

**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE
QUEVEDO**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO
AGROINDUSTRIAL**

**TESIS DE GRADO PRESENTADA A LOS MIEMBROS DEL
CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:**

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Titulo de tesis:

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN Y OBTENCIÓN
DE ETANOL HIDRATADO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE
(Sorgumnsvulgare) SORGO**

APROBADA:

**Ing. Olger Velazco
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**Ing. Azucena Bernal
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

**Ing. Alfonso casa
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

RESPONSABILIDAD

Las ideas, conceptos, procedimientos y resultados del presente trabajo de tesis titulada **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN Y OBTENCIÓN DE ETANOL HIDRATADO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE (Sorgumnsvulgare) SORGO.”**, son de exclusiva responsabilidad del autor y pertenecen exclusivamente al mismo.

Atentamente

Víctor Leonardo Marín Solórzano

CERTIFICACIÓN

La investigación del egresado. Víctor Leonardo Marín Solórzano, cumplió con todos los aspectos, normas, técnicos y reglamentarios establecidos, conforme queda documentado.

Por lo tanto aprueba la presentación de este trabajo para los fines legales pertinentes.

Quevedo 25 de agosto del 2011

Ing. José Villarroel
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATOTRIA.

En especial a mis padres Rosa Solórzano y Víctor Marín quienes me apoyaron incondicionalmente en cada proceso de mi vida ya que gracias a ellos me he convertido en lo que soy hoy en día, fueron los que me dieron ese apoyo y calor humano necesario, son los que han velado por mi salud, estudios, alimentación entre otros, son a ellos a quien les debo todo, de consejos, de reprimendas de tristezas y de alegrías de las cuales estoy muy seguro que lo han hecho con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral y dependiente de las cuales me siento muy orgulloso. Les agradezco a mis hermanos los cuales han estado a mi lado, han compartido todos esos secretos y situaciones difíciles de la vida que solo se puede vivir entre hermanos, también amis amigos más leales e incondicionales Humberto Román y Julio Macías quienes me apoyaron en los momentos más difíciles y no vacilaron en hacerlo.

A todos los docentes y profesionales guías que estuvieron en esta carrera universitaria que con su tiempo y dedicación brindaron los conocimientos básicos que harán desarrollar mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO.

A mí querida madre, que me permitió la luz para prepararme y cumplir una de las metas que me propuse, y las personas que puso en mi camino.

A la Universidad Técnica Estatal De Quevedo, por su receptividad y apoyo a la investigación científica, factor que nos permite una verdadera formación integral con capacidad para formular propuestas de innovación micro empresarial.

Mi profesor guía José Villarroel, por su contribución en la estrategia investigativa del manejo de información de la presente.

Al Ing. Flor María Fonfay jefe docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, por su generosa colaboración en el manejo metodológico de esta investigación.

Humberto Román y Julio Macías, por su amistad incondicional, y sobre todo por que estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles y sobre todo por su gran sentido del humor que los caracterizan a ambos.

A los docentes que estuvieron en esta escala profesional, quienes nos orientaron con sus mejores aportes académicos, su dedicación, logrando despertar en nosotras motivos de trabajo y responsabilidad.

A mis compañeros de promoción, quienes compartieron sus conocimientos adquiridos en las aulas para trabajar en equipo y salir adelante, pese a nuestras diferencias ideológicas que muchas veces provocaron tensión en el grupo.

Finalmente a todas las personas que se cruzaron en este camino y que me supieron apoyar de una u otra manera.

INDÍCE DE CONTENIDO

Capítulos.	Pág.
RESUMEN	
SUMARY	
<u>CAPÍTULO I</u>	
1. PRELIMINARES DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PROBLEMATIZACIÓN.....	3
1.2.1. Diagnóstico.....	3
1.2.2. Planteamiento del problema.....	6
1.2.3. Formulación del problema.....	6
1.2.4. Sistematización del problema.....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	8
1.4. OBJETIVOS.....	9
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos.....	9
1.5. HIPÓTESIS.....	10
1.5.1. Hipótesis nula.....	10

1.5.2.Hipótesis alternativa.....	10
1.6. VARIABLES E INDICADORES.....	11
1.6.1. Operacionalización de hipótesis.....	11
1.6.2. Variables e indicadores para el proceso de obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo.....	11
1.7. VARIABLES A EVALUARSE.....	13
1.7.1. variables a evaluarse durante las etapas de sacarificación y fermentación.....	13
1.7.2. Variables a evaluarse en el producto final.....	14

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Generalidades de la materia prima.....	15
2.1.1. Descripción botánica del sorgo.....	15
2.1.2. Origen del sorgo.....	16
2.1.5. Manejo cosecha y pos cosecha.....	16
2.1.4. Variedades.....	16
2.1.4.1. Recolección y almacenamiento.....	16
2.1.4.2. Factores físicos.....	17
2.1.4.3. Factores químicos.....	17
2.1.5. Composición química y valor nutricional.....	17
2.1.5.1. Composición media de los granos de maíz trigo sorgo	18
2.1.5.2. Aspecto de industrialización de sorgo.....	19

2.3.2. Ácido clorhídrico.....	33
2.3.3. Ácido sulfúrico.....	34
2.3.4. Levaduras.....	34
2.3.5. Agua.....	35
2.3.6. Hidróxido de sodio.....	36
2.3.7. Metabisulfito de potasio.....	38
2.4. Alcoholes superiores presentes en el etanol.....	39
2.4.1. Aldehídos.....	39
2.4.2. Metanol.....	40
 <u>CAPÍTULO III</u>	
3. MATERIALES Y METODOS.....	41
3.1. MATERIALES.....	41
3.1.1. Materiales de laboratorio.....	41
3.1.2. Reactivos.....	41
3.1.3. Utensilios.....	42
3.1.4. Equipos de proceso.....	42
3.1.5. Materia prima.....	42
3.1.6. Otros.....	42
3.2. Métodos.....	43
3.2.6. Ubicación.....	43
3.2.7. Ubicación política.....	43
3.2.8. Ubicación geográfica.....	43
3.2.9. Factores de estudio.....	44

3.2.10. Diseño experimental.....	44
3.2.10.1. Características del experimento.....	44
3.2.11. Pruebas de significación.....	45
3.2.12. Tratamientos.....	45
3.2.13. Análisis de varianza para el proceso de evaluación y obtención de etanol hidratado a partir de sorgo.....	46
3.2.14. Variables a evaluarse.....	47
3.2.6.1. Caracterización al mejor tratamiento.....	47
3.2.15. Toma de datos durante el proceso.....	48
3.2.16. Toma de datos de las variables de respuesta.....	48
3.2.17. Unidad experimental para el proceso de evaluación y obtención de etanol a partir de sorgo.....	48
3.2.18. Identificación de la zona de recolección de la materia prima.....	49
3.2.19. Identificación de la zona de recolección de la materia prima.....	51

CAPITULO VI

4. BALANCE DE MATERIALES Y ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE ETANOL A PARTIR DE SORGO.....	52
4.1. BALANCE DE MATERIALES AL MEJOR TRATAMIENTO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN Y OBTENCIÓN DE ETANOL HIDRATADO A PARTIR DE SORGO.....	52

4.2. ALTERNATIVA SELECCIONADA.....	52
4.3. BALANCE DE MATERIA PRIMA.....	52
4.4. DETERMINACION DE RENDIMIENTO.....	55
4.4.1. Análisis y costos al mejor tratamiento.....	56
4.4.2. Punto de equilibrio.....	61
4.5. Análisis y costos del mejor tratamiento.....	61

CAPITULO V

5. RESULTADOS ESTADÍSTICOS.....	
5.1. RESULTADOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y SENSORIALES DE EL PROCESO DE EVALUACIÓN Y OBTENCIÓN DE ETANOL DE SORGO.....	62
5.1.1. Características organolépticas del aspecto y color del etanol.....	62
5.1.1.1. Análisis de varianza de los grados Brix del jarabe de sorgo.....	63
5.1.1.2. Análisis de varianza del pH en el jarabe de sorgo.....	66
5.1.1.3. Análisis de varianza para grado alcohólico	67
5.1.1.4. Análisis de varianza para acidez total.....	71
5.1.1.5. Análisis de varianza para densidad específica.....	74
5.1.1.6. Análisis cromatograficos.....	78
5.1.1.7. Resultados de los balance de materiales.....	78

CAPÍTULO VI

6. DISCUSIÓN.....	79
6.1. Discusión para los análisis físico químicos del etanol de sorgo.....	79
6.1.1. Grados Brix del jarabe de sorgo.....	79
6.1.1.1. PH del jarabe.....	79
6.1.1.2. Grado alcohólico del etanol de sorgo.....	80
6.1.1.3. Acidez total del etanol de sorgo.....	80
6.1.1.4. Densidad específica del etanol de sorgo.....	81
6.1.1.5. Rendimiento del etanol de sorgo.....	81
6.1.2. Análisis cromatográficos.....	82
6.1.2.1. Discusión general.....	82
6.1.2.2. Análisis económico.....	85
 <u>CAPITULO VII</u>	
7. CONCLUSIÓN.....	
7.1. CONCLUSIÓN EN BASE A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	86
7.1.1. Conclusión de los análisis físico químicos.....	86
7.1.1.1. Grados Brix del jarabe de sorgo.....	86
7.1.1.2. PH del jarabe de sorgo.....	87
7.1.1.3. Grado alcohólico del etanol de sorgo.....	87
7.1.1.4. Acidez total del etanol de sorgo.....	88
7.1.1.5. Densidad específica del etanol de sorgo.....	89
7.1.1.6. Rendimiento del etanol a partir de sorgo.....	90
7.1.1.7. Conclusión general.....	90
7.1.1.8. Análisis cromatográfico al mejor tratamiento	91

7.1.1.9.	Balance de materia.....	91
7.1.1.6.	Evaluación económica.....	91

CAPITULO VIII

8.	RECOMENDACIÓN.....	92
8.1.	RECOMENDACIONES PARA LOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DEL PROCESO DE EVALUACIÓN Y OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE SORGO.....	92
8.1.1.	Grados Brix del jarabe de sorgo.....	92
8.1.1.1.	PH del jarabe de sorgo.....	92
8.1.1.2.	Grado alcohólico del etanol de sorgo.....	92
8.1.1.3.	Acidez total del etanol de sorgo.....	93
8.1.1.4.	Densidad específica del etanol de sorgo.....	93
8.1.1.5.	Rendimiento del etanol a partir de sorgo.....	93
8.1.1.6.	Recomendación general.....	94

CAPITULO IX

9.	BIBLIOGRAFIA.....	95
9.1.	LINKOGRAFIA.....	98
	GLOSARIO.....	10
...		0

CUADROS

CUADRO 1:	Factores de estudio del experimento.....	42
CUADRO 2:	Tratamientos a estudiar.....	45
CUADRO 3:	Análisis de varianza para el arreglo factorial del diseño AxBxC.....	46
CUADRO 4:	Maquinaria y equipos utilizados en el proceso...	56
CUADRO 5:	Materiales directos utilizados en el proceso.....	57
CUADRO 6:	Costo de mano de obra directa.....	57
CUADRO 7:	Materiales indirectos utilizados en el proceso.....	58
CUADRO 8:	Depreciación de maquinarias y equipos utilizados en el proceso.....	58
CUADRO 9:	Suministros utilizados en el proceso.....	59
CUADRO 10:	Infraestructura Utilizada.....	59
CUADRO 11:	Descripción de los costos totales.....	59

TABLAS

TABLA 1:	Características organolépticas del etanol de sorgo.....	62
TABLA 2:	Análisis de varianza de los grados brix del jarabe de sorgo.....	63
TABLA 3:	Pruebas de múltiples de rangos para grados Brix factor A.....	64
TABLA 4:	Pruebas de múltiples de rangos para grados Brix factor B.....	64
TABLA 5:	Contraste múltiple de rangos para grados Brix según Interacción tipo de reactivo, combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis, temperatura en la fase de fermentación.....	65
TABLA 6:	Análisis de varianza para pH inicial.....	66
TABLA 7:	Análisis de varianza para pH final.....	67
TABLA 8:	Análisis de varianza para grado alcohólico.....	68
TABLA 9:	Prueba múltiple de rangos para grado alcohólico factor A.....	69
TABLA 10:	Prueba múltiple de rangos para grado alcohólico factor B.....	70
TABLA 11:	Prueba múltiple de rangos para grado alcohólico factor C.....	70
TABLA 12:	Contraste múltiple de rangos para grado alcohólico según Interacción tipo de reactivo, combinación tiempo temperatura en la fase de Hidrólisis, temperatura en la fase de fermentación.....	71
TABLA 13:	Análisis de varianza para acidez total.....	72

TABLA 14:	Análisis de varianza para acidez total factor A.....	73
TABLA 15:	Análisis de varianza para acidez total factor B.....	73
TABLA 16:	Contraste múltiple de rangos para grados acidez total según Interacción tipo de reactivo, combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis, temperatura en la fase de fermentación	74
TABLA 17:	Análisis de varianza para densidad especifica.....	75
TABLA 18:	Prueba múltiple de rangos para densidad especifica factor A.....	76
TABLA 19:	Prueba múltiple de rangos para densidad especifica factor B.....	76
TABLA 20:	Prueba múltiple de rangos para densidad especifica factor C.....	77
TABLA 22	Contraste múltiple de rangos para densidad especifica según Interacción tipo de reactivo, combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis, temperatura en la fase de fermentación.....	78
TABLA 23	Resultados de los análisis cromatograficos.....	79

ANEXOS

ANEXO N° 1: Flujo grama del proceso de elaboración y obtención de etanol a partir de sorgo.

ANEXO N° 2: Especificaciones de calidad para etanol carburante hidratado reglamentado por instituto técnico centroamericano de biocombustible.

ANEXO N° 3: Rendimiento de cultivos en la producción de alcoholes.

ANEXO N° 4: Composición química y nutricional de los granos de sorgo.

ANEXO N°5: (NORMAS INEN-362)

ANEXO N° 6: (NTE- INEN- 347)

ANEXO N° 7: (NTE- INEN- 343)

ANEXO N° 8: (NTE-INEN-340)

ANEXO N° 9: Balance de materia al mejor tratamiento para la elaboración del jarabe de glucosa a partir del almidón de sorgo.

ANEXO N° 10: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo tratamiento N° 1.

ANEXO N° 11: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo tratamiento N° 2.

ANEXO N° 12: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo tratamiento N° 3.

ANEXO N° 13: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo Tratamiento N° 4.

ANEXO N° 14: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo tratamiento N° 5.

ANEXO Nº 15: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo tratamiento Nº 6.

ANEXO Nº 16: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo tratamiento Nº 7.

ANEXO Nº 17: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo tratamiento Nº 8.

ANEXO Nº 18: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo tratamiento Nº 9.

ANEXO Nº 19: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo tratamiento Nº 10.

ANEXO Nº 20: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado A partir del almidón de sorgo tratamiento Nº 11.

ANEXO Nº 21: Balance de materia para la obtención de etanol hidratado A partir del almidón de sorgo tratamiento Nº 12.

ANEXO Nº 22: Valores promedio del análisis físico químico del etanol A partir del almidón de sorgo.

ANEXO Nº 23: Características organolépticas del etanol de sorgo.

ANEXO Nº 24: Glucosa en muestras de grano sin germinar, con hidrólisis ácida en 200 g de harina de sorgo.

ANEXO Nº 25: Fermentación de harina de sorgo, sacarificada por hidrólisis ácida, con levaduras.

ANEXO Nº 26: Resultados de los análisis cromatograficos.

ANEXO Nº 27: Fotografías del proceso.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulada **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ETANOL HIDRATADO A PARTIR DEL ALMIDÓN DE (Sorgumnsvulgare) SORGO** “tiene como objetivo dar una nueva alternativa de aprovechamiento del sorgo, ya que actualmente la mayor parte de su producción a nivel local se destina para la elaboración de subproductos balanceados.

La producción de sorgo puede ser mejorada si se genera una mayor oferta y demanda por parte de la industria ya sea para la alimentación humana en el caso del sorgo forrajero o para la elaboración de etanol en el caso del sorgo dulce, ya que su composición química lo convierten en un producto idóneo para su industrialización además de ser un cultivo rustico que se adapta fácilmente a tierras con deficiencias de micronutrientes.

El presente trabajo se lo realizó en el laboratorio de bromatología perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo localizada en el km 6 ½ vía Quevedo el Empalme, provincia de los Ríos.

El trabajo realizado consiste en establecer los parámetros y métodos que determinen mayor viabilidad en la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo y además que sirvan de base para futuras investigaciones ya que en nuestro medio existen muy pocas investigaciones acerca del bioetanol a partir almidón, en la presente investigación se evaluó : **A)** el tipo de ácido(catalizador)de la mezcla, **B)** establecer la combinación de tiempo y temperatura que permitan la deslignificación de los materiales para el tratamiento posterior **C)** la temperatura ideal en la fase de fermentación, además de someter los dos mejores tratamientos(mayor contenido alcohólico) a análisis cromatograficos para tener una mejor referencia del producto final. Para la fase experimental de la obtención de etanol a partir de sorgo se lo dividió en cuatro

etapas: 1) obtención de la harina de sorgo, 2) obtención del jarabe de sorgo, 3) fermentación del jarabe, 4) destilación y recuperación del etanol.

Para el análisis estadístico se aplicó un arreglo factorial **A.B.C** con doce tratamientos y una repetición por tratamiento, para determinar diferencia. Siendo **A** el tipo de reactivo al 20 %, **B** combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis, **C** temperatura en la fase de fermentación, durante la etapa de hidrólisis ácida y fermentación del jarabe se procedió a realizar mediciones de pH y grados Brix, además en el producto terminado se sometió a análisis físico químicos y organolépticos (apariencia y color) para evaluar diferencias entre los niveles de estudio se ejecuto la prueba de tukey al 5%. por sus perfiles sensoriales y datos obtenidos en los análisis físico químicos , el mejor tratamiento fue establecido el t_6 ($a_0b_2c_1$, ácido sulfúrico al 20 % por 6 horas a 90 ° C en la hidrólisis ácida y 25 ° C en la fermentación) por acción de la combinación tiempo temperatura se consiguió desdoblar los polímeros de almidón a glucosa del jarabe logrando conseguir así cantidades altas de sólidos solubles (grados Brix) y un pH ácido, al aumentar el tiempo y temperatura se consigue una mayor conversión del almidón a glucosa además de disminuir componentes químicos presentes en el sorgo como polifenoles (Larson 2000),

Con las temperaturas en la fase de fermentación se buscaba determinar la que mejores condiciones presente para el desarrollo de las levaduras obteniéndose mejores resultados con la del nivel C_125 ° C con la cual se obtuvo los valores más elevados de grado alcohólico durante esta etapa se usaron como indicadores pH y grados Brix los cuales tienden a bajar por acción de levaduras.

En cuanto a los costos de producción se analizó en función de maquinarias y equipo, materiales directos e indirectos mano de obra, depreciación de equipos y maquinarias e infraestructura utilizada en el proceso. Se trabajó con 2400 g de sorgo para obtener 1.3 litros de etanol con un costo de venta 13.3 USD/ lts de etanol de sorgo, con margen de utilidad de 1.596 dólares/lts, el PVP que se determinó de 14,89 dólares, que conduciría a obtener un punto de equilibrio 1.3 litros producidos.

SUMMARY

The present work of titled investigation **"EVALUATION OF THE PROCESS OF OBTAINING OF MOISTURIZED ETHANOL to LEAVE OF THE STARCH OF (Sorgumnsvulgare) SORGHUM"** he/she has as objective to give a new alternative of use of the sorghum, since at the moment most of their production at local level is dedicated for the elaboration of balanced by-products.

The sorghum production can be improved if a bigger offer is generated and it either demands on the part of the industry for the human feeding in the case of the sorghum forrajero or for the elaboration of ethanol in the case of the sweet sorghum, since its chemical composition transforms it into a suitable product for its industrialization besides being a rustic cultivation that adapts easily to lands with micronutrients deficiencies.

The present work was carried out it in the bromatología laboratory belonging to the State Technical University of Quevedo located in the km 6 ½ via Quevedo the Connection, county of the Ríos.

The carried out work consists on the parameters and methods that determine bigger viability in the obtaining of ethanol moisturized starting from the sorghum starch settling down and also that they serve since as base for future investigations in our means very few investigations they exist about the ethanol of the starch, in the present investigation it was evaluated: two chemical reagents foresaw to the hidrólisis, the combination time temperature in the hidrólisis phase and the ideal temperature in the phase of fermentation, besides subjecting the best treatments to analysis cromatograficos to have a better reference of the final product. For the experimental phase of the obtaining of ethanol it divided it to him in four phases: to) obtaining of the sorghum flour, b) obtaining of the sorghum syrup, c) fermentation of the syrup, d) distillation and recovery of the ethanol.

For the statistical analysis a factorial arrangement A*B*C was applied with twelve treatments and a repetition by treatment, to determine difference among the study levels in those that was significance, one carries out the test from Tukey to 5% of error margin.

As variables the following ones settled down: in the hidrólisis process and fermentation pH and grades Brix of the syrup, for the product final grade of ethanol, alcoholic grade, total acidity, aspect and color, density specifies and yield.

With regard to the method that threw better results as for alcoholic grade and yield was the treatment 6 (a0b2c1, sulfuric acid to 20% for 6 hours to 90 ° C in the hidrólisis and 25 ° c in the fermentation) and you he/she will have an ethanol with the following ones characteristic: alcoholic grade: 50°, with a final yield of 16.3% of ethanol, with a total acidity of 0.224 mg / 100ml, with a density specify of 0.9669 clear and one transparent aspect.

He/she was carried out the matter balance to the best treatment a0b2c1 which determined that the sulfuric acid to 20% offers better results as for grades Brix, yield and alcoholic grade, in what concerns to total acidity and density specifies the result that it threw values but high it was the 8(a1b1c0 hydrochloric acid to 20%, 88° c for 5 hours in the hidrólisis phase and 22 ° C in the phase of fermentation). With regard to the other variables they are inside the ranges settled down by the norms NTM - INEM 362 and for the regulation technical Central American biocombustible. Ethanol moisturized fuel: specifications. The same thing as for the factor time temperature the level that threw better results was the 6 hours / 90 ° C and the temperature in the phase of fermentation of 25 ° C.

As for the production costs it was analyzed in function of machineries and team, materials direct and indirect manpower, depreciation of teams and machineries and infrastructure used in the process. One worked with 2400 g of sorghum to obtain 1.3 liters of ethanol with a sale cost 13.3 USD / lts of sorghum ethanol, with margin of utility of 1.596 dólares/lts, the PVP that was determined of 14,89 dollars that he/she would lead to obtain a point of balance 1.3 produced liters.

CAPITULO I

I. PRELIMINARES DE LA INVESTIGACIÓN

I.1 INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorgumnsvulgare*) es nativo de África, y muchas variedades de hoy son originadas allí. También fue producido en la India antes de que la historia lo registrara y en Asiria desde 700 antes de Cristo.

La cosecha alcanzó a China durante el siglo decimotercero y el hemisferio occidental mucho más adelante. El sorgo dulce fue introducido a los Estados Unidos de América en la parte anterior del decimoséptimo siglo. No creció extensivamente en este país hasta el 1850, hasta que el ámbar de la variedad del forraje (también llamado "caña de azúcar china") fue introducido de Francia muchas otras variedades se han introducido de otros países o se han desarrollado desde entonces nacionalmente.

El sorgo dulce fue producido sobre todo para el jarabe hasta que el establecimiento en el oeste semiárido creó una demanda para las plantas forrajeras resistentes. Por los años 50, cerca de 90% del área cultivada de sorgo dulce en los Estados Unidos fueron producidos para el forraje. El interés en jarabe del sorgo dulce está dado por los precios más altos del azúcar, (D.J. renovado Undersander et al., 1990). Del jugo de sorgo dulce se obtiene alcohol después de la fermentación. El bagazo fue utilizado con éxito para la cogeneración de la electricidad(cerca de 2086 calorías netas de energía/t). En la India sesenta granjeros podrían ganar a una renta neta de (Rupia India) Rs 2.000/0,4 hectáreas de tallos solamente en una estación. Sin embargo el costo de etanol, producido actualmente del sorgo dulce es 56 (Centavos) paise/litre mayor que el de la melaza, la tecnología es beneficiosa para los granjeros pobres, es ambientalmente amistosa y sostenible. Con el uso a gran escala del

Sorgo dulce para producir el etanol, el costo puede disminuir. **(NationalAgriculturalTechnology Project, 2006).**

Sr. Grassi explicó las características de esta variedad de sorgo como una de los cultivos energéticos más interesantes. Considerando las tecnologías disponibles el costo de producción del etanol está cerca a 250 euros/t así que es casi competitivo comparado a la producción del etanol de la caña de azúcar 220 euros/t (Brasil). Usando también la posibilidad de explotar el resto de la cosecha (el fruto y el bagazo para alimento, alimento animal, producir calor y electricidad) considerando la gran variedad de productos que pueden ser obtenidos por sorgo dulce complejos integrados pueden ser desarrollados y optimizados para fijar la producción que se necesite **(Grassi G. EUBIA, 2006)**

Para la elaboración de este investigación se ha usado una metodología mixta donde se combinó la documentación documental con el trabajo en el laboratorio, se revisaron temas principalmente publicados en internet en cuanto a la experiencia nacional se usaron normas **INEN**. Que sirvieron como referencias para las variables del etanol de sorgo y unas pocas bibliografías del **INIAP**. Cabe mencionar que una de las principales limitaciones sobre esta investigación es la carencia de material bibliográfico nacional sobre este tema además de la escasa producción de sorgo.

Este informe está dividido en ocho capítulos principales: la primera parte es la introducción y los preliminares de la investigación donde se aborda diagnóstico, sistematización del problema, planteamiento del problema, justificación en el segundo capítulo marco teórico, en el tercer capítulo materiales y métodos, en el cuarto capítulo balance de materia al mejor tratamiento donde también se realizó un análisis económico, y por último se realizó discusiones, conclusiones y recomendaciones los cuales se basaron en los resultados que arrojó cada tratamiento teniendo por ultimo las bibliografías y anexos .

1.2 PROBLEMATIZACIÓN

1.2.1. DIAGNÓSTICO

Actualmente en el Ecuador existen alrededor de 5000 hectáreas de sorgo distribuidos en los Ríos (60%) Guayas (40%), siendo las variedades forrajera y blanca las mas sembradas, del producto se extrae la masa verde y se cosecha la panícula o grano que sirve para la alimentación animal Agro trasvase experimenta cerca de diez variedades híbridas de sorgo para la producción de etanol.

La biomasa (**sorgo**) es una fuente renovable integrada por una variedad infinita de recursos. La forma de aprovechar la biomasa depende de los diferentes tratamientos que se le puede dar a la misma la producción de biocombustibles tales como el etanol a partir de sorgo tiene el potencial de sustituir cantidades significativas de combustibles fósiles en varias aplicaciones de transporte ¹⁴.

El proceso para la producción de bioetanol presenta varias alternativas. Sin embargo es posible estudiarlo analizando el proceso desde tres etapas principales las cuales se pueden estudiar de manera independiente, las etapas son:

- Pretratamientos de la materia prima.
- Hidrólisis de los compuestos complejos para la formación de azúcares (sacarificación).
- Fermentación de azúcares para la obtención de alcohol.

Dentro del proceso de hidrólisis ácida del sorgo, para el rompimiento de los polímeros que conforman el almidón del grano, se realiza tanto la generación de azúcares simples así como una degradación de los mismos azúcares en varios compuestos disminuyendo la cantidad de los mismos para fermentar, decreciendo así el rendimiento de etanol, en el presente proceso las condiciones de reacción importantes son: temperatura, tiempo, tipo y porcentaje de catalizador en la mezcla de reacción.

Un paso primordial para la obtención de bioetanol a partir de material lignocelulósico es la sacarificación, que es realizada por varios métodos físicos entre los que se encuentran molienda, explosión con vapor no catalizada, agua a alta temperatura en fase líquida químicos pretratamientos, ácidos, alcalinos, ozónolisis, biológicos: ataque enzimático a la estructura biológica ¹⁴. Uno de los principales es la hidrólisis química tratada con ácido sulfúrico diluido como catalizador, por este tratamiento se logra descomponer el almidón y celulosa en pentosas y glucosa para una posterior fermentación. La lignina queda sin cambios en su estructura.

Debido a las condiciones de reacción de la hidrólisis ácida la obtención de azúcares se ve afectada por la degradación de los mismos al tiempo que se están produciendo. Al analizar las condiciones de reacción de la hidrólisis ácida de monómeros de azúcares podemos disminuir la obtención de subproductos y aumentar el rendimiento en la obtención de sacáridos a partir de sorgo por lo tanto una mayor producción de bioetanol.

En la posterior etapa de fermentación del sorgo, es insuficiente en unos casos y en exceso en otros. Al no tener un correcto pretratamiento, debido a sus propiedades de molido y a que esta materia prima (sorgo) hay que someter a sacarificación debido a que el almidón que lo compone no puede ser degradado directamente por los microorganismos, encareciendo su producción, además de afectar el proceso fermentativo debido al elevado contenido de polifenoles lo cual provoca una baja digestibilidad a los microorganismos, la fermentación alcohólica que por lo general se realiza con *Sacharomyces cerevisiae*, donde factores como temperaturas, pH, cantidad de azúcares juegan un papel importante ya que si estos no se encuentran dentro de los rangos óptimos se correría el riesgo de desgastar las levaduras lo que ocasionaría que se interrumpa el proceso fermentativo.

Ante las dificultades planteadas anteriormente, surge la necesidad, de hacer un breve análisis entorno a la siguiente interrogante, **¿Qué pasaría si estos no son resueltos?**

La producción de sorgo dulce como alternativa para la producción de bioetanol combustible no sería viable debido a los elevados costos por los pretratamientos lo cual implica un desafío.

Solucionar todos los problemas resulta bastante complicado, por eso se pondrá énfasis en el proceso de sacarificación, que implica el tipo de reactivo las condiciones necesarias para la conversión de los polímeros del almidón de sorgo a azúcares degradables, determinar las condiciones óptimas de temperatura en el proceso fermentativo para favorecer el desarrollo de las levaduras que son las encargadas de transformar los azúcares a alcohol. Para lo cual, se plantea la siguiente interrogante: **¿Qué se debe hacer para solucionar este problema optimizando el tiempo de proceso?**

Teniendo como referencia los principios de las condiciones de las diferentes etapas del proceso de obtención de bioetanol a partir de sorgo donde la obtención de azúcares es en base a factores físico químicos consecuentemente a mayor temperatura y porcentaje de ácido favorecerá la conversión de glúcidos a azúcares degradables lo que favorecerá las operaciones posteriores.

1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los factores que se derivarán para la presente investigación están planteados de la siguiente manera:

Someter a un medio ácido el almidón de sorgo para posteriormente llevarlo a un proceso de hidrolisis estará en función del tipo de catalizador (ácido) y la combinación tiempo/temperatura en el hidrolizado que brinde mejores resultados, de tal manera que se consiga obtener la mayor cantidad de glucosa en el jarabe de sorgo,

logrando obtener así las condiciones óptimas de hidrolizado del almidón de sorgo pues este es el paso crítico para su conversión a etanol.

Determinar la temperatura ideal en la fase de fermentación del jarabe de sorgo utilizando como indicadores el pH y grados Brix que se consumen durante esta fase, estará encaminada a lograr las mejores condiciones del proceso fermentativo que favorezcan a la producción de un producto con un elevado contenido alcohólico

1.2.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La propuesta de solución de dificultad planteada desde el punto de vista afirmativo es:

¿El proceso de conversión del almidón de sorgo a glucosa en la fase de hidrólisis sumado a este la gran cantidad de polifenoles lo que provoca una baja digestibilidad por los microorganismos en la fase de fermentación por ende afectará la digestibilidad de los sólidos solubles del jarabe?

