

**EVALUACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS EN LITROS DE ALCOHOL /
KILOGRAMO DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta crantz*) DE LAS
VARIETADES INDUSTRIALES MCOL 2215 Y MTAI 8, VIA ENZIMATICA**

**DINA LUZ BOHORQUEZ NAVARRO
JULIA DEL ROSARIO MADERO CHAMORRO**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
SINCELEJO
2008**

**EVALUACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS EN LITROS DE ALCOHOL /
KILOGRAMO DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta crantz*) DE LAS
VARIETADES INDUSTRIALES MCOL 2215 Y MTAI 8, VIA ENZIMATICA**

**DINA LUZ BOHORQUEZ NAVARRO
JULIA DEL ROSARIO MADERO CHAMORRO**

**Proyecto de trabajo de grado para optar al título de Biólogo con énfasis en
Biotecnología**

**Director
JAIRO GUADALUPE SALCEDO MENDOZA
Ingeniero Químico**

**Codirector
JUSTO FUENTES CUELLO**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE EDUCACIÓN Y CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
SINCELEJO
2008**

**Las ideas expuestas en este trabajo son únicas y exclusivas de los Autores
(Art. 2 Res 02 – 2003)**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Sincelejo, junio de 2008

DEDICATORIA

Con sabiduría se construye la casa; con inteligencia se hechan los cimientos; con buen juicio se llenan sus cuartos de bellos y extraordinarios tesoros. (Proverbios 24, 3 – 4).

Le agradezco a Dios por ser luz en mi camino y fuente de mi sabiduría.

A mi madre Carmen Chamorro por su esfuerzo, confianza y consejos en todo momento.

A Juan Pablo mi angelito por alegrar mis momentos de tristeza y fortalecer con su sonrisa y frases dulces mis momentos de debilidad.

A mi abuela, hermanas y tíos por depositar su confianza en mí.

A Olga Navarro y esposo por ser instrumentos de fortaleza y ejemplo en los momentos de desmayo.

Al profesor Santiago Ruiz por ser un punto de apoyo en los momentos de necesidad.

A todos mis compañeros por haber compartido este sueño conmigo.

Gracias Señor por haber sido el fruto de esta sabiduría y por hacer de todas estas personas los cimientos para que mi sueño se convirtiera una realidad.

Julia Madero Chamorro.

DEDICATORIA

Dichoso el que haya sabiduría, el que adquiere inteligencia. Porque ella es de más provecho que la plata y rinde más ganancias que el oro. (Proverbios 3: 13-14).

A Dios. Todo poderoso por iluminar mi vida con su presencia, guiarme en todo instante y prodigiarme de entendimiento, sabiduría y fortaleza en los momentos que sentí desfallecer y permitir culminar esta parte de mi proyecto de vida.

A mis padres Olga y José quienes con su gran amor, esfuerzo, humildad y apoyo incondicional han contribuido en la realización de mis sueños, respaldándome con sus oraciones y por esperar de mí siempre lo mejor.

A mis hermanos y demás familiares quienes en todo momento me brindaron su confianza, comprensión y los mejores consejos de superación personal y profesional.

A los amigos que están y estuvieron presentes brindándome la fuerza, confianza y apoyo por hacer este sueño realidad.

Dina Luz

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Facultad de Educación y Ciencias, Universidad de Sucre.

Arturo Doncel por su colaboración y apoyo incondicional.

Jairo Salcedo ingeniero químico y director del trabajo por haber confiado en nosotras.

Olga Perna por sus recomendaciones y confianza.

Antonio Tovar jefe de Centro de Laboratorio.

Auxiliares de laboratorio por la atención y servicio que nos prestaron (Said, Gregorio, Rosa, Toscano).

Sergio Paternina, por su gran colaboración y apoyo.

Los compañeros de academia (Nando, Vivian, Never, Ever, Charly, Jorge, Alis y Ruber) por ser un punto de apoyo en esos momentos.

Los compañeros de la promoción 2002 por su colaboración y amistad.

Santiago Ruiz por su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
1. INTRODUCCION Y PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
3. ESTADO DEL ARTE	21
3.1 GENERALIDADES DE LA YUCA	21
3.1.1 Origen	21
3.1.2 Botánica y Taxonomía	21
3.1.3 Cultivos y cosechas	22
3.2 PRODUCCION MUNDIAL DE YUCA	23
3.2 .1 Producción nacional de yuca	23
3.3 VARIEDADES DE YUCA	25
3.3.1 Variedades Cultivadas en Colombia	26
3.3.1.1 Corpoica Tai (MTAI 8)	26
3.3.1.2 Corpoica Venezolana (MCOL 2215)	27
3.4 GENERALIDADES DEL ALMIDÓN	29
3.4.1 Fuentes de almidón	29
3.4.2 Componentes del almidón	29
3.4.3 Propiedades de los almidones	31
3.4.3.1 Almidones modificados	32
3.4.3.2 Modificación de los almidones	32
3.5 HIDRÓLISIS DEL ALMIDÓN	33
3.5.1 Hidrólisis enzimática	33
3.6 ENZIMAS	34
3.6.1 Enzimas degradadoras de almidón (amilasas)	34
3.6.1.1 Enzimas α – Amilasas	35
3.6.1.2 Enzimas β Amilasas	36
3.7 FERMENTACIÓN ALCOHOLICA	37
3.7.1 Requerimiento del inóculo de levadura	39
3.7.1.1 Nutrientes y activadores	39
3.8 PRODUCCIÓN DE ALCOHOL	39
4. MATERIALES Y MÉTODOS	44
4.1 Localización del proyecto	44
4.2 Variables e indicadores	44
4.2.1 Variables Independientes	44
4.2.2 Variables Dependientes	44
4.2.3 Diseño Experimental	44
4.3 Métodos y procedimientos	45

4.3.1 obtención del almidón de yuca	45
4.4 Evaluación del proceso de licuefacción y sacarificación del almidón de yuca de las variedades de uso industrial MCOL 2215 y MTAI 8	46
4.4.1 Licuefacción	46
4.4.2 Sacarificación	47
4.5 Comparación de los rendimientos de Litros de etanol/Kilogramo de almidón a partir del proceso de fermentación	48
4.5.1 Fermentación alcohólica	48
4.6 Evaluación del rendimiento de alcohol producido	49
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
5.1 OBTENCIÓN Y SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	50
5.2 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LICUEFACCIÓN Y SACARIFICACIÓN	51
5.2.1 Equivalentes de Dextrosa (E.D) de la variedad MCol 2215 y MTAI 8	51
5.2.2 Grados Brix para la variedad MCOL 2215 y MTAI 8	54
5.3 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN	56
5.3.1 Equivalentes de Dextrosa de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8	56
5.3.2 Grados Brix para las variedades MCOL 2215 y MTAI 8	56
5.3.3 Crecimiento celular (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>) para las variedades MCOL 2215 y MTAI 8	58
5.3.4 Variación de la concentración de alcohol durante el tiempo de fermentación para las variedades MCOL 2215 y MTAI 8	61
5.3.5 Crecimiento celular, producción de alcohol y consumo de grados Brix durante el proceso de fermentación de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8	64
5.4 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ALCOHOL	
6. CONCLUSIONES	66
7. RECOMENDACIONES	72
8. BIBLIOGRAFÍA	74
9. ANEXOS	75
	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta de yuca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>).	22
Figura 2. Producción mundial de yuca 2005.	23
Figura 3. Tubérculos de la variedad MTAI 8.	27
Figura 4. Tubérculos de la variedad MCOL 2215.	28
Figura 5. Estructura de la amilasa	30
Figura 6. Estructura de la amilopectina	31
Figura 7. Biorreactor y agitador	47

LISTA DE GRAFICAS

- Grafica 1.** Equivalentes de dextrosa (E.D) en función del tiempo de licuefacción y sacarificación variedad MCOL 2215. 52
- Grafica 2.** Equivalentes de dextrosa (E.D) en función del tiempo de licuefacción y sacarificación variedad MTAI 8 52
- Grafica 3.** Evaluación de los grados Brix en función del tiempo de licuefacción y sacarificación variedad MCOL 2215 54
- Grafica 4.** Evaluación de los grados Brix en función del tiempo de licuefacción y sacarificación variedad MTAI 8 55
- Grafica 5.** Consumo de equivalentes de dextrosa (E.D) en función del tiempo de Fermentación variedad MCOL 2215. 57
- Grafica 6.** Consumo de equivalentes de dextrosa (E.D) en función del tiempo de Fermentación variedad MTAI 8. 57
- Grafica 7.** Decrecimiento de grados Brix en función del tiempo de Fermentación. 58
- Grafica 8.** Decrecimiento de grados Brix en función del tiempo de Fermentación variedad MTAI 8. 59
- Grafica 9.** Crecimiento Microbiano en función del tiempo de Fermentación variedad MCOL 2215. 60
- Grafica 10.** Crecimiento Microbiano en función del tiempo de Fermentación variedad MTAI 8 61

- Grafica 11.** Producción de alcohol en función del tiempo de fermentación para la variedad MCOL 2215 10%, 13%, 16% p/v. 62
- Grafica 12.** Producción de alcohol en función del tiempo de fermentación para las variedades MTAI 8 10%, 13%, 16% p/v. 63
- Grafica 13.** Interacción entre los grados Brix, Logaritmo del número de microorganismos y alcohol en función del tiempo de fermentación variedad MCOL 2215 10%, 13% y 16% p/v 64
- Grafica 14.** Interacción entre los grados Brix, Logaritmo del número de microorganismos y alcohol en función del tiempo de fermentación variedad MTAI 8 10%,13% y 16% p/v. 65
- Grafica 15.** Medias para el rendimiento de alcohol por tonelada de almidón de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8 69
- Grafica 16.** Rendimientos litros de alcohol / tonelada de yuca de la variedad MCOL 2215 para una humedad de 62% base húmeda 70
- Grafica 17.** Rendimientos litros de alcohol / tonelada de yuca de la variedad MTAI 8 para una humedad de 65% base húmeda 71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Participación Departamental en la Superficie Cosechada, producción y rendimiento Nacional – 2005.	24
Tabla 2. Producción de yuca en el Departamento de Sucre 2000 – 2005	25
Tabla 3. Ficha técnica de la Termamyl ®120L, Tipo L	36
Tabla 4. Ficha técnica de AMG 300L	37
Tabla 5. Dosis enzimáticas empleadas en la etapa de licuefacción y sacarificación.	47
Tabla 6. Nutrientes y cantidad de levadura para el inóculo variedad MCOL 2215.	48
Tabla 7. Nutrientes y cantidad de levadura para el inóculo variedad MTAI 8.	49
Tabla 8. Determinación de la composición de la yuca fresca.	50
Tabla 9. Rendimiento en litros de alcohol/tonelada de almidón de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8 a concentraciones de sustrato de 10%, 13% y 16% p/v.	66
Tabla 10. Análisis de varianza del rendimiento de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8.	67
Tabla 11. Medias por mínimos cuadrados para 95% de intervalos de confianza y contraste de múltiples rangos de según yuca MCOL 2215 y MTAI 8.	68

