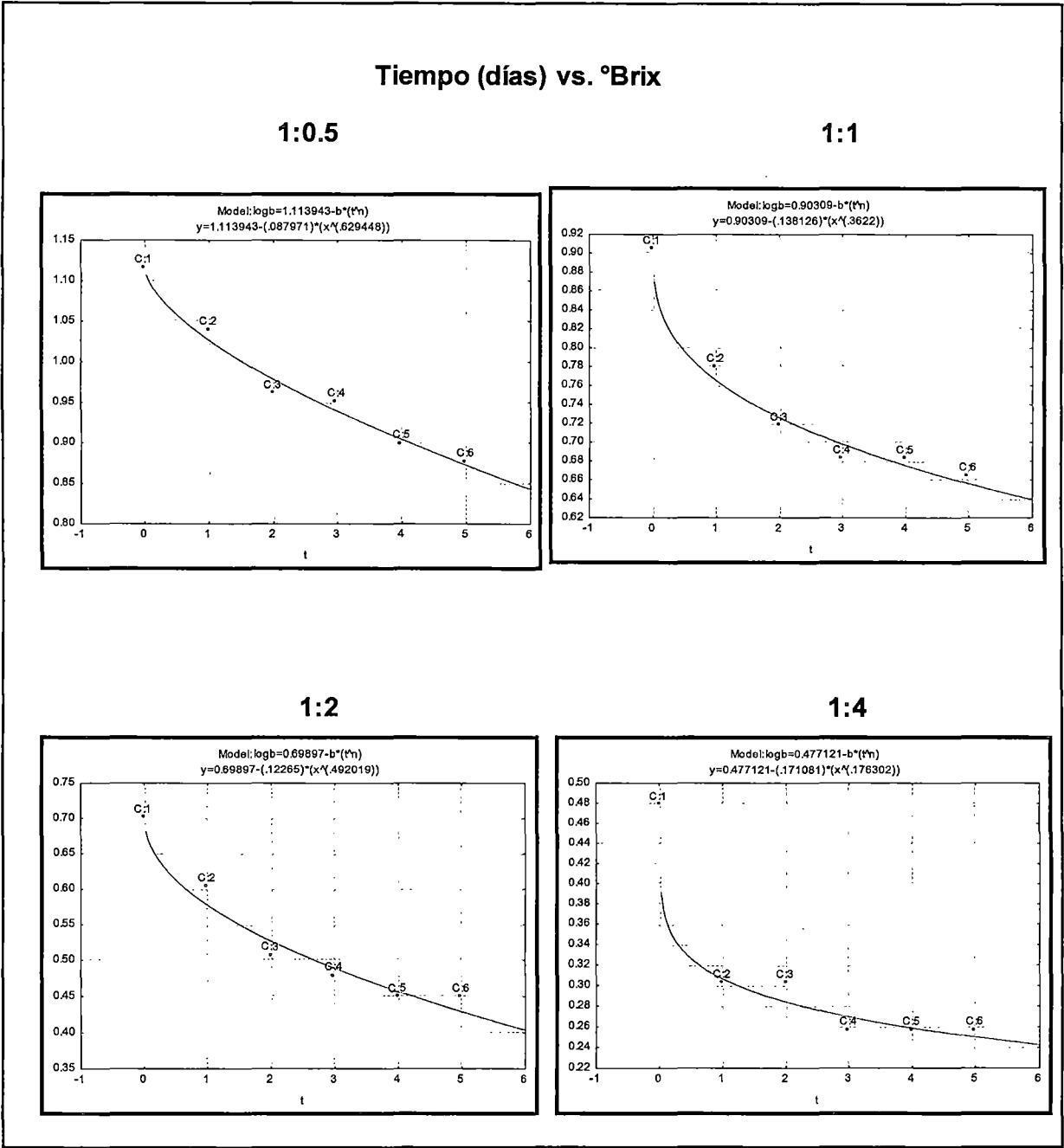
Fuente: De los autores (2014)