1.2.4. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

El etanol a partir de sorgo que se utilice para su industrialización, debe cumplir con los requisitos que se establecen por las normas que rigen en el país, ya que estas se derivan de una causa para dar paso a un efecto generalizado por aceptación de los consumidores derivado de un concepto clásico de calidad tipificando los problemas de la realidad citados en el diagnóstico, y encaminando a analizar las posibles causas y efectos de los mismos, se encuentra que:

El proceso de hidrólisis ácida del almidón de sorgo ocasionará que los polímeros que conforman el almidón se hidraten y por efecto de la combinación tiempo/ temperatura se desdoblen a moléculas de glucosa dando lugar a obtener un jarabe de sorgo con un elevado contenido de sólidos solubles además de la formación de subproductos, en consecuencia favorecer las posteriores operaciones de fermentación y destilación.

Por otro lado las temperaturas en la fase de fermentación, implica determinar la que mejores condiciones permita para el desarrollo de

las levaduras que son las que transforman las moléculas de glucosa a etanol ya que estas necesitan de ciertas condiciones para su desarrollo (pH temperatura, nutrientes y una fermentación anaeróbica).

1.3. JUSTIFICACIÓN

El siglo XXI no va a ser más del petróleo. El panorama energético nacional y mundial nos indica que la decadencia en las reservas y en los depósitos naturales de este hidrocarburo es irreversible debido a su sobreexplotación y dependencia económica aunado a esto, se estima que a mediano plazo ya no será posible cubrir la demanda local y mundial.

En nuestro país, es indispensable nuestra dependencia económica y energética de los hidrocarburos; esta situación, sumada a la contaminación ambiental y al calentamiento global, provocados en gran medida por el uso de este tipo de combustibles, es un reto de enorme proporciones pero también una oportunidad para la implementación de energías como el bioetanol, en donde el proceso demanda la obtención eficiente de azúcares monoméricos para su posterior fermentación.

Un tratamiento previo utilizado es la hidrólisis catalizado con ácido; sin embargo, la cinética de las reacciones corresponden a un equilibrio entre el rompimiento de los polímeros para dar azúcares monoméricos y la degradación de estos conforme se van produciendo por lo cual es necesario estudiar estos mecanismos de reacción y aprovechar al máximo estos recursos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar el proceso de obtención de etanol hidratado a partir del almidón de (Sorgumnsvulgare) sorgo

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el comportamiento de dos reactivos químicos (ácido sulfúrico y clorhídrico al 20 %)previo a la hidrólisis ácida.

- Establecer la combinación de tiempo y temperatura en la etapa de sacarificación (4 horas/86 ° C, 5 horas/88 ° C, 6 horas/90° C)
- Analizar el efecto de dos temperaturas (22 y 25 °C) en la fase de fermentación.
- Determinar las características químicas mediante un análisis cromatográfico a los dos mejores tratamiento que proporcione mayor información del etanol de sorgo.
- Determinar rendimiento de los procesos de fermentación y destilación del etanol hidratado a partir de sorgo.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1.Hipótesis nula para el proceso de obtención de etanol hidratado a partir de sorgo

H₀₁: Los reactivos químicos que se apliquen previos a la etapa de hidrólisis no influyen en el desdoblamiento del almidón de sorgo a glucosa.

H₀₂: La combinación tiempo/temperatura que se establezcan en la fase de hidrólisis no influyen en los grados Brix del jarabe de sorgo.

H₀₃: Las temperaturas que se analicen en la fase de fermentación no influyen en la velocidad del proceso fermentativo.

1.5.2. Hipótesis alternativa para el proceso de obtención de etanol hidratado a partir de sorgo.

H₀₁: Los reactivos químicos que se apliquen previos a la etapa de hidrólisis si influyen en el desdoblamiento del almidón de sorgo a glucosa.

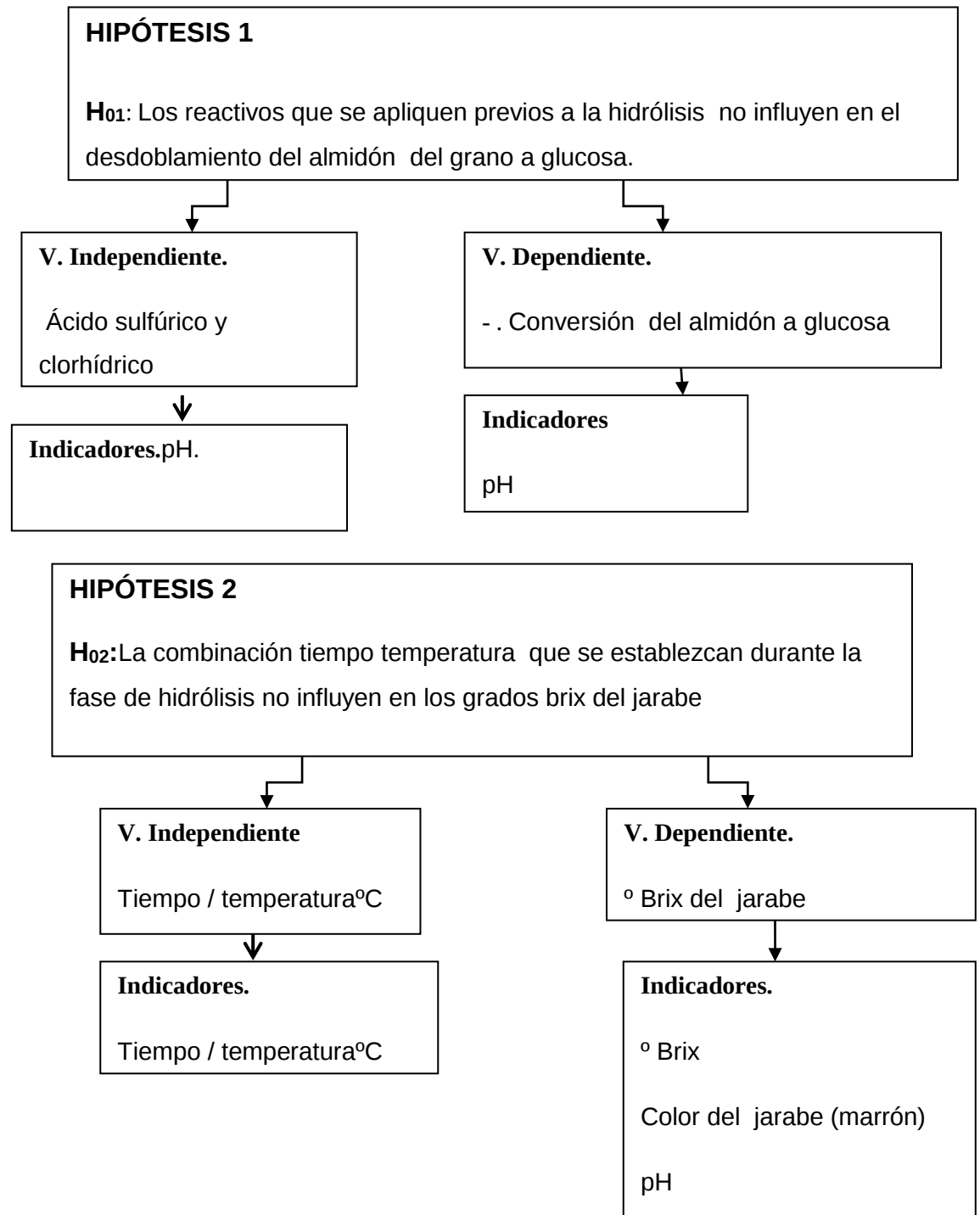
H₀₂: La combinación tiempo/temperatura que se establezcan en la fase de hidrólisis si influyen en los grados Brix del jarabe de sorgo.

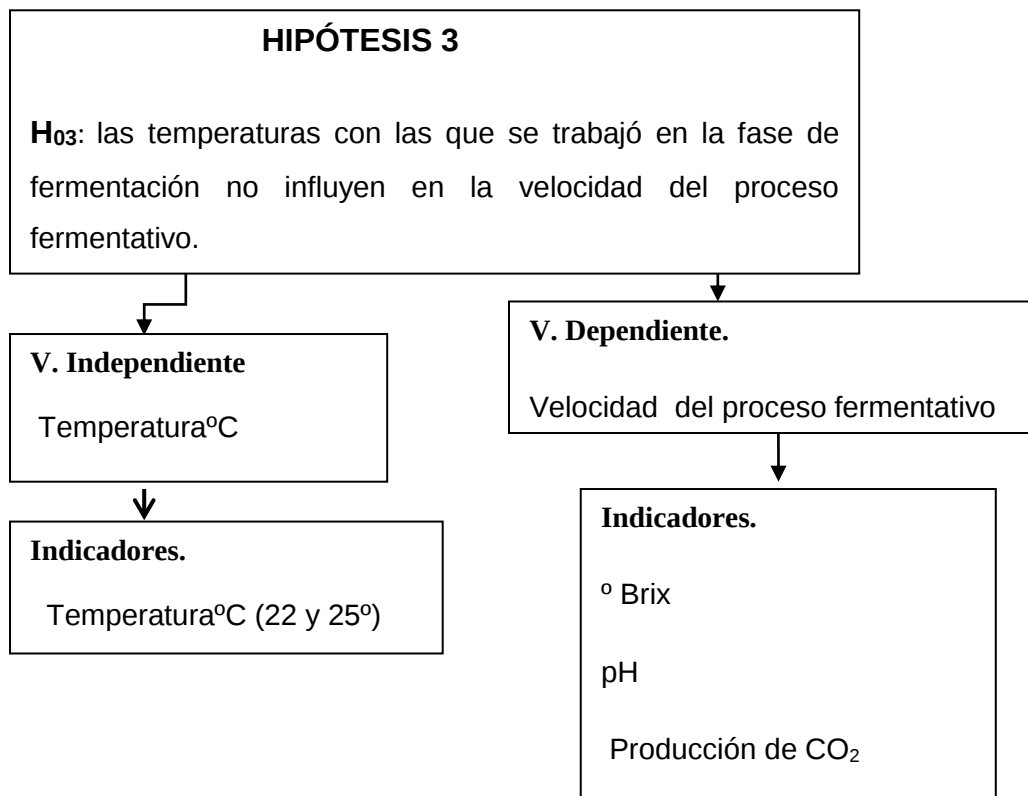
H₀₃: Las temperaturas que se analicen en la fase de fermentación si influyen en la velocidad del proceso fermentativo.

1.6. VARIABLES E INDICADORES A EVALUARSE

1.6.1. Operacionalización de hipótesis

1.6.2. Variables e indicadores para la elaboración de etanol a partir del almidón de sorgo





1.7.1. Variables a evaluarse en el proceso de elaboración y obtención de etanol a partir de sorgo.

En esta investigación se evaluó el proceso de obtención de etanol hidratado a partir del sorgo. En el cual se someterá al estudio dos reactivos químicos previo alhidrolizado, (ácido clorhídrico y sulfúrico), la temperatura adecuada en la fase de fermentación (22 y 25°C) y la combinación tiempo temperatura en la hidrolisis. Como respuesta experimental se determinará: grados Brix, pH (medida de oxido reducción), en las fases de sacarificación y fermentación. Mientras que en el producto final se evaluo: acidez total, aspecto y color, grado alcohólico, grado de etanol, masa específica, rendimiento. Además al mejor tratamiento se sometió a un análisis cromatográfico para obtener mayor información de la composición del etanol hidratado a partir de sorgo.

1.7.2. Variables a evaluar durante las etapas de sacarificación y fermentación.

Grados Brix.- Permite conocer el contenido de azúcar presente en el mosto la medida utilizada es el grado Brix que es equivalente a una unidad porcentual.

pH- Medida de la energía ácida de una bebida alcohólica. Su valor reviste singular importancia en la fermentación, conservación y carácter final de una bebida alcohólica.

1.7.2.1. Variables a evaluar en el producto final

Acidez total.- Propiedad que debe ser controlada, pues refleja el poder corrosivo del etanol, este parámetro debe ser evaluado pues si el proceso fermentativo no es interrumpido adecuadamente después de la formación de etanol, este se oxidara y se transformara en ácido acético, cabe señalar también que se adiciona ácido sulfúrico a la mezcla a fin de ajustar el pH para que la fermentación ocurra.

Aspecto y color.- Representan características importantes, pues permiten evaluar la presencia de impurezas provenientes del proceso productivo o del transporte inadecuado, así como la contaminación con otros productos, el

oscurecimiento puede ocurrir debido a la descomposición de compuestos inestables como alcoholes superiores y aldehídos.

Grado alcohólico.- Es el grado de una mezcla hidroalcohólica pura, indicado por el alcoholímetro centesimal de gay lussac en una temperatura diferente a la de referencia.

Grado de etanol.- Este ensayo es importante cuando existe la posibilidad de que haya otros alcoholes además del etanol. Es un análisis que debe realizarse en condiciones especiales, por ejemplo cuando se sospecha de la presencia de metanol o de alcoholes superiores. No debe ser, por lo tanto un análisis de rutina que es útil para la identificación y cuantificación de alcoholes enfocando principalmente el etanol.

Masa específica.- La masa específica o densidad es una medida indirecta de la relación agua alcohol, si es elevada puede indicar gran cantidad de agua, si la masa específica es liviana puede indicar contenido de material liviano como metanol y aldehídos los cuales pueden causar más polución al medio ambiente

Rendimiento.- Análisis físico que se realiza al producto terminado y permite obtener información sobre la cantidad o volumen en que puede ser aprovechado dicho producto, se realiza al final del proceso.

CAPITULO II.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. GENERALIDADES DE LA MATERIA PRIMA

2.1.1. Descripción Botánica del sorgo

El sorgo es una planta de crecimiento anual, las variedades de mayor rendimiento tienen un ciclo vegetativo de 120 a 140 días. Las raíces son adventicias fibrosas y con mucha raicilla laterales el sorgo es resistente a la sequia, debido a la profundidad de su sistema radicular los tallos son cilíndricos, erectos y sólidos; según la variedad crecen de 0,6 a 3,50 m poseen nudos y entrenudos de los cuales salen las hojas. Las hojas son alternas en el tallo, se doblan durante la sequia, por la baja transpiración y permiten una mejor resistencia a dicha sequia.

La inflorescencia del sorgo se llama panícula; esta es compacta en algunas variedades y abiertas en otras como en los forrajeros y en los escoberos una panícula puede lograr a tener hasta 6.000 flores. Los granos son pequeños; 1.000 g poseen alrededor de 35.000 granos el color de la semilla es blanco, rojo, café o amarillo. Es una cariósipide, que contiene un alto contenido de almidón. Los primeros informes sobre los granos de sorgo indicaban un elevado contenido amiláceo y una composición general parecida a la del maíz, cuando el sorgo granífero adquirió importancia como cultivo en las grandes llanuras de Estados Unidos, los fabricantes de almidón de maíz vieron en él una posible nueva materia prima para la producción de almidón

ALBANINA, L. igor, sorgo cultivo y aprovechamiento, primera edición Barcelona España, editada mexicana, 1984.¹

2.1.2. Origen del Sorgo

El sorgo (*Sorghum vulgare*) es nativo de África y muchas variedades son originadas allí, también fue producido en la India antes que la historia lo registrara y en Asiria. La cosecha alcanzo a China durante el siglo decimo tercero y el hemisferio occidental mucho mas tarde, el sorgo dulce fue introducido en los Estados Unidos desde el África en el siglo decimoséptimo, no creció extensivamente en este país desde 1850, hasta que el ámbar del negro de la variedad del forraje (también llamado caña de azúcar chino).

2.1.3. Manejo cosecha y pos cosecha

El sorgo se cosecha manual o mecánicamente. El momento de la recolección se define según el ciclo vegetativo, que cambia de acuerdo con la variedad y los factores climáticos, la coloración del follaje y del grano; sin embargo el factor determinante es el contenido de humedad del grano que debe estar por debajo del 15% si la cosecha es manual, o del 18% si se hace con maquina, el sorgo se seca hasta con un contenido de humedad del 13% se limpia y se almacena.

2.1.4. Variedades

Existen variedades consideradas clásicas que pueden englobarse en una serie típica de las diversas zonas del mundo en donde se ha cultivado el sorgo desde hace varios milenios.

Las variedades más importantes son: dura, kéfir, hegari, milo, shallu, faterita y kaoliang.

2.1.4.1. Recolección y almacenamiento

La recolección del grano de sorgo puede hacerse a mano o empleando una cosechadora automática; naturalmente la cosecha a mano solo debe hacerse cuando la extensión de la plantación es muy pequeña; en este caso; lo mas practico es cortar solo las panojas dejando el resto de la planta en el terreno para, luego segarla aparte o dejarla como pasto para

ganado. Dado la altura de los sorgos híbridos, es muy fácil y cómodo hacer la ciega con una haz las panojas deberán extenderse en una área para su secado, procediéndose luego a la trilla y aventado.

Este sistema no es rentable para las explotaciones que pasen del nivel que podríamos llamar familiar; lo normal es efectuar la recolección con maquinas cosechadora.

Las cosechadoras que se emplean son las mismas que se usan para trigo, la cebada, el arroz, etc. Pero teniendo en cuenta de cortar solo la parte superior de la planta, que corresponde a la panoja para efectuarse correctamente la recolección, empleando cosechadoras, las panojas deben estar secas.

2.1.4.2. Factores físicos

El fruto o grano es una cariósipide de forma redondeada, de diámetro comprendido entre 3-6mm y en su madurez alcanza diferentes tonalidades y coloraciones a partir de los colores básicos: blanco amarillo, gris, rojo, azul.

Es una planta que alcanza una altura de 3 a 4 metros, su panícula es grande y suelta de 45 a 80 cm de longitud algunos sorgos enanos alcanzan una altura de 1.2 a 1.8 mts y sus panículas alcanzan una longitud de 30 a 60 cm

2.1.4.3. Factores químicos

El sorgo comparado con otros vegetales como piensos, tiene las siguientes características mayor contenido energético 3300 kilo/caloría, que la cebada 2800 kilo/caloría, avena 2660 kilo/caloría y menor que el maíz que es 3370 kilo /caloría; en el caso de la lisina pues solo tiene 0.23 % contra 0.29 de maíz; en proteínas su contenido es de 12.7 % mayor que el del maíz 9.3%.

2.1.5. Composición química y valor nutricional

La composición del grano de sorgo es muy parecida a la de los otros granos empleados. El grano de sorgo al igual que el del maíz y trigo tiene baja cantidad de fibra celulósica por la facilidad en que se separan las

glumas y demás partes de la espiga de mayor contenido de celulosa; la cantidad de proteínas es ligeramente superior que en el maíz y que en el arroz y el contenido de grasa o aceite es menor que en el maíz y avena pero superior que al de cebada, arroz y trigo. La cantidad de cenizas es inferior a la de cualquier grano cuyas glumas son difícilmente equiparables. Después del maíz, el grano de sorgo es el que tiene mayor valor energético total.

SERRANO, A. Paúl, el cultivo del sorgo granero, Caracas primera edición 1968

2.1.5.1. COMPOSICIÓN MEDIA DE LOS GRANOS DE MAÍZ, TRIGO, SORGO.

COMPOSICIÓN	MAÍZ	SORGO	TRIGO
Energía (calorías/lb)	2.059	2.043	2.005
Total De Azúcares (%)	1.9	3.2	1.4
Almidón (%)	71.8	63.8	70.2
Grasa (%)	4.5	1.9	3.3
Fibra (%)	2.4	2.9	2.4
Cenizas (%)	1.5	2.0	2.0

2.1.5.2. Aspectos de industrialización del sorgo

La industrialización del sorgo comprende tres etapas en las que se obtienen distintos productos.

Malta de sorgo.- El sorgo gran malteado se usa como alimento en muchas regiones del mundo, uno de los usos más importantes es en la cerveza kaffir, bebida tradicional del pueblo de bantú en Sudáfrica, esta bebida tiene un sabor agradablemente ácido y una consistencia de pasta muy

liviana; su contenido de alcohol oscila entre 2 y 4% en peso y es una fuente particularmente buena de vitaminas del grupo B, La cerveza kaffir se produce por el machacado agriado y conversión de una mezcla de sorgo malteado y sin maltear se consume en estado activo de fermentación, se han aplicado al sorgo modernas técnicas de malteado tal como se hace para la cebada.

Molido y Separaciones.-El sorgo granífero completamente macerado se muele en una lechada aguada, en varias etapas, para producir el óptimo rendimiento y purificar cada componente del grano; germen, almidón, gluten y fibra.

Recuperación del germen.-el grano macerado se muele grueso, agregando agua, en un molido de frotamiento formado por placas con abultamiento, una fija y otra que gira aproximadamente 1700

revoluciones por minuto (rpm). La finalidad de esta etapa es desgarrar los granos para liberar los gérmenes con daño mínimo. La rotura del germen produce pérdidas de aceite.

Durante la germinación se libera la mitad del almidón del endospermo se regula el agregado de agua para obtener una lechada de almidón de aproximadamente 7- 8º baume. El germen macerado contiene de 40 a 45% de aceite y por consiguiente flotará apartándose del endospermo y del pericarpio que son más pesados. La separación del germen se logra continuamente en ciclones de líquido, la mezcla entra por un orificio tangencial hasta la parte superior del caño de 15 cm del ciclón, con suficiente presión como para producir un vórtice. Este centrifugado arroja las partículas más pesadas hacia la periferia, desde donde se mueven hacia abajo y salen por el orificio inferior. Los gérmenes son reunidos en el vórtice y forzado fuera del tubo de derrame.

2.1.5.3. Valor nutricional de la harina de sorgo

El sorgo se ubica en el tercer lugar del mundo de los granos usados para la alimentación y aproximadamente el 75 % del sorgo cultivado en todo el mundo lo consumen las personas (Kramer 1969) en la India, África y la China el sorgo constituye el 70 % del total de las calorías y suministra

gran parte de las proteínas de la dieta. El hecho difundido de la enfermedad de kwashiorkor, en zonas donde los granos son la principal fuente de alimento indica el desequilibrio nutricional de una dieta con un alto contenido de este cereal, esta enfermedad es el resultado de una calidad pobre y una cantidad insuficiente de proteínas en la dieta por lo tanto para fines nutricionales del ser humano, las características de las proteínas del sorgo son muy importantes. Shout et. Al (1969) presentó un informe sobre la composición de aminoácidos y el valor nutricional de los productos de sorgo molido. Calculado sobre una base igual de nitrógeno el contenido de proteína del en una fracción de germen salvado es superior a la del grano entero y las fracciones del endospermo.

2.1.5.4. Elaboración de cerveza y fermentación a partir de sorgo

Durante la segunda guerra mundial la escases de los productos elaborados con maíz y arroz ocasionó que la industria cervecera usara otros cereales (**Davis et. Al 1944**). El consumo de los productos de sorgo molido seco para la elaboración de cerveza llego a 78, 746 toneladas en 1946 (**Nakayama 1946**) al finalizar la guerra los fabricantes volvieron a utilizar los mismos materiales que utilizaban al comienzo, y temporalmente el interés por la elaboración de cerveza a partir de sorgo fue desapareciendo. En los últimos años algunas empresas de fabricación de cerveza volvieron a utilizar grano de sorgo, el consumo actual supera las 2,300 toneladas mensuales (**Anón 1968**). Con las pruebas pilotos de elaboración de cerveza y el gran uso de plantas, se probó que la cerveza que se produce con grano de sorgo es totalmente equivalente en análisis químico sabor y estabilidad a las que se fabrican con otros complementos (**Stewart Hahn 1965**).

La composición promedio de esta sustancia de estos granos sobre una base seca es la siguiente: humedad 11.7, aceite 0.73, y extracto 91.4% (**Hahn 1966**), el sorgo no requiere procedimientos de manejo o cocido especial en la fabricación de cerveza y se adapta a todos los estilos y complementos de estilo de complementos de fabricación de la misma.

JOSEPH S. Wall y ROSS M. William, producción y usos del sorgo, editada por hemisferio sur ³.

2.1.5.5. Usos industriales de la harina de sorgo

El sorgo granífero molido tuvo grandes resultados en su uso para producir ácido cítrico, ácido láctico, riboflavina, antibióticos y polisacáridos microbial (**Cadmus et, al. 1966**) la jalea que contiene entre un 20 y 25 % de D-glucosa se produce por digestión de glucoamilasa luego de 24 – 48 horas de filtración, esta jalea sirve como sustrato para fermentación, el rendimiento del producto es el mismo que D – glucosa.

2.1.5.6. Malta de sorgo

El sorgo granífero malteado se usa como alimento en muchas partes del mundo (Aucamp et Al 1969) uno de sus mayores usos es la elaboración de cerveza de Kaffir la bebida tradicional de los habitante de Batu al sur de África (Novellie 1968). Esta bebida tiene un sabor agrio muy rico y la consistencia de una sopa espesa. El contenido de alcohol oscila entre el 2 – 4% por peso y es particularmente una fuente de vitamina del grupo B (Schwartz 1956). La cerveza de kaffir se produce al pisar agriar y convertir una mezcla de sorgo granífero malteado y no malteado. Se consume en un estado activo de fermentación.

Las técnicas modernas que se usan del malteado para la cebada se aplican para el sorgo granífero (novellie 1962) para un desarrollo óptimo del poder diastático se requiere una temperatura óptica entre 25 y 35 ° c y riego durante la germinación. La malta de sorgo es rica en alfa- amilasa con solo de 18 a 39% de actividad sacarifica por su beta – amilasa (Novellie 1960). Esta característica es especialmente buscada por la malta para destilación.

JOSEPH S. Wall y ROSS M. William, producción y usos del sorgo, editada por hemisferio sur ³.

2.1.6. Que es el etanol

El alcohol etílico o etanol cuya fórmula química $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CHO}$, 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.

El alcohol etílico; no solo es el producto químico orgánico sintético más antiguo empleado por el hombre, sino también unas de las más importantes. Su uso más común es industrial, doméstico y medicinal. La industria emplea el alcohol como disolvente para lacas, barnices, perfumes y condimentos, como medio para reacciones químicas, y para re cristalizaciones.

Además es una materia prima para síntesis, su obtención puede darse de dos maneras fundamentalmente: preparamos alcohol etílico por hidratación del etileno o bien por fermentación de melazas o almidón por tanto sus fuentes primarias son el petróleo, la caña de azúcar, o varios granos.

El alcohol etílico es el alcohol de las bebidas alcohólicas, para este propósito se prepara por fermentación de azúcar, contenidas en varias fuentes vegetales. La bebida específica obtenida depende de lo que se fermente (centeno o maíz, uvas o sauco, pulpa de cauto o diente de león), como se fermenta (dejando escapar el dióxido carbono) y de lo que se haga después de la fermentación se destile o no.

El sabor especial de las bebidas alcohólicas no se debe al alcohol etílico sino a otras sustancias especiales que se usan en la elaboración de esas bebidas.

Debido a su posición exclusiva como bebida muy agravada y como reactivo industrial el alcohol etílico plantea un problema muy especial debe estar al alcance de la industria en forma no bebible.

MIELENZ J. etanol producción de biomasa tecnología y comercialización estatus curr. Opin. microbiol. 2001³

2.1.6.1. El proceso productivo del etanol

El etanol es el alcohol etílico producido a partir de la fermentación de los azúcares que se presentan en los productos vegetales (cereales, caña de azúcar, remolacha o biomasa) combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa o celulosa. Dependiendo de su fuente de obtención, su producción implica fundamentalmente el proceso de separación de los azúcares, y la fermentación y destilación de las mismas.

La cadena productiva del etanol muestra que existe una gran cantidad de materias primas cuyo procesamiento conduce al etanol: en el primer grupo tenemos a los granos básicos: maíz, soya, sorgo, cebada y papa. Son productos agrícolas que se cultivan en el país de estos productos se consigue el almidón que a partir de un proceso de hidrólisis se convierte en azúcares.

En el segundo grupo tenemos a la caña de azúcar y la remolacha que son transformados a melaza y luego se inicia el proceso de obtención de etanol. En el tercer grupo se ha clasificado a la madera y los desechos municipales y los desperdicios forestales, a partir de los cuales se obtienen celulosa que sigue un proceso de hidrólisis para convertirse en azúcar.

Al obtener los azúcares a partir de un proceso de fermentación y destilación se obtiene el etanol hidratado. Para llegar al etanol carburante se hace un proceso de deshidratación, y alcohol deshidratado está listo para ser mezclado con gasolina, se pueden hacer mezclas del 5% hasta del 25% según las normas de cada país.

2.1.6.2. Principales ventajas y desventajas de la producción de etanol

Ventajas del Etanol:

- Es una fuente renovable y por consiguiente inagotable, en la medida que se renueven los cultivos agrícolas.
- Es menos inflamable que la gasolina por lo tanto es más seguro de utilizar
- Disminuye la dependencia de los países agro-productores, del abastecimiento de Combustibles fósiles por parte de los países productores de petróleo.
- Tiene un alto índice de octano: 105

- Durante su combustión se produce un aumento del calor de vaporización, lo cual genera una mayor potencia respecto a la gasolina.
- Tiene bajas emisiones tóxicas.
- Genera menores emisiones de monóxido de carbono cuando se usa como aditivo de la gasolina.
- Produce menos dióxido de carbono al quemarse que la gasolina, pero el impacto total depende del proceso.

Desventajas del Etanol

- Genera emisiones altamente evaporativas.
- Presenta una menor densidad de energía que la gasolina, el conductor debe llenar el tanque del automotor con más frecuencia.
- Contiene dos tercios de la energía contenida por el mismo volumen de la gasolina.

2.1.6.3. Clases de alcohol

El alcohol se expende en las más variadas calidades, a saber:

- alcohol de primera calidad.-** con aproximadamente 96 % en volumen; generalmente se fabrica con patatas, melaza o cereales. El alcohol de primera calidad es claro como el agua y tiene un elevado grado de pureza, de modo que se puede emplear muy bien para la fabricación de bebidas alcohólicas simples y para muchos licores. Es la clase de alcohol más empleada en la actualidad para la fabricación de bebidas espirituosas.
- alcohol filtrado extra fino.-** es un alcohol de primera calidad que después de su filtraje sobre carbón activado (generalmente carbón de tila o haya), se ha destilado nuevamente para eliminar con ello el aldehído que se ha formado en el tratamiento con carbón ofreciendo así su mayor grado de pureza con respecto a olor y sabor.
- alcohol absoluto.-** es un producto casi anhidrido, obtenido por un procedimiento especial y con materias deshidratantes. En la práctica no tiene ninguna importancia para el especialista en bebidas alcohólicas, para

El destilado práctico lo más importante que debe saber de esta materia, aparte de las propiedades generales del alcohol, es la alcoholimetría. Sin embargo, dentro del margen de este tema.

2.1.6.4. Propiedades del alcohol

El alcohol se compone de carbono (C), hidrogeno (H) y oxigeno (O), en la proporción de

52.16 % C

15. 25 % H

32.59 % O

100.00 %

Su formula química es $C_2 H_5 OH$. El químico lo llama alcohol etílico. El alcohol puro es un líquido transparente como el agua, de un olor agradable y característico y de sabor ardiente. El líquido es muy movable y muy refringente. Es bastante inflamable y arde con llama brillante. El punto de ebullición del alcohol se halla a la presión normal, aproximadamente en los 78° Celsius.

El peso específico, medido a los 15 ° c, vale 0.7938. El alcohol puede mezclarse en cualquier proporción con agua. Al efectuar la mezcla, el alcohol se calienta y una vez enfriado, se observa que se ha producido una contracción en el sentido de que 50 partes de alcohol producen aproximadamente 97 partes líquido.

El alcohol es un excelente disolvente para muchas materias. Por ejemplo, disuelve fácilmente el ácido carbónico, ácido sulfúrico, amoníaco; de los cuerpos líquidos y sólidos disuelve, por ejemplo, el ácido oxálico, ácido salicílico, cloro, bromo, iodo, potasa y sosa caustica, resinas, aceites esenciales, ácidos grasos, etc.

En la combustión, el alcohol se descompone en ácido carbónico y agua en la combustión lenta: "oxidación", se forma aldehído y ácido acético. Muy importante es también la fácil transformación del alcohol en éter compuesto o éster, con lo cual se entienden los compuestos que forman el

éster acético de agradable olor. Estos cuerpos por regla general, tienen un olor aromático a frutas, por lo que suelen emplearse como aromas.