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Resumen estadístico; equivalentes de Dextrosa variedad MCOL 2215, concentraciones 10%,13%, 16% p/v	86
ANEXO B Resumen estadístico; equivalentes de Dextrosa variedad MTAI 8, concentraciones 10%,13%, 16% p/v	89
ANEXO C Resumen estadístico; grados Brix variedad MCOL 2215, concentraciones 10%,13%, 16% p/v	92
ANEXO D Resumen estadístico; grados Brix, variedad MTAI 8 concentración 10%, 13%, 16% p/v	95
ANEXO E Resumen estadístico; equivalentes de dextrosa etapa de fermentación variedad MCOL 2215 concentración 10%, 13%, 16% p/v	98
ANEXO F Resumen estadístico; equivalentes de dextrosa MTAI 8 concentración 10%, 13%, 16% p/v	101
ANEXO G Resumen estadístico; grados Brix, variedad MCOL 2215 concentración 10%, 13%, 16% p/v	104
ANEXO H Resumen estadístico; grados Brix, variedad MTAI 8 concentración 10%, 13%, 16% p/v	107
ANEXO I Resumen estadístico; rendimiento de alcohol variedad MCOL 2215 concentración 10%, 13%, 16% p/v	110

ANEXO J Resumen estadístico; rendimiento de alcohol MTAI 8 concentración 10%, 13%, 16% p/v	113
ANEXO K Resumen estadístico; microorganismos variedad MCOL 2215 concentración 10%, 13%, 16% p/v	116
ANEXO L Resumen estadístico; microorganismos variedad MTAI 8 concentración 10%, 13%, 16% p/v	119

RESUMEN

En este trabajo se realizó hidrólisis enzimática y fermentación de los almidones de yuca de las variedades de uso industrial MCOL 2215 y MTAI 8 en tres concentraciones (10%, 13% y 16% p/v) con el fin de evaluar los rendimientos de alcohol producido (Litros de alcohol / Kg de materia prima). Utilizando un diseño experimental factorial categórico único individual aleatorizado en cuatro bloques y seis niveles para un total de 24 ejecuciones, el análisis de los datos se realizó con el software statgraphics plus 5.1. En la hidrólisis enzimática (licuefacción y sacarificación) se utilizaron las enzimas Termamyl® 120L, con un tiempo de reacción de 2 horas y una temperatura de 90° C, y la enzima AMG 300L durante 4 horas a una temperatura de 65° C, determinándose los azúcares reductores o equivalentes de dextrosa (E.D) mediante el método de DNS y grados Brix; obteniéndose para la variedad MCOL 2215 valores de E.D de 65 en las concentraciones del 13% y 16% p/v y grados Brix de 14.5 a una concentración de 16% p/v, mientras que en la variedad MTAI 8 se obtuvieron 100 E.D y 13,8 grados Brix en la concentración del 10% p/v. En el proceso de fermentación se evaluaron varios parámetros: consumo de azúcares reductores, aumento de biomasa, grados Brix y producción de alcohol por medio del método de Winnick. La evaluación del rendimiento mostró que la variedad MTAI 8 a una concentración de 10% p/v presentó el mayor rendimiento, 618,425 litros de alcohol / tonelada de almidón, a diferencia de la variedad MCOL 2215 la cual presentó menor rendimiento, 478,35 litros de alcohol / tonelada de almidón a una concentración del 16% p/v.

ABSTRACT

This work was carried out enzymatic hydrolysis and fermentation of starches varieties of cassava for industrial use MCOL 2215 and MTAI 8 in three concentrations (10%, 13% and 16% w / v) with a view to assessing the performances of alcohol produced (liters of alcohol / kg of raw material). Using a factorial design categorical single individual randomized into four blocks and six levels for a total of 24 performances, the analysis of data was performed using the software statgraphics plus 5.1. The enzymatic hydrolysis (liquefaction and saccharification) were used enzymes Termamyl ® 120L, with a reaction time of 2 hours and a temperature of 90 ° C, and the enzyme AMG 300L for 4 hours at a temperature of 65 °C was established sugars Reducing or dextrose equivalent (D.E) by the method of DNS and degrees Brix; obtained for the variety MCOL 2215 values of (D.E) 65 in concentrations of 13% and 16% w / v and degrees Brix 14.5 to a concentration of 16% w / v, while the variety MTAI 8 were obtained 100 (D.E) and 13.8 degrees Brix in the concentration of 10% w / v. In the fermentation process were evaluated various parameters: consumption of reducing sugars, increased biomass, degrees Brix and alcohol production by the method of Winnick. The performance evaluation showed that the variety MTAI 8 at a concentration of 10% w / v registered the highest yield, 618425 liters of alcohol / tonne of starch, unlike the variety MCOL 2215 which showed lowest, 478.35 liters alcohol / tonne of starch to a concentration of 16% w / v.

INTRODUCCION Y PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

La yuca es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia Euphorbiaceae y al género *Manihot* (Alcántar, 1983), que cuenta con más de 180 especies, siendo la de importancia económica la *Manihot esculenta crantz* (Padmaja, 1995), es un arbusto perenne originario de Sur América y actualmente difundido en zonas tropicales de cerca de 90 países de América, Asia y África (Balagopalan *et al.*, 1988). Es una especie tropical originaria de la Amazonia Americana, conocida con los nombres de cassava, manioc, mandioca o yuca (Ceballos, 2002).

La yuca es de gran importancia para la agricultura y esto se debe a que requiere pocas técnicas de producción o insumos produciendo cosechas relativamente altas bajo condiciones adversas (<http://orbita.starmedia.com/aldocova/cultivares/yuca.html>).

Es una especie eficiente, la producción de calorías la constituye en el cuarto producto básico más importante después del arroz, el trigo y maíz, es un componente primordial en la dieta de más de 1000 millones de personas (Buitrago, 1990). Entre sus principales características se destacan su gran potencial para la producción de almidón y su tolerancia a la sequía, a los suelos degradados, su gran flexibilidad en la plantación y la cosecha adaptándose a diferentes condiciones de crecimiento (Aristizabal y Sanchez, 2007).

La producción mundial de yuca en el 2005 se estimó en millones de toneladas de raíces naturales volumen al cual Colombia contribuyo con 1.994.059 millones de toneladas (FAO, 2006). Según informes de la FAO durante dicho año la producción en Colombia registró un ligero aumento con respecto a los años anteriores (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Evaluaciones Agropecuarias, 2005).

Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la producción Nacional de yuca (*Manihot esculenta*) se concentra en la Costa Atlántica, la cual participa con el 58% del total nacional, teniendo como mayor productor el Departamento de Bolívar con un 13.1% del total nacional (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, UMATAS 2005).

El Departamento de Sucre es uno de los mayores productores, donde se cultivan variedades tanto comestibles como de uso industrial, es así que para el año 2004 se cultivaron aproximadamente 16600 hectáreas (Ha) de las cuales 3000 Ha corresponden a yuca industrial o amarga encontrándose las variedades Corpoica – Ginés, Corpoica – Orense, Corpoica – TAI, Corpoica – Verónica, entre otras consideradas como materia prima para la obtención del almidón y a partir de este productos de gran importancia económica (Secretaría de Agricultura, 2005).

Atendiendo a los grandes potenciales de recursos naturales con los que cuenta Colombia lo cual le permite cumplir y contribuir con los países industrializados en reducir las altas tasa de contaminación que esta afectando el planeta, según lo establecido en el acuerdo de Kyoto (Diario Oficial del Estado, 2001); es necesario implementar y desarrollar tecnologías que contribuyan con este fin, es así, que la utilización del almidón de yuca en la obtención de alcohol es una alternativa.

Por lo anterior se hace necesario iniciar un proceso de investigación orientada a la información de rendimientos reales (kilogramos de alcohol producidos / kilogramos de materia prima) en la producción de alcohol a partir de las variedades de yuca MCOL 2215 y MTAI 8, generando así un nuevo conocimiento para los inversionistas e investigadores que desean realizar el montaje de una planta industrial para la producción de biocombustible en el Departamento de Sucre.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los rendimientos Litros de alcohol producido / kilogramos de almidón de yuca de las variedades industriales MCOL 2215 y MTAI 8, para la obtención de alcohol utilizando las enzimas Termamyl® 120L, AMG 300L y *Saccharomyces cerevisiae*.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Acondicionar y seleccionar la materia prima para la obtención del almidón de las variedades de yuca de uso industrial MCOL 2215 y MTAI 8.

- Evaluar la producción de equivalentes de dextrosa en el proceso de licuefacción y sacarificación enzimática del almidón de yuca de las variedades industriales MCOL 2215 y MTAI 8.

- Comparar los rendimientos de Litros de alcohol producido / Kg de almidón de las variedades industriales MCOL 2215 y MTAI 8, mediante el proceso de fermentación.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 GENERALIDADES DE LA YUCA.

La yuca es un cultivo importante en países asiáticos, africanos y de América latina, principalmente por su participación en los sistemas agrícolas y por su aporte a la dieta de la población tanto humana como animal (Buitrago, 1990). Las principales ventajas de esta raíz son su mayor eficiencia en la producción de carbohidratos en relación con los cereales y su alto porcentaje de almidón contenido en la materia seca (Hoover, 2001, y Latham, 2002); además, es un cultivo cuya producción se adapta a ecosistemas diferentes y se produce bajo condiciones adversas y climáticas marginales (Cadavid, 2005).

3.1.1 Origen. El nombre científico de la yuca fue dado por Crantz en 1776 (Ceballos y de la Cruz, 2002), es originario de la región amazónica (América tropical), cultivada extensamente por los aborígenes y difundida como alimento por los conquistadores a África y Asia (Ospina *et al.*, 2002). La yuca recibe diferentes nombres comunes: yuca en el norte de América del Sur, América Central y las antillas, mandioca en Argentina, Brasil y Paraguay, cassava en países angloparlantes, guacamote en México, aipi y macacheira en los países de África oriental (Aristizabal y Sanchez, 2007).

3.1.2 Botánica y Taxonomía. La yuca es miembro de la familia liliácea (*Euphorbiaceae*) y del género *Manihot*. La planta de yuca es un arbusto perenne que alcanza una altura entre los 50 y 90 cm., tiene grandes hojas palmeadas pueden usarse como forraje, y sus raíces son comestibles (Figura. 1) (Alarcón y Dufour, 1998). Las flores nacen en el extremo del tallo y su color es de púrpura a amarillo; la planta es “monoica” lo que significa que en ella misma, crecen separadas flores masculinas y femeninas (Ceballos y de la Cruz, 2002).



Figura 1. Planta de yuca (*Manihot esculenta Crantz*).

3.1.3 Cultivos y Cosechas. La yuca es un cultivo de zonas tropicales y subtropicales, con alta tolerancia al estrés biótico (plagas y enfermedades), se siembra por estacas al comenzar las lluvias y se recoge entre 7 y 9 meses (Álvarez y Llano, 2002). La temperatura media ideal para su desarrollo oscila entre los 18 y 35 °C y la temperatura mínima que puede tolerar es de 10 °C. Los suelos arenosos y arcillosos favorecen el crecimiento de la yuca, con excepción de los fangosos; por esta razón, se adapta a suelos ácidos con pH entre 5.0 y 5.5 y alcalinos con pH entre 8.0 y 9.0, por tanto es un cultivo que no tolera encharcamiento ni condiciones salinas (Cadavid, 2005).

3.2 PRODUCCION MUNDIAL DE YUCA.

El cultivo de la yuca ha sido una actividad tradicional de gran importancia para la población rural de muchos países del mundo; a pesar de ser un cultivo originario de América latina y el caribe; esta región aportó solo el 18,3% de la producción mundial mientras que África, Asia y América comparten casi totalmente la producción del 54,2, 29.4 y 18.3% respectivamente (Figura 2) (FAO/FIDA, 2006).