PARÁMETROS MODELO WEIBULL		DILUCIONES			
		1:0.5	1:1	1:2	1:4
Prefijados	Brix inicial (B ₀)	13	8	5	3
	Coefficiente de ubicación (b)	0.087971	0.138126	0.122650	0.171081
Determinados	Coefficiente de forma (n)	0.629448	0.362200	0.492019	0.176302
	R	0.99181	0.99251	0.98327	0.99236
Calculado	Diferencia de °Brix inicial y °Brix final (C)	5.5	3.4	2.2	1.2

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°25

CURVAS OBTENIDAS APLICANDO EL MODELO DE WEIBULL PARA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA CON *Saccharomyces cerevisiae* Var *Bayanus* (0.7g/L) EN LAS DILUCIONES DE EXPERIMENTACIÓN DE PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO EN AGUA DESTILADA DE 1:0.5, 1:1; 1:2 y 1:4.



Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°26

CONTENIDO DE °BRIX EN LA FERMENTACIÓN DE *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* A DIFERENTES CONCENTRACIONES (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2g/l) CON PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5).

Días	CONCENTRACIONES DE <i>Saccharomyces</i>							
	<i>cerevisiae</i> var. <i>bayanus</i>							
	0.4g/l		0.7g/l		0.9g/l		1.2g/l	
0	13	13	13	13	13	13	13	13
1	10.9	11.1	11	10.8	9.7	9.9	9.7	9.3
2	9.7	9.9	8.9	9.3	8.9	9.1	8.8	8.6
3	8.9	9.1	8.8	9	8.8	9	8	7.8
4	8.5	8.7	8	7.8	8.3	8.1	7.5	7.3
5	7.8	8	7.6	7.4	8	7.6	6.9	7.1

Fuente: De los autores (2014)

Promedio del contenido de °Brix

Días	CONCENTRACIONES DE LEVADURA			
	0.4g/L	0.7g/L	0.9g/L	1.2g/L
0	13	13	13	13
1	11	10.9	9.8	9.5
2	9.8	9.1	9	8.7
3	9	8.9	8.9	7.9
4	8.6	7.9	8.2	7.4
5	7.9	7.5	7.8	7

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°27

OBTENCIÓN DE GRADOS ALCOHÓLICOS PROBABLES EN LA FERMENTACIÓN DE *Saccharomyces cerevisiae* Var *Bayanus* A DIFERENTES CONCENTRACIONES (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2g/l) CON PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5).

DÍAS	Obtención de grados alcohólicos probables			
	0.4g/L	0.7g/L	0.9g/L	1.2g/L
0	8.126	8.126	8.126	8.126
1	6.952	6.8918	6.2192	6.118
2	6.2192	5.8664	5.816	5.6148
3	5.816	5.7456	5.7456	5.1616
4	5.5844	5.1616	5.3128	4.9096
5	5.1616	4.96	5.1112	4.578

Fuente: De los autores (2014)

Días	Diferencia de la obtención de grados alcohólicos probables			
	0.4g/L	0.7g/L	0.9g/L	1.2g/L
0	0	0	0	0
1	1.174	1.2342	1.9068	2.008
2	1.9068	2.2596	2.31	2.5112
3	2.31	2.3804	2.3804	2.9644
4	2.5416	2.9644	2.8132	3.2164
5	2.9644	3.166	3.0148	3.548

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°28

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE °BRIX OBTENIDOS EN LA FERMENTACIÓN DE *Saccharomyces cerevisiae* Var *Bayanus* A DIFERENTES CONCENTRACIONES (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2g/l) CON PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5).