Fisiológicamente el alcohol puro actúa como tóxico. Tiene propiedades antisépticas. Las sustancias albuminoideas coagulan por su acción, de forma que ya no se descomponen. La fermentación de los azúcares queda completamente inhibida, en cuanto el líquido en fermentación contiene un 18 % de alcohol.

El alcohol diluido posee, a grosso modo, las mismas propiedades que el absoluto aunque en medida más reducida. Así, por ejemplo, 100 cc de alcohol al 10 % disuelven a 15 ° C 81.5 gr de azúcar, mientras que el 90 % disuelve solo 0.9 gr en las mismas condiciones el aceite de fusel es soluble en alcohol puro en cualquier proporción, poco soluble en alcohol diluido y casi insoluble en agua. De especial importancia para el destilador es el comportamiento de los aceites esenciales frente al alcohol y al agua todos los aceites esenciales poco solubles producen enturbiamiento en alcohol diluido y las soluciones de dichos aceites en alcohol absoluto, es decir, anhidrido, se enturbian al ser diluidas con agua.

2.1.6.5. Etanol a partir de sorgo

Las principales materias primas de las industrias de la fermentación son el almidón y el azúcar. Estos se localizan en numerosas fuentes el sorgo granífero solo cuando la relación de precios resulta favorable. Sin duda el alcohol etílico es el más antiguo y más importante producto de fermentación del sorgo, existen variados procedimientos de molido y de sacarificación (Flygare 1949; Deckembrock 1954). El procedimiento más general consiste en moler el grano entero para producir una harina de malla de 12 a 60. El grano es cocido y la masa se sacarifica usando hidrólisis ácida, malta diastática, o amilácea de organismos fúngicos o de mohos.

La cerveza de fermentación es enfriada y se le inoculan células de levadura; se requieren de treinta a noventa horas para completar la fermentación, el alcohol se recupera mediante destilación los rendimientos alcohólicos de sorgo granífero son aproximadamente 24 litros por cada 25

Kilogramo, sobre la base de sustancia seca con eficiencias de fermentación del 93% o mayor (Underkofler – Hickey 1954). La producción de bebidas alcohólicas sigue el mismo procedimiento, prefiriéndose la diastasa de malta para la sacarificación. Los alcoholes destilados que contienen aproximadamente el 95% de alcohol en volumen, son filtrados por carbón de leña, mezclado y estacionados en casco de roble curados para obtener el sabor y el color deseado. Puesto que la composición de cereales para muchos tipos de bebidas alcohólicas es regulado por la ley.

2.1.7. Otros productos de fermentación

El grano de sorgo molido se ha usado con éxito para producir ácido cítrico, ácido láctico, riboflavina, antibióticos y polisacáridos microbianos. Los jarabes que contienen del 20 al 25% de D- glucosa son producidos por digestión de glucoamilasa, entre 24 y 48 horas. Después de la filtración, estos jarabes sirven como sustratos para fermentación el rendimiento productivo es equivalente al obtenido de la D-glucosa comercial.

2.1.7.1. Hidrólisis del almidón

El proceso de obtención de etanol a partir del almidón es más complicado que el de a partir de sacarosa, pues el almidón debe ser hidrolizado previamente para convertirlo en azúcares. Para ello se mezcla al vegetal triturado con agua y con una enzima (o en su lugar con ácido) y se calienta la papilla obtenida a 120 – 150° C, posteriormente se cuele la masa es un proceso llamado escarificación, y se envía a los reactores de fermentación.

2.1.7.2. Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida consiste en un proceso químico que, mediante el empleo de catalizadores ácidos, transforma las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa (hemicelulosa y celulosa) en sus monómeros elementales. La hidrólisis de los materiales lino celulósico es un proceso conocido desde 1819 (larson 2000) y que alcanzó su mayor desarrollo durante las dos guerras mundiales, este tipo de hidrólisis puede realizarse

empleando diferentes clases de ácidos: sulfuroso, clorhídrico, sulfúrico, Fosfórico. Los procesos que implican ácidos complicados concentrados operan a baja temperatura pudiendo obtenerse altos rendimientos de

Hidrólisis (superiores al 90% de la glucosa potencial). A pesar de esto , la gran cantidad de ácido empleado en la impregnación del material a tratar lo costoso de su recuperación, unido a los efectos corrosivos de los ácidos concentrados , obliga a altas inversiones en los equipamientos , hace que el proceso no searentable además, tiene el problema asociado de que es necesario una costosa etapa de neutralización antes de la fermentación (keller,1996) sin embargo ,losprocesos que utilizan ácidos concentrados han adquirido un renovado interés debido anuevos métodos que mejoran la economía de recuperación de los ácidos; hoy son desarrollados por grandes compañías .

2.1.7.3 Neutralización

La reacción entre un ácido y una base se denomina neutralización según el carácter del ácido y de la base reaccionante se distinguen cuatro casos: ácido fuerte más base fuerte, ácido débil mas base fuerte, ácido fuerte más base débil, ácido débil más base débil. Cuando un ácido fuerte se neutraliza con una base fuerte, el pH experimenta una brusca variación justamente en el punto de equivalencia, cuando un ácido fuerte como el HCL se neutraliza con una basedébil (NH₃) el pH se mantiene muy bajo mientras aun exista ácido libre y después de alcanzar la neutralidad, el ligero exceso de NH₃ eleva paulatinamente el pH, sin provocar cambios bruscos.

2.1.7.4. Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica (también llamada fermentación de etanol o fermentación etílica) es un proceso biológico de fermentación en ausencia de aire (oxígeno) originado por la acción de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por regla general azúcares como por ejemplo la glucosa, la fructuosa, la sacarosa el almidón, etc.) Para obtener producto final, un alcohol en forma de etanol cuya fórmula química (CH₃-CH₂-CH) dióxido de carbono (CO₂) en forma de gas y moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular

energético anaeróbico. El etanol resultante se emplea en la elaboración de algunas bebidas alcohólicas, tales como el vino, cerveza, la sidra, el cava, etc.La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar

energía anaeróbica a los organismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno para ello disocian las moléculas de glucosa y obtienen la energía necesaria para producir etanol y CO₂ como desechos como consecuencia de la fermentación. Las levaduras y bacterias causantes de este fenómeno se encuentran en frutas y cereales y contribuyen en gran medida al sabor de este producto fermentados, una de las características de este microorganismo es que viven en ambientes carentes de oxígeno (O₂) máxima durante la reacción química, por esta razón se dice que la fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico.

2.1.7.5. Condiciones necesarias para la fermentación alcohólica

Temperaturas.- Las levaduras son microorganismos mesófilos, esto hace que la fermentación pueda tener un rango de temperaturas desde los 13-14° C, hasta los 33-35° C. Dentro de ese intervalo cuanto mayor sea la temperatura mayor será la velocidad del proceso fermentativo siendo también la proporción de productos secundarios. Sin embargo a menor temperatura es más fácil conseguir un mayor contenido alcohólico, ya que parece que las altas temperaturas que producen fermentaciones más rápidas agotan muy rápido a las levaduras.

Las temperaturas más adecuadas para llevar a cabo la fermentación son de 18-23° C y es la que se emplea generalmente en la elaboración de vinos blancos. Sin embargo para elaborar vinos blancos es necesaria una maceración de los hollejos y pepita, por encima de los hollejos.

2.2.7.6. Aireación del mosto

La aireación del mosto frío es necesario para proveer a la levadura de suficiente oxígeno para su crecimiento durante la fermentación. La cantidad de oxígeno dependerá de la vigorosidad o fuerza de la levadura, la temperatura del mosto, la densidad del mosto, por ejemplo, mosto con altas temperaturas y alta densidad tiene mayor necesidad de oxígeno que

Mostos a bajas necesidades, pueden ser aireados usando aire estéril con contenido de 8 miligramos de Oxígeno por litro, mientras levaduras con grandes requerimientos de oxigenación deberían ser aireados con oxígeno gaseoso y puro. Niveles de oxigenación muy bajos resultarán en aromas

anormales. A bajos niveles de oxigenación la respiración de las levaduras producen cierta cantidad de esteres, principalmente ilicitato, pero también isoamilacetato y etilcroato, y este irreversiblemente perfumará la cerveza con aromas y solventes a frutas. Una inadecuada oxigenación también produce ácido piruvico, ácidos grasos, y aminoácidos desde de carboxilato hasta aldehídos. El acetaldehído generalmente predomina, dando un olor a la cerveza similar a la de las manzanas verdes, elevados niveles de di cetil pueden darse en mostos fríos con bajo nivel de oxígeno. Mostos con aireaciones pobres pueden resultar en fermentaciones elevados y altas densidades finales.

Kunze reporta que la sobre oxigenación no puede afectar mucho dado que el oxígeno es rápidamente absorbido por la levadura en los estados iniciales de fermentación, de todas formas otros reportes dicen que el nivel de sobre oxigenación es muy alto se producirá un crecimiento muy vigoroso de las levaduras que puede afectar la calidad de el proceso de fermentación por el incremento de la producción de esteres y acetaldehídos. El punto de inyección de oxígeno puede ser sujeto a varios debates, y la elección del mismo es un problema tradicional.

2.1.7.7. Efectos de la fermentación etílica

Los efectos de la fermentación etílica se derivan de los productos resultantes que son liberados de una forma u otra al ambiente: el etanol y el dióxido de carbono, los efectos de la fermentación dependerán de cómo se traten cada uno de esos subproductos.

Uno de los efectos más sorprendente se encuentra en la contaminación etílica existentes en algunos insectos que se alimentan de frutas y de néctar de las flores, un ejemplo de ello son las abejas de la misma forma pueden intoxicar a los pájaros que se alimentan de algunas bayas maduras ya parcialmente fermentas. La fermentación alcohólica a pequeña escala se produce en la misma forma en las raíces de algunas plantas que son

regadas de manera muy frecuente, la falta de aireación del terreno hace que las condiciones anaerobias que necesitan las levaduras actúen pudiendo envenenar el suelo mediante un aumento en la concentración de

etanol lo que se traduce en un aumento de la disminución de la capacidad de las mismas.

Otro aspecto importante de los efectos de la fermentación etílica es el efecto que produce en el cuerpo humano, el consumo reiterado de bebidas alcohólicas procedentes de la fermentación etílica ya que el etanol es una potente droga psicoactiva con un nivel de efectos secundarios además de la adicción que produce su consumo habitual. Los lugares donde se realiza la fermentación de algunas bebidas alcohólicas (generalmente sótanos) suelen ser peligrosos ya que el dióxido de carbono “desplaza al oxígeno” pudiendo causar asfixia a las personas que se encuentren en estos lugares.

2.2. Destilación simple

El aparato utilizado para la destilación en el laboratorio es el alambique. consta de un recipiente donde se almacena la mezcla a la que se le aplica calor, un condensador donde se le enfrían los vapores generados, llevándolos de nuevo al estado líquido y un recipiente donde se almacena el líquido concentrado .

En la industria química se utiliza la destilación para la separación de mezclas simples o complejas, una forma de clasificar la destilación puede ser la que sea discontinua o continua.

2.2.1. Destilación fraccionada

La destilación fraccionada es una variante de destilación simple que se emplea principalmente cuando es necesario separar líquidos con puntos de ebullición cercanos la principal diferencia que tiene con la destilación simple es el uso de una columna de fraccionamiento esto permite un mayor contacto entre los vapores que ascienden con el líquido condensado que desciende, por la utilización de diferentes platos. Esto facilita el intercambio de calor entre los vapores (que ceden) y los líquidos que

reciben. Este intercambio produce un intercambio de masa donde los Líquidos con menor punto de ebullición se convierten en vapor, y los vapores con mayor punto de ebullición pasan al estado líquido.

2.2.2. Destilación azeotrópica

En química la destilación azeotrópica una de las técnicas usadas para romper un azeotropo en la destilación. Una de las destilaciones más comunes con un azeotropo es la de la mezcla etanol agua usando técnicas normales de destilación, el etanol solo puede ser purificado a aproximadamente el 95%, una vez que se encuentra en una concentración de 95/5 % etanol /agua, los coeficientes de actividad del agua y del etanol son iguales, entonces la concentración del vapor de la mezcla también es de 95/5% etanol agua, por lo tanto destilaciones posteriores son inefectivas. Algunos usos requieren concentraciones de alcohol mayores, por ejemplo cuando se usa como aditivo para la gasolina por lo tanto el azeotropo 95/5% debe romperse para lograr una mayor concentración.

En uno de los métodos se adiciona un material agente de separación, por ejemplo la adición de benceno a la mezcla cambia la interacción molecular y elimina el azeotropo. La desventaja, es la necesidad de otra separación para retirar el benceno otro método, la variación de presión en la destilación, se basa en el hecho de que un azeotropo se salta, la destilación puede continuar. Para saltar el azeotropo este puede ser movido cambiando la presión. Comúnmente, la presión se fija de forma tal que el azeotropo quede cerca del 100% de concentración. Para el caso del etanol este se puede ubicar en el 97%, el etanol puede destilarse entonces hasta el 97%. Actualmente se destila a un poco menos del 95,5% el alcohol al 95,5% se envía a una columna de destilación que esta a una presión diferente, se mueve el azeotropo a una concentración menor, tal vez al 93%. Ya que la mezcla está por encima de la concentración azeotrópica actual, la destilación no se “pegará” en este punto y el etanol podrá ser destilado a cualquier concentración necesaria.

Abate C., D. Cagliari, E. Rodríguez and O. Garro. 1996. Ethanol production by a mixed culture of flocculent strains of *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces* sp. *Appl. Microbial. Biotechnology*. ²¹

2.2.3 Principales aditivos y reactivos que se utilizan en la elaboración de etanol a partir de almidón de sorgo.

2.2.3.1. Micronutrientes

La utilización de nutrientes ha sido una técnica aplicada en la enología moderna de forma adecuada para mejorar las condiciones de las levaduras en la fermentación y así disminuir los riesgos de paradas de fermentación, y desviaciones metabólicas.

Estos juegan un papel importante en la fisiología de los microorganismos su presencia e importancia ha sido desatendida desde hace mucho tiempo. El conocimiento de la biodisponibilidad real de estos elementos no es muy profundo; se conoce que los micro elementos están fuertemente ligados a otros compuestos en el mosto; por lo que los microorganismos no los pueden asimilar, entre los cationes que son quelados más frecuentemente a causa de su tamaño y carga eléctrica se han encontrado los más importantes para las levaduras: Zinc, Manganeseo, Cobre, Magnesio.

2.2.3.2. Ácido clorhídrico

O agua fuerte es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrogeno es muy corrosivo y ácido, se emplea muy bien como reactivo químico y se trata de un ácido fuerte que se disocia completamente en una disolución acuosa. Una disolución concentrada de ácido clorhídrico tiene un pH de 1 (con 40 ml es suficiente para matar a un ser humano, en un litro de agua, y al disminuir el pH mata toda la flora bacteriana).

El ácido clorhídrico tiene diferentes usos. Se usa por ejemplo para limpiar, tratar y galvanizar metales, curtir cueros y en la refinación y manufactura de una amplia variedad de productos, cuando entra en contacto con el agua forma el ácido clorhídrico. En química orgánica se lo utiliza para la síntesis de cloruro orgánicos, bien por la sustitución de un grupo hidroxilo de un alcohol el intercambio catiónico suele utilizarse para remover cationes como Na y Ca de soluciones acuosas produciendo agua desmineralizada.

NOVOZYME fuel internacional. “fuel etanol, a tecnoloycal etanol evolution⁵

2.2.3.3. Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico es un compuesto muy corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 . Es uno de los compuestos que más se produce en el mundo, por eso se lo utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países, una gran parte se lo utiliza en la elaboración de fertilizantes. También se lo utiliza para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica. Generalmente se obtiene a partir de óxido de azufre, por oxidación con óxidos de nitrógeno en solución acuosa, normalmente después se llevan a cabo procesos para conseguir una mayor concentración de ácidos, antiguamente se lo denominaba aceite o espíritu de vitriolo, porque se producía a partir de ese mineral.

La industria que mas emplea el ácido sulfúrico es la industria de fertilizantes, tras aplicaciones importantes se encuentra en la refinación de petróleo, producción de pigmentos, elaboración de acero, extracción de metales no ferrosos, detergentes plásticos, fibra y en la elaboración de etanol, en muchos casos el ácido sulfúrico funge como una materia prima indirecta y pocas veces aparece en el producto final.

2.2.3.4. Levaduras

Las levaduras son cuerpos unicelulares (generalmente de forma esférica) de un tamaño que va de 2 a 4 μm y que están presentes de forma natural en algunos productos como las frutas verduras y cereales son los que se denominan microorganismos anaeróbicos facultativos, es decir que pueden desarrollar funciones en ausencia de oxígeno.

Se puede decir que el 96% de la producción de etanol la llevan a cabo hongos microscópicos, diferentes levaduras en las que se encuentran la *saccharomyces cerevisiae*, *kluveromyces frágiles*, *torulaspora* y *zymomonas* móviles los microorganismos responsable de la fermentación son de tres tipos bacterias, mohos y levaduras cada uno de estos microorganismos posee características propias sobre la fermentación que son capaces de provocar un sabor característico al producto final como en el caso de vinos y cerveza.

Con la fermentación alcohólica utilizando microorganismos con capacidad amilolítica, los microorganismos que presentan actividad amilolítica presentan bajos rendimientos en la producción de etanol. Con los desarrollos de la técnica de recombinación genética se han creado microorganismos con la capacidad de transformar el almidón a etanol mejorando los rendimientos. Ejemplo de ello son las levaduras que expresan los genes que codifican para las alfa amilasa y glucoamilasa permitiendo que las enzimas utilicen el almidón como fuente de carbono, los sistemas de sacarificación fermentación simultánea tienen sus orígenes en la producción de desechos y o fuentes lignocelulosicas, que ofrecen ventajas frente a procesos independientes.

Saccharomyces cerevisiae.- La levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) es un hongo unicelular, un tipo de levadura utilizado industrialmente en la fabricación de pan, cerveza y vino. El ciclo de vida de las levaduras alterna dos formas, una haploide y la otra forma diploide ambas formas se reproducen de forma sexual por gemación. En condiciones muy determinadas la forma diploide es capaz de reproducirse sexualmente, en estos casos se produce la meiosis.

La nutrición de *S. cerevisiae* se basa en fuentes de carbono que son utilizadas por las levaduras varían de los carbohidratos hasta los aminoácidos, además la capacidad de utilizar ciertos tipos de azúcares ha sido tradicionalmente empleada para caracterizar las distintas razas que esta levadura presenta.

2.2.3.5. Agua

La calidad del agua es un factor muy importante en la fabricación de alcohol para evitar posteriores enturbiamientos. El agua debe ser inodora, transparente e incolora, y solo debe contener muy poca sustancia orgánica, ante todo no debe contener amoníaco ni ácido nitroso y a ser posible solo reducidas cantidades de compuestos clorados una buena agua potable no es siempre absolutamente indicada para la fabricación para este fin se necesita principalmente agua muy blanda, para tener la garantía de que posteriormente no se enturbiará el producto acabado; estos tipos de enturbiamientos suelen formarse más tarde o más

temprano por la precipitación de los compuestos de calcio y magnesio, carbonatos, sulfatos, etc. En cualquier caso es aconsejable encargar a un laboratorio químico el análisis del agua industrial para conocer su utilidad para la preparación del agua existen actualmente los más variados métodos. Cuando no se dispone de ningún aparato, puede recurrirse al empleo del agua de lluvia filtrada. El agua que contiene mucho carbonato cálcico, carbonato de magnesio o sales carbonatadas, puede ablandarse por ebullición durante 15 minutos, agregándole al mismo tiempo una cantidad de carbonato sódico exactamente calculada. El agua hervida se destila o saca desde arriba una vez enfriada y se filtra si es necesario.

Otro método de preparación del agua, sin necesidad de aparatos especiales, es el método de la cal y carbonato sódico. Este se emplea principalmente cuando se trata de un agua que además de dureza temporal posee dureza permanente, es decir, que contiene sales que no se pueden eliminar por el proceso de ebullición. Mediante la adición de agua de cal clara y saturada en frío, el bicarbonato de calcio se transforma en bicarbonato cálcico que precipita en frío, es siempre conveniente emplear las cantidades mínimas de productos químicos, es necesario para conseguir una total precipitación, para evitar un sabor caustico del agua el agua de cal se obtiene preparando una lechada con cal viva, que mediante la adición de una gran cantidad de agua se satura en 1 a 2 días, removiendo con frecuencia y finalmente se deja en reposo después de lo cual se puede ir sacando con cuidado el de cal clara. La cantidad de carbonato sódico, que se ha calculado a base del análisis, puede añadirse directamente al agua que debe ser preparada, en forma de solución acuosa concentrada. Finalmente se deja en reposo el agua mezclada con la cal y el carbonato sódico, y se va extrayendo limpia desde arriba; eventualmente se filtra a través de un filtro de arena o carbón.

2.2.3.6.Hidróxido de sodio

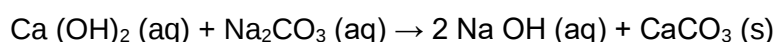
El hidróxido de sodio o hidróxido sódico también conocido como sosa caustica es un hidróxido caustica que se emplea en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel,

detergente, además es usado en la Industria petrolera en la elaboración de lodos de perforación base agua. A temperatura ambiente, el hidróxido de

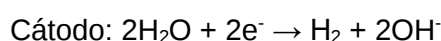
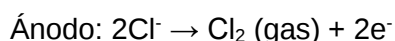
sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire (higroscópico). Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%.

El hidróxido de sodio se usa para fabricar jabones, crayón, papel, explosivos, pinturas y productos de petróleo. También se usa en el procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado, revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica. Se encuentra comúnmente en limpiadores de desagües y hornos.

El hidróxido sódico, en su mayoría, se fabrica por el método de cuantificación, es decir, juntando otro hidróxido con un compuesto de sodio:



Aunque modernamente se fabrica por electrólisis de una solución acuosa de clorurosódico o salmuera. Es un subproducto que resulta del proceso que se utiliza para producir cloro.



Al ir progresando la electrólisis se van perdiendo los cloruros siendo sustituidos por iones hidróxido, que combinados con los cationes sodio presentes en la disolución, forman el hidróxido sódico. Los cationes sodio no se reducen a sodio metálico debido a su bajísimo potencial.

Se utiliza una solución de una pequeña porción de sosa diluida en agua en el método tradicional para producir *margarina* común, una pretzel y también es usado para elaborar el lutfisk, comida tradicional de los países nórdicos a base de pescado. Además este producto se usa como desatascador de cañerías

2.2.3.7. Metabisulfito de potasio

El Metabisulfito se lo denomina **unconservante** es una sustancia utilizada como aditivo alimentario, que añadida a los alimentos (bien sea de origen natural o de origen artificial) detiene o minimiza el deterioro causado por la presencia de diferentes tipos de microorganismos (bacterias, levaduras y mohos).

Este deterioro microbiano de los alimentos puede producir pérdidas económicas sustanciales, tanto para la industria alimentaria (que puede llegar a generar pérdidas de materias primas y de algunos sub-productos elaborados antes de su comercialización, deterioro de la imagen de marca) así como para distribuidores y usuarios consumidores (tales como deterioro de productos después de su adquisición y antes de su consumo, problemas de sanidad, etc.). Existen algunos métodos físicos que actúan como inhibidores de las bacterias tales son el calentamiento, deshidratación, irradiación o congelación.

Se puede aplicar métodos químicos que causen la extinción por muerte de los microorganismos o que al menos elimine la posibilidad de su reproducción. En una gran mayoría de alimentos existen los conservantes de forma natural, por ejemplo muchas frutas que contienen ácidos orgánicos tales como el ácido benzoico o el ácido cítrico. Por ejemplo la relativa estabilidad de los yogures al compararlo con la leche se debe sólo al ácido láctico elaborado durante su fermentación. Algunos alimentos tales como los ajos, cebollas y la mayoría de las especias contienen potentes agentes antimicrobianos, o precursores que se transforman en ellos al triturarlos.

Groados Brix, grados balling y grados plato (wiki media foundation, inc. 14: 55, 24 dic. 2007.)⁸

2.2.4. Alcoholes superiores presentes en el etanol

2.2.4.1. Aldehídos

Son compuestos orgánicos caracterizados por poseer el grupo funcional CHO, se denominan como los alcoholes correspondientes cambiando la terminación o por al es decir el grupo carbonilo H-C=O está unido a un solo radical orgánico. Se pueden obtener a partir de oxidación suave de los alcoholes primarios. Esto se puede llevar acabo calentando el alcohol en una disolución ácida de bicromato de potasio, también hay otros métodos en los que se emplea Cr en estado de oxidación +6 el bicromato se reduce Cr^{3+} .

Propiedades físicas.- La doble unión del grupo carbonilo son en parte covalente y en parte iónica dada que el grupo carbonilo esta polarizado por el grupo de resonancia, los aldehídos con hidrogeno sobre un carbón en posición alfa al grupo carbonilo presentan isomería tautomería, los aldehídos se obtienen de la deshidratación de los alcoholes primario, se deshidratan de un alcohol, pero estas se obtienen de un alcohol secundario e igualmente son deshidratados.

Propiedades químicas.- Se comportan como reductor, por oxidación el aldehído da ácidos con igual números de átomos de carbono la reacción típica de los aldehídos y cetonas es la adición nucleofílica, Los principales usos de los aldehídos son: La fabricación de resinas, plásticos, solventes, pinturas, perfumes, esencias.

2.2.4.2. Metanol

El compuesto químico metanol, también conocido como alcohol metílico o alcohol de madera, es el alcohol más sencillo. A temperatura ambiente se presenta como un líquido ligero (de baja densidad), incoloro, inflamable y tóxico que se emplea como anticongelante, disolvente y combustible. Su fórmula química es CH_3OH .

En concentraciones elevadas el metanol puede causar dolor de cabeza, mareo, náuseas, vómitos y muerte (la ingestión de 20g a 150g se trata de

una dosis mortal¹). Una exposición aguda puede causar ceguera o pérdida de la visión, ya que puede dañar seriamente el nervio óptico (neuropatía óptica). Una exposición crónica puede ser causa de daños al hígado o de cirrosis. La dosis tóxica mínima de metanol para los humanos es de 100mg por kilogramo de masa corpórea el metanol, a pesar de su toxicidad, es muy importante en la fabricación de medicinas.

SANCHEZ, O, Cardona. Producción biotecnología de bioetanol carburante y obtención de diferentes materia primas consultado 16 de octubre del 2007⁷

CAPITULO III.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

En la presente investigación se utilizó los siguientes materiales y equipos disponibles en el laboratorio de bromatología, de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

3.1.1. Materiales de laboratorio

- * Vaso de precipitación 250, 500 ml

- * Matraz de 250 y 500ml

- * Probeta de 100 ml

- * Matraz erlenmeyer

- * Pipeta de doble aforo

- * Papel filtro

- * Varilla agitadora

3.1.2. Reactivos

- * Agua destilada

- * Hidróxido de sodio (Na OH) 0.5- 0.1N

- * Levaduras silvestres (*saccharomycescerevisiae*)

- * Metabisulfito de potasio

- * Ácido sulfúrico

- * Ácido clorhídrico

3.1.3. Utensilios

- * Recipientes plásticos

- * Bandejas

- * Trampas de agua

- * Bisturí

- * Tamiz

- * Envases de 1000 ml

3.1.4. Equipos de proceso

- * Termómetro

- * Caldera de baño María

- * Destilador

- * Brixometro

- * Balanza analítica

- * Balanza gramera

- * Potenciómetro

3.1.5. Materias prima

- * Granos de sorgo

- * Fosfato de amonio (nutriente)

3.1.6. Otros

- * Cámara fotográfica

- * Materiales de escritorio y oficina, Computadora

- * Infraestructura

3.2. Métodos

3.2.1. Ubicación

El proceso de obtención de etanol a partir de sorgo se realizó en el laboratorio de bromatología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo; los análisis proximales se llevaron a cabo en el laboratorio Agrolap de la ciudad de Santo domingo, mientras que los análisis cromatográficos se los realizó en el laboratorio de química Multianalytica de la ciudad de Quito.

3.2.1.1. Ubicación política.

Provincia: Los Ríos

Cantón: Quevedo

Sector: Quevedo, Km 1 ½ vía a Santo Domingo,

Recinto San Felipe, km 7 ½ vía al empalme

Lugar: UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

3.2.1.2. Ubicación geográfica

Altitudes: 74 metros sobre el nivel del mar

Longitud: 79°28'30" 0

Latitud: 1°2'3"

Temperatura máxima: 32° C

Temperatura mínima: 22° C

3.2.2. Factores de estudio

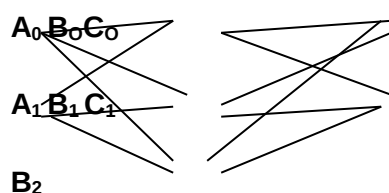
Los factores de estudios que intervienen en este trabajo investigativo son los siguientes:

<u>FACTOR</u>	<u>SÍMBOLO</u>	<u>NIVELES</u>
A) (REACTIVOS PREVIO AL HIDROLIZADO)	a ₀	Ácido sulfúrico al 20 %
	a ₁	Ácido clorhídrico al 20 %

B)(COMBINACIÓN TIEMPO TEMPERATURA)	b_0	86 °c/4 horas
	b_1	88 ° c/ 5 horas
	b_2	90° c/ 6 horas
C) (TEMPERATURAS EN LA FASE DE FERMENTACIÓN)	C_0	22 ° C
	C_1	25 ° C

3.2.3Diseño experimental

Para establecer el mejor tratamiento y los mejores niveles de los factores en estudio, A: dos tipos de reactivos, B: combinación tiempo temperatura en la hidrólisis ácida, C: temperaturas, se aplicara un diseño experimental($A*B*C$) con una repetición.



3.2.3.1. Características del experimento

Para la elaboración de etanol a partir de sorgo se elaboró el diseño factorial A.B.C de la siguiente forma:

Nº de repeticiones: 1

Nº de tratamientos: 12 Unidades experimentales: 24

3.2.4.Prueba de significación

Para detectar diferencias estadísticas entre medias de los tratamientos, luego de realizar el análisis de varianza, se utilizó la Prueba de Rangos de Tukey con un nivel de confianza del 95 % y 5% de probabilidades de error.

3.2.4.1. Tratamientos

Para la elaboración y obtención de etanol a partir de sorgo como parte de su formulación se utilizó el arreglo factorial $A*B*C$.

CUADRON° 1 TRATAMIENTOS A ESTUDIAR

SIMBOLOGIA	DESCRIPCIÓN
$a_0b_0c_0$	Ácido sulfúrico + 86°C/ 4 horas + 22° centígrados
$a_0b_1c_0$	Ácido sulfúrico + 88°C/ 5 horas + 22° centígrados
$a_0b_2c_0$	Ácido sulfúrico + 90°C/ 6 horas + 22° centígrados
$a_0b_0c_1$	Ácido sulfúrico + 86 °C/ 4 horas + 25° centígrados
$a_0b_1c_1$	Ácido sulfúrico+ 88 °C/ 5 horas + 25° centígrados
$a_0b_2c_1$	Ácido sulfúrico + 90 °C/ 6horas + 25° centígrados
$a_1b_0c_0$	Ácido clorhídrico + 86 °C/ 4 horas + 22° centígrados
$a_1b_1c_0$	Ácido clorhídrico +88 °C/ 5 horas + 22° centígrados
$a_1b_2c_0$	Ácido clorhídrico +90 °C/ 6 horas + 22° centígrados
$a_1b_0c_1$	Ácido clorhídrico +86 °C/ 4 horas + 25° centígrados
$a_1b_1c_1$	Ácido clorhídrico +88 °C/ 5 horas + 25° centígrados
$a_1b_2c_1$	Ácido clorhídrico + 90 °C/ 6 horas + 25° centígrados

3.2.5. Análisis de varianza del proceso de evaluación y obtención de etanol hidratado a partir de sorgo.

Tabla esquemática para el diseño A*B*C propuestos para esta investigación.