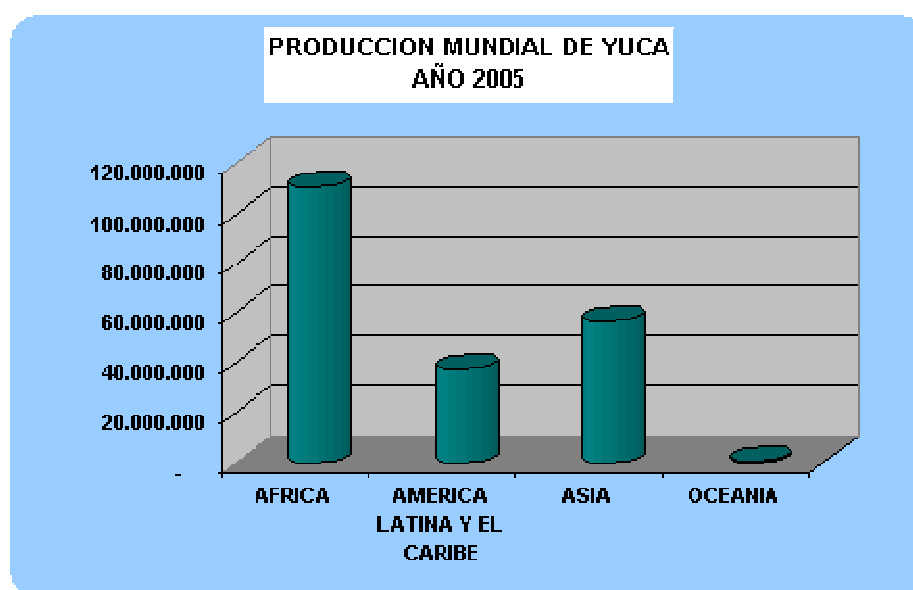


Figura 2. Producción mundial de yuca 2005.

Fuente: FAO/FIDA (2006): Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación / Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. Datos provisionales.

3.2.1 Producción nacional de yuca. Colombia es un gran productor de yuca, en el año 2005 se sembraron en el país 180.556 hectáreas que corresponden a una producción de 1' 994. 059 toneladas de raíces naturales, volumen al cual la Costa Atlántica contribuye con 1'007.517 toneladas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006).

Tabla 1 Participación Departamental en la Superficie Cosechada, producción y rendimiento Nacional – 2005.

Departamento	Superficie (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Kg/Ha)
Bolívar	25.624	260.261	10.157
Córdoba	18.454	25.081	13.823
Sucre	16.614	186.925	11.251
Antioquia	10.804	170.894	15.818
Santander	12.789	159.156	12.445
Total Nal	180.566	1'994.059	11.043

Fuente: Evaluaciones Agropecuarias, Secretaria de Agricultura, UMATAS, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2006.

Como se muestra en la Tabla 1, la Costa Atlántica es un gran productor de yuca, en el año 2005 se sembraron en la Costa 86.664 Ha que corresponde al 50.5% del área Nacional con un rendimiento promedio de 10 toneladas/hectárea. La distribución geográfica de yuca, ubica a la Costa Atlántica como la región más rica, los Departamentos que más la producen son en su orden: Bolívar con 260.261 toneladas; Córdoba con 255.081 toneladas, Sucre con 186.024 toneladas, Cesar con 69.814 toneladas y la Guajira con 38.807 toneladas (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2006).

El Departamento de Sucre en los últimos años se ha mantenido en el tercer lugar en cuanto a producción de yuca se trata es así que para el año 2005 tiene una participación de un 9.4% del total Nacional (2006). En la tabla 2 se presentan los datos históricos de la producción de yuca en el departamento de Sucre hasta el año 2005.

Tabla 2 Producción de yuca en el Departamento de Sucre 2000-2005

Años	Área (Ha)		Producción obtenida(Ton)	Rendimiento (Ton)
	Sembradas	Cosechadas		
2000	17.268,0	17.253.0	153.025.0	8.869,0
2001	15.746.0	15.387.0	127.213,0	8,424.0
2002	17.365.0	17.340.0	156.499,0	9,025,0
2003	15.593.0	15.513.0	150.150,0	9,678,0
2004	16.909.0	16.909.0	172.326,0	10.191,0
2005	16.237	16.614	186.925	11,251

Fuente: UMATAS - Sucre 2006 Consensos Agropecuarios Municipales – Consenso Departamental.

3.3 VARIEDADES DE YUCA.

Existen más de 5000 variedades de yuca en el mundo de las cuales cada una tiene su particularidad, pero básicamente se clasifican en dulces y amargas (Alarcón y Dufour, 1998). La mayoría de las dulces son de consumo humano y no presentan toxicidad, mientras que las amargas pueden contener altos niveles de ácido cianhídrico (HCN); aunque, las dulces por exceso de nitrógeno, o falta de potasio en el suelo pueden volverse amargas (Gómez, 2000)

La presencia de glucósidos cianogénicos tanto en raíces como en hojas es un factor determinante en el uso final de la yuca, las variedades dulces tienen bajos niveles de estos glucósidos y pueden ser consumidas después de los procesos de cocción. Las variedades amargas tienen niveles elevados de glucósidos; por ello estas son generalmente utilizadas para procesos industriales (Sánchez, 2004)

La diferencia entre variedades amargas y dulces no siempre es precisa, ya que el contenido de glucósidos cianogénicos no es constante dentro de una variedad, y depende también de las condiciones edafoclimáticas del cultivo (Ceballos, 2005).

3.3.1 Variedades Cultivadas en Colombia. En el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) existe una colección de más de 1.000 variedades recolectadas en todo el mundo que han sido utilizadas para obtener productos industriales tales como el almidón, papel, adhesivos entre otros (Jaramillo, 2002).

En Colombia las variedades mas conocidas incluyen la manihot ICAP- 12, ICA-24-3, CMC-40, CMC-76, CM-507-37, venezolana, entre otras. Las nuevas variedades opcionales para la producción y desarrollo agroindustrial de la yuca en la región caribe tenemos: Corpoica – Ginés, Corpoica-Orense, Corpoica-Tai y Corpoica-verónica; las cuales son fruto de un trabajo colaborativo entre CIAT, Corpoica y el consorcio Clayuca (Corpoica, 2000). Las variedades industriales mas cultivadas, gracias a sus rendimientos corresponden a MTAI 8 y MCOL 2215 las cuales según estudios realizados por el CIAT en el departamento de Sucre, reportan que la MTAI 8 presenta un rendimiento de 27 toneladas/hectárea, mientras que la variedad Venezolana presenta un rendimiento promedio de 14 toneladas/hectárea (Ortega, 2006)

3.3.1.1 Corpoica-Tai (MTAI - 8). Es una variedad liberada en Tailandia como Rayong 60 en 1987; aunque la CIAT la había introducido en 1986 con el código de MTAI-8, es un clon que proviene del cruzamiento realizado en Tailandia entre la variedad colombiana MCOL 1684 y la variedad regional Rayong 1. Dentro de sus características morfológicas están: es una planta de porte medio a alto, que alcanza una altura promedio de 2 metros; su tallo presenta una coloración verde grisáceo en la parte externa; bajo condiciones de la Costa Atlántica el tallo ramifica

a los 1,20 m y en condiciones de Urabá 0,40 m. Sus hojas verde claro con ápices pubescentes verde oscuro, el lóbulo central es de forma lanceolada, pecíolos verdes con manchas rojizas en el extremo distal y proximal (Figura 3). Sus raíces son de color blanco o crema, corteza blanca, tienen forma cónica y cilíndrica con pedúnculo corto, es amarga por su alto contenido de cianuro en la pulpa; presenta resistencia moderada a los insectos y a enfermedades (Corpoica, 2005).



Figura 3. Tubérculos y características morfológicas de la variedad MTAI 8.

3.3.1.2 Corpoica - Venezolana (MCOL 2215). Es una variedad nativa de la Costa Norte de Colombia, conocida como MCOL 2215 en el banco de germoplasma del CIAT. El nombre de Venezolana se debe a que antiguamente había trashumancia de campesinos entre Colombia y Venezuela, los campesinos colombianos trajeron semillas de Venezuela las cuales otros las habían llevado desde Colombia. Las características morfológicas de esta variedad son: porte medio a alto, alcanzando una altura promedio de 2 metros, y tallo de color café (Figura 4). Bajo condiciones de la Costa Atlántica, es de poca ramificación, haciéndolo a la altura de 1 metro. Los pecíolos son de color verde y su cogollo es

de color morado con pubescencia intermedia y lóbulo central de forma lanceolada. Sus raíces son de forma cilíndrica de color oscuro con pedúnculo intermedio, corteza de color rosada y pulpa blanca. Son dulces por su bajo contenido de cianuro en la pulpa, por lo cual su principal uso es el consumo humano en fresco. Esta variedad es susceptible a la bacteriósisis, pudrición seca de raíz y tallo, al barrenador de la yuca (Chilomima) y al súper alargamiento. Presenta resistencia intermedia a los insectos trips, y es susceptible a los ácaros (Corpoica, 2005).



Figura 4. Tubérculos de la variedad MCOL 2215.

La yuca se utiliza tanto en alimentación humana y animal, en forma fresca y procesada:

Listado de productos derivados

- Productos fritos
- Productos deshidratados: tradicionales
- Hojuelas
- Productos congelados: trozos, puré

- Productos empacados al vacío: trozos semi cocidos y esterilizados
- Productos derivados del proceso industrial: corteza, fibra

Harina

- Industrias alimentarias: panadería, bases para sopas, carnes
Procesados, pastas, base de bebidas y alimento animal

Almidón

- Consumo humano
- Industria papelera
- Productos fermentados: raíces enteras almidón agrio (Grace, 1997 y Murrillo y Haug, 2005)

3.4 GENERALIDADES DEL ALMIDÓN

3.4.1 Fuentes de almidón. El almidón es el principal polisacárido y carbohidratos de reserva de la mayoría de los vegetales (Trubell, 1994 y Jane *et al.*, 1994), se almacena como alimento en las semillas de cereales (maíz, trigo, arroz, sorgo), cuyo contenido va del 30 al 80%, en tubérculos (papa, ñame) con 60 a 90% de materia seca y en semillas de leguminosas (frijoles, lentejas, guisantes) representa del 25 al 50 (Guilbot y Mercier, 1985). También está presente en raíces (yuca, batata), frutas (banana, manzanas y tomates verdes), troncos (palma sorgo) y hojas (tabaco), además es la principal fuente de calorías de la humanidad (Latham, 2002). Es importante como constituyente de los alimentos en los que está presente, tanto desde el punto de vista nutricional como tecnológico (Sritoth *et al.*, 2000 y Jobling, 2004).

3.4.2 Componentes del almidón. El almidón está compuesto por la mezcla de dos sustancias, amilasa y amilopectina que solo difieren en su estructura (Ribeiro y Seravalle, 2004). El componente amilasa (Figura 5) es un polímero lineal que consta de residuos de D-glucosa unidos por enlaces α (1,4), tiene un extremo no

reductor y uno reductor (Fennema, 2000). Su peso molecular varía entre los diferentes tipos de almidones, pero generalmente se encuentra entre 1000 unidades de glucosa por molécula de amilasa y tiene forma de espiral (Hoover, 2001).