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
0 días	4	0	0	0
1 días	4	6.323	1.58075	0.19146454
2 días	4	8.9876	2.2469	0.0632218
3 días	4	10.0352	2.5088	0.09335531
4 días	4	11.5356	2.8839	0.07973476
5 días	4	12.6932	3.1733	0.06973828
0.4g/l	6	10.8968	1.816133333	1.16152369
0.7g/l	6	12.0046	2.000766667	1.41763316
0.9g/l	6	12.4252	2.070866667	1.18209423
1.2g/l	6	14.248	2.374666667	1.64502782

Fuente: De los autores (2014)

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	26.510772	5	5.302154394	152.763872	2.5863E-12	2.90129454
Columnas	0.97192152	3	0.323973842	9.33422433	0.00100052	3.2873821
Error	0.52062255	15	0.03470817			
Total	28.003316	23				

Fuente: De los autores (2014)

PRUEBA TUKEY**Multiple Range Tests for Alcohol by Concentraciones***Method: 95.0 percent Tukey HSD*

Concentraciones	Count	LS Mean	LS Sigma	Homogeneous Groups
0.4	6	1.81613	0.0760572	X
0.7	6	2.00077	0.0760572	X
0.9	6	2.07087	0.0760572	XX
1.2	6	2.37467	0.0760572	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
0.4 - 0.7		-0.184633	0.310163
0.4 - 0.9		-0.254733	0.310163
0.4 - 1.2	*	-0.558533	0.310163
0.7 - 0.9		-0.0701	0.310163
0.7 - 1.2	*	-0.3739	0.310163
0.9 - 1.2		-0.3038	0.310163

* denotes a statistically significant difference.

Fuente: De los autores (2014)

ANEXO 29

APLICACIÓN DEL MODELO DE GOMPERTZ EN LA OBTENCIÓN DE GRADOS ALCOHÓLICOS PROBABLES ALCANZADOS DE LA FERMENTACIÓN DE *Saccharomyces cerevisiae* Var *Bayanus* A DIFERENTES CONCENTRACIONES (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2g/l CON PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5).

PARÁMETROS MODELO GOMPERTZ		CONCENTRACIONES DE <i>S. CEREVISIAE</i> VAR <i>BAYANUS</i>			
		0.4g/l	0.7g/l	0.9g/l	1.2g/l
Prefijados	Grados alcohólicos iniciales (GA ₀)	0	0	0	0
	Velocidad de incremento (B)	0.840810	0.940167	1.153400	1.014890
Determinados	Tiempo de Velocidad máximo (M)	1.096255	1.042099	0.675146	0.785811
	R	0.98743	0.98624	0.95754	0.97296
Calculado	Diferencia de GA máximo y GA inicial (C)	2.9644	3.166	3.0148	3.548

Fuente: De los autores (2014)

PARÁMETROS MODELO GOMPERTZ	CONCENTRACIONES DE <i>S.CEREVISIAE</i> VAR <i>BAYANUS</i>			
	0.4g/l	0.7g/l	0.9g/l	1.2g/l
Velocidad de incremento (B) (min ⁻¹)	0.840810	0.940167	1.153400	1.014890
Tiempo de Velocidad máximo (M) (min)	1.096255	1.042099	0.675146	0.785811
Diferencia de Max. AR y AR inicial (C) (mg/ml)	2.9644	3.166	3.0148	3.548

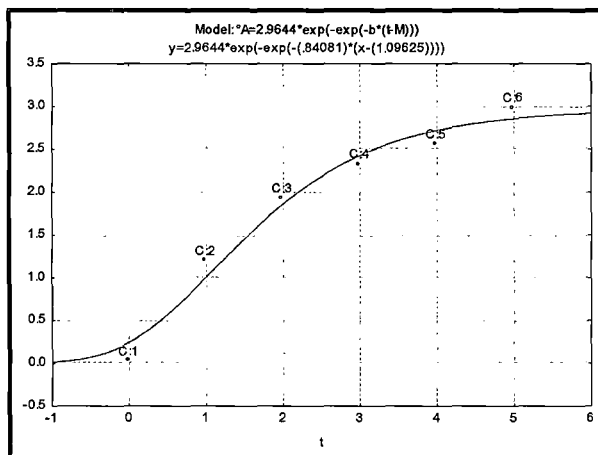
Fuente: De los autores (2014)