TABLANº 2

FACTOR DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD
Repeticiones	1
Factor A	2
Factor B	1
Factor C	1
Efecto (A*B)	2
Efecto (A*C)	2
Efecto (B*C)	1
Efecto (A*B*C)	2
Error	11
total	23

3.2.6. Variables a evaluarse

Grados Brix.-Permite conocer el contenido de azúcares y se realizó a los doce tratamientos se llevó a cabo en las etapas de sacarificación y fermentación.

pH.-Medida tomada de la energía de una sustancia, su valor reviste singular importancia en la fermentación, conservación y carácter final, se realizó a los doce tratamientos durante las etapas de sacarificación y fermentación.

Acidez total.-Este análisis se realizó una vez obtenido el etanol a los doce tratamientos y su réplica, bajo las aplicaciones de las normas INEN 341.

Aspecto y color.-Aspecto importante pues permite evaluar la presencia de impurezas se le realizó a los doce tratamientos y su réplica.

Grado alcohólico.-Además de reflejar el grado de pureza del etanol, permite evaluar especialmente la presencia de agua, que es soluble en el etanol e incolora, el presente ensayo se realizó a los doce tratamientos y su réplica una vez obtenido el producto final arrojando mejor resultado el tratamiento N° 6 con 50° alcohólico.

Masa específica.- La masa específica es una medida directa de la proporción de agua y alcohol, se la realiza a los doce tratamientos y su réplica una vez obtenido el producto final.

Rendimiento.- Se realiza a los doce tratamientos, se lo hace mediante balance de materiales una vez que se han tomado todos los pesos se lo hace con el objetivo de tener una referencia del volumen de etanol que arroja cada tratamiento.

3.2.6.1 Caracterización al mejor tratamiento

Grado alcohólico.-Se realizó a todos los tratamientos bajo el método NTE-INEN 340. Además de ser la variable de mayor importancia en la presente investigación

Análisis cromatograficos.- Este método sirve para determinar el contenido de metanol y aldehídos en el producto terminado ya que estos parámetros son de importancia en la producción de bioetanol para llevar a cabo este tipo de análisis se eligieron los tratamientos que arrojaron mayor contenido alcohólico.

3.2.6.2 Toma de datos durante el proceso

En el proceso de sacarificación y fermentación de cada uno de los tratamientos se evaluaron de manera constante los siguientes parámetros: pH y grados Brix durante el proceso, los mismos que fueron determinados con la finalidad de establecer el comportamiento del producto además de servir como indicadores en estos procesos.

3.2.6.3. Toma de datos de las variables de respuesta

A cada tratamiento y su réplica se le realizó análisis de pH y grados Brix durante las etapas de sacarificación y fermentación, para el producto final se determinó: acidez total, aspecto y color, grado alcohólico, grado de etanol, masa específica, además a los tratamientos que obtuvieron mayor grado alcohólico se sometieron a análisis cromatograficos.

3.3. Unidad experimental para el proceso de evaluación y obtención de etanol hidratado a partir de sorgo.

La unidad experimental está constituida de la siguiente manera:

Tiempo requerido para el ensayo: 4 semanas

Total de la muestra: 2.4 kg (12 tratamientos con su respectiva repetición)

Total de muestra por tratamiento: 200 gr de sorgo

Tiempo estimado por cada tratamiento (fermentación): 76 horas

Tiempo entre un tratamiento y otro (repeticiones): 90 horas (los 12 tratamientos y su respectiva repetición)

Nº de tratamientos: 12 tratamientos por una repetición

Número de repeticiones: 1

Unidades experimentales: 24

Tiempo total para determinar las variables respuesta:

pH: 1 minuto

Acidez total: 20 minutos

Aspecto y color: 1 hora

Grado alcohólico: 20 minutos

Grado de etanol: 20 minutos

Análisis cromatográficos: 90 minutos

Masa específica: 1 hora.

3.3.1. Identificación de la zona de recolección de la materia prima

Para este efecto se realizó una identificación del lugar de producción del sorgo para luego proceder a delimitar los puntos específicos de recolección de la materia prima.

Delimitación de la zona o lugar de recolección: La identificación de la zona de recolección de la materia prima se la realizó en la tercera semana del mes de octubre del 2010 en el cantón Montalvo provincia de los Ríos.

3.3.2 Procesamiento para la elaboración y obtención de etanol a partir de sorgo.

Recepción de la materia prima: La recepción de los granos de sorgo se lo realiza con el objetivo de acondicionamiento para las operaciones posteriores.

Limpieza: Se lo realiza con una malla de 0.5 de diámetro para eliminar impurezas de la gramínea.

Pesado: Operación mediante el cual se determinó la cantidad de materia prima que se va a procesar en el presente experimento se trabajo con 200 gramos por cada tratamiento.

Molido.- Se muelen los granos de sorgo con el objetivo de obtener una harina muy fina la cual sirve de sustrato para las posteriores operaciones.

Dilución.- Operación que consiste en diluir los 200 gramos de harina de sorgo en agua destilada para luego adicionar los ácidos para lo cual se trabajó con ácido sulfúrico y clorhídrico al 20 % se agrega el ácido hasta que el pH del jarabe de sorgo descienda a 1 (**hidrólisis del almidón fundamento teórico**).

Hidrólisis.- La harina de sorgo se somete a un proceso de hidrólisis ácida con el objetivo de convertir el almidón del grano en glucosa al trabajar con ácidos diluidos estos necesitan de altas temperaturas y de largos tiempos (**Fernández, Carina - garro Òscar A. Catedráticos de la Universidad Nacional del Nordeste**) para los cuales se trabajó con las siguientes combinaciones: 4 horas/86° C, 5 horas/88° C, 6 horas/90° C, el jarabe obtenido se denomina mosto.

Neutralización.- Proceso químico que se realiza después de la hidrólisis ácida con el objetivo de corregir el pH, consiste en agregar hidróxido de sodio al 0.05% hasta que el pH se encuentre en un rango de 4.5 el cual es idóneo para la siguiente etapa de fermentación.

Refrigeración.- El jarabe ya filtrado se lleva a refrigeración hasta el siguiente día para luego ser inoculado.

Inoculación.- Etapa importante previa a la fermentación es aquí donde se activan las levaduras (*saccharomycescervizae*) en una proporción de 2%.

Fermentación.- Proceso donde los azúcares se convierten a etanol por acción de levaduras, comienza a las 12 o 18 horas de haber agregado la levadura, en esta etapa se evalúo dos temperaturas (22 y 25°).

Durante este periodo se toman muestras para realizar análisis de pH y grados Brix al inicio y al final de la fermentación.

Destilación.- Proceso que se lo realiza en un matraz erlenmeyer y consiste en la separación de dos líquidos con diferentes puntos de ebullición en la presente investigación se trabajó a 65° centígrados, el destilado que se obtiene representa el alcohol en bruto este será transportado al laboratorio, para sus respectivos análisis una vez terminado el proceso el etanol resultante se pesa para la determinación de rendimientos.

Envasado y etiquetado.- Se llenan los envases con el producto, se sellan con tapas, una vez envasado el producto se colocan las etiquetas con las respectivas especificaciones del producto.

CAPITULO IV

4. BALANCE DE MATERIALES Y ANÁLISIS ECONÓMICO.

4.1. BALANCE DE MATERIA Y ANALISIS ECONÓMICO DE LA MEJOR ALTERNATIVA TECNOLÓGICA.

4.1.1. ALTERNATIVA SELECCIONADA

De todos los tratamientos experimentales se ha seleccionado la mejor alternativa tecnológica para la evaluación del proceso de obtención de etanol a partir del almidón de sorgo desde el punto de vista de rendimiento y de grado alcohólico la mejor alternativa resulta ser el tratamiento 6, $a_0 b_2 c_1$ es decir ácido sulfúrico al 20%, 90° C por 6 horas y 25° C en la fermentación.

4.1.2. BALANCE DE MATERIA PRIMA

Balance de materia al mejor tratamiento para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo.

Paso N° 1 Obtención de jarabe

TRATAMIENTO N° 6

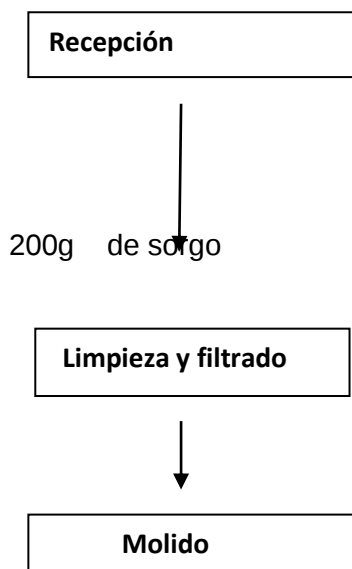
MP

Sorgo = 200g 27.1%

Agua = 400g 54.4%

H₂SO₄ = 16.7g 2.2%

Na OH = 120g 16.3%



736.5 g 100%

200g de harina de sorgo

400g de agua (54.4%)

Dilución relación 1: 2

600g de masa diluida

(81.4%)

16.7 g de H_2SO_4 (2.2%)

Adición del ácido

616.7 g de masa ácida

Diluida (83.7%)

Hidrolizado

59 g de

Agua (8%)

557g de jarabe

(75.6%)

Tamizado

(7.9%)

513g de jarabe

(69.7) %

120g Na OH (16.3) %

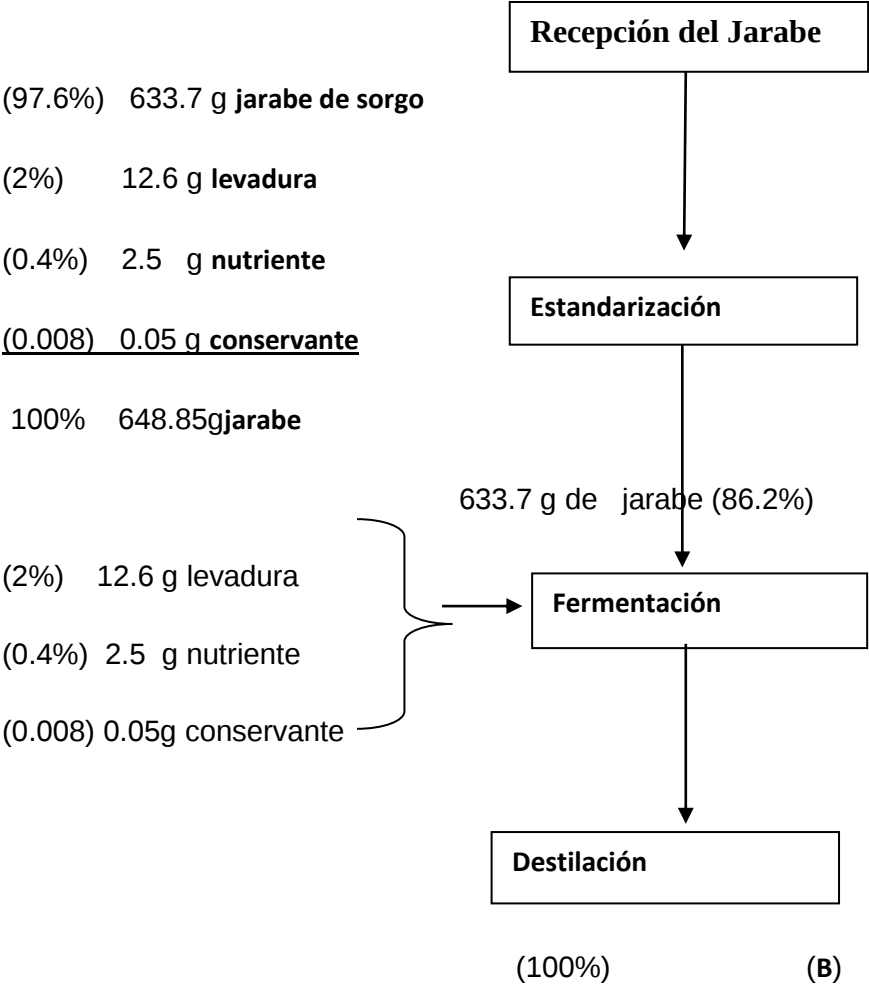
Neutralizado

633.7g de jarabe neutralizado

(86.2%)

Almacenamiento

Paso n ° 2 obtención de etanol



$A = B + C$ 59 g

$C = A - B$ de CO₂

$C = 648.85 - 59$ (9.1%)

$C = 589.85$ 589.85g de jarabe (C)

(90.9%)

483 g stillage(74.4%) (E) ←

$C = E + D$

$$E = 589.15 - 106$$

$$E = 483g$$

106 g de etanol (D)

Almacenamiento

4.1.2.2. Determinación de rendimiento del etanol hidratado partir del almidón de sorgo.

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{106 g}{648.85} \times 100$$

$$\% \text{Rendimiento} = 16.3 \%$$

4.2. ANÁLISIS ECONÓMICO PARA EL MEJOR TRATAMIENTO DE LA ELABORACIÓN DE ETANOL A PARTIR DE SORGO

En la presente investigación el objetivo principal es la obtención de etanol a partir del almidón de sorgo como una alternativa para la ser empleado como biocombustible.

El estudio económico se lo realizó al mejor tratamiento, para su efecto se tomó en cuenta maquinarias y equipo, materiales directos e indirectos mano de obra, depreciación de equipos y maquinarias.

Cuadro N° 1 Maquinarias y equipos utilizados en el proceso

A.- Maquinarias y equipos			
Descripción	Cantidad	Valor unitario \$	Valor total \$
Balanza analítica	1	1200	1200
Balanza Gramera	1	15	15
Equipo de baño María	1	1500	1500
Destilador	1	300	300
Potenciómetro	1	200	200
Brixometro	1	300	300
Termómetro	1	40	40
Mesa de acero	1	300	300
Molino	1	20	20
Matraz de 250 cm ³	2	40	80
Vaso de precipitación	2	20	40
Probeta de 250 ml	1	25	25
TOTAL			\$ 1905

Cuadro N°2 Materiales directos utilizados en el proceso

B.- Materiales directos				
Descripción	Cantidad	Unidad	VU \$	VT\$
Sorgo	200	g	0.075	0.075
Agua	400	g	0.50	0.50

Ácido sulfúrico	16.7	g	0.35	0.35
Hidróxido de sodio	120	g	0.18	0.18
Levadura	12.6	g	0.13	0.13
Fosfato de amonio	2.5	g	0.025	0.025
Metabisulfito de potasio	0.05	g	0.25	0.25
TOTAL				\$ 1.51

VU= Valor unitario

VT=Valor total

Cuadro N° 3 costos de mano de obra directa

C.- Mano de obra directa				
Valor hora	Personal	Descripción	Valor unitario \$	Valor\$
1.00	1	Operario por Una hora	1.00	1.00
TOTAL				\$1.00

Cuadro N° 4 Materiales indirectos utilizados en el proceso

D.- Materiales indirectos utilizados en el proceso				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario \$	Valor total \$
Utensilios	unidad	2	1.00	2.00
Recipientes plásticos	unidad	1	1.00	1.00
Jarra plástica	unidad	1	1.25	1.25
Etiquetas	unidad	2	0.01	0.02
Mangueras	unidad	2	0.45	0.90
Detergente	gramos	1	0.25	0.25
Limpiones	unidad	2	0.10	0.20
Lienzo	metro	1	1.50	1.50
Envases de vidrio	unidad	1	1.75	1.75
Tamiz	unidad	1	0.50	0.50
Papel aluminio	unidad	1	1.10	1.10
TOTAL				\$ 10.27

Cuadro N° 5 Costo de utilización de equipos (depreciación)

E.- Costo de utilización de equipos (depreciación)				
Descripción	Vida útil años	Tiempo de uso en (min)	Valor unitario \$	Depreciación (horas)
Termómetro	2	120	20	0.005
Baño María	7	480	700	0.05
Equipo de destilación	2	120	150	0.031
Balanza analítica	5	10	90	0.0093
Balanza gramera	3	5	15	0.0026
TOTAL				\$ 0.0979

Cuadro N° 6 Suministros utilizados en el proceso

H.-Suministros			
Descripción	Cantidad	Valor unitario \$	Valor total \$
Agua cm ³	0.04	0.5	0.02
Energía(Kw/h)	4	0.1032	0.41
TOTAL			\$ 0.43

Cuadro N° 7 Infraestructura utilizada en el proceso

I.- Infraestructura			
Descripción	Valor diario	Tiempo de uso del tratamiento 6	Valor total \$
Arriendo de laboratorio	1.00	90	4.00
TOTAL			\$ 4.00

Cuadro N° 8 descripciones de los costos totales

COSTOS TOTALES		
Descripción	Valor Total (USD) T₆	Valor total a los 12 tratamientos (USD)
COSTOS VARIABLES:		
Materiales directos	1.51	18.12
Mano de obra directa	1.00	12.00
Materiales indirectos	10,27	123.24
Sumatoria	12.78	153.36
COSTOS FIJOS:		
Descripción		
Depreciación de equipos y maquinarias	0.097	2.16
Suministros	0,43	5.16
Infraestructura	4.00	48
Sumatoria	4.527	55.32
SUMATORIA TOTAL	17.30	208.68

t₆= tratamiento 6

COSTO UNITARIO

$$\text{Costo unitario} = \frac{\text{Costos totales}}{\text{litros de etanol}}$$

$$\text{costo unitario} = \frac{17.30 \text{ USD}}{1.3 \text{ litros}}$$

Costo unitario= 13.3 USD/litros

MARGEN DE BENEFICIO

P.V.P. = Costo Unitario + 12 % de Ganancia

P.V.P. = \$ 13,3 + \$ 1.596 =

P.V.P. = 14.89 \$

Costo variable unitario = $\frac{\text{costos variables totales}}{\text{unidades producidas}}$

Costo variable unitario = $\frac{12.78}{1.3 \text{ lts}} = 9.8$

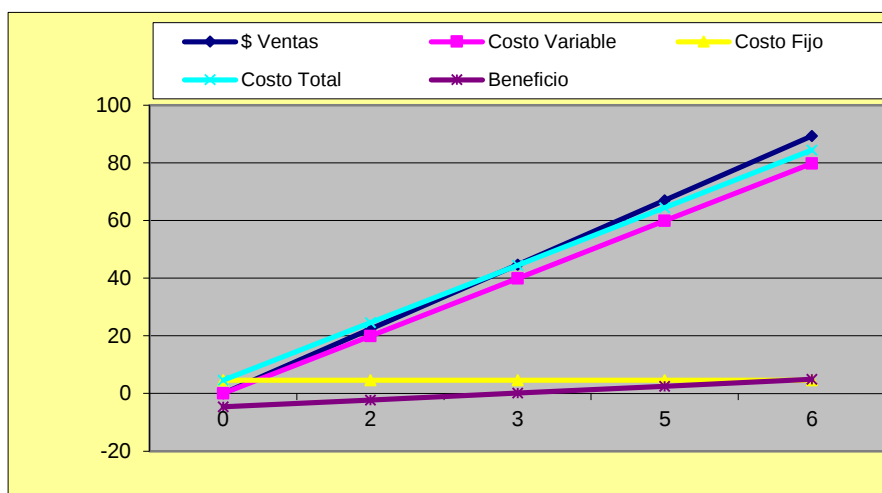
4.3. Punto de equilibrio

Punto de equilibrio=

$$\frac{\text{costo fijo}}{\text{costo unitario} - \text{costo variable unitario}}$$

$$\text{Punto de equilibrio} = \frac{4.61}{13.30 - 9.8}$$

Punto de equilibrio = 1.3 lts



4.4. Análisis y costos del mejor de los tratamientos

Luego de la elaboración y obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo se designó el tratamiento 6 ($a_0b_2c_1$), ácido sulfúrico al 20%, 6 horas/90 ° C en la fase de hidrolisis, 25 ° C en la fase de fermentación, como el mejor en función a los siguientes parámetros analizados y rigiéndose a los análisis físico químicos: se observa que el costo de la investigación que es de 13.3 USD/ lts de etanol de sorgo ; si el producto de la investigación se vendiera, con un margen de utilidad de 1.596 dólares/lts, entonces el PVP sería de 14,89 dólares, que conduciría a obtener un punto de equilibrio 1.3 litros producidos, lo que quiere decir que 2400 g de sorgo producen según esta investigación producen 1.3 litros de etanol (54%).

CAPITULO V

5. RESULTADOS ESTADÍSTICOS

5.1. RESULTADOS FÍSICO QUÍMICOS DE LA EVALUACIÓN ESTADÍSTICA PARA OBTENER ETANOL HIDRATADO A PARTIR DE SORGO.

5.1.1. Características organolépticas del etanol de sorgo aspecto y color

n°	tratamientos	color	aspecto
		sensorial	sensorial
1	$a_0 b_0 c_0$	verde claro	transparente
2	$a_0 b_1 c_0$	café amarillo	ligero turbio
3	$a_0 b_2 c_0$	amarillo pálido	transparente
4	$a_0 b_0 c_1$	amarillo pálido	transparente
5	$a_0 b_1 c_1$	verde claro	transparente
6	$a_0 b_2 c_1$	verde claro	transparente
7	$a_1 b_0 c_0$	amarillo pálido	transparente
8	$a_1 b_1 c_0$	amarillo pálido	transparente
9	$a_1 b_2 c_0$	amarillo	ligero turbio
10	$a_1 b_1 c_1$	amarillo pálido	transparente
11	$a_1 b_1 c_1$	amarillo pálido	transparente
12	$a_1 b_2 c_1$	amarillo pálido	transparente

5.1.1. Análisis de varianza de los grados Brix del jarabe de sorgo

Tabla N° 1

fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	F.T.	
					5%	1%
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:FACTOR A	58,9067	1	58,9067	535,52**	4.84	9.65
B:FACTOR B	39,3775	2	19,6888	178,99**	3.98	7.20
C:FACTOR C	0,0816667	1	0,0816667	0,74	4.84	9.65
D:REPETICIONES	0,06	1	0,06	0,55	4.84	9.65
INTERACCIONES						
AB	6,69083	2	3,34542	30,41**	3.98	7.20
AC	0,54	1	0,54	4,91*	4.84	9.65

BC	25,2708	2	12,6354	114,87**	3.98	9.65
ABC	19,8675	2	9,93375	90,31**	3.98	9.65
ESIDUOS	1,21	11	0,11			
TOTAL (CORREGIDO)	152,005	23				

*** Indica diferencia significativa**

**** indica diferencia altamente significativa**

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

En cuanto a los resultados obtenidos en la tabla N° 1 del análisis de varianza (ADEVA), comparando con los valores de F correspondientes a un nivel de significación del 5 y 1 % se observa que existe diferencia significativa y altamente significativa en el factor A: tipo de reactivo, en el factor B : combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis y en la interacción A.B.C mientras que en el factor C: temperatura en la etapa de fermentación no se encontró diferencia significativa ni altamente significativa tanto al 1 - 5% .

Considerando que el factor A: tipo de reactivo, factor B: combinación tiempo temperatura e interacción A.B.C presentan diferencia altamente significativa en referencia a los grados Brix del jarabe de sorgo, se aplicará tukey al 5%

Pruebas de Múltiple Rangos para °BRIX por factor A: Tipo de reactivo.

Tabla N° 2

Método: 95,0 porcentajes Tukey HSD

FACTOR A	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	12	24,8583	X
0	12	27,9917	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	3,13333	1,74167

*** indica una diferencia significativa**

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

Con respecto a la prueba de tukey con un nivel del 5% de confianza (ver tabla N°2) para el tipo de reactivo determina que el nivel: ácido sulfúrico al 20% presenta diferencia significativa frente al nivel 0: ácido clorhídrico al

20%obteniendo el valor más alto el nivel 0: ácido sulfúrico al 20% y el valor más bajo el nivel 1: ácido clorhídrico al 20%.

Pruebas de Múltiple Rangos para °BRIX por factor B: Combinación tiempo temperatura.

Tabla N ° 3

Método: 95,0 porcentajes Tukey HSD

FACTOR B	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	8	24,8625	X
1	8	26,4125	XX
2	8	28,0	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		-1,55	2,91976
0 - 2	*	-3,1375	2,91976
1 - 2		-1,5875	2,91976

*** indica una diferencia significativa.**

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

Con respecto a la prueba de tukey con un nivel del 5% de confianza (ver tabla N° 3) en lo que respecta a la combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis determina que el nivel 0: 4 horas/86 ° C presenta diferencia significativa frente al nivel 2: 6 horas/90° C, obteniendo el valor más alto el nivel 2: 6 horas/90° C, un valor intermedio el nivel 1: 5 horas/88° C y el valor más bajo el nivel 0: 4 horas/86° C.

Tabla N°4 contrastes múltiples de rangos para grados Brix según interacción (tipo de reactivo - combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis y temperatura en la fase de fermentación).

		t ₇	t ₂	t ₁₀	t ₁	t ₈	t ₉	t ₁₁	t ₄	t ₅	t ₁₂	t ₃	t ₆
		21.7	23.2	23.2	24.5	25	25	26	26.2	26.5	28	29.7	30.7
t ₇	21.7	0	1.5	1.5	2.8*	3.3*	3.3*	4.3	4.5*	4.8*	6.3*	8*	9*
t ₂	23.2		0	0	1.3	1.8*	1.8*	2.8	3*	3.3*	4.8*	6.5*	7.5*
t ₁₀	23.2		0	0	1.3	1.8*	1.8*	2.8	3*	3.3*	4.8*	6.5*	7.5*
t ₁	24.5				0	0.5	0.5	1.5	1.7*	2*	3.5*	5.2*	6.2*
t ₈	25					0	0	1	1.2	1.5	3*	4.7*	5.7*
t ₉	25					0	0	1	1.2	1.5	3*	4.7*	5.7*

t ₁₁	26							0	0.2	0.5	2*	3.7*	4.7*
t ₄	26.2								0	0.3	1.8*	3.5*	4.5*
t ₅	26.5									0	1.5	3.2*	4.2*
t ₁₂	28										0	1.7*	2.7*
t ₃	29.7											0	1
t ₆	30.7												0

Estadístico de prueba: 0.080187566

***Indica diferencia significativa**

Analizando la prueba de tukey con un margen de error del 5% para la interacción ABC: tipo de reactivo – combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis – temperatura en la fase de fermentación (ver tabla N° 4, anexo) se establece que el nivel más alto lo obtuvo el tratamiento 6(a₀b₂c que corresponde ácido sulfúrico al 20% - 6 horas/90° C en la hidrólisis – 25° C en la fase de fermentación con un promedio 30.7° Brix, mientras que el tratamiento que obtuvo el valor más bajo es el 7 (a₁b₀c₀ que corresponde ácido clorhídrico al 20% - 4 horas/86° C en la hidrólisis – 22° C en la fase de fermentación) con un promedio de 21.7° Brix también existe diferencia significativa entre los siguientes tratamientos : 6 y 7, 6 y

2, 6 y 10, 6 y 1, 6 y 8, 6 y 9, 6 y 11, 6 y 4, 6 y 5, 6 y 12, 6 y 3, 3 y 7, 3 y 2, 3 y 10, 3 y 1, 3 y 8, 3 y 9, 3 y 11, 3 y 4, 3 y 5, 3 y 12, 12 y 7, 12 y 2, 12 y 10, 12 y 1, 12 y 8, 12 y 9, 12 y 11, 12 y 4, 12 y 5, 5 y 7, 5 y 2, 5 y 10, 5 y 1, 5 y 8, 5 y 9, 5 y 11, 5 y 4, 4 y 7, 4 y 2, 4 y 10, 4 y 1, 4 y 8, 4 y 9, 4 y 11, 11 y 7, 11 y 2, 11 y 10, 11 y 1, 11 y 8, 11 y 9, 9 y 7, 9 y 2, 9 y 10, 9 y 1, 9 y 8, 8 y 7, 8 y 2, 8 y 10, 8 y 1, 1 y 7, 1 y 2, 1 y 10, mientras que en los siguientes tratamientos no existe diferencia significativa: 2 y 10, 8 y 9, 10 y 2, 10 y 7, 2 y 7.

5.1.1.2. ANÁLISIS DE VARIANZA DE PH EN LA FASE DE HIDROLISIS PARA OBTENER ETANOL HIDRATADO A PARTIR DE SORGO

Tabla N° 5 Análisis de Varianza para pH del jarabe

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
					5%	1%
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:FACTOR A	0,0816667	1	0,0816667	1,97	4.84	9.65
B:FACTOR B	0,0325	2	0,01625	0,39	3.98	7.20
C:FACTOR C	0,0266667	1	0,0266667	0,64	4.84	9.65

D:REPETICIONES	0,015	1	0,015	0,36	4.84	9.65
INTERACCIONES						
AB	0,130833	2	0,0654167	1,58	3.98	7.20
AC	0,0416667	1	0,0416667	1,01	4.84	9.65
BC	0,110833	2	0,0554167	1,34	3.98	7.20
ABC	0,0258333	2	0,0129167	0,31	3.98	7.20
RESIDUOS	0,455	11	0,0413636			
TOTAL (CORREGIDO)	0,92	23				

* Indica diferencia significativa

** indica diferencia altamente significativa

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

En cuanto a los resultados obtenidos en la tabla N° 4 del análisis de varianza (adeva), comparando con los valores de f correspondiente a un nivel de significación del 95 % se observa que no existe diferencia significativa ni altamente significativa en el factor A, en el factor B, en el factor C ni en las interacciones por lo que se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula con un nivel de confianza del 95%.

5.1.1.3. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA GRADO ALCOHÓLICO

Tabla N° 7 análisis de varianza para grado alcohólico

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	F.T.	
					5%	1%
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:FACTOR A	126,042	1	126,042	336,11**	4.84	9.65
B:FACTOR B	252,25	2	126,125	336,33**	3.98	7.20
C:FACTOR C	135,375	1	135,375	361,00**	4.84	9.65
D:REPETICIONES	0,375	1	0,375	1,00	4.84	9.65
INTERACCIONES						
AB	164,583	2	82,2917	219,44**	3.98	7.20
AC	92,0417	1	92,0417	245,44**	4.84	9.65
BC	61,75	2	30,875	82,33**	3.98	7.20
ABC	26,0833	2	13,0417	34,78**	3.98	7.20
RESIDUOS	4,125	11	0,375			
TOTAL (CORREGIDO)	862,625	23				

* Indica diferencia significativa

**** indica diferencia altamente significativa**

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

En cuanto a los resultados en la tabla N° 7 del análisis de varianza (ADEVA), comparando con el valores f correspondiente a un nivel de significación del 5 y 1% se observa que existe diferencia significativa y altamente significativa en el factor A: tipo de reactivo, factor B: combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis, C: temperatura en la fase de fermentación, al igual que en interacciones se halló diferencia altamente significativa.

Considerando que el factor A: tipo de reactivo, factor B: combinación tiempo temperatura factor C: temperatura en la fase de fermentación factores que presentan diferencia significativa en cuanto a los grados alcohólicos del etanol de sorgo, se aplicará tukey al 5%.

Pruebas de Múltiple Rangos para grado alcohólico por factor B: Combinación tiempo temperatura

Tabla N° 8 Método: 95,0 porcentajes LSD

FACTOR B	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	8	38,5	X
0	8	40,875	XX
2	8	46,25	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		2,375	5,60586
0 - 2		-5,375	5,60586
1 - 2	*	-7,75	5,60586

*** indica una diferencia significativa.**

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

Con respecto a la prueba de tukey con un nivel del 5% de confianza (ver tabla N° 8) en lo que respecta a la combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis que el nivel 1: 5 horas/88 ° C presenta diferencia significativa frente al nivel 2: 6 horas/90° C, obteniendo el valor más alto el nivel 2: 6 horas/90° C, un valor intermedio el nivel 0: 4 horas/86° C y el valor más bajo el nivel 1: 5 horas/88° C.

Pruebas de Múltiple Rangos para grado alcohólico por factor A

Tabla N° 9 Método: 95,0 porcentajes LSD

FACTOR A	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	12	47,8583	X
0	12	49,9917	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	2,1334	1,60586

*** indica una diferencia significativa**

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

Con respecto a la prueba de tukey con un nivel del 5% de confianza (ver tabla N° 9) en lo que respecta al tipo de reactivo previo a la hidrólisis el nivel 0: ácido sulfúrico al 20% presenta diferencia significativa frente al nivel 1: ácido clorhídrico

Al 20% obteniendo el valor más alto el nivel 0: ácido sulfúrico al 20%, y el valor más bajo el nivel 1: ácido clorhídrico al 20%

Pruebas de Múltiple Rangos para grado alcohólico por factor C: temperatura en la fase de fermentación.