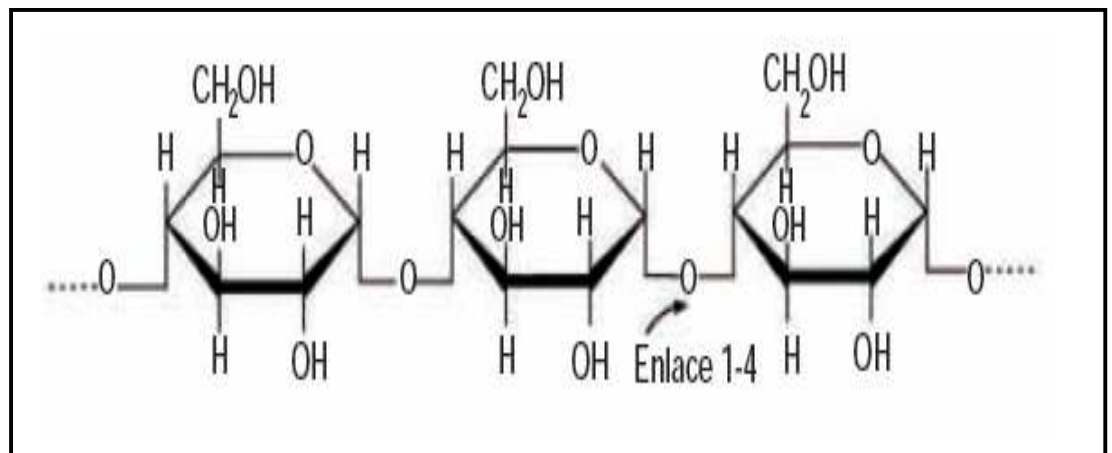


Figura 5. Estructura de la amilosa.

La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilasa y este varía dependiendo del origen. Muchos almidones tales como el maíz común, trigo, papa y yuca contienen alrededor de 18 – 25% de amilasa (Tester y Karkalas, 2002).

La amilopeptina (Figura 6) es un polímero ramificado formado por cadenas lineales constituidas por 15 – 35 moléculas de glucosa unidas por enlaces α (1,4) que forman los puntos de ramificación; tiene de 5-6 por ciento de enlaces α 1, 6 y esta constituida de alrededor de 100.000 moléculas de glucosa (Duprat *et al.*, 1980 y Fennema, 2000). La amilopeptina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes (Tester y Karkalas, 2002). La estructura y la cantidad relativa de ambos componentes del almidón juegan un papel

importante en la determinación de las propiedades fisicoquímicas del almidón (Taggar, 2004).

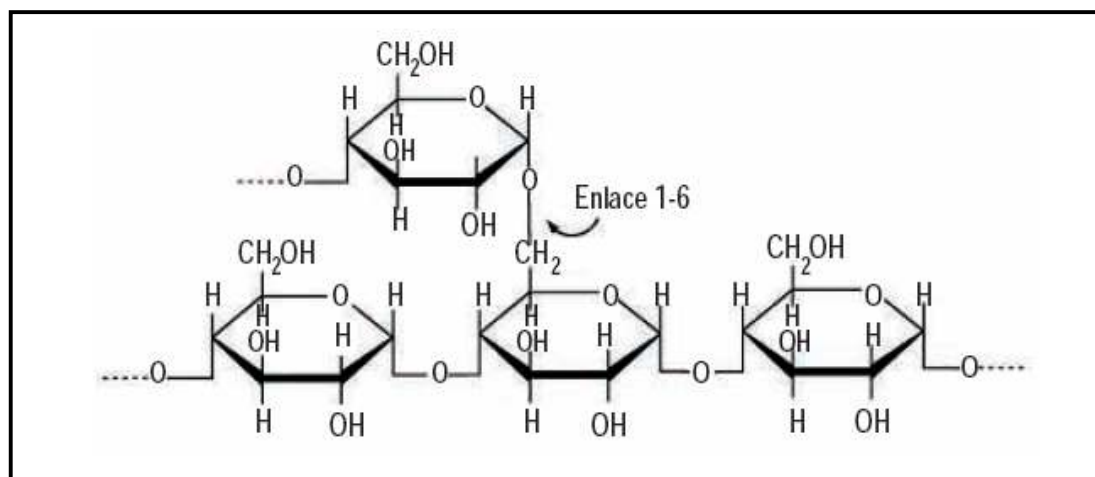


Figura 6. Estructura de la amilopectina

3.4.3 Propiedades de los almidones. Cada almidón es único en término de organización del gránulo y estructura de sus constituyentes poliméricos, y generalizados para almidones de diferentes fuentes, que deben tener sus limitaciones. Reconocer esta característica abre camino para nuevos productos (BeMiller, 1997 y Thiré *et al.*, 2003).

La producción mundial total de almidón, está estimada entre 25 a 45 millones de toneladas por año. Después de los azúcares más simples (sacarosa, glucosa, fructosa y maltosa), es el principal carbohidrato que los vegetales superiores sintetizan a partir de la fotosíntesis (Franco *et al.*, 2001).

El almidón tiene múltiples usos, además de ser utilizado en la alimentación humana, es muy utilizado en la industria alimentaría como aditivos, espesante, aglutinante, gelificante y estabilizador (Franco *et al.*, 2001). Actualmente el almidón tiene muchas aplicaciones por ejemplo la obtención de azúcares y

jarabes, formulación de alimentos, industria de papel y textil, etc) (Thompson, 2000), lo cual permite que los almidones naturales sean modificados para así ser utilizados en la industria aunque es necesario conocer las propiedades físico – químicas y funcionales de éstos (Alfa – Laval, 1996; Smith, 2000).

3.4.3.1 Almidones modificados. Los almidones nativos, incluyendo el almidón de yuca, presentan ciertas limitaciones para su uso industrial. Por lo tanto son modificados para mejorar sus propiedades funcionales y tener un amplio rango de aplicaciones industriales; los productos resultantes de los almidones modificados son, consecuentemente, de mayor valor agregado (Wurzburg, 1995). La modificación del almidón permite realizar o inhibir propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios de pH y temperatura y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez (Díaz y Filella, 2005). Las principales modificaciones son la degradación, pregelatinización, y la derivatización (Vian, 1994).

3.4.3.2 Modificación de los almidones. Las modificaciones pueden ser físicas, químicas, enzimáticas y combinadas; las modificaciones físicas pueden ser efectuadas por el roce (por ejemplo, molienda), las químicas son usadas para intensificar características deseables de almidones. Esto incluye “entrecruzamiento” para proveer resistencia química y térmica (Parker y Ring, 2001).

En la modificación enzimática las enzimas son usadas para hidrolizar el almidón, particularmente para la producción de dextrinas y glucosa (Franco *et al.*, 2001). Aunque α amilasa y amiloglucosidasa son ampliamente usadas para la obtención de jarabes de glucosa, maltodextrinas y glucosa cristalina (dextrosa); dextrinas y maltosas especializadas pueden ser obtenidas con β -amilasas (Van Der Maare *et al.*, 2002).

3.5 HIDRÓLISIS DEL ALMIDÓN

La hidrólisis del almidón o ruptura de los gránulos de éste en medio acuoso tienen como finalidad la transformación de los polímeros de glucosa en azúcares sencillos (Mera y Carrera, 2005). Los almidones pueden ser hidrolizados por vía química (ácidos, calor y presión) o por vía enzimática (Prasanna, 2005). Los almidones modificados por enzimas son los más importantes comercialmente (Vilpoux, 2004). La hidrólisis enzimática se lleva a cabo con la ayuda de enzimas obtenidas de microorganismos; la hidrólisis química se efectúa preferentemente con los ácidos clorhídrico y sulfúrico (hidrólisis ácida) o con una base fuerte (hidrólisis alcalina) (Surmely *et al.*, 2002).

3.5.1 Hidrólisis enzimática. La hidrólisis enzimática del almidón nativo puede ser considerada como una de las técnicas para modificar el almidón nativo por reducción de su peso molecular promedio. Durante la hidrólisis enzimática se rompen los enlaces α (1-6) presentes en el almidón para liberar las cadenas más cortas: dextrinas, maltosa y glucosa (Souza y Espinosa, 2002). Los productos de la conversión enzimática del almidón van desde glucosa hasta dextrinas de alto peso molecular, el proceso de hidrólisis también puede modificar otras características de las dispersiones del almidón (Aristizábal, 2004). Las α -amilasa son ampliamente usadas para la despolimerización de almidones en la preparación de maltodextrinas. La susceptibilidad de los gránulos de almidón a la α amilasa depende de su origen botánico y de la fuente de la α amilasa (Madhusudhan y Tharanathan, 1995). En general los gránulos de almidón de cereales son mucho más rápidamente hidrolizados por la α amilasa que los almidones de papa, lo cual es ampliamente atribuido a su alta estructura cristalina (Gallart *et al.*, 1992); las dextrinas – límites incompletamente atacadas, producidas por la acción de la enzima α amilasa pueden ser hidrolizados específicamente en glucosa mediante el proceso de sacarificación usando la enzima amiloglicosidasa o glucoamilasa que permite la transformación completa del almidón en glucosa,

alcanzando hasta el 96% de equivalentes de dextrosa E.D (Guilbot y Mercier, 1985)

3.6 ENZIMAS.

Las enzimas son piezas esenciales en el funcionamiento de todos los organismos vivos, actuando como catalizadores de las reacciones de síntesis y degradación que tienen lugar en ellos (Montes y Magaña, 2004). La utilización de éstas en la hidrólisis del almidón presenta una serie de ventajas, además de las de índole económica o tecnológica, su gran especificidad de acción hace que no se produzcan reacciones laterales imprevistas (Tucker y Woods, 1991; Carrera, 2002). Asimismo se puede trabajar en condiciones moderadas, especialmente de temperatura, lo que evita alteraciones de los componentes (Gacesa y Hubble, 2000).

3.6.1 Enzimas degradadoras de almidón (amilasas). Se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, son las enzimas responsables de la degradación del almidón, hidrolizan los enlaces glucosídicos α 1-4 (Satyanarayana *et al.*, 2005). Las amilasas se pueden dividir en tres grupos: α amilasas, las cuales rompen al azar enlaces α 1-4 glucosídicos presentes en la parte interior del sustrato o de la cadena de amilasa y amilopectina (endoamilasas); β amilasas o examilasas, que rompen enlaces α 1-4 y enlaces α 1-6 glucosídicos ordenadamente a partir de los extremos no reductores del sustrato (Artime, 2005). Actúan sobre los residuos de glucosa externos de la amilasa y amilopectina produciendo solamente glucosa (glucoamilasa y glucosidasa) o maltosa y dextrinas y glucoamilasas que liberan unidades de glucosa a partir de los extremos no reductores del sustrato (Pandey *et al.*, 2000).

Existen otras enzimas que degradan almidón tales como las desramificantes que hidrolizan enlaces α 1-6 glucosídicos. La isoamilasa hidroliza enlaces α 1-6 en la

amilopectina y la pululanasa tipo I hidroliza enlaces α 1-6 glicosídicos en pululano y amilopectina (Satyanarayana *et al.*, 2005). Estas enzimas degradan amilopectina obteniéndose así polisacáridos de longitud lineal (Tester *et al.*, 2004).

3.6.1 Enzimas α – amilasas. La familia de la α -amilasas puede ser dividida en dos grupos. Las enzimas que hidrolizan el almidón y las que lo modifican o enzimas transglicosilantes (Carrera, 2002). Las enzimas hidrolizadas prefieren la hidrólisis ácida, en los procesos de industria del almidón y de un número de ventajas tales como: especificidad de la reacción, estabilidad de los productos generados, bajo requerimientos de energía y eliminación de la etapa de neutralización (Sivaramakrishnan *et al.*, 2006). Estas enzimas se caracterizan por actuar sobre los enlaces α glicosídicos e hidrolizan estos enlaces para producir mono u oligosacáridos α -anoméricos (hidrólisis) , de enlaces α 1-4 o α 1-6 glicosídicos (transglicosilación), o una combinación de ambas actividades; poseen una estructura (β/α) o barril TIM conteniendo residuos del sitio catalítico y tienen cuatro regiones altamente conservadas en su secuencia primaria que contienen los aminoácidos que forman el sitio catalítico (Kuriki y Imanakat, 1999).