ANEXO N°30

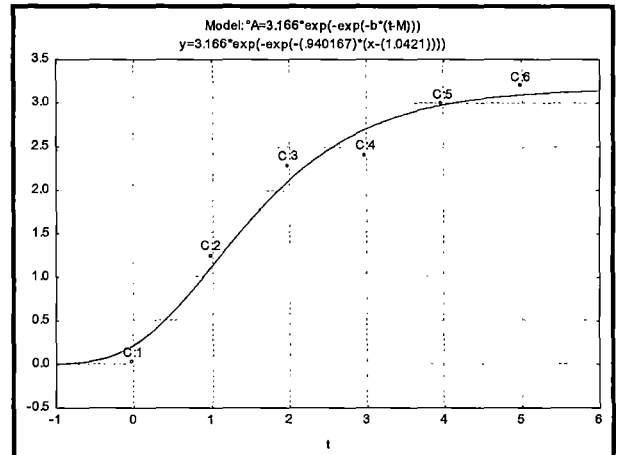
CURVAS OBTENIDAS APLICANDO EL MODELO DE GOMPERTZ EN LA OBTENCIÓN DE GRADOS ALCOHÓLICOS PROBABLES ALCANZADOS DE LA FERMENTACIÓN CON *Saccharomyces cerevisiae* Var *Bayanus* A DIFERENTES CONCENTRACIONES (0.4, 0.7, 0.9 y 1.2g/L CON PASTA HIDROLIZADA DE CAMOTE DE PULPA ANARANJADO (*Ipomoea batata* L.) EN AGUA DESTILADA (1:0.5)

Tiempo (días) vs. °Brix

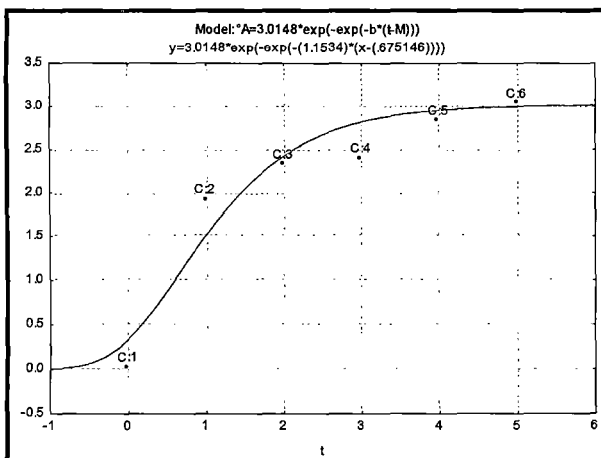
0.4 g/L



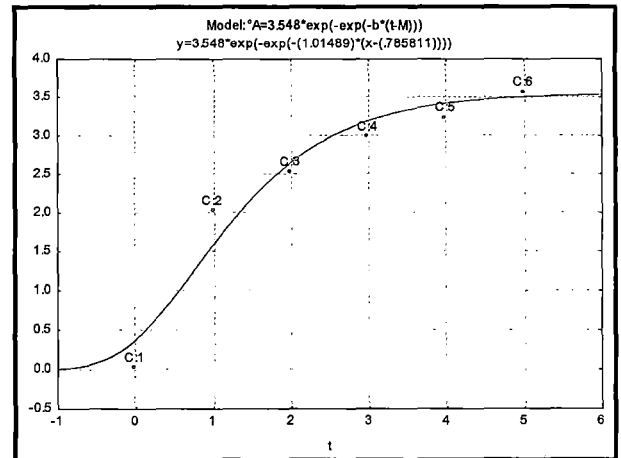
0.7 g/L



0.9 g/L



1.2 g/L



Fuente: De los autores (2014)