Tabla N° 10 Método: 95,0 porcentajes LSD

FACTOR C	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	12	38.6	X
1	12	45.6	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	7,0	1,60586

*** indica una diferencia significativa**

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

Con respecto a la prueba de tukey con un nivel del 5% de confianza (ver tabla N° 10) en lo que respecta a la temperatura en la fase de fermentación el nivel 1: 25° C presenta diferencia significativa frente al nivel 0: 22° C obteniendo el valor más alto el nivel 1: 25 ° C, y el valor más bajo el nivel 0: 22° C.

Tabla N° 11 contrastes múltiples de rangos para grado alcohólico según (interacción tipo de reactivo - combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis y temperatura en la fase de fermentación).

		T ₉	T ₈	T ₁₀	T ₄	T ₅	T ₇	T ₁	T ₂	T ₁₂	T ₁₁	T ₃	T ₆
		30	35	38	39	40	40	41	47	47	48	49	50
T ₉	30	0	5	8	9*	10*	10*	11*	17*	17*	18*	19*	20*
T ₈	35		0	3	4	5	5	6	12*	12*	13*	14*	15*
T ₁₀	38			0	1	2	2	3	9*	9*	10*	11*	12*
T ₃	39				0	1	1	2	8	8	9*	10*	11*
T ₅	40					0	0	1	7	7	8	9*	10*
T ₇	40					0	0	1	7	7	8	9*	10*
T ₁	41							0	6	6	7	8	9*
T ₂	47								0	0	1	2	3
T ₁₂	47								0	0	1	2	3
T ₁₁	48										0	1	2
T ₄	49											0	1
T ₆	50												0

Estadístico de prueba: 0.180187566

***Indica diferencia significativa**

Analizando la prueba de tukey con un margen de error del 5% para la interacción ABC: tipo de reactivo – combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis – temperatura en la fase de hidrólisis (ver tabla N° 11), se establece que el nivel más alto lo obtuvo el tratamiento 6 (a₀b₂c₁ que corresponde, ácido sulfúrico al 20% - 90° C por 6 horas y 25° C en la fase de fermentación y el tratamiento 4 (a₀b₀c₁ que corresponde ácido sulfúrico al 20% 86° C por 4 horas y 25° C en la fase de fermentación) con un promedio de 50 y 49 % de grado alcohólico, mientras que el tratamiento que obtuvo el valor más bajo es el 9 (a₁b₂c₀ácido clorhídrico al 20 % 90° C por 6 horas y 22° C en la fase de fermentación) con un promedio de 30% de grado alcohólico también presenta diferencia significativa los siguientes tratamientos: 6 y 9, 6 y 8, 6 y 10, 6 y 3, 6 y 5, 6 y 7, 6 y 1, 6 y 2, 6 y 12, 6 y 11, 6 y 4, 4 y 4 y 9, 4 y 8, 4 y 10, 4 y 3, 4 y 5, 4 y 7, 4 y 1, 4 y 2, 4 y 12, 4 y 11, 11 y 9, 11 y 8, 11 y 10, 11 y 3, 11 y 5, 11 y 7, 11 y 1, 11 y 2, 11 y 12, 12 y 9, 12 y 8, 12 y 10, 12 y 3, 12 y 5, 12 y 7, 12 y 1, 12 y 2, 2 y 9, 2 y 8, 2 y 10, 2 y 3, 2 y 5, 2 y 7, 2 y 1, 2 y 1, 1 y 9, 1 y 8, 1 y 1 y 10, 1 y 3, 1 y 5, 1 y 7, 7 y 9, 7 y 8, 7 y 10, 7 y 3, 7 y 5, 5 y 9, 5 y 8, 5 y 10, 5 y 3, 3 y 9, 3 y 8, 3 y 10, mientras que en los siguientes tratamientos no existe diferencia significativa: 5 y 7, 2 y 12, 10 y 8, 10 y 9, 9 y 8.

5.1.1.5 ANÁLISIS DE ACIDEZ TOTAL PARA OBTENER ETANOL HIDRATADO A PARTIR DE SORGO

Tabla N° 12Análisis de Varianza para acidez total

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
					5%	1%
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:FACTOR A	0,00481667	1	0,00481667	2788,6**	4.84	9.65
B:FACTOR B	0,000721583	2	0,000360792	208,88**	3.98	7.20
C:FACTOR C	0,00000266667	1	0,00000266667	1,54	4.84	9.65
D:REPETICIONES	0,000006	1	0,000006	3,47	4.84	9.65
INTERACCIONES						
AB	0,00960808	2	0,00480404	2781,2**	3.98	7.20
AC	0,0122402	1	0,0122402	7086,4**	4.84	9.65
BC	0,00166658	2	0,000833292	482,43**	3.98	7.20
ABC	0,00661308	2	0,00330654	1914,3**	3.98	7.20
RESIDUOS	0,000019	11	0,00000172727			
TOTAL (CORREGIDO)	0,0356938	23				

* Indica diferencia significativa

** indica diferencia altamente significativa

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

En cuanto a los resultados en la tabla N° 12 del análisis de varianza (ADEVA), comparando con el valores f correspondiente a un nivel de significación del 5 y 1% se observa que existe diferencia significativa y altamente significativa en el factor A: tipo de reactivo, factor B: combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis, de igual forma en las interacciones existe diferencia significativa y altamente significativa.

Considerando que el factor A: tipo de reactivo, factor B: combinación tiempo temperatura y las interacciones presentan diferencia altamente significativa en cuanto a los grados alcohólicos del etanol de sorgo, se aplicará tukey al 5%

Tabla N° 13pruebas múltiples para acidez total factor A: Tipo de reactivo

Método: 95,0 porcentajes Tukey HSD

FACTOR A	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	12	0.2213	X
1	12	0,2498	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0,0285	0.008346

*** indica una diferencia significativa**

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

Con respecto a la prueba de tukey con un nivel del 5% de confianza (ver tabla N° 13) en lo que respecta al tipo de reactivo previo a la hidrolisisel nivel 1: ácido clorhídrico al 20% presenta diferencia significativa frente al nivel 0: ácido sulfúrico al 20% obteniendo el valor más alto el nivel 1: ácido clorhídrico al 20%, y el valor más bajo el nivel 0: ácido sulfúrico al 20%.

Tabla N° 14 pruebas múltiples para acidez total factor B: Combinación tiempo temperatura

Método: 95,0 porcentajes Tukey HSD

FACTOR B	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	8	0.2315	X
2	8	0.2332	XX
1	8	0.242	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.0105	0.008346
0 - 2		0.0017	0.008346
1 - 2		0.0088	0.008346

Con respecto a la prueba de tukey con un nivel del 5% de confianza (ver tabla N° 14) en lo que respecta al tiempo y temperatura en la fase de hidrolisis el nivel 1: 88° c/5 horas presenta diferencia significativa frente al nivel 0: 86°C/4 horas obteniendo el valor más alto el nivel 1: 88° C/5 horas, y el valor más bajo lo obtuvo el nivel 0: 88° C/5 horas mientras que el nivel 2 : 90° C/6 horas obtuvo un nivel medio.

Tabla N° 15 contrastes múltiples de rangos para acidez total según interacción (tipo de reactivo - combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis y temperatura en la fase de fermentación).

		t ₂	t ₄	t ₁	t ₉	t ₆	t ₁₂	t ₇	t ₁₁	t ₅	t ₃	t ₁₀	t ₈
		0.174	0.196	0.199	0.201	0.224	0.225	0.240	0.240	0.252	0.283	0.291	0.302
t ₂	0.174	0	0.02	0.025	0.027	0.05	0.051	0.066	0.066	0.078	0.109	0.177	0.128
t ₄	0.196		0	0.003	0.003	0.028	0.029	0.044	0.044	0.056	0.087	0.095	0.106
t ₁	0.199			0	0.002	0.025	0.026	0.041	0.041	0.053	0.084	0.092	0.103
t ₉	0.201				0	0.023	0.024	0.039	0.039	0.051	0.082	0.09	0.101
t ₆	0.224					0	0.001	0.016	0.016	0.028	0.059	0.067	0.078
t ₁₂	0.225						0	0.015	0.015	0.027	0.058	0.058	0.077
t ₇	0.240							0	0	0.012	0.043	0.051	0.051
t ₁₁	0.240							0	0	0.012	0.043	0.051	0.051
t ₅	0.252									0	0.031	0.039	0.05
t ₃	0.283										0	0.008	0.019
t ₁₀	0.291											0	0.011
t ₈	0.302												0

Estadístico de prueba: 0.080187566

***Indica diferencia significativa**

Analizando la prueba de tukey con un margen de error del 5% para la interacción ABC: tipo de reactivo – combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis – temperatura en la fase de fermentación (ver tabla N°15), se establece que el nivel más alto de acidez total lo obtuvo el tratamiento 8 (a₁b₁c₀ que corresponde, ácido clorhídrico al 20% - 88° C por 5 horas y 22 ° C en la fase de fermentación y el tratamiento 10 (a₁b₀c₁ que corresponde ácido clorhídrico al 20% 86° C por 4 horas y 25° C en la fase de fermentación) con un promedio de 0.302 y 0.291 % de acidez total , mientras que el tratamiento que obtuvo el valor más bajo es el 2(a₀b₁c₀ ácido sulfúrico al 20 % 88° C por 5 horas y 22° C en la fermentación), con

un promedio de 0.174 % de acidez total también presentan diferencia significativa los siguientes tratamientos; 8 y 10, 8 y 3, 8 y 5, 8 y 11, 8 y 7, 8 y 12, 8 y 6, 8 y 9, 8 y 1, 8 y 4, 8 y 2, 10 y 3, 10 y 5, 10 y 11, 10 y 7, 10 y 12, 10 y 6, 10 y 9, 10 y 1, 10 y 4, 10 y 2, 3 y 5, 3 y 11, 3 y 7, 3 y 12, 3 y 6, 3 y 9, 3 y 1, 3 y 1, 4, 3 y 2, 5 y , 11 y 12, 11 y 6, 11 y 9, 11 y 1, 11 y 4, 11 y 2, 7 y 12, 7 y 6, 7 y 9, 7 y 1, 7 y 4, 7 y 2, 12 y 6, 12 y 9, 12 y 1, 12 y 4, 12 y 2, 6 y 9, 6 y 1, 6 y 4, 6 y 2, 9 y 1, 9 y 4, 9 y 2, mientras que en los siguientes tratamientos no existe diferencia significativa: 7 y 11, 1 y 4, 1 y 2, 2 y 4,.

5.1.1.6. ANÁLISIS DE VARIANZA DE DENSIDAD ESPECÍFICA

Tabla N° 16 Análisis de Varianza para densidad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	
					5%	1%
EFECTOS PRINCIPALES						
A:FACTOR A	0,00000912667	1	0,00000912667	60,84**	4.84	7.20
B:FACTOR B	0,000324061	2	0,00016203	1080,2**	3.98	7.20
C:FACTOR C	0,000388815	1	0,000388815	2592,1**	4.84	9.65
D:REPETICIONES	2,4	1	2,4	1,60	4.84	9.65
INTERACCIONES						
AB	0,00462704	2	0,00231352	15423,4**	3.98	7.20
AC	0,00382538	1	0,00382538	25502,50**	4.84	9.65
BC	0,00151226	2	0,000756129	5040,86**	3.98	7.20
ABC	0,00129853	2	0,000649264	4328,43**	3.98	7.20
RESIDUOS	0,00000165	11	1,5			
TOTAL (CORREGIDO)	0,0119871	23				

* Indica diferencia significativa

** indica diferencia altamente significativa

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

En cuanto a los resultados en la tabla N° 16 del análisis de varianza (ADEVA), comparando con el valores f correspondiente a un nivel de significación del 5 y 1% se observa que existe diferencia significativa y altamente significativa en el factor A: tipo de reactivo, factor B: combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis, factor C: temperatura en fase de fermentación de igual forma en las interacciones existe diferencia significativa y altamente significativa.

considerando que el factor A: tipo de reactivo, factor B: combinación tiempo temperatura factor C: temperatura en la fase de fermentación y las interacciones presentan diferencia altamente significativa en cuanto a los grados alcohólicos del etanol de sorgo, se aplicará tukey al 5%.

Tabla N° 17prueba múltiple de rango para densidad específica factor

A: Tipo de reactivo.

Método: 95,0 porcentajes Tukey HSD

FACTOR A	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	12	5.6527	X
0	12	5.6635	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0,0108	0.008346

* indica una diferencia significativa

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

Con respecto a la prueba de tukey con un nivel del 5% de confianza (ver tabla N° 17) en lo que respecta al tipo de reactivo previo a la hidrolisis el nivel 0: ácido sulfúrico al 20% presenta diferencia significativa frente al nivel 1: ácido clorhídrico al 20% obteniendo el valor más alto el nivel 0: ácido sulfúrico al 20%, y el valor más bajo el nivel 0: ácido clorhídrico al 20%.

Tabla N° 18 pruebas múltiples de rango para densidad específica factor B: Combinación tiempo temperatura.

Método: 95,0 porcentajes Tukey HSD

FACTOR B	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	8	3.726	X
2	8	3.7874	XX
0	8	3.8028	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.0768	0.008346
0 - 2		0.0154	0.008346
1 - 2		0.0614	0.008346

Con respecto a la prueba de tukey con un nivel del 5% de confianza (ver tabla N° 18) en lo que respecta al tiempo y temperatura en la fase de hidrolisis el nivel 0: 86° C/4 horas presenta diferencia significativa frente al nivel 1: 88° C/5 horas obteniendo el valor más alto el nivel 0: 86° C/4 horas, y el valor más bajo lo obtuvo el nivel 1: 88° C/5 horas mientras que el nivel 2 : 90° C/6 horas obtuvo un nivel medio.

Prueba múltiple de rangos para grado densidad específica factor C: Temperatura en la fase de fermentación.

Tabla N° 19 Método: 95,0 porcentajes LSD

FACTOR C	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	12	5.6527	X
0	12	5.6635	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	0.0108	0.008346

*** indica una diferencia significativa**

Fuente: Leonardo Marín S. 2011

Con respecto a la prueba de tukey con un nivel del 5% de confianza (ver tabla N° 19) en lo que respecta a la temperatura en la fase de fermentación el nivel 0: 22° C presenta diferencia significativa frente al nivel 1: 25° C obteniendo el valor más alto el nivel 0: 22 ° C, y el valor más bajo el nivel 1: 25° C

Tabla N° 20 contrastes múltiples de rangos para densidad específica según interacción (tipo de reactivo - combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis y temperatura en la fase de fermentación).

		t ₁₁	t ₂	t ₉	t ₄	t ₁₂	t ₇	t ₅	t ₃	t ₁	t ₁₀	t ₆	t ₈
		0.9009	0.9028	0.9335	0.9357	0.9362	0.9428	0.9476	0.9508	0.9589	0.9654	0.9669	0.9747
t ₁₁	0.9009	0	0001.9	0.0326	0.0348	0.0353	0.0419	0.0467	0.0499	0.058	0.0645	0.066	0.0738
t ₂	0.9028		0	0.0307	0.0329	0.0334	0.04	0.0448	0.048	0.0561	0.0626	0.0641	0.0719
t ₉	0.9335			0	0002.2	0002.7	0009.3	0.0141	0.0173	0.0254	0.0319	0.0334	0.0412
t ₄	0.9357				0	0000.5	0007.1	0.0119	0.0151	0.0232	0.0297	0.0312	0.039
t ₁₂	0.9362					0	0006.6	0.0114	0.0146	0.0227	0.0292	0.0307	0.0376
t ₇	0.9428						0	0004.8	0008	0.0161	0.0226	0.0241	0.0319
t ₅	0.9476							0	0003.2	0.0113	0.0178	0.0193	0.0271
t ₃	0.9508								0	0008.1	0.0146	0.0161	0.0239
t ₁	0.9589									0	0006.5	0008	0.0158
t ₁₀	0.9654										0	0001.5	0009.3
t ₆	0.9669											0	0007.8
t ₈	0.9747												0

Analizando la prueba de tukey con un margen de error del 5% para la interacción ABC: tipo de reactivo – combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis –

temperatura en la fase de hidrólisis (ver tabla N°20), se establece que el nivel más alto de densidad específica lo obtuvo el tratamiento 8 ($a_1b_1C_0$ que corresponde, ácido clorhídrico al 20% - 88° C por 5 horas y 22 ° C en la fase de fermentación y el tratamiento 6 ($a_0b_2C_1$ que corresponde ácido sulfúrico al 20% 90° C por 6 horas y 25° C en la fase de fermentación) con un promedio de 0.9747 y 0.9669 % de densidad , mientras que el tratamiento que obtuvo el valor más bajo es el 11($a_1b_1C_1$ ácido clorhídrico al 20 %, 88° C por 5 horas y 22° C en La fermentación), con un promedio de 0.9009 % de densidad específica también presentan diferencia significativa los siguientes tratamientos; 8 y 6, 8 y 10, 8 y 1, 8 y 3, 8 y 5, 8 y 7, 8 y 12, 8 y 9, 8 y 1, 8 y 4, 8 y 2, 10 y 3, 10 y 5, 10 y 11, 10 y 7, 10 y 12, 10 y 6, 10 y 9, 10 y 1, 10 y 4, 10 y 2, 3 y 5, 3 y 11, 3 y 7, 3 y 12, 3 y 6, 3 y 9, 3 y 1, 3 y 1, 4, 3 y 2, 5 y , 11 y 12, 11 y 6, 11 y 9, 11 y 1, 11 y 4, 11 y 2, 7 y 12, 7 y 6, 7 y 9, 7 y 1, 7 y 4, 7 y 2, 12 y 6, 12 y 9, 12 y 1, 12 y 4, 12 y 2, 6 y 9, 6 y 1, 6 y 4, 6 y 2, 9 y 1, 9 y 4, 9 y 2, mientras que en los siguientes tratamientos no existe diferencia significativa: 7 y 11, 1 y 4, 1 y 2, 2 y 4.

5.1.1.7. Análisis cromatográficos a los dos mejores tratamientos

Tabla N° 21 resultados cromatográficos de los tratamientos 4 y 6

CODIGO INTERNO	CODIGO MUESTRA	PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO INTERNO	METODO DE REFERENCIA
2997 ^a	M1	Aldehídos	mg/100cc	7.9	MFQ - 174	CLC
		Metanol	mg/100cc	<0.01	MFQ - 49	CLC
2997 ^b	M2	Aldehídos	mg/100cc	3.3	MFQ - 174	CLC
		Metanol	mg/100cc	<0.01	MFQ - 49	CLC

FUENTE: Multianalitica Cía. Ltda.

Elaboración: Leonardo Marín S. 2011.

5.1.1.8. Resultados del balance de materiales

Después de los respectivos análisis, se eligió al tratamiento 6, de combinación ácido sulfúrico al 20 %, 6 horas por 90° C en la hidrólisis y 22 ° C en la fase de fermentación que se encuentra con valores más altos en cuanto a grado alcohólico y rendimiento final con relación al resto de los tratamientos, en los resultados de las características organolépticas se determinó que el color del etanol del tratamiento 6 es verde claro y un aspecto transparente para los análisis cromatográficos se eligieron los tratamientos 4 y 6 por su composición físico química, los resultados indican , que se necesita 646 g de jarabe de sorgo

hidrolizado de los cuales componen (200 g de harina de sorgo, 400 g de agua, 12.6 g de levadura *saccharomyces cerevisiae*, 2.5 g de nutriente) tal efecto da como resultado que el tratamiento 6 tenga 106 g de producto terminado con rendimiento del 16.3% y una pérdida de 481 g de stillage (74.4%) con grado alcohólico de 50°.

CAPITULO VI

6. DISCUSIÓN

De acuerdo a los valores obtenidos en el presente proyecto de investigación, se analizó los resultados que a continuación se va a interpretar.

6.1. **Discusión para los análisis físico químicos del etanol a partir de sorgo**

6.1.1. Grados Brix

Los resultados de grados Brix del jarabe de sorgo presentaron valores más altos cuando se utilizó ácido sulfúrico al 20% dando una media de 27 ° Brix los mismos que se consideran valores altos según la **NORMA INEN2337**; 2008. En su titulado requisitos para jugos el cual indican que ° Brix que se encuentren en un rango de 22 – 23° son valores altos para néctares, sin embargo estos valores de sólidos solubles son ideales en lo referente a jarabes para su conversión a etanol según (J.M. Bvochora y col., 2000) debido a que estos son indispensable en la fase de fermentación, ya que estas moléculas de glucosa se desdoblan a etanol por acción de microorganismos, siendo el nivel B₀ en el factor B 6 horas/90°C el que brindó valores más altos, se trabajó con temperaturas alta y tiempos largos en la fase de hidrólisis debido a que son necesarios para trabajar con ácidos diluidos (Larson 2000) en el caso de las temperaturas permiten una mayor adsorción de agua en la mezcla, además provocan la ruptura del granulo del almidón, dispersión de las moléculas aumentando la viscosidad de la mezcla tanto en condiciones ácidas como alcalinas, el calentamiento de los azúcares también favorece algunos mecanismos que implican la polimerización y epilimerización de los monosacáridos.

6.1.1.1. pH del jarabe hidrizado

Los factores de estudio de la presente investigación no incidieron en los valores promedio de pH en la fase de fermentación debido a que en el momento que se adicionó el ácido todos los pH de los tratamientos descendieron a 1 pues ese es un indicador para la hidrólisis ácida (**hidrólisis del almidón fundamentos teóricos**) este valor vario escasamente hasta el término de la fase de hidrólisis una vez culminada se adicionó hidróxido de sodio con el objetivo de corregir el pH los

cuales se encuentran dentro del rango según **Vargas 1992**, quien menciona que el pH óptimo para el desarrollo de levaduras es de 4.5 además de ser uno de los parámetros más importantes de esta etapa ya que durante esta el pH tiende a bajar conforme pasa el tiempo.

6.1.1.2. Grado alcohólico

En lo que se refiere al grado alcohólico se determinó que los factores de estudio de la presente investigación si influyen en los grados alcohólicos del producto final debido a que el ácido que se utilizó (ácido sulfúrico) es mucho más corrosivo y fuerte que el clorhídrico lo que permitirá obtener un jarabe con valores elevados de grados Brix, en cuando al factor B la combinación que mejor resultado dio fue la 6 horas/90° C por lo que a temperaturas y tiempos superiores permite una mayor transformación de las moléculas de almidón a glucosa como así sucedió (**Tabla 7 de los anexos**) los cuales permiten hacer ensayos de fermentación.

En cuanto al factor C: Temperaturas en la fase de fermentación también incide en los grados alcohólicos, obteniéndose mejores resultados con la temperatura de 25 °C debido a que a temperaturas medias es más fácil conseguir un mayor contenido alcohólico ya que temperaturas mayores estas producen fermentaciones más rápidas provocándose así que se agoten las levaduras corriendo el riesgo de que haya paradas de fermentación (**Cadmus et al.1966**) cabe señalar que para la presente investigación también se usaron como

indicadores el pH y grados Brix que se consumieron durante esta etapa (**ver tabla 7 y 8 de los anexos**) los cuales nos permiten determinar rendimientos de fermentación y la conversión de glucosa a etanol cuyos valores en comparación con el contenido alcohólico de otras materias primas como la caña de azúcar son bajos **NTE – INEN 340 Bebidas alcohólicas. Aguardiente de caña rectificado: requisitos**, el grado alcohólico a 15 °C a nivel de producto es de 85 °GL mínimo

6.1.1.3. Acidez total

Los resultados de la acidez total reflejan que los valores de este factor se encuentran por debajo de los rangos de acidez total **Especificaciones de calidad para etanol carburante hidratado reglamento técnico centroamericano de biocombustible**. El cual establece como un rango máximo de 30 ml/lts de acidez

total en el etanol, mientras que el valor más elevado de acidez total fue el del tratamiento 8 (ácido clorhídrico al 20%, 5 horas/86 °C, 25 °C en la fase de fermentación) cuyo valor fue de 0.302 ml/lts, los resultados de acidez total estuvieron influenciados directamente por el factor de estudio A: Tipo de reactivo, factor B: Combinación tiempo temperatura y la interacción A.B.C, debido a que el primer factor actúa como catalizador en el proceso que combinadas con condiciones severas (tiempo largos temperaturas altas) provocan la hidrólisis total del almidón del grano modificando la acidez del jarabe **Jeanjean(1995)** parámetro que debe de ser analizado en el producto final pues refleja el poder corrosivo del etanol.

6.1.1.4. Densidad específica

Los valores medias de densidad específica que arrojaron los tratamientos es de 0.9430 ml/lts valores que superan los valores **Especificaciones de calidad para**

etanol carburante hidratado reglamento técnico centroamericano de biocombustible. El cual establece como un rango máximo 0.80 ml/lts, La masa específica es una medida indirecta de la relación agua alcohol, si es elevada puede indicar gran cantidad de agua si la densidad es liviana puede indicar contenido de material liviano como metanol y aldehídos (**Pedro Ramos Castellanos 2004**), los resultados de densidad específica que arrojaron los tratamientos se vieron influenciados por el factor A: Tipo de reactivo, factor B: Combinación tiempo temperatura y factor C: Temperatura en la fase de fermentación, debido a que si aumenta la temperatura de un cuerpo el volumen aumenta disminuyendo la densidad, en consecuencia la densidad será inversamente proporcional a la temperatura.

6.1.1.5. Rendimiento

En lo que se refiere al rendimiento del jarabe y del producto final, se determinó que el tratamiento 6 (ver anexo 9) , arrojó los valores más alto en el jarabe de sorgo con un volumen de 633.7 g (86.2 %) de igual manera en los rendimiento finales el tratamiento 6, fue el que arrojó valores más alto con un peso de 106 g (16.3%) y el tratamiento 3 con un peso de 98g (15.2%) mientras que los tratamientos que arrojaron valores más bajos en cuanto a rendimiento final fueron T 10 con un peso de 77 g y el tratamiento 12 con un peso de 76 g de etanol, cabe mencionar que al

compararlos con los demás tratamientos los valores obtenidos son más altos sin considerar el grado alcohólico, y teniendo en cuenta que el rendimiento de volumen y grado alcohólico es mayor en con materias primas ricas en azúcar que son superiores comparado con el volumen y grado alcohólico a partir de almidón.

6.1.1.5. **Discusión en referencia a los análisis cromatograficos**

Los análisis cromatograficos al cual fueron sometidos los tratamiento 6 y 4 por su contenido elevado alcohólico cuyos valores fueron mayor en comparación con los demás ensayos, en los cuales se evaluó contenido de aldehídos y metanol arrojando los siguientes valores 7.9 ml/100cc de aldehídos y < 0.01 de metanol, cabe mencionar que estos alcoholes se encuentran en el etanol en distintas proporciones, en el caso de los aldehídos se forman por oxidación de alcoholes, mientras que la presencia del metanol dependerá de la composición del etanol, compuesto que se considera nocivo para la salud humana debido a su toxicidad, cuyo contenido sea cual sea el uso del bioetanol no deberá exceder 10 ml/100cc según **INSTITUTO TÉCNICO CENTROAMERICANO DE BIOCOMBUSTIBLE** mientras que el contenido de aldehído no debe de pasar de 20 ml/100cc cabe mencionar que los valores antes mencionados no exceden estos rangos.

6.1.1.6. **Discusión general**

como se observa en los valores de los tratamiento 6 y 3 se obtuvieron contenidos altos de grados Brix del jarabe de sorgo en el proceso de hidrólisis cuyo reactivo en ambos casos fue (ácido sulfúrico al 20 %) de igual manera, cabe mencionar que ambos tratamientos trabajaron a 6 horas/90 °C en la fase de hidrólisis, el tratamiento 6 arrojó el mayor contenido de grado alcohólico (50) a pesar del alto contenido de grado Brix del jarabe de sorgo su baja degradación por los microorganismos en la fase de fermentación se ve afectada por la presencia de polifenoles que le confiere un sabor amargo y astringente (J.M. Bvochora, R. Zvauya, 2001) cuyo contenido se puede reducir con los pretratamientos (molido, cocción, sacarificación) lo cual provoca un aumento en el costo de producción del bioetanol partir de sorgo. En el pH del jarabe que se midieron en la después del hidrolizado no presentan diferencia significativa ni altamente significativa en el factor A: Tipo de reactivo previo a la hidrólisis, factor B: Combinación tiempo temperatura en la

fase de hidrólisis, factor C: Temperatura en la fase de fermentación, de igual manera no existe diferencia significativa en las interacciones A.B.C lo que quiere decir que si combinamos tipo de reactivo, combinación temperatura tiempo, no incidirán en el pH del jarabe cuyo promedio optimo es de 4.5 según **Vargas 1992**.

Los factores de estudio de la presente investigación si inciden en las variables del producto terminado, grado alcohólico el cual se vio afectado por el factor A: tipo de ácido obteniéndose mejores resultados con el nivel a_0 ácido sulfúrico al 20 %, factor B: combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis el nivel que arrojó mejores fue el a_2 6 horas/ 90° C, en el factor C: temperatura en la fase de fermentación el nivel que arrojó mejores resultados fue c_1 25 ° C, de igual manera se encontró diferencia significativa y altamente significativa en las interacciones A.B.C indican que los tratamientos que arrojan valores más alto de grado alcohólico son tratamiento 6 (50° GL) y el tratamiento 4 (49° GL) mientras que los tratamientos que arrojaron valores más bajo de grado alcohólico son tratamiento 9 (30° GL) y tratamiento 8 (35° GL), en lo que respecta a la acidez total en el producto terminado se determinó que los factores de la presente investigación si inciden en esta variable en el factor A: tipos de reactivo lo obtuvo el nivel a_1 (ácido clorhídrico al 20%)en el factor B: combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis lo obtuvo el nivel b_1 (5 horas /88°C), de igual manera existe diferencia altamente significativa en la interacción A.B.C siendo el tratamiento 8 el que arrojó el resultado más alto en lo que respecta a acidez total (0.302) y el tratamiento 10 (0.291),mientras que los tratamientos que arrojaron valores más bajos son tratamiento 2 (0.174) y el tratamiento 4 (0.196), cabe mencionar que los valores de acidez total que arrojaron los tratamientos se encuentran dentro de los parámetros establecidos **NTE – INEN341 bebidas alcohólicas** cuyo valor máximo de acidez total es de 30 ml / 100cm³.

En lo que se refiere a la variable de densidad especifica los parámetros establecidos en la presente investigación si inciden en esta variable en el factor A: tipo de reactivo al 20% siendo el nivel a_1 (ácido clorhídrico al 20%)el que obtuvo el valor más alto, en el factor B: combinación tiempo temperatura en la fase de

hidrólisis siendo el nivel b_1 (5 horas/88° C) , en el factor C temperatura en la fase de fermentación y en la interacción A.B.C donde el tratamiento que obtuvo el valor más alto fue el 8 (0.9747) y el tratamiento 6(0.9669), mientras que los tratamientos que arrojaron valores más bajos son el 11 (0.9009) y el tratamiento 2(0.9028), el

cual indica gran presencia de agua en producto que se puede corregir con una destilación azeotrópica que consiste en adicionar una sustancia deshidratante(benceno)el cual permite obtener un etanol mas anhidrido, cabe señalar que los valores de densidad específica se encuentran por encima de los parámetros establecidos por **Aguardiente de caña rectificado: requisitos** cuyo rango máximo es de 0.809 ml/cm³.