La acción de la α -amilasas sobre la fracción de amilasa del almidón, se da en dos etapas. Inicialmente, tiene lugar una rápida degradación de la amilasa para dar maltosa y maltotriosa. En la segunda fase, más lenta ocurre hidrólisis de los oligosacáridos, formando glucosa y maltosa como productos finales. La acción sobre la amilopectina produce glucosa, maltosa y una serie de dextrinas y oligosacáridos de cuatro o más residuos de glucosa todos con enlaces glucosídicos α 1-6 (López, 2002).

Termamyl® 120L, Tipo L: es un producto líquido que contiene una α -amilasa sobresaliente termoestable, producida de una cepa genéticamente modificada de *Bacillus licheniformis*. El nombre sistemático de la enzima es 1 - 4 – alfa - D-glucano - hidrolasa. La enzima hidroliza enlaces α 1- 4 de amilasa y amilopectina,

convirtiendo rápidamente el almidón en dextrinas y oligosacáridos solubles. La Termamyl fue desarrollada para promover la licuefacción (dextrinificación) del almidón y producción de maltodextrinas. La tabla 3 muestra la ficha técnica de la enzima (Novo Nordisk, 2002).

Tabla 3. Ficha técnica de la Termamyl® 120L, Tipo L

Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Industria alimentaria: almidón, alcohol, azúcar y cerveza. • Industria de fermentaciones: vitaminas, aminoácidos, antibióticos, etc. • Industria textil y adhesivos.
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia: líquido no viscoso de grado alimenticio. • Color: marrón oscuro. • Densidad: 1,20 – 1,25g/ml.
propiedades según los proveedores	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad: 120 KNU/g (1 KNU: cantidad de enzima rompe 5,26g de almidón por hora, avalado por el método estándar de Novozymes A/S).
Parámetros óptimos	<ul style="list-style-type: none"> • pH: 6,5. • Temperatura: 90 -105°C. • Calcio: 50-70 ppm.

Fuente: Novo Nordisk A/S (2002)

3.6.2 Enzimas β - Amilasas.

- **AMG 300L.** Es una amiloglucosidasa de grado alimenticio, producida a partir de una cepa seleccionada de *Aspergillus niger*. La enzima hidroliza los enlaces α 1-4 y α 1-6 del almidón licuado. Durante la hidrólisis, elimina gradualmente las unidades de glucosa de los extremos no reductores de sacarificado. La velocidad de hidrólisis depende del tipo de enlace y del rompimiento de la cadena. La AMG es recomendada para la sacarificación del

almidón y la producción de glucosa. La tabla 4 muestra la ficha técnica de la enzima.

Tabla 4. Ficha técnica de AMG 300L.

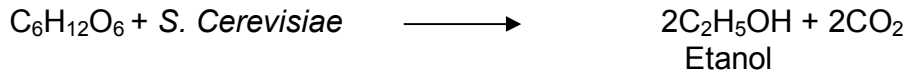
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Industria alimenticia azúcar, alcohol, bebidas y cerveza. • Industria de fermentación vitaminas, aminoácidos, antibióticos, etc.
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia Líquido no viscoso de grado alimenticio. • Color marrón claro. • Densidad 1,2 g/mL.
Propiedades según los proveedores	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad 120 AGU/g. La AMG es disponible con actividad de 300 y 100 AGU/g. (1 AGU concentración de enzima que hidroliza un micromol de de maltosa por minuto).
Parámetros óptimos	<ul style="list-style-type: none"> • pH 4 - 4.5. • Temperatura 58-70°C. • Libre de actividad transglucosidasa.

Fuente: Novo Nordisk A/S (2002)

3.7 FERMENTACIÓN ALCOHOLICA.

Cualquier producto que contenga azúcares fermentables o hidratos de carbono transformables en aquéllos (almidón o celulosa) puede servir para obtener alcohol. Una vez que la biomasa contenga hidratos de carbono se ha transformado en una solución azucarada. Se puede someter esta a un proceso de fermentación con objeto de convertir los azúcares en etanol (Corraza *et al.*, 2001).

La fermentación alcohólica es el proceso de conversión de la glucosa en etanol, por la acción de microorganismos. Esta transformación se produce a través de una compleja secuencia de reacciones que puede expresarse, desde el punto de vista tecnológico, por la siguiente ecuación:



Según esta reacción, de 100 kilogramos de glucosa se obtienen 51,1 kilogramos de etanol y 48,9 kilogramos de dióxido de carbono. En la práctica, el rendimiento real en etanol es menor que el valor teórico, ya que aproximadamente un 5% de glucosa es utilizado por el microorganismo para producir nuevas células y otros productos de su metabolismo (Ribeiro y Seravalle, 2004).

Se produce etanol también por fermentación de productos naturales ricos en hidratos de carbono tales como caña de azúcar, papa, yuca, maíz, sorgo, arroz, trigo, banano, centeno, otros cereales y productos con altos contenidos de almidón (Pereira, 2000). Los cultivos microbianos tales como los de levaduras, operando en ausencia de aire (anaeróbica), convierten los carbohidratos en una mezcla de etanol y CO_2 , en el proceso las levaduras obtienen la energía necesaria para su crecimiento (Lima *et al.*, 2001).

Los microorganismos generalmente empleados son las levaduras, hongos unicelulares ampliamente distribuidos en la naturaleza. Los más utilizados en la fermentación alcohólica son los de la familia *Saccharomyces* (*S. cerevisiae*) (Pacheco y Sgarbieri, 2002). En la acción de las levaduras influye una gran cantidad de factores, entre los que destaca la temperatura, el pH y la concentración de azúcares (Mamede y Pastore, 2004).

3.7.1 Requerimiento del inóculo de levadura

3.7.1.1 Nutrientes y Activadores. Las levaduras fermentativas necesitan los azúcares para su catabolismo, es decir para obtener la energía necesaria para sus procesos vitales, pero además necesitan otros substratos para su anabolismo como son nitrógeno, fósforo, carbono, azufre, potasio, magnesio, calcio y vitaminas, especialmente tiamina (vitamina B1). Por ello es de vital importancia que el medio disponga de una base nutricional adecuada para poder llevar a cabo la fermentación alcohólica. (Araya, 1998; Lima *et al.*, 2001)

3.8 PRODUCCIÓN DE ALCOHOL

El alcohol etílico (etanol) o alcohol de grano, se puede producir a partir de 3 principales tipos de materias primas: materias ricas en sacarosa como la caña de azúcar, la melaza y el sorgo dulce; materias ricas en almidón como los cereales (maíz, trigo, cebada, etc) y los tubérculos (yuca, camote, papa, malanga, etc); materias ricas en celulosa como la madera y los residuos agrícolas. Atendiendo a los usos, el mercado de alcohol puede dividirse en tres: combustible, uso industrial y bebidas. El uso como combustible representa el 66% de la producción mundial, ya sea para mezclar o reemplazar petróleo y derivados, alrededor del 21% se destina a la industria procesadora (cosméticos, farmacéutica, química, entre otras), y el 31% restante se destina a la industria de bebidas (Novoa, 2000).

La producción de alcohol a partir de sustratos azucarados o amiláceos se conoce desde tiempos inmemoriales, principalmente en lo que respecta en la obtención de bebidas, pero el conocimiento del por qué ocurre es más reciente (Peña, 2004). El etanol a partir de cultivos agrícolas es de interés a causa de la naturaleza renovable de las materias primas; los cultivos más usados son el de la caña de azúcar y la remolacha azucarera, sin embargo se le puede producir a partir de

gran variedad de sustratos azucarados o amiláceos, además de productos celulósicos como maíz, yuca y ñame (Fernández, 2004).

Unas de las principales materias primas para la producción de etanol es la caña de azúcar, ya sea en forma de jugo de caña o de melazas (subproductos de la industria azucarera). Se pueden obtener cerca de 70 litros de etanol / tonelada de caña y 9 litros de etanol / tonelada de melaza, además de cerca de 100 kilogramos de Azúcar (Moneira y Goldemberg, 1999).

En Colombia se desarrolló un estudio con el objetivo de describir el diseño y evaluación de las variables que gobiernan el sistema semicontinuo en dos etapas: hidrólisis – fermentación para la producción de etanol a partir de almidón de papa usando simultáneamente *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae*, con resultados comparables a los del método clásico de monocultivo pero con tiempos de bioproducción inferiores. La hidrólisis del almidón y posterior fermentación produjo cantidades significativas de biomasa, azúcares simples, y enzimas como productos colaterales al etanol. Teniendo en cuenta que se realizaron tres experimentos con una concentración inicial de almidón de 2%, 4%, y 8% p/v, de los cuales se obtuvieron concentraciones de etanol de 1.34, 2.62 y 3.42 g/100mL respectivamente (Telléz *et al.*, 1997).

En el trabajo “Estudio preliminar para la obtención de jarabe de glucosa a partir de la hidrólisis enzimática de almidón de yuca utilizando extractos crudos de alfa amilasa (*B. licheniformis*) y glucoamilasa (*A. niger*)”, se aplicaron extractos crudos enzimáticos a una solución de almidón de yuca 20% (p/v). Se ensayaron tres relaciones enzimas/sustratos 10, 20, y 30 ml/Kg de almidón para el extracto de alfa amilasa y 15, 20, 45 ml/Kg de almidón para el extracto de glucoamilasa. Los mejores resultados de la hidrólisis de yuca se lograron con las relaciones de 30 ml/Kg de almidón en la licuefacción y 45 ml/Kg de almidón en la sacarificación, con

lo que se obtuvo un jarabe de glucosa de 83.34% de Equivalente de dextrosa (Lujan *et al.*, 2001).

En el proyecto producción de etanol a partir del almidón aislado de la yuca mediante el biorreactor con tanque agitado y control de variables, dicho almidón (polisacárido de glucosa) se somete a hidrólisis química, de tal forma que se produzcan azúcares fermentables, que son sometidos a una fermentación anaeróbica por acción de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*; obteniéndose así una solución etanólica, el mejor de los experimentos fué a las condiciones de pH 6.0, concentración de azúcares reductores totales de 12 gramos/100mL y temperatura de 37°C con un rendimiento del 89.1% equivalente a 6.4% de etanol. Ambas etapas, hidrólisis y fermentación anaeróbica son realizadas en el biorreactor de tanque agitado controlando las variables de pH, temperatura, agitación, tiempos de hidrólisis y de fermentación y concentración de sustratos. Los experimentos de producción de etanol en el biorreactor están planteados de acuerdo a un diseño factorial de experimentos que permite el análisis estadístico de los resultados. Lo innovador del proyecto en la obtención de etanol por vía Biotecnológica a partir del almidón de yuca, es la aplicación del biorreactor con control de variables para las dos etapas del proceso, hidrólisis química y fermentación anaeróbica. Estas etapas se realizan en forma continua, y en el mismo biorreactor; para tal efecto éste cuenta con accesos para la toma de muestras y para la adición de nutrientes y estabilizadores del bioproceso (Telléz *et al.*, 2001).

En Brasil se desarrolló un estudio sobre la utilización del residuo sólido obtenido en la extracción de almidón de yuca que es usado fundamentalmente en la alimentación animal; el objetivo de este trabajo fue desarrollar la evaluación técnica económica de la producción de alcohol a partir de subproducto de la obtención de almidón de yuca, para esto se usó como enzima complementaria pectinasa para complementar la hidrólisis del mosto, la caracterización del

subproducto presentó los siguientes resultados en base seca: 80% de almidón, 11.55% de fibra, 1,14% de cenizas, 0.85% de proteínas y 0.45% de azúcares. El proceso de hidrólisis tuvo una conversión de 86.31% de almidón inicial y un 80% de rendimiento de azúcares totales. Un análisis mostró que cerca del 75% de la materia seca inicial fue hidrolizado y el residuo presentó 37% de almidón, 30% de azúcares totales y 30% de fibra en base seca; el mosto obtenido presento una concentración de 13 grados Brix siendo necesaria la concentración. La fermentación alcohólica se realizó en 48 horas obteniendo 298.14 Litros / Tonelada de farelo de mandioca, el análisis económico demostró un proceso viable, necesitando un ajuste para su realización comercial (Leonel y Cereda, 2004).

En el trabajo biodegradación de residuos orgánicos de la plaza de mercado de Manizales, los residuos fueron caracterizados, clasificados y acondicionados; analizándose los posibles tratamientos para la conversión en productos de valor agregado. Se eligió transformar el almidón y la celulosa presentes en los residuos; se establecieron las mejores condiciones de temperatura, pH y dosificación de enzimas para transformar los polisacáridos en azúcares reductores. Para la transformación del almidón se utilizaron glucoamilasas; la conversión de almidón alcanzó valores del 60% a 50° C, y un pH de 6, se llevó a cabo el estudio cinético de la hidrólisis de almidón con base en el modelo de Michaelis – Menten. A partir de la nueva materia prima (azúcares reductores) se obtuvo etanol con una conversión de azúcares reductores a etanol de un 28% v/v (Cardona *et al.*, 2004).

En Argentina se realizó un estudio con sorgo dulce, el objetivo de este trabajo fue determinar las condiciones para obtener el mejor grado de hidrólisis del almidón del grano, usando las propias enzimas que se generan durante la germinación. La producción de etanol usando mezclas de jugo de sorgo dulce y granos de sorgo fue investigada bajo condiciones normales y de muy alta concentración de sólidos, con este trabajo se pretende estudiar la etapa de sacarificación y fermentación en

lo que respecta a la selección del microorganismo a utilizar y sistemas de fermentación más adecuadas a este proceso, se usa cepas de *saccharomyces cerevisiae* a 30°C obteniéndose concentraciones de etanol de hasta 16,8% v/v (Bvochora *et al.*, 2000). El rendimiento de fermentación obtenido fue de 71.5% del teórico (Fernández y Garro, 2004)

El trabajo realizado en Costa Rica de los factores que afectan la hidrólisis enzimática y el proceso fermentativo para la producción de alcohol a partir de papa (*Solanum tuberosum*). En la primera etapa experimental se analizó el efecto sobre la conversión a azúcares reductores, de la concentración de las enzimas α -amilasa y amiloglucosidasa, la concentración de sustrato y el tiempo de sacarificación. Se determinó que el efecto combinado entre las concentraciones de la enzima α -amilasa y el sustrato presentó significancia estadística; la conversión a azúcares reductores se ve favorecida al utilizar los valores de 0.8 ml/kg sustrato y 20% respectivamente. La concentración de la enzima amiloglucosidasa y el tiempo de sacarificación no presentó significancia estadística, por lo que se recomienda utilizar 0.8 ml/kg sustrato y un tiempo de 14 horas. En la segunda etapa experimental se realizó el seguimiento cinético de la hidrólisis y se sugiere disminuir el tiempo de acción de la enzima α -amilasa a 0.5 horas y para la sacarificación utilizar un período de 15 horas. En la etapa del seguimiento cinético de la fermentación, se obtuvo un consumo de azúcares reductores de 91%, una concentración máxima de alcohol de 10.33% v/v, un rendimiento de etanol con respecto al ideal de 0,98 y una eficiencia de la fermentación de 0,91. El rendimiento de etanol para el proceso global fue de 0,0746kg etanol/kg de papa (González y Molina, 2006)

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

En el presente trabajo se utilizó el almidón de yuca de las variedades industriales MCOL 2215 y MTAI 8 recolectadas en la vereda Santa Elena en la finca casa zinc del municipio de Sampués, Departamento de Sucre; el proceso de obtención de alcohol se hizo en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad de Sucre, que se encuentra localizada a 90° 4' de latitud norte y 75° 7' de longitud oeste, presentando una humedad relativa del 77%, una precipitación anual de 1087mm, altitud de 200 m.s.n.m y una temperatura promedio de 28°C.

4.2 VARIABLES E INDICADORES

4.2.1 Variables Independientes

- Concentración de almidón: 10%, 13%, 16% p/v
- Variedades de yuca MCOL 2215 y MTAI 8

4.2.2 Variables Dependientes

- Equivalentes de dextrosa
- Grados Brix
- Rendimiento (Litros de alcohol / Kilogramo de almidón)

4.2.3 Diseño Experimental. El diseño experimental utilizado fue un factorial categórica única individual. El análisis de los resultados se hizo con el software

Statgraphics 5.1 a través de un análisis de varianza y una prueba de múltiples rango con 95% de confiabilidad.

4.3 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.

4.3.1 Obtención del almidón de yuca. La obtención de este se realizó de forma manual de la siguiente manera:

➤ **Lavado y pelado**

Las raíces se lavaron con agua para eliminar las impurezas, luego fueron descascaradas con el fin de dejar expuesta la pulpa para el proceso de rayado.

➤ **Rayado y tamizado**

Este proceso se realizó con un rayador manual, la masa rallada se suspendió en agua con el fin de liberar los gránulos de almidón y así efectuar el tamizado con ayuda de un lienzo de tela de nylon, permitiendo el paso de la lechada y a la vez retención de la fibra celulósica.

➤ **Sedimentación y secado**

La sedimentación se realizó en tanques plásticos de 20 litros por un periodo de 12 horas, para ello se retiró el agua sobrenadante y se conservó el sedimento el cual correspondía al almidón extraído, posteriormente este se secó al aire libre por 15 días en laminas de zinc.

➤ **Almacenamiento**

El almidón fue almacenado en bolsas de polietileno para preservar sus características y evitar que se contaminara.

4.4 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LICUEFACCIÓN Y SACARIFICACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA DE LAS VARIEDADES DE USO INDUSTRIAL MCOL 2215 Y MTAI 8

4.4.1 Licuefacción. La hidrólisis enzimática se realizó en un biorreactor de 0.5 litros (Figura 7), al cual se le adaptó un agitador mecánico MLW tipo MR 25 con un rango de 250 revoluciones por minuto, la licuefacción se llevo a cabo utilizando la enzima Termamyl® 120 L, de la Novo Nordisk (Novoenzimas, 2002), se controló la temperatura de reacción de la enzima (90 °C) y la cantidad de acuerdo al catálogo de Novoenzimas, concentración de almidón (10%, 13% y 16% p/v) pesándose la cantidad respectiva para cada concentración en un rango de 4 repeticiones para cada tratamiento, y un volumen de 500 ml en un beaker de 1litro, a la solución se le agregó iones de calcio a 70 partes por millón ajustándose el pH a 6.5 con NaOH al 10%, el tiempo de licuefacción fue de 120 minutos; cada 20 minutos se evaluaron azúcares reductores a través de la técnica del ácido 3,5 Dinitrosalicílico (DNS) (Miller,1959) y grados Brix mediante el refractómetro ausJENA DDR 783243 (0-30%), determinándose los Equivalentes de Dextrosa (E.D), mediante la siguiente ecuación (Benavides *et al.*, 1983):

$$ED = (AR/PM) \times 100$$

Donde AR es la cantidad de azúcares reductores presentes en la muestra expresados en g/ml, y PM es el peso de la muestra seca en gramos. La técnica del DNS, permitió elaborar una curva de calibración empleando un patrón de glucosa de (1g/l); cuya reacción fue leída en un espectrofotómetro Merck SQ 118 V1.70 a 565 nm.

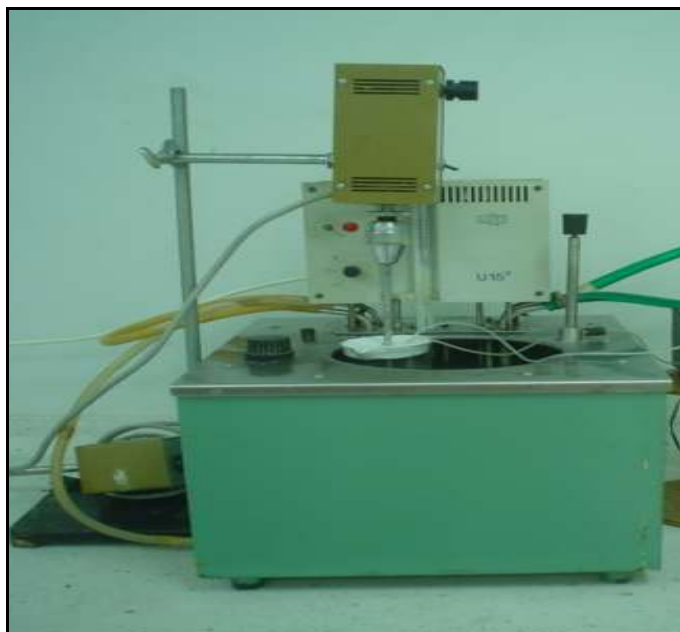


Figura 7. Biorreactor y agitador

4.4.2 Sacarificación. Para esta etapa se empleó una amiloglucosidasa comercial (AMG 300 L®) en las condiciones y cantidades estipuladas por el catalogo de Novo Nordisk (Novo enzimas, 2002), se le ajustó el pH a 4.5 con solución de ácido sulfúrico, se controló la temperatura a 60 °C con agitación constante de 250 rpm, los azúcares reductores o equivalentes de dextrosa se evaluaron cada 30 minutos durante las 4 horas de sacarificación por los métodos utilizados en el proceso de licuefacción. En la tabla 5 se muestran las dosis enzimáticas para cada caso.

Tabla 5. Dosis enzimáticas empleadas en los procesos de licuefacción y sacarificación.

Variedad de yuca Cantidad de enzima μ l	MCOL 2215			MTAI 8			pH	Temperatura de reacción de la enzima
	Concentración de almidón (% p/v)			Concentración de almidón (% p/v)				
	10%	13%	16%	10%	13%	16%		
Termamyl ®120L	38	49.3	57.8	39.13	50.8	62.6	6.5	90 °C
AMG 300L	2140	2775	3250	2650	3450	4240	4.5	60°C

4.5 COMPARACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS EN LITROS DE ETANOL/KILOGRAMO DE ALMIDÓN A PARTIR DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN

4.5.1 Fermentación alcohólica. Se realizó fermentación anaeróbica a una temperatura de 31°C por 48 horas, al producto de la reacción de hidrólisis enzimática, en un beaker de 1 litro con agitación a una velocidad de 250 rpm, proporcionada por un agitador adaptado, al jarabe de glucosa obtenido en la hidrólisis se le agregó un inóculo de levadura con una actividad de 24 horas para garantizar una concentración inicial de en el fermentador de 10^6 microorganismos / ml (0.2% p/p); a este se le adicionaron los nutrientes característicos para este tipo de fermentación: $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$; K_2HPO_4 ; $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (Araya, 1998) en la tabla 6 y 7 se muestran las cantidades respectivas para cada variedad, se tomaron muestras cada 9 horas evaluando la concentración de etanol por el método de Winnick (1984), azúcares reductores (método DNS (Miller, 1959) y grados Brix), además del crecimiento microbiano por conteo en cámara de Neubauer.