Basado en los resultados antes expuestos podemos decir que el ácido que otorgó mejores resultados fue ácido sulfúrico al 20 % mientras que la mejores condiciones en la fase de hidrólisis es de 6 horas/90 ° C , obteniéndose valores hasta de 31 ° Brix lo que nos permite realizar ensayos de fermentación, en cuanto a los resultados cualitativos que se refieren a aspecto y color del producto final, **especificaciones de calidad del etanol hidratado** el cual indica que el producto debe ser incoloro y visual, puesto que el color que presentan los tratamientos 1,5,6 es (verde claro), mientras que los tratamientos 3,4,7,8,10,11,12 muestran un color amarillo pálido y por último los tratamientos 2 y 9 muestran un color (café amarillo), , en cuanto al aspecto del producto los siguientes tratamientos 1,3,4,5,6,7,8,10,11,12, muestran un aspecto transparente lo cual concuerda con **Etanol carburante hidratado: especificaciones de calidad (método arbitro ASTM D – 4176)**, reglamento que indica que el aspecto del etanol hidratado debe ser transparente y libre de partículas, mientras que los tratamientos 2 y 9 muestran un aspecto ligeramente turbio lo cual se deba a impurezas provenientes del proceso productivo , transporte inadecuado o contaminación con otros productos

Durante la presente investigación se planteo que el mejor tratamiento será en base al que tenga mayor contenido de grado alcohólico, considerando que el precio de este en el mercado dependerá de este factor sea cual sea el fin del etanol, ya que un producto con un grado alcohólico de 50º tendrá un valor más bajo que uno que tenga 70 º, y si ese etanol es usado como materia prima para producción de biocombustible cuanto mayor sea su contenido alcohólico es mas anhídrido y su grado de octanaje (grado de hidrocarburo) será mayor lo cual representa una gran ventaja si este etanol se destina para producción de biocombustibles.

6.1.1.7. Análisis económico

Analizando los valores que se obtuvieron en los costos para producir 1.3 litros de etanol se puede deducir que no es rentable elaborar etanol de almidón a pequeña escala, pero estos costos se pueden justificar al ser producido en laboratorio donde los costos son elevados y el rendimiento es mínimo además a esto se suma que por el litro de etanol de sorgo se paga precios menores a los que se obtiene a partir de

La caña de azúcar y su costo de producción son elevados debido a su forma de obtención (molido, cocción y sacarificación). Las estimaciones del costo de producción de etanol en Brasil son aproximadamente 15 centavos/galón. Sin embargo, en los Estados Unidos, el combustible etanol se produce en su mayoría del maíz, el cual es mucho más caro que la producción de la caña de azúcar. En 1999 el precio promedio al por mayor del etanol puro en los Estados Unidos era de 91 centavos/ galón (13 centavos /litro) debido al incentivo de 53 centavos/galón para combustibles de alcohol 814 centavos/litro), es relativamente alto el precio del etanol (yendo de US\$ 0.25 a 0.4 por litro en los Estados Unidos en los últimos años.

CAPITULO VII

7. CONCLUSIONES

Los resultados experimentales y análisis realizados durante el desarrollo de la investigación permiten llegar a las siguientes conclusiones:

7.1. Conclusiones en base a los objetivos e hipótesis planteados en la presente investigación.

El tipo de reactivo al 20 % que se uso previo al hidrolizado si influye en el desdoblamiento de las moléculas de almidón a glucosa obteniéndose mejores resultados con el ácido sulfúrico, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa.

La combinación tiempo temperatura que se aplicó en la fase de hidrólisis si influyen en la obtención de grados Brix en el jarabe obteniéndose mejores resultados con la combinación 6 horas/ 90º C, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa.

La temperatura que se evaluó en la fase de fermentación si influye en la velocidad del proceso fermentativo y por ende en el grado alcohólico del producto final, siendo la temperatura de 25º C la que mejores resultados dio por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa.

7.1.1 Conclusiones de los análisis físicos químicos realizados al etanol hidratado a partir de sorgo.

7.1.1.1. Grados Brix

Analizando los valores que arrojan los tratamientos de (grados Brix) y en base a estos el reactivo que mejores resultado dio en el factor A fue el ácido sulfúrico al 20, lo que nos permite concluir que el tipo de reactivo que se utilizó si incide en los valores de los de grados Brix del jarabe de sorgo, En cuanto al factor B:

Combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis (b_0) 86° C/4 horas, (b_1) 88° C/5 horas, (b_2) 90° C/6 podemos concluir que las mejores condiciones para la Conversión de las moléculas de almidón a glucosa es la de 6 horas / 90 ° C puesto que se obtuvieron valores más altos de glucosa que es el fin de este proceso.

La temperatura que mejores resultados otorgó fue la de 25 ° C los tratamientos que trabajaron con esta temperatura obtuvieron valores de grado alcohólico mas altos ver (**anexo 25 fermentación de la harina de sorgo sacarificada con hidrólisis ácida**) lo que nos permite concluir que la temperatura de 25 ° C brinda mejores condiciones para el desarrollo de levaduras en la fase de fermentación.

7.1.1.2. pH del jarabe

Revisando el análisis de varianza (Tabla Nº 13) que se refiere a pH los cuales se midieron al después del hidrolizado se observa que no hubo diferencia significativa entre los niveles a_0 ácido sulfúrico al 20 %, b_0 ácido clorhídrico al 20% por lo que se acepta la hipótesis nula, en tanto se concluye que el tipo de reactivo químico no influye estadísticamente en el pH del jarabe, en el factor B, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa ya que no existe diferencia estadística entre los niveles b_0 4 horas/86 ° C, b_1 5 horas/88° C, b_2 6 horas/90° C, entonces se concluye que da lo mismo utilizar cualquiera de estas condiciones ya que estadísticamente no presentan diferencia.

7.1.1.3. Grado alcohólico

En la Tabla N° 14 de adeva que hace referencia al grado alcohólico del producto final podemos decir que se acepta la hipótesis alternativa entre los niveles del factor A: tipo de reactivo ácido sulfúrico (a_0), ácido clorhídrico (a_1) lo que nos permite concluir en base a los resultados del adeva que estos niveles si influyen en los grados Brix del jarabe por ende en el grado alcohólico del producto final siendo el ácido sulfúrico al 20 % con el que se obtuvo mejores resultados.

Con lo que respecta al factor B: combinación tiempo/temperatura empleados en el proceso de hidrolisis se acepta la hipótesis alternativa puesto que se encontró según el adeva diferencia significativa, siendo el nivel b_2 6 horas/90°C el que mejores resultados dio en lo referente a grado brix que favorecerá las operaciones de fermentación y destilación.

En el factor C: temperatura en la fase de fermentación, se acepta la hipótesis alternativa puesto que se encontró diferencia significativa y altamente significativa entre los niveles, por lo que podemos concluir que el factor temperatura si influye sobre la velocidad del proceso fermentativo y por ende en el grado de alcohol siendo la temperatura de 25° C (c_2) la que mejores resultados dio.

De igual manera se encontró diferencia significativa y altamente significativa en las interacciones A.B.C por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, ya que las interacciones influyen dentro de los grado alcohólico del producto por lo que se aplicó la prueba de tukey con un margen de error del 5 %, el cual nos indica que el tratamiento 6 fue el que arrojó mejores resultados 50 GL, mientras que el tratamiento 9 fue el que arrojó resultados más bajos 30 ° GL.

7.1.1.4. Acidez total

En lo que se refiere a acidez total basados en los resultados de adeva se acepta la hipótesis alternativa ya que se encontró diferencia significativa y altamente significativa en los niveles del factor A: tipo de reactivo, ácido sulfúrico al 20 %

(a₀), ácido clorhídrico al 20% (a₁) lo que nos permite concluir que el tipo de reactivo si incide en el contenido de acidez total es decir se obtendrá distinto tipo de resultados al emplear cualquiera.

En los los niveles del factor B: combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis se acepta la hipótesis alternativa puesto que se encontró diferencia significativa y altamente significativa según el adeva (Tabla Nº 18) por lo que podemos concluir que la combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis si incide en la acidez total del producto final.

Con lo referente a los niveles del factor C: temperatura en la fase de fermentación (c₀)22º C, (c₁)25º C, no inciden en la acidez total del producto final, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa ya que no se encontró diferencia significativa ni altamente significativa según el adeva (tabla Nº 18).

Realizando el análisis de varianza de varianza (Tabla Nº 18) de acidez total se observa que existe diferencia significativa y altamente significativa en las interacciones A.B.C por lo cual se aplicó la prueba de tukey al 5% en base a esta podemos concluir que las interacciones A.B.C : tipo de reactivo, combinación tiempo temperatura en la hidrólisis, temperatura en la fase de fermentación , si inciden en la acidez total del producto por lo que se acepta la hipótesis alternativa, siendo el tratamiento 8 ácido clorhídrico al 20% - 88º C/5 horas – 22 ºC en la fermentación el que arrojó resultados más alto (0.302 gr/100ml),

mientras que el tratamiento que arrojó el resultado más bajo fue el 2 ácido sulfúrico al 20% - 88° C/5 horas – 22° C en la fermentación (0.174 gr/100ml).

7.1.1.5. Densidad específica

Analizando la Tabla Nº 19 de adeva que se refiere a densidad específica en el cual nos indica que existe diferencia significativa y altamente significativa en los niveles del factor A: tipo de reactivo, ácido sulfúrico al 20% (a_0), ácido clorhídrico al 20% (a_1), por lo que se acepta la hipótesis alternativa ya que este factor si incide en la densidad del producto final, es decir que se obtendrán resultados distintos al emplear cualquiera de estos.

En los niveles del factor B: combinación tiempo temperatura en la fase de hidrólisis se acepta la hipótesis alternativa, puesto que se encontró diferencia significativa y altamente significativa según el adeva (ver Tabla Nº 19) lo que quiere decir que la combinación tiempo temperatura si incide en los valores de densidad específica del producto final.

En lo referente a los niveles del factor C: Temperatura en la fase de fermentación 22° C (c_0), 25° C (c_1), se acepta la hipótesis alternativa, puesto que se encontró diferencia significativa y altamente significativa según el adeva (**ver tabla Nº 19**) lo que quiere decir que la temperatura de fermentación si incide en los valores de densidad específica del producto final.

Realizando el análisis de varianza (Tabla Nº 20) que se refiere a densidad específica, se observa que existe diferencia significativa y altamente significativa en la interacción A.B.C, con lo que se acepta la hipótesis alternativa, en base a esta podemos concluir que las interacciones A.B.C : tipo de reactivo, combinación

tiempo temperatura en la hidrólisis, temperatura en la fase de fermentación , si inciden en la densidad específica del producto , siendo el tratamiento 8 ácido clorhídrico al 20% - 88° C/5 horas – 22 °C en la fermentación el que arrojó resultados más alto (0.9747)ml/100cm³, mientras que el tratamiento que arrojó el resultado más bajo fue el 11 ácido clorhídrico al 20% - 88° c/5 horas – 22° c en la fermentación dando un valor de (0.9009)ml/100cm³.

7.1.1.6. Rendimiento

Al observar los valores obtenidos de rendimiento(ver anexo 10) en el balance de materia del jarabe de sorgo previo a la fermentación se concluye que el mejor rendimiento lo obtuvo el tratamiento 6 (a₀b₂c₁, ácido sulfúrico al 20% - 6 horas/90°C – 25° C en la fermentación), con un rendimiento de 633.7 g de jarabe (86.2%), mientras que los tratamientos que presentaron mejores rendimientos en el destilado son el tratamiento 6 con un peso de 106 g (16.3%), el tratamiento 3 con un peso de 98 g (15.2%).

7.1.1.7. Conclusión general

La técnica es aplicable, los resultados de los análisis físicos químicos y sensoriales permitieron determinar los mejores niveles de estudio para la obtención de etanol hidratado a partir de sorgo ya sea en los pre tratamientos (molido cocción sacarificación) en la fase de fermentación y destilación que condujeron al objetivo principal de esta investigación evaluación y obtención de etanol, las observaciones estadísticas indicaron diferencias significativas en la contenidos de grados Brix del jarabe que posteriormente fueron sometidos a fermentación; de igual manera ocurrió en los grados alcohólicos variable de mayor importancia efectos que hace aceptar al tratamiento T₆ como mejor tratamiento de esta investigación, por lo observado en las pruebas físico químicas .

7.1.1.8. Análisis cromatográfico al mejor tratamiento

Al haber determinado al tratamiento seis como la mejor alternativa, se aplicó análisis cromatográfico para determinar contenido de aldehídos y metanol mismos que se no exceden de los rangos de **Especificaciones de calidad para etanol carburante hidratado reglamento técnico centroamericano debiocombustible** el cual indica que los valores máximo de aldehídos es de 20 ml/100cm³ mientras en el metanol 10 ml/100cm³ mientras que los valores del tratamiento seis fueron los siguientes aldehídos 7.9ml/100 cm³ metanol < 0.01 lo cual nos indica que los valores de metanol y aldehídos que se obtuvieron a parte del etanol cumplen con los requisitos de las normas establecidas .

7.1.1.9. Balance de materia al mejor tratamiento

Al observar el balance de materiales se concluye que el tratamiento seleccionado para la operación fue el 6 (a₀b₂c₁, ácido sulfúrico al 20% - 6 horas/90°C – 25° C en la fermentación) debido a que fue el que obtuvo valores más elevados de grado alcohólico y rendimiento final, el mismo que en el proceso de obtención de jarabe otorgó un rendimiento de 633.7 g con 31 ° Brix, mientras que en el destilado otorgó un peso de 106 g (16.3%) con grado alcohólico de 50, utilizando 200 g de sorgo como sustrato.

7.1.1.10. Evaluación económica

De la evaluación económica se puede concluir que obtener etanol hidratado a partir de sorgo no es rentable produciendo a pequeña escala ya que su costo de producción y P.V.P(14.89) son muy elevados lo que no va acorde con la realidad ya que por el precio del etanol de sorgo en países como la india se paga 0.50 centavos de dólar americano por litro, produciendo a mediana o a gran escala los

costos se reducen y los rendimientos son mayores por lo tanto los márgenes de beneficio, en el caso del etanol de sorgo es de 140 lts/ton lo que abarataría su costo de producción dependiendo de su contenido alcohólico.

CAPITULO VIII

8. RECOMENDACIONES

8.1. Recomendaciones para los análisis físicos químicos del proceso de evaluación y obtención de etanol hidratado a partir de sorgo.

8.1.1. Grados Brix

Se recomienda la utilización del nivel a_1 en el factor A (ácido sulfúrico al 20 %), ya que proporcionó valores más altos de sólidos solubles, en lo que respecta al factor B el nivel que otorgó mejores resultados fue el b_2 (6 horas/90° C) ya que proporcionó el valor más alto de grados Brix en la fase de hidrolisis, que son un requisito para la fermentación y posterior destilación ya que a mayor grados Brix o sólidos solubles en este caso glucosa este favorecerá las posteriores operaciones fermentación y destilación

8.1.1.1. pH del jarabe

En lo que respecta a pH en la fase de fermentación se recomienda que estos al comienzo de la fermentación se encuentren en un rango de 4.5 según Vargas 1992, ya que estos rangos son los óptimos para una buena fermentación, en el caso de la obtención de etanol a partir de almidón de sorgo este se logra mediante la adición de hidróxido de sodio al 0.05 normal el cual se agrega después del hidrolizado.

8.1.1.2. Grado alcohólico

Se recomienda utilizar el nivel a_0 del factor A (ácido sulfúrico al 20 %) ya que este arrojó valores más altos de sólidos solubles en el hidrolizado, en el factor B el nivel más recomendable es el b_2 (6 horas/90° c), y en cuanto al factor C se recomienda utilizar el nivel c_1 (25° C en fermentación), los dos primeros factores ayudaron a obtener un mayor contenido de grados Brix y por ende favorecerán

Las operaciones posteriores. En la fermentación en el caso del factor C (temperatura de fermentación) parámetro importante para un buen desarrollo de las levaduras lo que se denomina velocidad de proceso fermentativo fue la de 25 ° C según la presente investigación. La cual se usó como respuesta experimental el grado alcohólico, teniendo como indicadores grados Brix junto al pH, estos sirvieron como indicadores ya que utilizando esta temperatura se consumió mayor cantidad de grados Brix de los tratamientos durante el proceso de fermentación.

8.1.1.3. Acidez total

Se recomienda utilizar ácido sulfúrico al 20% en el factor A, en el factor B el nivel más recomendable a utilizar el nivel 88°C/5 horas en el hidrolizado, mientras que en el factor C se recomienda la utilización de cualquiera de las dos temperaturas ya que los resultados serán los mismos según los resultados del adeva (Tabla N° 18), donde se demostró estadísticamente que no influyen en esta variable.

8.1.1.4. Densidad específica

Se recomienda la utilización del nivel a_1 ácido clorhídrico al 20% en el factor A, mientras que en el factor B se recomienda la utilización del nivel b_1 88° C/5 horas, mientras que en el factor C se recomienda utilizar el nivel c_0 22° C, ya que mediante esto se podrá obtener un etanol con densidad específica de 0.9009 valor que lo obtuvo el tratamiento t_{11} que representa el valor más bajo entre todos los tratamientos.

8.1.1.5. Rendimiento

Se recomienda el empleo de ácido sulfúrico al 20% en el factor A, en lo referente al factor B la combinación 6 horas/90° C mientras que en el factor C la temperatura de 25 ° C ya que estos parámetros proporcionaron los valores más elevados de rendimiento tanto en el jarabe de sorgo como en el producto final, cabe señalar que en esta variable también inciden la cantidad de hidróxido de sodio al 0.5 normal que se adicionó para estabilizar el pH y la cantidad de agua que se evaporó en el hidrolizado, en el caso de los tratamientos que se utilizó ácido sulfúrico, la cantidad de hidróxido de sodio que se adicionó fue mayor debido a que este reactivo es más corrosivo.

8.1.1.6. Recomendación general

Se ha determinado que el tipo de reactivo, la combinación tiempo temperatura en el hidrolizado, la temperatura en la fase de fermentación, tienen efectos significativos sobre grados Brix del jarabe, grado alcohólico, acidez total, densidad específica y rendimiento, en la obtención de etanol hidratado a partir de sorgo, a excepción de el pH donde se demostró estadísticamente que estos parámetros no inciden.

Respecto al tratamiento más adecuado para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo se ha podido determinar de acuerdo a los análisis físico químicos , estadísticos y de estudio económico la mejor alternativa es el T₆(ácido sulfúrico al 20% - 6 horas/90° C en el hidrolizado, 25° C en la fase de fermentación) con estos niveles se obtendrá un jarabe con 31 ° Brix, en el producto final un grado alcohólico de 50 °, con rendimiento del 16.3 %, con un contenido de aldehídos de 7.9ml/cm³ con < 0.01 de metanol en los análisis cromatograficos.

CAPITULO IX

9. BIBLIOGRAFIA

1. ALBANINA, L. igor, sorgo cultivo y aprovechamiento, primera edición Barcelona España, editada mexicana, 1984.
2. SERRANO, A. Paúl, el cultivo del sorgo granero, Caracas primera edición 1968.
3. JOSEPH S. Wall y ROSS M. William, producción y usos del sorgo, editada por hemisferio sur PP. 246- 249.
4. CUFRE S. Leandro y PUERARI M. Lisandro, etanol y sus beneficios, editada Universidad Rio de la Plata 2005.
5. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of the association of official analytical chemist. 4.ed. Virginia, 1984.
6. CAMARGO, C; COLONIA, P; BULEON, LA, RICHARD – MOLARD, D. functional properties of sour cassava (manihotutilissima) starch: polvilhoazedo. Journal of the science of food and agriculture, osney mead, 1988.
7. EL ETANOL COMO COMBUSTIBLE, revista science, e85 fuel informationdrivingethanol. Org.
8. Manual agropecuario, biblioteca del campo, 2002 fundación hogares juveniles.

9.1 LINKOGRAFIA

1. FREDERICK, V. Hernán, rentabilidad del bioetanol 2001 primera edición Núremberg Alemania, editada Alemania.
2. GRUPO IMELA, efectos del etanol en la salud humana, 1994 segunda edición Managua Nicaragua, edita Nicaragua.
3. MIELENZ J.etanol producción de biomasa tecnología y comercialización estatus curr. Opin.microbiol. 2001
4. RUTZ D. Jensen, R. biofueltechnologyhanbook.MunichWiprenewbleenergies.
5. NOVOZYME fuel internacional. “fuel etanol, a tecnoloycal etanol evolution” (sitio internet) consultado 30 de junio del 2006.

6. AMUTHA r, gunarareskaran p. producción de etanol de etanol from liquified cassava starch using 2001.
7. SANCHEZ, O, Cardona. Producción biotecnología de bioetanol carburante y obtención de diferentes materia primas consultado 16 de octubre del 2007.
8. Groados Brix, grados balling y grados plato (wiki media foundation, inc. 14: 55, 24 dic. 2007.)
9. DESTILACIÓN, TEORÍA Y TIPOS
(www. Pedrojiménez. Com; Córdoba España 2002 – 2007.)
10. Lewin B. (2001). Genes VII.
11. Marban [http://es. Wikipedia.org/wiki/sacchoromycscerevisiae](http://es.wikipedia.org/wiki/saccharomycescerevisiae).
12. Campesinos, carretera central del Norte km 18 Bogotá Colombia.
13. Diario el universo marzo sábado 21 de marzo del 2009. Golden sweet o MD2, cultivo de sorgo crece en recinto Cantagallo provincia de Manabí.
14. OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS of the ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC), 1984.
15. J.de la Cruz medina, y H.S. García, instituto tecnológico de Veracruz ([http://www. Itver. Edu.mx](http://www.itver.edu.mx)) ;
16. INTA, estación experimental agropecuaria Rafaela. Información técnica cultivos de verano, campaña 2007.
17. Levaduras y la fermentación alcohólica (II) Quique Collado (27 de Noviembre de 2001)
18. Sánchez, O, Cardona C. Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas. (Sitio de Internet)
19. Mojovic L, Nikolik S, Rakin M, Vukasinovik M. Production of bioethanol From corn meal hydrolyzates. *Fuel*. 2006; 85:1750-1755.
20. Clark M, Mailman M. Enzymatic simultaneous saccharification and fermentation (SSF of biomass to ethanol in a 130 liter multistage continuous Reactor separator. Bio-process Innovation Inc. (Sitio en Internet) Disponible en [www.bioprocess](http://www.bioprocess.com).
21. Abate C., D. Cagliari, E. Rodríguez and O. Garro. 1996. Ethanol production by a mixed culture of flocculent strains of *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces* sp. *Appl. Microbial. Biotechnology*. 45:580-
22. Bvochora J.M., J.S. Read, R. Zvauya, 2000. Application of very high gravity technology to the co fermentation of sweet

Stem sorghum juice and sorghum grain. *Industrial Crops and Products* 11 (2000) 11–17.

23. Garro O., E. Rodríguez, R. Palacios Unda and D.A. Callieri. 1995. Mathematical Modelling of the Alcoholic

24. Fermentation of Glucose by *Zymomonas mobilis*. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 63:367-373



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE

QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO

AGROINDUSTRIAL.

Carrera: Ing. agroindustrial.

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TEMA:

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN Y
OBTENCIÓN DE ETANOL HIDRATADO A PARTIR DEL
ALMIDÓN DE (Sorgumsvulgare) SORGO**

AUTOR

VICTOR LEONARDO MARÍN SOLÓRZANO

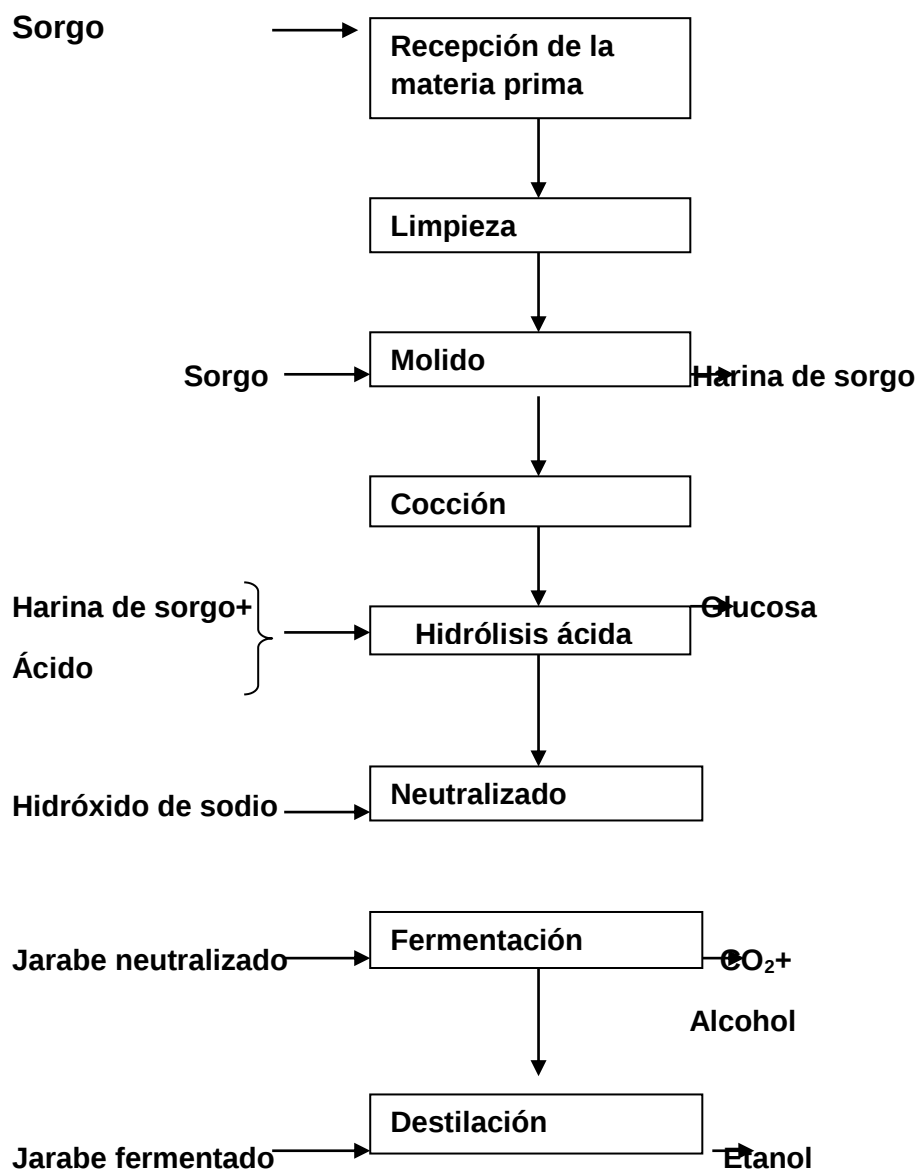
DIRECTOR

ING. JOSE VILLAROEL

QUEVEDO - LOS RIOS - ECUADOR.

ANEXOS

ANEXOS 1: flujo grama del proceso de elaboración y obtención de etanol a partir de sorgo.



FUENTE: VICTOR MARIN. S

**ANEXO 2: ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA ETANOL
CARBURANTE HIDRATADO REGLAMENTADO POR INSTITUTO
TECNICO CENTROAMERICANO DE BIOCOMBUSTIBLE.**

Cuadro 1.

CARACTERISTICA	UNIDADES	METODO ARBITRO	VALORES
Apariencia	---	ASTM D-4176 procedimiento	Libre de partículas suspendidas y precipitadas claro y brillante
Color	---	Visual	incoloro
Acidez total (como ácido acético)	Mg/l	ASTM D-1613	30 Máximo
Conductividad eléctrica	uS/m	ASTM D-1125	500 Máximo
Densidad masa Especifica a 20°	Kg/ m ³	Kg/m ³	805,0-811,0
Contenido alcohólico	INPM % Masa	NBR 5992	92,6 94,7
PH	---	Astm d-6423	6,0- 8,0
Residuo por evaporación	Mg/100 ml	NBR 8644	5 Máximo
Contenido de hidrocarburos	Fracción de volumen(% volumen	ASTM D-6729	0,03(3,0)Máximo

ANEXO 3: RENDIMIENTO DE CULTIVOS EN LA PRODUCCIÓN DE ALCOHOLES. Cuadro 2

CULTIVO	RENDIMIENTO AGRICOLA ton/ha	RENDIMIENTO EN ALCOHOL	
		Litros etanol/ton	Litros etanol/ha
caña	120	84.5	10140
maíz	85	409	34765
yuca	29	82	5278
Sorgo dulce	50	140	7000
remolacha	60	200	12000

ANEXO 4 CUADRO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DE LOS GRANOS DE SORGO.

Cuadro 3.

Hidratos de carbono de los sorgos granífero

Gramos por cada 100 g de grano, basado en peso seco					
Variedad	Almidón	Azúcar	Fructuosa	Glucosa	Sacarosa
Kafir combine	69.9	1.15	0.05	0.04	0.84
Kafir ceroso	69.3	1.39	0.14	0.14	0.95
Kafir ceroso	68.6	1.07	0.09	0.09	0.77
Feterita	56.7	2.96	0.38	0.31	1.97
azucarado	31.5	2.68	0.05	0.22	2.2

ANEXO 5 (NORMAS INEN-362) REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR EL AGUARDIENTE DE CAÑA RECTIFICADO.

1. OBJETO

1.1. Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el aguardiente de caña rectificado para ser considerado apto para consumo humano.

2. DEFINICIONES

2.1. Aguardiente de caña rectificado es el producto obtenido mediante la fermentación alcohólica y destilación de jugos y otros derivados de la caña de azúcar, sometido a rectificación de modo que conserve sus características organolépticas, también podrá denominarse “aguardiente” o aguardiente de caña.

3. REQUISITOS

3.1. Debe ser transparente, incoloro o ambarino, con olor y sabor característico del aguardiente de caña rectificado.

3.2. No se permite la adicción de edulcorantes artificiales, colorantes diferentes al caramelo de sacarosa, esencias naturales o artificiales que modifiquen sus características organolépticas, ni tonificadores artificiales.

3.3. Debe cumplir con los requisitos establecidos en la tabla 1.

Tabla 1. Requisitos del aguardiente de caña rectificado

Requisitos	unidad	mínimo	máximo
Grado alcohólico a 15° c	° GL	-	-
A nivel de producto	85	-	-
A nivel de consumo	30	50	50
Acidez total como ácido acético	- -	40	40
Esteres como acetato de etilo	- -	80	80
Aldehído, como etanol	- -	20	20

3.4. El agua utilizada para hidratar el producto hasta los niveles establecidos en la tabla 1 debe ser potable, según la Norma INEN 1108. También podrá ser destilada desionizada o desmineralizada.

4. INSPECCIÓN

4.1. El muestreo debe realizarse de acuerdo a la Norma INEN 339

5. ENVASADO Y ROTULADO

5.1. El aguardiente, para consumo final, debe envasarse cumpliendo los requisitos establecidos en la Norma correspondiente, de tal forma que se garantice su calidad o inviolabilidad.

5.2. El aguardiente, como producto de consumo final, debe tener impreso con caracteres legibles e indelebles en el panel principal de la etiqueta, la denominación “aguardiente”

5.3. El envasado y comercialización del aguardiente de caña rectificado, para consumo final, se someterá a las normas y regulaciones dictadas por el INEN y las leyes pertinentes

ANEXO 6 (NTE- INEN- 347) MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE METANOL.

1. OBJETO

1.1 Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el contenido de metanol en bebidas alcohólicas destiladas

2. RESUMEN

2.1 Determinar espectrofotométricamente el contenido de metanol en bebidas alcohólicas usando ácido cromotrópico.

3. INSTRUMENTAL

3.1 Aparato para destilación compuesto por:

- a) Matraz de destilación, con fondo redondo y de 1000 cm³ de capacidad
- b) Malla de asbesto
- c) Fuente eléctrica de calentamiento con regulador de temperatura
- d) Tubo de vidrio delgado, de 6mm de diámetro interno aproximadamente y de 30 mm por 150mm dimensiones
- e) Refrigeración de liebig, de longitud igual o mayor a 400mm
- f) Tubo de vidrio adecuado para dirigir el destilado al recipiente colector
- g) Matraz volumétrico de 250 cm³
- h) Baño de agua, con hielo, en el que debe sumergirse el matraz volumétrico

3.2 Espectrofotómetro

3.3 Pipeta volumétrica, de 1y 2cm³

3.4 Matraz volumétrico, de 50 cm³ y de 250 cm³

3.5 Baño de agua, con temperatura constante en 15° $\pm$ 0.5 ° C, de profundidad igual o superior a 30 cm

5.6 Colocar el matraz en un baño de agua a temperatura constante de 15° $\pm$ 0,5° C, durante 20 minutos y luego añadir cuidadosamente agua destilada a 15 ° c, hasta completar el volumen de 250 cm³ homogenizar.

5.7 Diluir o ajustar la muestra a una concentración alcohólica comprendida entre 5 y 6%.

5.8 Si el contenido de metanol en la muestra es superior a 0, 05%, diluir con 5,5% de alcohol etílico.

5.9 Si el contenido de metanol en la muestra es inferior a 0,05%, colocar 200cm³ de muestra en el destilador de fraccionamiento y destilar durante 15 min con una razón de reflujo neta (de por lo menos 20:1) recogiendo 10 cm³ de destilado; llevar a volumen de 460 cm³ con agua destilada.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.

6.2 Colocar 2 cm³ de solución de permanganato de potasio en un matraz volumétrico de 50 cm³ y enfriar en un baño de agua con hielo

6.3 Añadir 1 cm³ de la muestra preparada y dejar en reposo, dentro del baño helado, durante 30 minutos.

6.4 Decolorar con una pequeña porción de bisulfito de sodio seco y adicionar 1 cm³ de la solución de ácido cromotrópico

6.5 Añadir 15cm³ de ácido sulfúrico, lentamente y con agitación; luego, colocar en un baño de agua caliente (60° a 75°) durante 15 minutos; enfriar

6.6 Adicionar agua destilada hasta tener aproximadamente 50 cm³; mezclar y llevar a volumen con agua destilada a temperatura ambiente.

6.7 Determinar la absorbencia (A) a 575 nm, con respecto a una referencia de alcohol etílico al 5,5%, tratado similarmente.

6.8 Tratar la solución patrón de metanol en igual forma y determinar la absorbencia (A₁)

7. CÁLCULOS

7. CÁLCULOS

7.1 El contenido del metanol en bebidas alcohólicas se determina mediante la ecuación siguiente:

$$M = 0,025 \frac{A}{A_1} \times F$$

8. siendo

M= Contenido de metanol en la muestra, en porcentaje de volumen

A= Absorbencia correspondiente a la muestra

A₁= Absorbencia a la solución patrón de metanol

F= factor de dilución de la muestra.

9. ERRORES DE METODO

9.1 La diferencia entre los resultados de una determinación efectuada por duplicado no debe exceder del 2%, en caso contrario, debe repetirse la determinación.

10. INFORME DE RESULTADOS

10.1 Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los resultados de la determinación.

10.2 En el informe de resultados, deben indicarse el método usado y el resuelto obtenido.

PURIFICACIÓN DEL ÁCIDO CROMATICO

A.1 Si la absorbancia de un ensayo es blanca es superior a 0,05, debe purificarse el reactivo en la forma indicada a continuación.

A.2 Disolver 10 gr de ácido cromotrópico o su sal en 25 cm³ de agua destilada; deben agregarse 2 cm³ de ácido sulfúrico a la solución acuosa de la sal para obtener ácido libre.

A.3 Agrega 50 cm³ de metanol, calentar hasta el inicio de la ebullición y filtrar.

A.4 Añadir 100cm³ de isopropanol para precipitar el ácido cromotrópico libre.

A.5 Puede añadirse mas isopropanol para aumentar el rendimiento en la

producción del ácido purificado.

4. REACTIVOS

4.1 Solución de permanganato de potasio. Disolver 3.0 g de permanganato de potasio y 15 cm³ de ácido fosfórico, en 100cm³ de agua destilada, la solución debe prepararse mensualmente.

4.2 Solución de ácido cromotrópico, solución acuosa al 5% que puede prepararse con el ácido ola sal sódica, semanalmente. Debe filtrarse si no es clara, para purificación del ácido cromo trópico.

4.3 Bisulfito de sodio, seco.

4.4 Ácido sulfúrico, al 98%, reactivo para análisis

4.5 Alcohol etílico absoluto, reactivo para análisis

4.6 Solución patrón efe metanol. Debe contener 0,025% en volumen de metanol en alcohol etílico al 5,5%

4.7 Agua destilada

4.8 Alcohol metílico

5. PREPARACIÓN PARA LA MUESTRA

5.1 Lavar cuidadosamente el equipo para destilación con agua destilada y proceder a armarlo

5.2 Enjuagar el matraz con una porción de la muestra de bebida alcohólica y luego llenarlo con la muestra, hasta sobrepasar la marca de 250cm³; tapar el matraz

5.3 Colocar el matraz en el baño de agua a temperatura constante de 15°
_+ 0,5 c, durante 20 minutos y retirar el exceso de muestra que sobrepasa la marca utilizando una pipeta, hasta obtener el volumen exacto de 250 cm³

5.4 Transferir el contenido al matraz del aparato de destilación y lavar con tres porciones de 10 cm³ de agua destilada, recogiendo el agua de lavado en el mismo matraz del aparato de destilación, añadir núcleos de

ebullición.

5.5 Destilar lentamente la muestra recogiendo el condensado en un matraz volumétrico de 250 cm³, al que se ha añadido 10 cm³ de agua destilada, hasta que se haya recogido 220 cm³ aproximadamente.

5.6 Colocar el matraz en un baño de agua a temperatura constante de 15° ± 0,5° c, durante 20 minutos y luego añadir cuidadosamente agua destilada a 15 ° c, hasta completar el volumen de 250 cm³ homogenizar.

5.7 Diluir o ajustar la muestra a una concentración alcohólica comprendida entre 5 y 6%.

5.8 Si el contenido de metanol en la muestra es superior a 0,05%, diluir con 5,5% de alcohol etílico.

5.9 Si el contenido de metanol en la muestra es inferior a 0,05%, colocar 200 cm³ de muestra en el destilador de fraccionamiento y destilar durante 15 min con una razón de reflujo neta (de por lo menos 20:1) recogiendo 10 cm³ de destilado; llevar a volumen de 460 cm³ con agua destilada.

6. PROCEDIMIENTO

6.1 La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.

6.2 Colocar 2 cm³ de solución de permanganato de potasio en un matraz volumétrico de 50 cm³ y enfriar en un baño de agua con hielo

6.3 Añadir 1 cm³ de la muestra preparada y dejar en reposo, dentro del baño helado, durante 30 minutos.

6.4 Decolorar con una pequeña porción de bisulfito de sodio seco y adicionar 1 cm³ de la solución de ácido cromotrópico

6.5 Añadir 15 cm³ de ácido sulfúrico, lentamente y con agitación; luego, colocar en un baño de agua caliente (60° a 75°) durante 15 minutos; enfriar

6.6 Adicionar agua destilada hasta tener aproximadamente 50 cm³; mezclar y llevar a volumen con agua destilada a temperatura ambiente.

6.7 Determinar la absorbencia (A) a 575 mm, con respecto a una

referencia de alcohol etílico al 5,5%, tratado similarmente.

6.8 Tratar la solución patrón de metanol en igual forma y determinar la absorbencia (A1)

BASES DE ESTUDIO

Norma argentina IRAM 14 516. Bebidas alcohólicas destiladas. Método de determinación de esteres, metanol aldehídos, furfural y alcoholes superiores, instituto argentino de racionalización de materiales.

Buenos aires, 1970 Norma chilena NCh 676 E 70. Bebidas alcohólicas. Determinación de metanol instituto nacional de investigaciones tecnológicas y normalización. Santiago, 1970.

Norma colombiana ICONTEC 286. Análisis de alcohol etílico. Determinación de metanol. Instituto colombiano de normas técnicas, Bogotá, 1960.

Norma argentina IRAM 14 513, vinos, método de determinación de metanol. Instituto argentino de racionalización de materiales, buenos aires, 1960

Villavecha v. química analítica aplicada. Tomo 2. Editorial Gustavo gili, Barcelona 1963.

Winton y Winton, análisis de alimentos, editorial hispano americano, Barcelona, 1958.

ANEXO 7 (NTE- INEN- 343) MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ALDEHIDOS.

1. OBJETO

1.1 Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el contenido de aldehídos en bebidas.

2. RESUMEN

2.1 Determinar volumétricamente el contenido de aldehídos en bebidas alcohólicas.

3. INSTRUMENTAL

3.1 Matraz erlenmeyer, de 500 cm³

3.2 Aparato para destilación compuesto por:

a) Matraz de destilación, de 1000cm³ de capacidad y con fondo redondo

b) Malla de asbesto

c) Fuente eléctrica de calentamiento, con regulador de temperatura

d) Tubo de vidrio delgado, de aproximadamente 6mm de diámetro interno y de dimensiones: 30mm x 300x 150mm.

e) Refrigerante de liebig, de longitud igual o mayor a 400mm.

f) Tubo de vidrio apropiado para conducir el destilado al fondo de matraz volumétrico.

3.3 Núcleos de ebullición

3.4 Matraz volumétrico

3.5 Bureta

3.6 Pipeta volumétrica, de 100 cm

ANEXO 8 (INEN-340) MÉTODO PARA DETERMINAR EL GRADO ALCÓHOLICO

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método para determinar el grado alcohólico en bebidas alcohólicas

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a bebidas alcohólicas destiladas, alcohol etílico, materias primas y subproductos alcohólicos.

3. DEFINICIONES

3.1 Grado alcohólico.- es el volumen de alcohol etílico, expresando en centímetros cúbicos, contenido en 100 cm³ de bebida alcohólica, a una temperatura determinada.

3.2 Grado alcohólico.- es un grado de una mezcla hidroalcohólica pura, indicado por el alcoholímetro centesimal de Gay Lussac en una temperatura diferente a la de referencia. La lectura de un grado aparente debe darse siempre indicando la temperatura a la cual dicha lectura fue tomada, también se considera grado aparente la lectura alcoholimetría de una mezcla que no sea pura, debido a la destilación de sustancia que altera la densidad de la mezcla . En este caso, para determinar el grado alcohólico real, debe someterse a un proceso de destilación, hasta obtener una mezcla hidroalcohólica pura.

4. MÉTODO DE ENSAYO

4.1 Resumen

4.1.1 El método consiste en efectuar una destilación simple de la bebida alcohólica, llevar a un volumen inicial con agua destilada y determinar en el destilado hidroalcoholico, el grado alcohólico, volumétrico, por alcoholimetría.

4.2 Instrumental

4.2.1 Alcoholímetro de gay lussac, calibrado a 15° y 20° C graduados en decimas de grado alcohólico, de calidad certificada

4.2.2 Termómetro graduado en decimas de grado Celsius (centígrado)

4.2.3 Matraz volumétrico, de 250 cm³

4.2.4 Probeta de capacidad y diámetro adecuados para evitar rozamiento con el alcoholímetro.

4.2.5 Aparato para destilación compuesto por:

a) Matraz de destilación, de 1000 cm³, con fondo redondo

b) Malla de asbesto

c) Fuente eléctrica de calentamiento

d) Tubo de vidrio delgado, de aproximadamente 6mm

De dimensiones 300mm x 300mm x 150mm

e) Refrigerante de Llebg de longitud igual o mayor a 400mm

f) Tubo de vidrio adecuado para dirigir el destilado al recipiente colector

g) Matraz volumétrico, de 250 cm³

h) Baño de agua, con hielo, en el que se debe sumergirse el matraz

4.2.6. Baño de agua, con temperatura constante de 15 _+ 0,5 ° C, o 20 _+ 0,5 ° c, según el caso de profundidad igual o superior a 30 cm.

Anexo 9. Balance de materia al mejor tratamiento para la elaboración del jarabe de glucosa a partir del almidón de sorgo.

TRATAMIENTO N° 6

MP

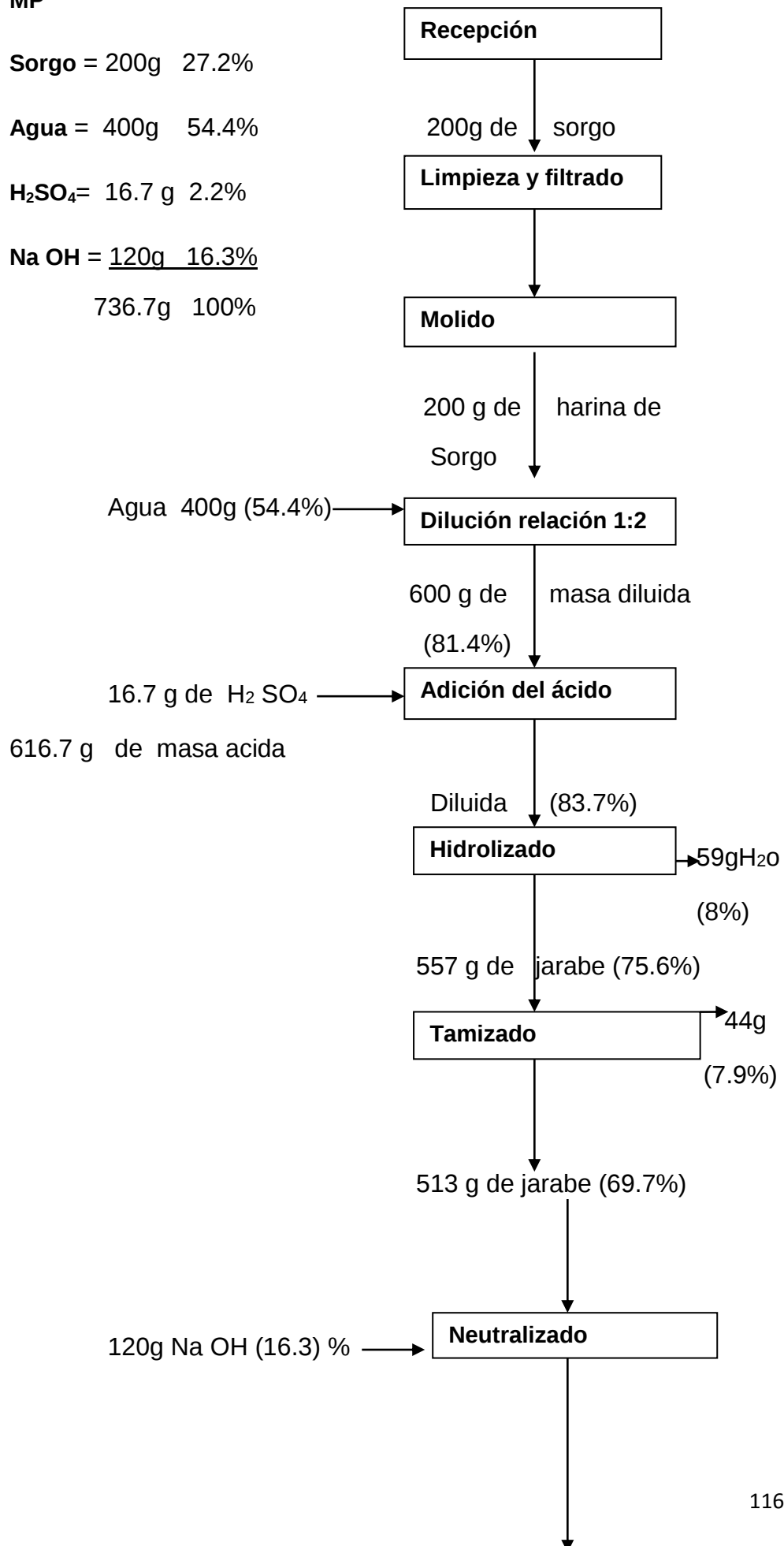
Sorgo = 200g 27.2%

Agua = 400g 54.4%

H₂SO₄= 16.7 g 2.2%

Na OH = 120g 16.3%

736.7g 100%



633.7 g jarabe neutralizado

(86.2%)

Almacenamiento

$$R\% = \frac{\text{peso inicial}}{\text{peso final}} \times 100$$

$$R\% = \frac{631}{734} \times 100 = 86.2\% \text{ de rendimiento con } 31^\circ \text{ brix}$$

Anexo 10

Balance de materia para la obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo

TRATAMIENTO N° 1

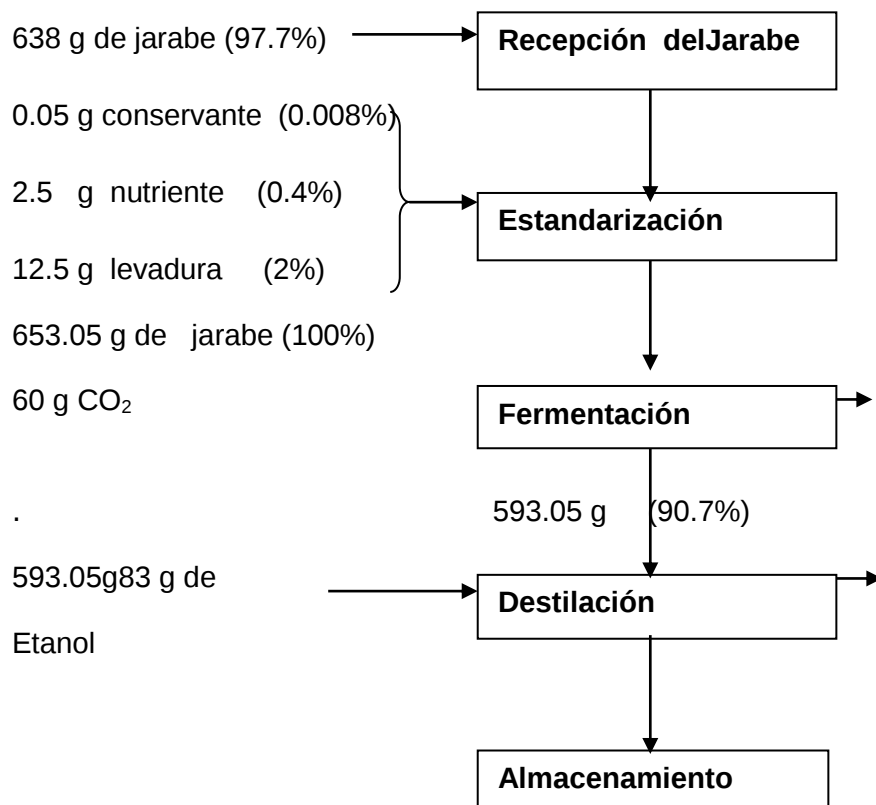
MP

Jarabe = 638 g 97.7%

Levadura = 12.7 g 2%

Nutriente = 2.5 g 0.4%

653g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{83}{653} \times 100 = 12.7 \%$$

Anexo 11

TRATAMIENTO N° 2

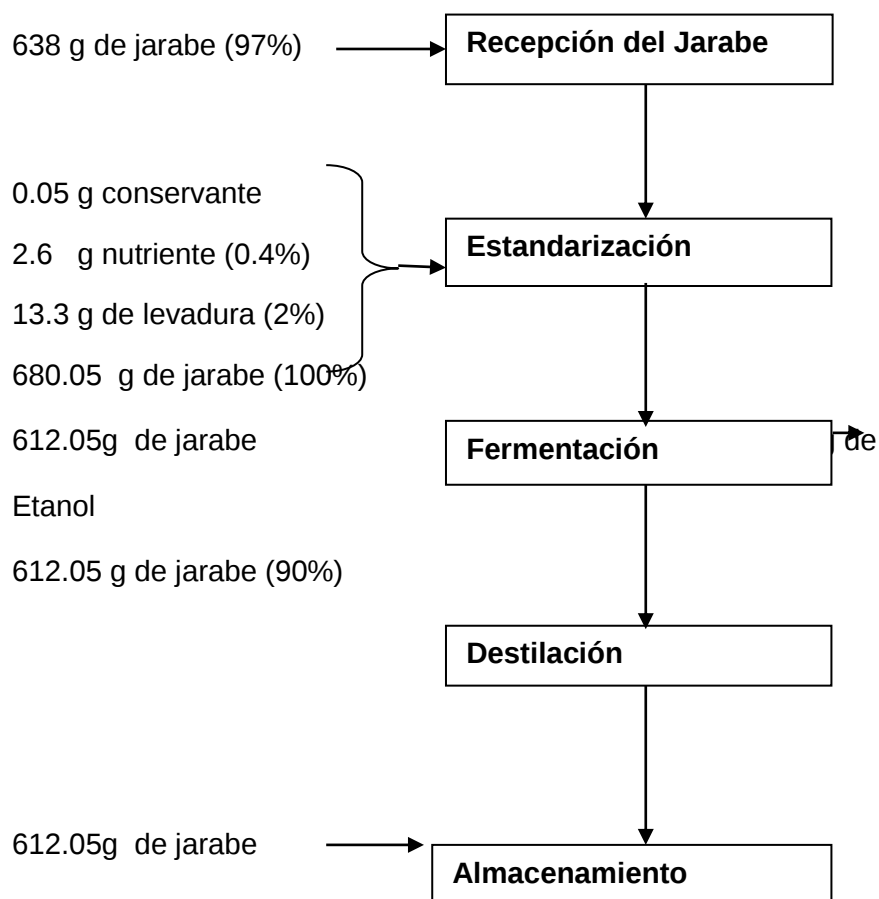
MP

Jarabe = 665g 97.7%

Levadura = 13.3g 2%

Nutriente = 2.6g 0.4%

680g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{95}{680} \times 100 = 13.9\%$$

Anexo 12

TRATAMIENTO N° 3

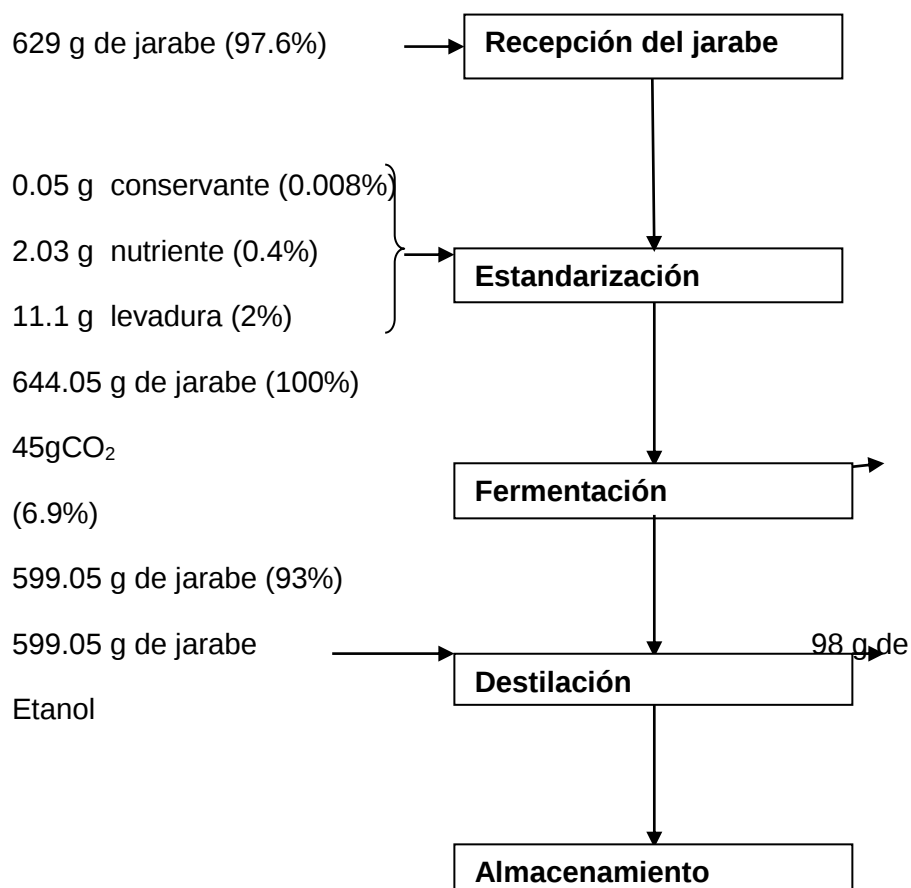
MP

Jarabe = 629g 97.6%

Levadura = 12.5g 2%

Nutriente = 2.5g 0.4%

644g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{98}{644} \times 100 = 15.2\%$$

Anexo 13

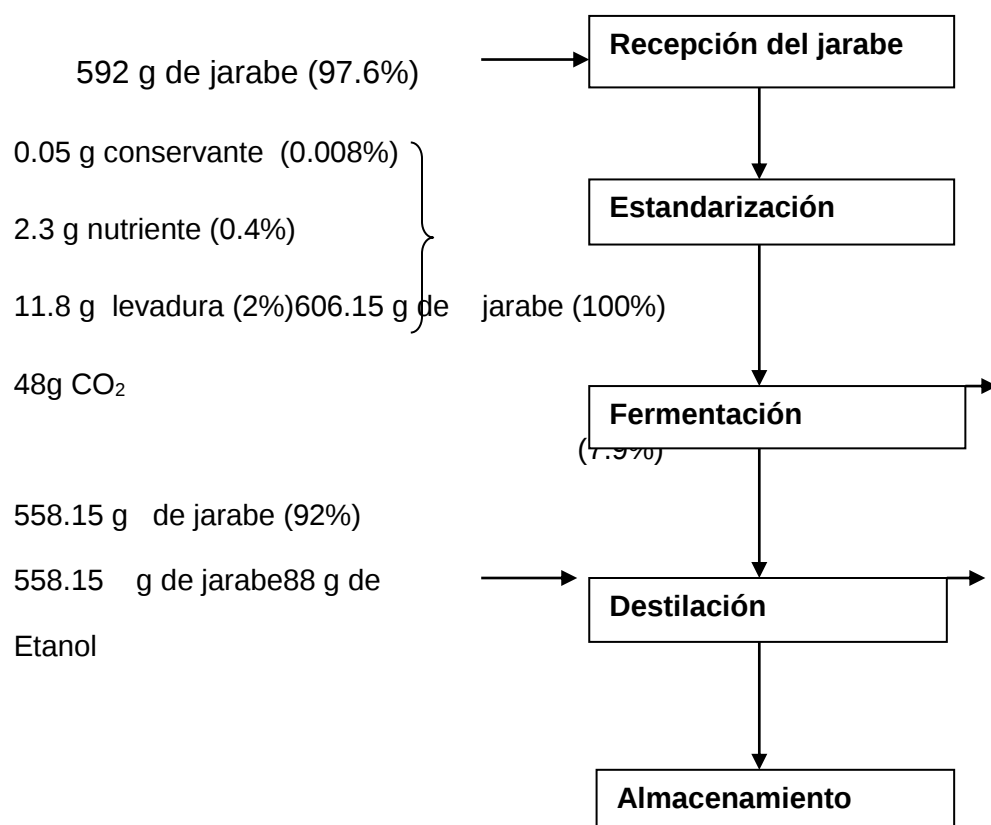
TRATAMIENTO N° 4

MP

Jarabe = 592g 97.6%

Levadura= 11.8g 2%

Nutriente= 2.3g 0.4%
644.1g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{88}{606.1} \times 100 = 16.1 \%$$

Anexo 14

TRATAMIENTO N° 5

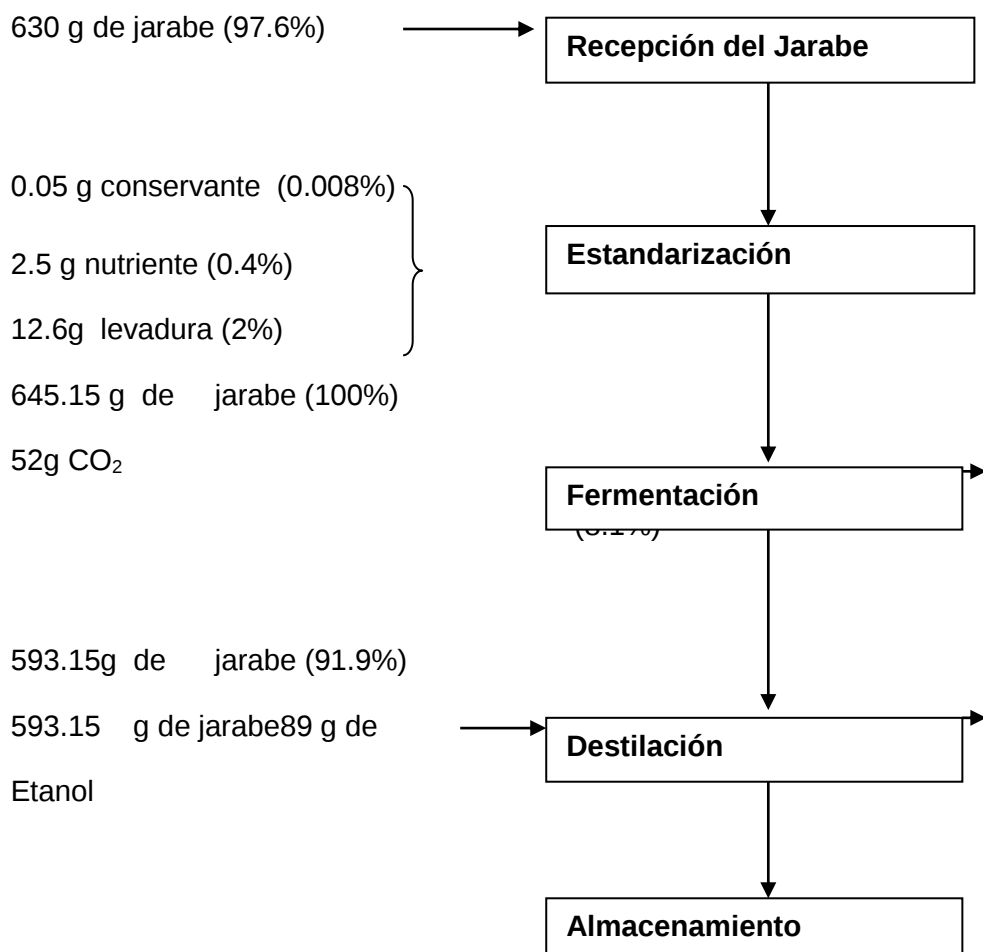
MP

Jarabe = 630 g 97.6%

Levadura = 12.6 g 2%

Nutriente = 2.5g 0.4%

645.1g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{89}{645.1} \times 100 = 13.7 \%$$

Anexo 15

TRATAMIENTO N° 6

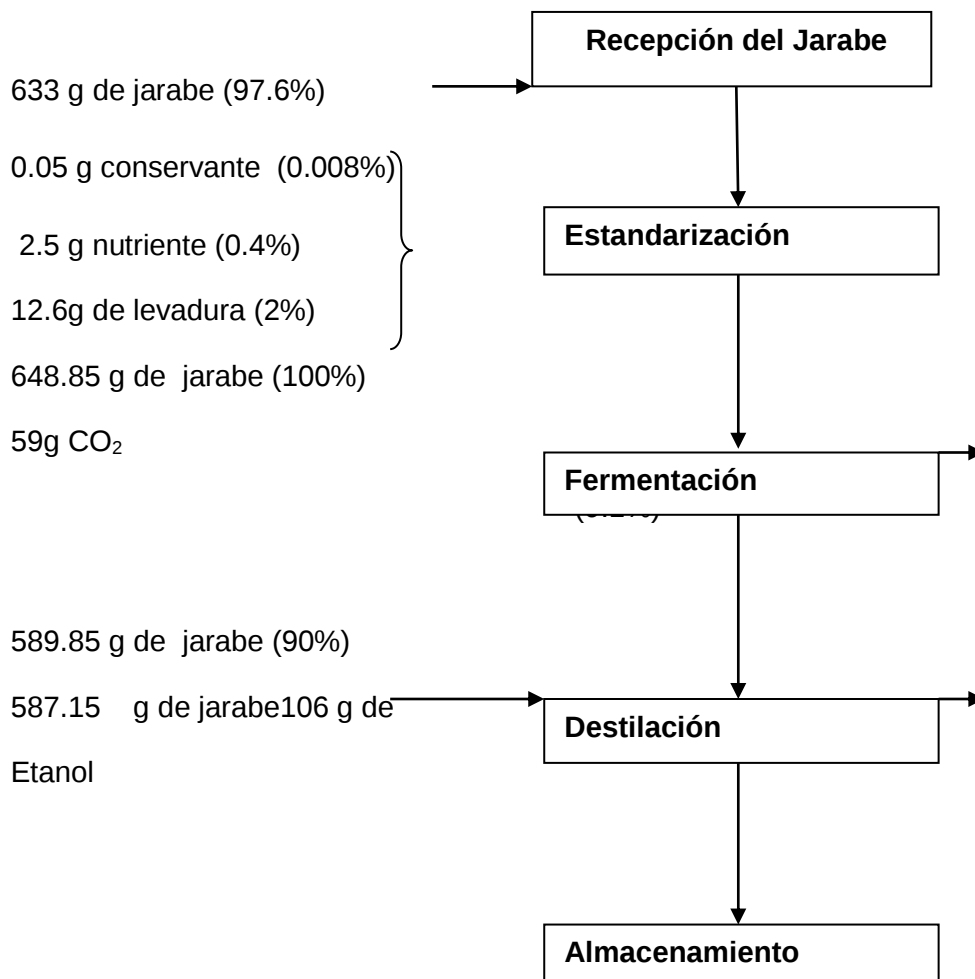
MP

Jarabe = 633g 97.6%

Levadura =12.6g 2%

Nutriente= 2.5g 0.4%

648.85g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{106}{648.5} \times 100 = 16.3 \%$$