Tabla 6. Nutrientes y cantidad de levadura empleados en el inóculo para la variedad MCOL 2215

Levadura y Nutrientes	Concentración de almidón		
	10% p/v	13% p/v	16% p/v
	Peso (g)		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0.91	1.23	1.52
Urea	4.14	4.67	5.75
MgCl_2	0.144	0.1625	0.2
NaCl	0.018	0.0283	0.0348
NaHPO_4	0.7318	0.826	1.017
CaCO_3	0.0456	0.0515	0.063
FeSO_4	0.0626	0.706	0.0869
MnSO_4	0.00132	0.0015	0.00183

Tabla 7. Nutrientes y cantidad de levadura empleados en el inóculo para la Variedad MTAI 8

Levadura y Nutrientes	Concentración de almidón		
	10% p/v	13% p/v	16% p/v
	Peso (g)		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1.02	1.2022	1.503
Urea	3.547	4.61	5.68
MgCl ₂	0.1221	0.159	0.195
NaCl	0.015	0.020	0.024
NaHPO ₄	0.622	0.8086	0.9952
CaCO ₃	0.0349	0.0454	0.05589
FeSO ₄	0.053	0.0689	0.0848
MnSO ₄	0.0012	0.00156	0.00192

4.6 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ALCOHOL PRODUCIDO.

Para evaluar el rendimiento se empleó un diseño con un único factor categórico aleatorizado en cuatro bloques y en seis niveles, para un total de 24 ejecuciones. Se realizó un análisis de varianza, una prueba de múltiples rangos y una gráfica de dispersión por nivel con una confiabilidad del 95%.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 OBTENCIÓN Y SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Se determino el balance de materia de la yuca fresca de las dos variedades seleccionadas (MTAI 8, MCOL 2215), cuantificándose su contenido del porcentaje de humedad, peso con cáscara y sin cáscara, humedad del almidón, y la cantidad o rendimiento obtenido; respectivamente, estos datos se detallan en la tabla 8.

Tabla 8. Determinación del porcentaje de humedad y rendimiento del almidón de yuca de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8.

Variedad de yuca	MCOL 2215	MTAI 8
Peso yuca fresca (Kg.)	29	30
% Humedad yuca fresca (b.h)	62	65
Peso yuca sin cascarada (Kg.)	28,25	28.75
Peso almidón obtenido (Kg.)	5.0	5.5
Rendimiento %	17	18.5

Con relación a la humedad y el rendimiento obtenido, están de acuerdo con los reportados por el CIAT en el 2005 donde se estipuló que la yuca fresca presenta un porcentaje de humedad entre el 62 – 65%, además de un rendimiento de almidón de 230 Kilogramo /tonelada de yuca fresca (Rivier, 2001).

Según Cereda (2002) las raíces deben ser lavadas, descascaradas y seleccionadas para poder obtener un buen rendimiento de almidón lo cual es

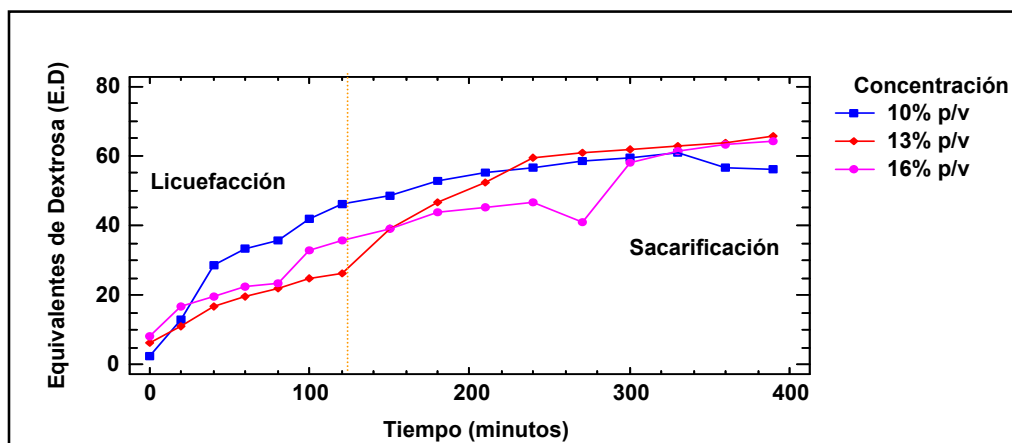
ratificado por Bermúdez (2000) quien asocia los rendimientos de almidón por unidad de área y tiempo, además de establecer el potencial de éste y la importancia de extraer este producto.

Al momento de seleccionar la materia prima se deben tener en cuenta su potencial e importancia, Moorty (1991) expresa que la importancia de la yuca está en la extracción de su almidón, el cual sedimenta rápidamente y proporciona buenos rendimientos, siendo libre de impurezas y colorantes en contraste con los almidones de otras plantas que se contaminan con proteínas o lípidos y son coloridos.

5.2 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE LICUEFACCIÓN Y SACARIFICACIÓN

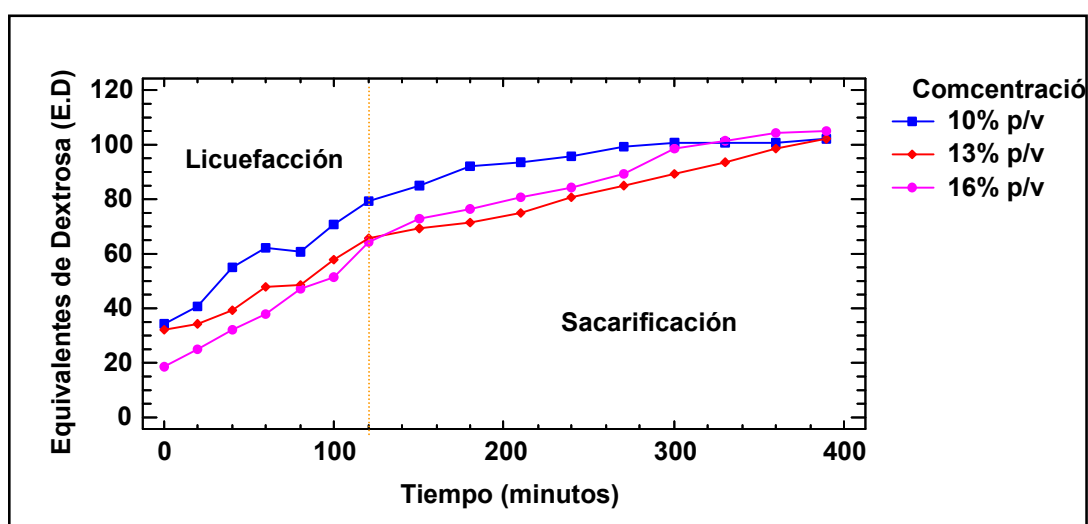
5.2.1 Equivalentes de Dextrosa (E.D) de la variedad MCOL 2215 y MTAI 8.

Al evaluar las concentraciones de materia prima (almidón de yuca) y de las enzimas Termamyl® 120 L y AMG 300L de la Novo Nordisk así como el tiempo de licuefacción y sacarificación, se busca la combinación de tales variables que originen la mayor conversión de E.D, dado que el jarabe a obtener será el sustrato para la etapa de fermentación. Los resultados para esta etapa se encuentran ilustrados en los gráficos 1 y 2.



Gráfica 1. Equivalentes de dextrosa (E.D) en función del tiempo de licuefacción y sacarificación variedad MCOL 2215.

En la gráfica 1 se puede observar que durante la etapa de licuefacción la alta temperatura y el pH utilizado para la activación de la enzima (Termamyl®120) generó equivalentes de dextrosas para las concentraciones del 10%, 13% y 16% p/v notándose valores de unidades de E.D de 45, 25 y 35 de la variedad MCOL 2215 respectivamente. Los resúmenes estadísticos de los valores graficados se detallan en el anexo A.



Gráfica 2. Equivalentes de dextrosa (E.D) en función del tiempo de licuefacción y sacarificación variedad MTAI 8

En la licuefacción del almidón de yuca de la variedad MTAI 8 gráfica 2 se muestra una conversión de equivalentes de dextrosa para la concentración del 10% p/v de 80 unidades de E.D y 65 unidades de E.D para las concentraciones del 13% y 16% p/v. Los resúmenes estadísticos de los valores graficados se detallan en el anexo B.

En esta etapa se da un rompimiento del gránulo de almidón generándose una solución de almidón que contiene dextrinas y pequeñas cantidades de glucosa o azúcares reductores (Keim, 2000), estos resultados coinciden con los analizados por Sánchez y Cardona (2005), quienes trabajaron con diferentes materias primas y observaron que durante la etapa de licuefacción se deben utilizar altas temperaturas para romper el gránulo de almidón y dejarlo expuesto a la acción de otro agente con el fin de obtener la mayor conversión de azúcares reductores.

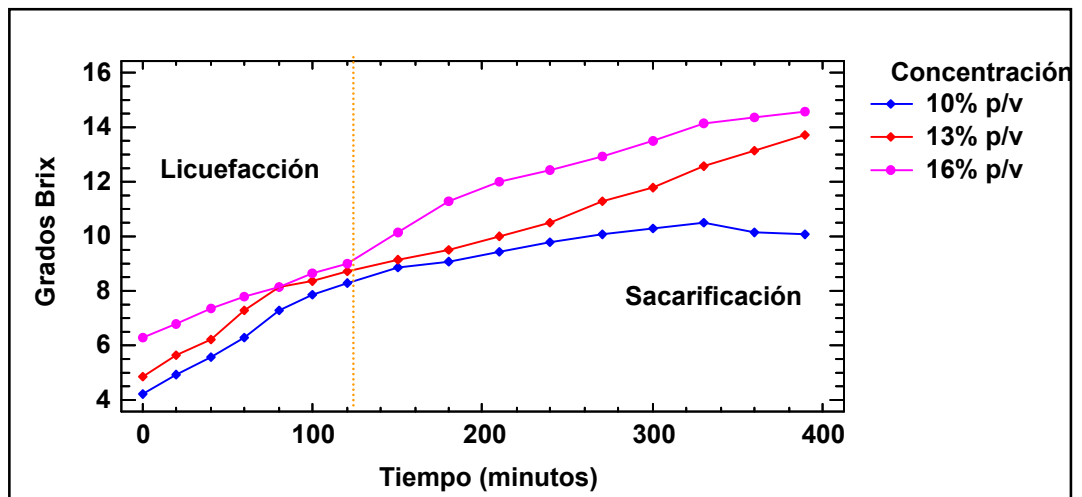
Estos resultados están por encima de los reportados por Keim (2000), quién demuestra que la hidrólisis se efectúa para disminuir el grado de polimerización y obtener E.D entre 15 y 20 unidades.

En el proceso de sacarificación de la variedad MCOL 2215 se obtuvieron 55 unidades de E.D para la concentración del 10% p/v y 65 unidades de E.D para las concentraciones del 13% y 16% p/v (Gráfica 1), a diferencia de la variedad MTAI 8 que presenta un grado de conversión de 100 unidades de E.D para las concentraciones del 10% y 13% p/v y 105 unidades de E.D para la concentración del 16% p/v (Gráfica 2).