Anexo 16

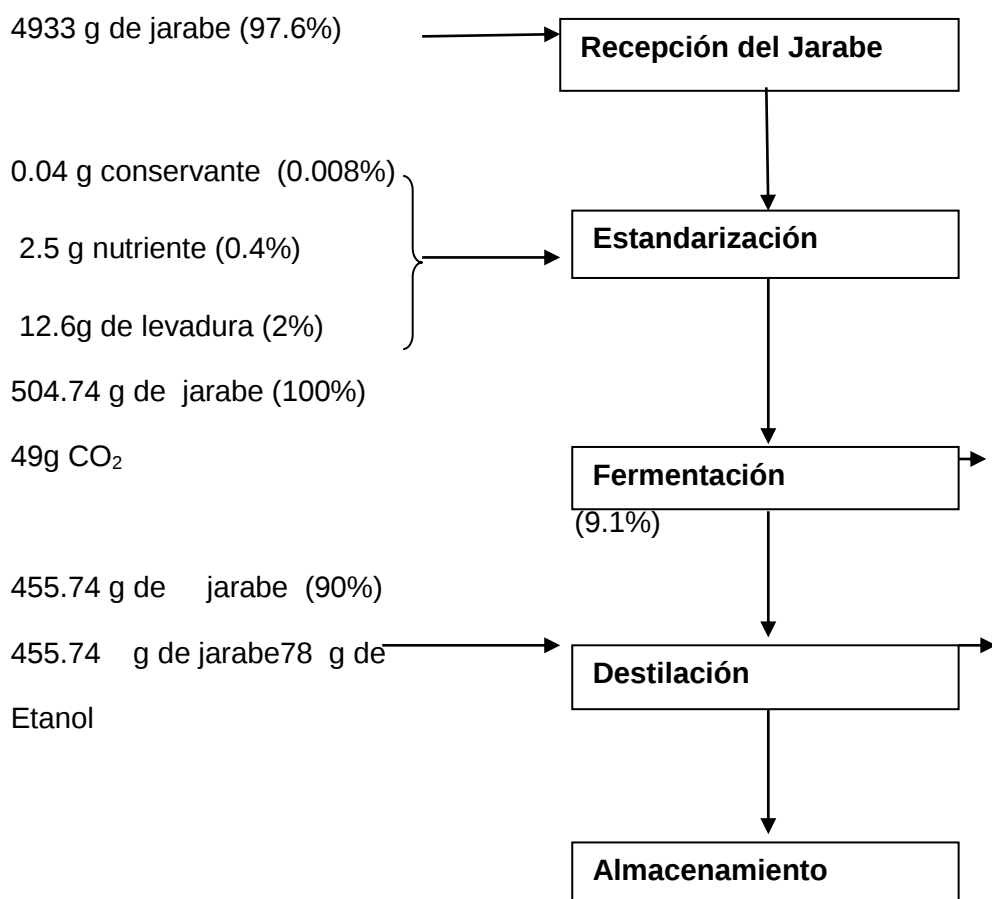
TRATAMIENTO N° 7

MP

Jarabe = 493 g 97.6%

Levadura= 9.8 g 2%

Nutriente = 1.9g 0.4%
504.7g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{78}{504.7} \times 100 = 15.4 \%$$

Anexo 17

TRATAMIENTO N° 8

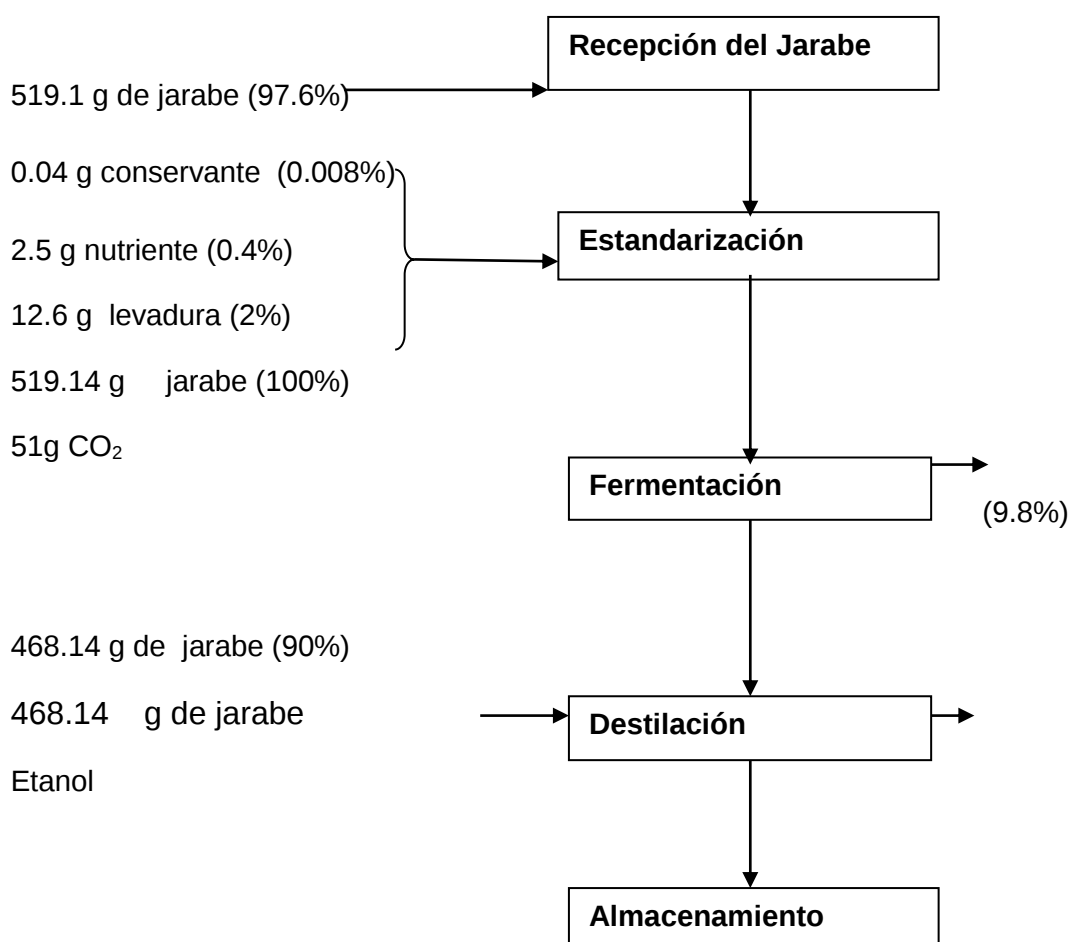
MP

Jarabe = 507g 97.6%

Levadura = 10.1g 2%

Nutriente= 2.01g 0.4%

519.1g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{82}{519.1} \times 100 = 15.4 \%$$

Anexo 18

TRATAMIENTO N° 9

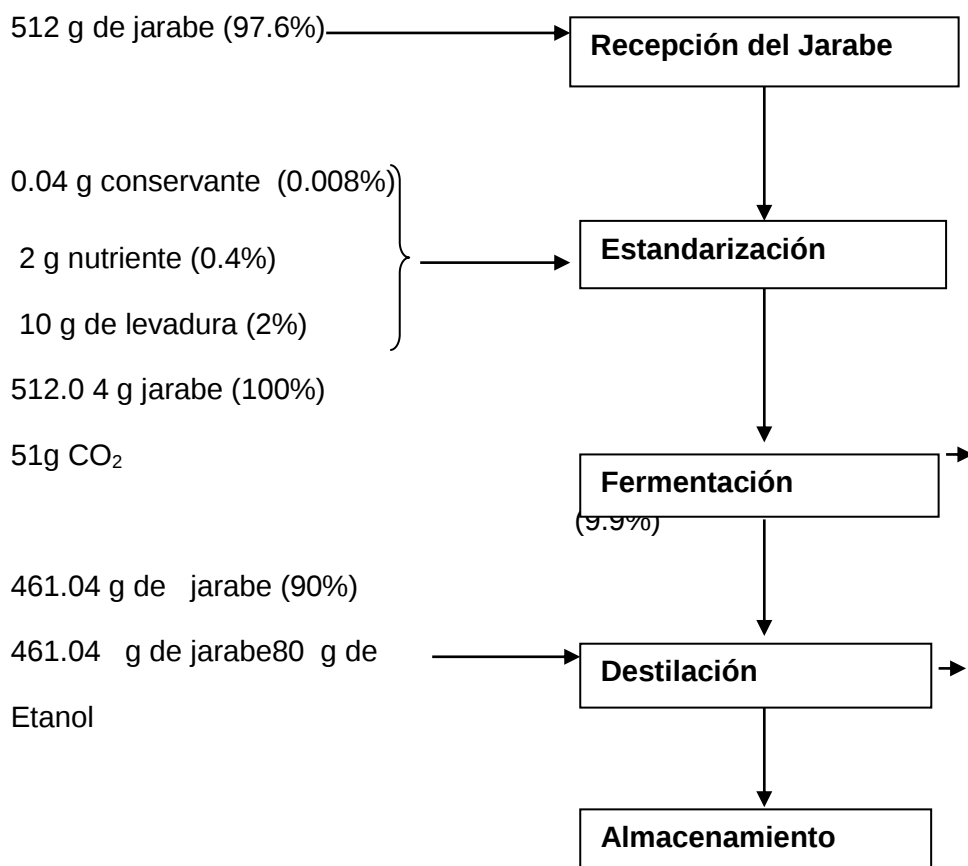
MP

Jarabe = 500g 97.6%

Levadura = 10.g 2%

Nutriente = 2.g 0.4%

512 g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{80}{512} \times 100 = 15.6 \%$$

Anexo 19

TRATAMIENTO N° 10

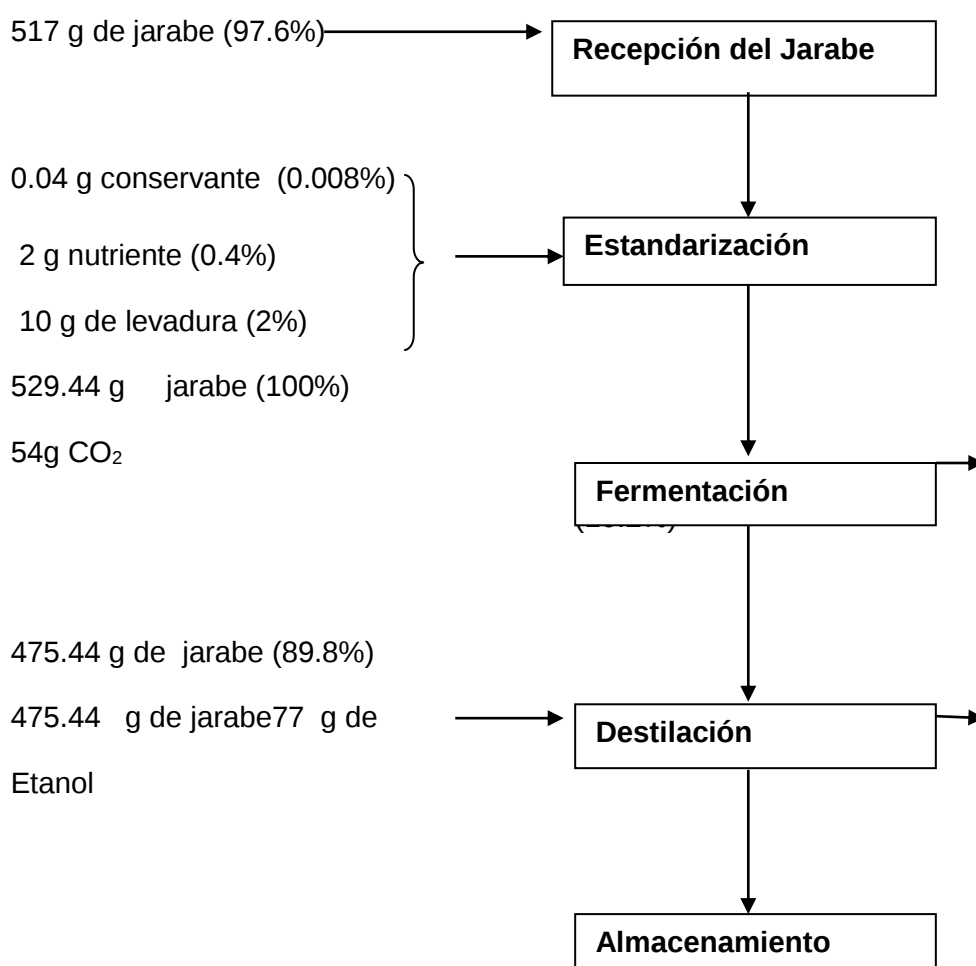
MP

Jarabe = 517g 97.6%

Levadura = 10.3g 2%

Nutriente = 2.1g 0.4%

529.4 g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{77}{529} \times 100 = 14.5\%$$

Anexo 20

TRATAMIENTO N° 11

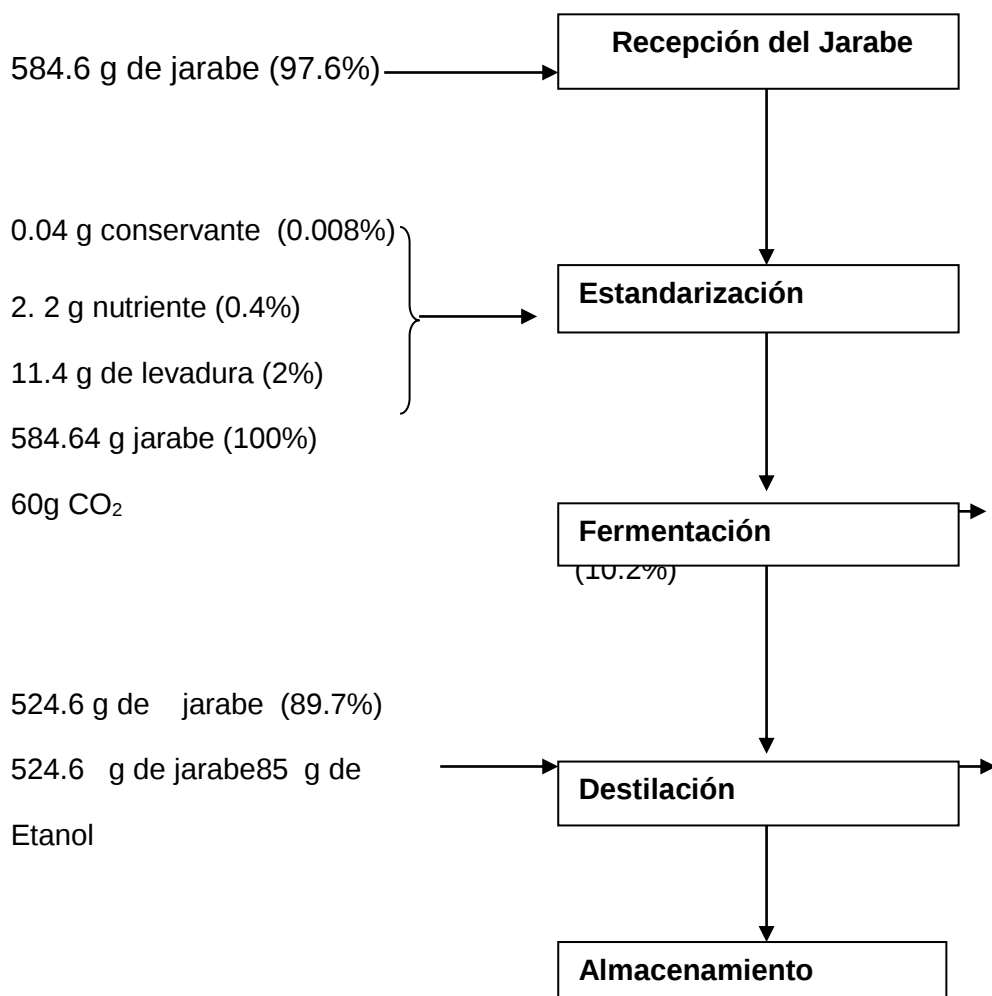
MP

Jarabe = 571 g 97.6%

Levadura = 11.4g 2%

Nutriente= 2.2g 0.4%

584.6 g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{85}{584.6} \times 100 = 14.5\%$$

Anexo 21

TRATAMIENTO N° 12

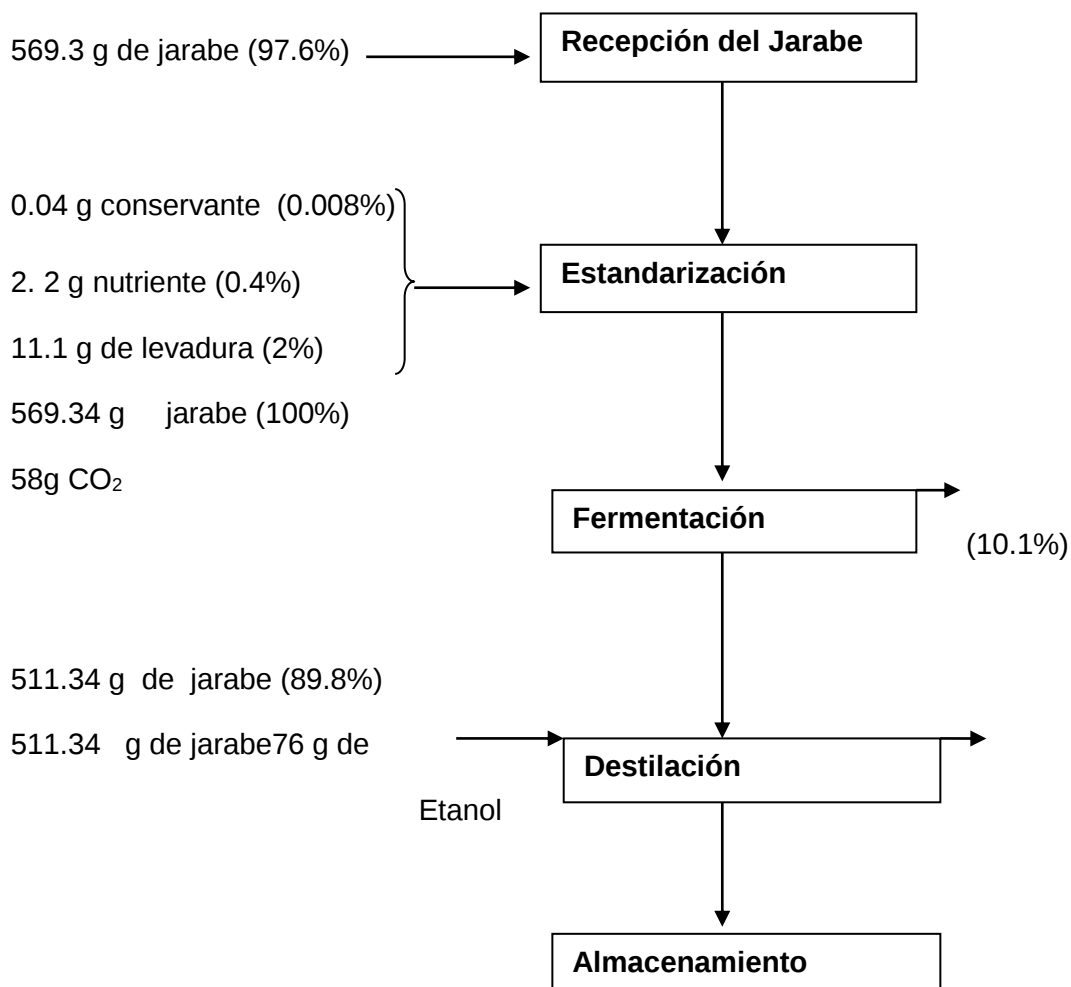
MP

Jarabe = 556 g 97.6%

Levadura = 11.1g 2%

Nutriente = 2.2g 0.4%

569.3 g 100%



Rendimiento

$$R\% = \frac{76}{584.6} \times 100 = 13.3\%$$

Anexo 22tablas 5 valores promedio del análisis físico químico del etanol a partir del almidón de sorgo

				NTM INEN 341	NTM INEN 340	
N °		pH del jarabe hidrolizado	Grado s Brix del jarabe	Acidez %=g ac. Acético/100 ml de alcohol anhídrido	Grado alcohólico porcentaje alcoholímetro	Densidad Método del picnómetro
	TRATAMIENTOS	R1R2	R1R2	R1R2	R1R2	R1R2
1	a ₀ b ₀ c ₀	1.7 1.4	25 24	0.199 0.191	41 41	0.9589 0.9589
2	a ₀ b ₁ c ₀	1.1 1.3	23 23.5	0.174 0.179	47 47	0.9028 0.9028
3	a ₀ b ₂ c ₀	1.1 1.9	30 29.5	0.283 0.281	39 39	0.9508 0.9508
4	a ₀ b ₀ c ₁	1.4 1.6	26.5 26	0.196 0.195	49 48	0.9357 0.9355
5	a ₀ b ₁ c ₁	1.6 1.7	26.5 26.5	0.252 0.253	40 38	0.9476 0.9466
6	a ₀ b ₂ c ₁	1.7 1.9	31 30.5	0.224 0.228	50 49	0.9009 0.9661
7	a ₁ b ₀ c ₀	1.6 1.1	21.5 22	0.240 0.241	40 40	0.9428 0.9428
8	a ₁ b ₁ c ₀	1.5 1.4	24.5 25.5	0.302 0.311	35 34	0.9747 0.9740
9	a ₁ b ₂ c ₀	1.5 1.5	25 25	0.201 0.200	30 31	0.9335 0.9308
10	a ₁ b ₀ c ₁	1.4 1.3	23.5 23.	0.291 0.293	38 37	0.9654 0.9610
11	a ₁ b ₁ c ₁	1.3 1.2	26 26	0.240 0.241	48 47	0.9669 0.9017
12	a ₁ b ₂ c ₁	1.8 1.1	28 28	0.225 0.227	47 47	0.9362 0.9362

Anexo 23 tabla 6

características organolépticas R1				características organolépticas R2		rendimiento
n°	tratamientos	color	aspecto	color	aspecto	%
		sensorial	sensorial	sensorial	sensorial	R1 R2
1	a ₀ b ₀ c ₀	verde claro	transparente	verde claro	transparente	12.7 12.1
2	a ₀ b ₁ c ₀	café amarillo	ligero turbio	café amarillo	ligero turbio	13.9 12.4
3	a ₀ b ₂ c ₀	amarillo pálido	transparente	amarillo pálido	transparente	15.1 13.6
4	a ₀ b ₀ c ₁	amarillo pálido	transparente	amarillo pálido	transparente	16.2 15.7
5	a ₀ b ₁ c ₁	verde claro	transparente	verde claro	transparente	13.7 11.7
6	a ₀ b ₂ c ₁	verde claro	transparente	verde claro	transparente	16.3 17.0
7	a ₁ b ₀ c ₀	amarillo pálido	transparente	amarillo pálido	transparente	15.4 14.0
8	a ₁ b ₁ c ₀	amarillo pálido	transparente	amarillo pálido	transparente	15.4 12.9
9	a ₁ b ₂ c ₀	amarillo	ligero turbio	amarillo	ligero turbio	16.6 16.9
10	a ₁ b ₀ c ₁	amarillo pálido	transparente	amarillo pálido	transparente	14.5 13.7
11	a ₁ b ₁ c ₁	amarillo pálido	transparente	amarillo pálido	transparente	14.5 14.6
12	a ₁ b ₂ c ₁	amarillo pálido	transparente	amarillo pálido	transparente	13.3 12.7

Anexo 24 tabla 7: glucosa en muestras de grano sin germinar, con hidrólisis ácida en 200 g de harina de sorgo

temperatura/tiempo			Ácido sulfúrico	Ácido clorhídrico
t ₁	86 ° C	4 horas	25 g de glucosa	-
t ₄	86 ° C	4 horas	26.5 g de glucosa	-
t ₇	86 ° C	4 horas		21.5 g de glucosa
t ₁₀	86 ° C	4 horas		23.5 g de glucosa
t ₂	88 ° C	5 horas	23 g de glucosa	
t ₅	88 ° C	5 horas	26.5 g de glucosa	-
t ₈	88 ° C	5 horas	-	24.5 g de glucosa
t ₁₁	88 ° C	5 horas	-	26 g de glucosa
t ₃	90 ° C	6 horas	30 g de glucosa	-
t ₆	90 ° C	6 horas	31 g de glucosa	-
t ₉	90 ° C	6 horas	-	25 g de glucosa
t ₁₂	90 ° C	6 horas	-	28 g de glucosa

Para la sacarificación de los granos, se adoptó la combinación tiempo – temperatura – concentración cuyo mejor resultado fue el tratamiento 6, 31 g glucosa (en 200 g de harina de sorgo). Con estas condiciones se preparó el medio de cultivo para realizar Ensayos de fermentación.

Anexo 25 tabla 8: Fermentación de harina de sorgo, sacarificada por hidrólisis ácida, con levaduras.

nº	tratamiento	Glucosa a las 0 horas de fermentación	Glucosa a las 72 horas de fermentación	alcohol (gramos/litro)
t ₁	a ₀ b ₀ c ₀	25 g de glucosa	15 g de glucosa	41
t ₂	a ₀ b ₁ c ₀	23 g de glucosa	11 g de glucosa	47
t ₃	a ₀ b ₂ c ₀	30 g de glucosa	19 g de glucosa	39
t ₄	a ₀ b ₀ c ₁	26 .5 g de glucosa	12.5 g de glucosa	49
t ₅	a ₀ b ₁ c ₁	26.5 g de glucosa	17 g de glucosa	40
t ₆	a ₀ b ₂ c ₁	31 g de glucosa	15 g de glucosa	50
t ₇	a ₁ b ₀ c ₀	21.5 g de glucosa	14 g de glucosa	40

t ₈	a ₁ b ₁ C ₀	24.5 g de glucosa	16 g de glucosa	35
t ₉	a ₁ b ₂ C ₀	25 g de glucosa	17.5 g de glucosa	30
t ₁₀	a ₁ b ₀ C ₁	23.5 g de glucosa	13 g de glucosa	38
t ₁₁	a ₁ b ₁ C ₁	26 g de glucosa	12.5 g de glucosa	48
t ₁₂	a ₁ b ₂ C ₁	28 g de glucosa	14 g de glucosa	47

El rendimiento más alto de fermentación obtenido fue el t₉ con un 70 % del teórico

Anexo N° 27 fotos del proceso de elaboración y obtención de etanol hidratado a partir del almidón de sorgo

Recepción de la materia prima



Obtención de la harina



Dilución relación 1: 2



Adición del ácido



Hidrólisis ácida en caldera de baño María



Neutralizado con hidroxido de sodio



Inoculación del jarabe con levadura



Fermentación alcohólica



Destilación por arrastre de vapor



Obtención del etanol a partir de sorgo



GLOSARIO

Adeva.- Análisis de varianza (ANOVA, según terminología inglesa) es una colección de modelos estadísticos que fueron desarrolladas por el estadístico y genetista R. A. Fisher.

Aldehídos.- Son compuestos orgánicos caracterizados por poseer el grupo funcional CHO, Se denominan como los alcoholes correspondientes cambiando la terminación o por al, es decir el grupo carbonilo H-C=O está unido a un solo radical orgánico. Se pueden obtener a partir de oxidación suave de los alcoholes primarios. Esto se puede llevar a cabo calentando el alcohol en una disolución ácida de bicromato de potasio, también hay otros métodos en los que se emplea Cr en estado de oxidación +6 el bicromato se reduce Cr^{3+} .

Ácido clorhídrico.- El agua fuerte es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno es muy corrosivo y ácido, se emplea muy bien como reactivo químico y se trata de un ácido fuerte que se disocia completamente en una disolución acuosa una disolución concentrada de ácido clorhídrico tiene un pH de 1 (con 40 ml es suficiente para matar a un ser humano, en un litro de agua, y al disminuir el pH mata toda la flora bacteriana).

Ácido sulfúrico.- El ácido sulfúrico es un compuesto muy corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 . Es uno de los compuestos que más se produce en el mundo, por eso se lo utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países, una gran parte se lo utiliza en la elaboración de fertilizantes. También se lo utiliza para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica.

Alcohol.- El alcohol se compone de carbono (C), hidrogeno (H) y oxigeno (O), en la proporción de: carbono, oxígeno e hidrogeno, su formula química es C_2H_5OH . El químico lo llama alcohol etílico. El alcohol puro es un líquido transparente como el agua, de un olor agradable y característico y de sabor ardiente. El líquido es muy movable y muy refringente. Es muy inflamable y arde con llama brillante.

El punto de ebullición del alcohol se halla a la presión normal, aproximadamente en los 78° Celsius. El peso específico, medido a los 15 ° C, vale 0.7938. El alcohol puede mezclarse en cualquier proporción con agua. Al efectuar la mezcla, el alcohol se calienta y una vez enfriado, se observa que se ha producido una contracción en el sentido de que 50 partes de alcohol producen aproximadamente 97 partes líquido.

Azeotropo.- Es una de dos o más líquidos que se caracterizan por tener un punto de ebullición constante y conservar durante dicha ebullición una composición constante.

Almidón.- Polisacárido ($C_6H_{10}O_5$) que se encuentra en forma de reserva en los órganos vegetales verdes de las plantas es el compuesto que se encuentra en mayor abundancia en el reino vegetal, se encuentra formado por moléculas de glucosa.

Bioetanol.- El alcohol etílico de origen vegetal, o bioetanol se obtiene por fermentación de mostos azucarados, que dan lugar a vinos de grado alcohólico variable (entre 10 a 15 de grado alcohólico) este alcohol se puede concentrar por destilación obteniéndose un alcohol hidratado (5 % de agua).

Etanol.- Alcohol etílico, se obtiene en fase de vapor, pasando etileno y vapor de agua a presión sobre un catalizador de ácido fosfórico.

Hidróxido de sodio.- El hidróxido de sodio o hidróxido sódico también conocido como sosa caústica es un hidróxido caústico que se emplea en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, detergente, Además es usado en la Industria Petrolera en la elaboración de Lodos de Perforación base Agua.

Hidrólisis.- La hidrólisis es la descomposición de un compuesto químico por acción del agua y compuestos químicos, Para ello se mezcla al vegetal triturado con agua y con una enzima (o en su lugar con ácido) y se calienta la papilla obtenida a 120 – 150° C,

posteriormente se cuele la masa es un proceso llamado escarificación, y se envía a los reactores de fermentación.

Glucosa.- Es el nombre común como se conoce a la alfa D – glucosa píranosa, se fabrica por hidrólisis completa de cualquier almidón natural por medios ácidos o enzimáticos la glucosa elaborada con almidón de sorgo es idéntica a la de maíz y se usa principalmente como ingrediente alimenticio.

Sorgo.- Planta gramínea que tiene sus orígenes en el África parecida al maíz en composición y fisionomía produce una inflorescencia llamada panícula del cual se extrae su grano para su industrialización.

Tukey.- La prueba de tukey, conocida como prueba honesta de significación, es utilizada cuando en la investigación se requieren comparar más de dos medias de tratamientos. Es más rigurosa que las anteriores, pues toma un solo valor de Q de la misma tabla del rango estudentizado y corresponde al mayor valor utilizado por SNK.