Estos resultados están por encima a los reportados por la Novo Nordisk (2002) la cual reporta valores de 95 – 98 unidades de E.D para la hidrólisis del almidón de yuca; pero, son similares a los reportados por Keim (2000) y Sánchez y Cardona (2005) quienes deducen en sus trabajos que en la etapa de sacarificación se da la

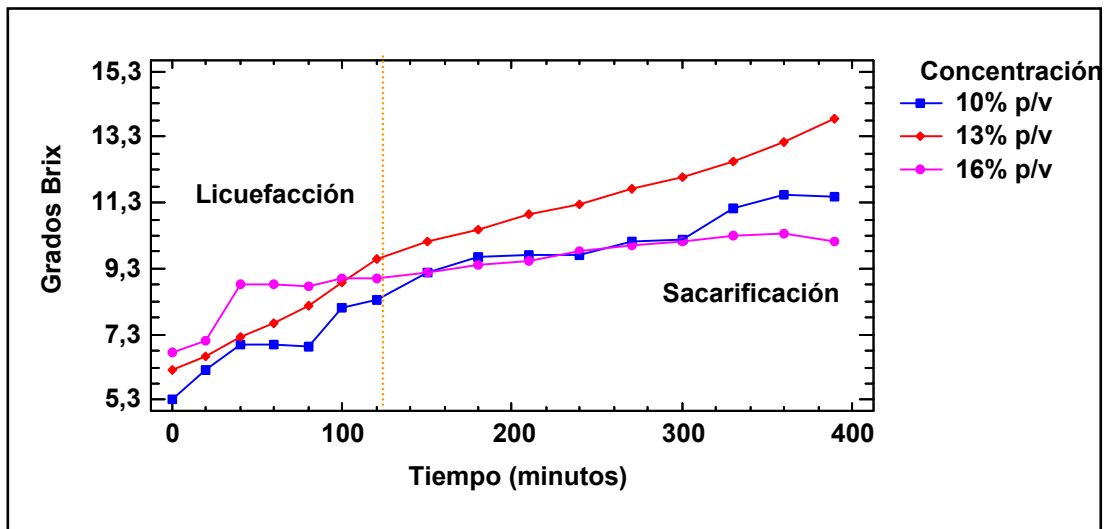
mayor conversión de azúcares reductores de un 90%, sustrato que sirve para la fermentación.

5.2.2 Grados Brix para la variedad MCOL 2215 y MTAI 8. Al evaluar la cantidad de sólidos solubles presentes en el jugo glucosado mediante el uso del refractómetro, expresado en grados Brix, que se producen en el proceso de licuefacción y sacarificación se observa un aumento significativo de éstos a medida que transcurre el tiempo de hidrólisis enzimática. Los resultados para ésta etapa se encuentran ilustrados en los gráficos 3 y 4.



Gráfica 3. Evaluación de los grados Brix en función del tiempo de licuefacción y sacarificación variedad MCOL 2215.

En la gráfica 3 se observan los grados Brix obtenidos durante la hidrólisis enzimática a concentraciones de almidón de 10%, 13% y 16% p/v de la variedad MCOL 2215 donde se puede observar que la concentración con mayor producción de sólidos solubles fue la del 16% p/v, con un valor de 6.5 a 8.5 grados Brix, mientras que la concentración con menor sólidos solubles fue la del 10% p/v presentando valores de 4 a 7.5 grados Brix. Los resúmenes estadísticos se muestran en el anexo C.



Gráfica 4. Evaluación de los grados Brix en función del tiempo de licuefacción y sacarificación variedad MTAI 8

Para la variedad MTAI 8 (gráfica 4) los grados Brix varían de 5.3 a 8.3 para un 10% p/v de almidón, de 6.3 a 9.3 para el 13% y de 6.8 a 8.8 para el 16% p/v. Los resúmenes estadísticos se detallan en el anexo D. Estos resultados concuerdan con los reportados por Leonel y Cereda (2004) quienes estipulan que los grados Brix varían a medida que se hidroliza el almidón y que éste se transforma en dextrinas aumentando así los grados Brix hasta un valor de 13.

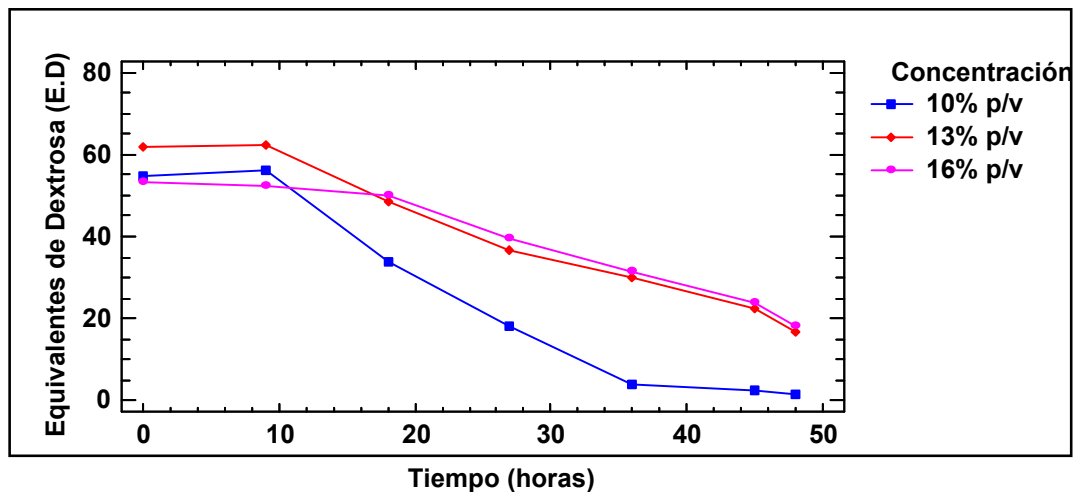
Para el proceso de sacarificación los grados Brix aumentan hasta un punto en donde se demuestra que la solución obtenida es un jarabe de glucosa, ya que para ambas variedades estos valores incrementan en un rango de 10 a 14 (gráfica 3 y 4) resultados que se asemejan a los reportados por Leonel y Cereda (2004) quienes señalan que cerca del 75% de la materia seca inicial es hidrolizada y que el residuo contiene el 20% del almidón, 80% de azúcares totales y el mosto presenta un extracto de grados Brix de 13 siendo necesaria esta concentración para el proceso de fermentación.

Al comparar las graficas 1 y 2 deducimos que el almidón fue hidrolizado casi en su totalidad para el caso de la variedad MTAI 8, debido a que se obtuvieron 100 unidades de equivalentes de dextrosa, mientras que en la variedad MCOL 2215 se hallaron 65 unidades de equivalentes de dextrosa.

5.3 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN.

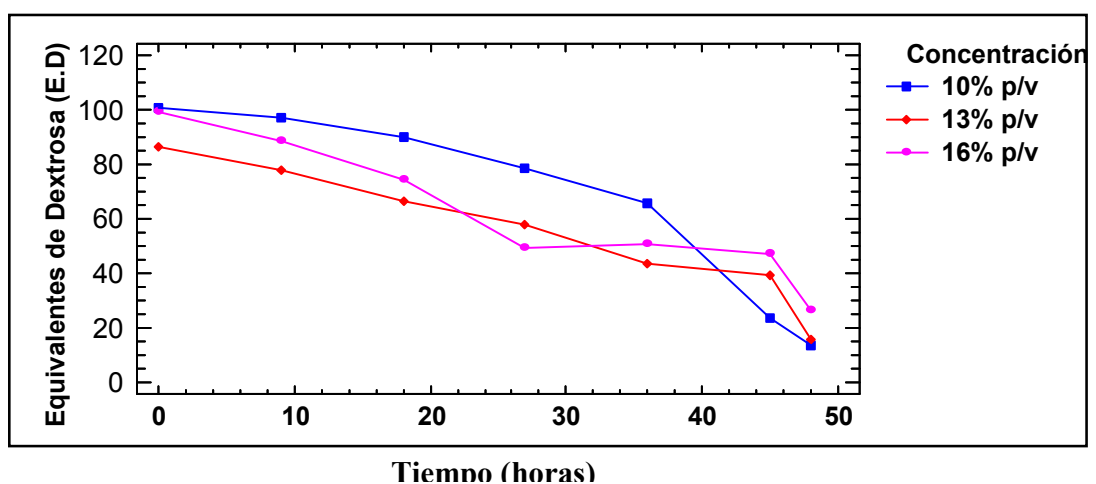
Teniendo en cuenta las unidades de equivalentes de dextrosa de la solución lograda a partir de la licuefacción y sacarificación enzimática del almidón de yuca de las variedades industriales MCOL 2215 y MTAI 8, se evaluó el comportamiento del hidrolizado en calidad de sustrato como materia prima para la obtención de alcohol, en los tiempos 0, 9, 18, 27, 36, 45 y 48 horas de fermentación, midiéndose la variación de equivalentes de dextrosa, grados Brix, aumento de biomasa y concentración de alcohol.

5.3.1 Equivalentes de Dextrosa de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8. El consumo de equivalentes de dextrosa (E.D) durante el proceso de fermentación presenta un comportamiento decreciente con el transcurso del tiempo. Los resultados muestran que a partir de las 9 horas de fermentación los equivalentes de dextrosa empiezan a reducir en cada una de las concentraciones evaluadas. Los resultados para esta etapa se ilustran en las gráficas 5 y 6.



Gráfica 5. Consumo de Equivalentes de Dextrosa (E.D) en función del tiempo de fermentación variedad MCOL 2215.

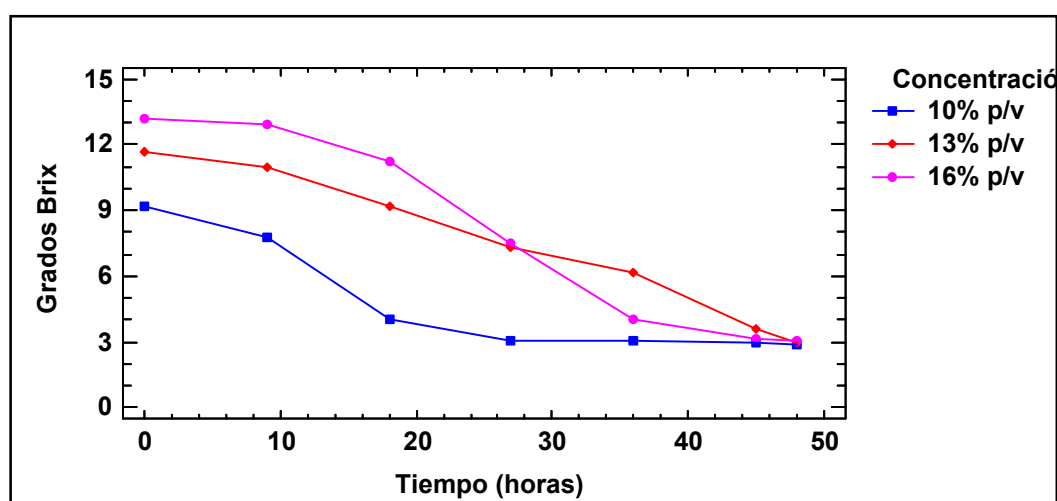
En la gráfica 5 se observa que para la variedad MCOL 2215 los E.D decrecen de 55 a 2.5 unidades para la concentración de 10% p/v, 62 a 16 unidades de E.D para un 13% p/v y de 54 a 18 unidades de E.D para un 16% p/v. Notamos que la concentración del 10% p/v tuvo un mejor comportamiento en todo el proceso de fermentación debido a que hay un mayor consumo de E.D. Los resúmenes estadísticos se detallan en el anexo E.



Gráfica 6. Consumo de Equivalentes de Dextrosa (E.D) en función del tiempo de fermentación variedad MTAI 8.

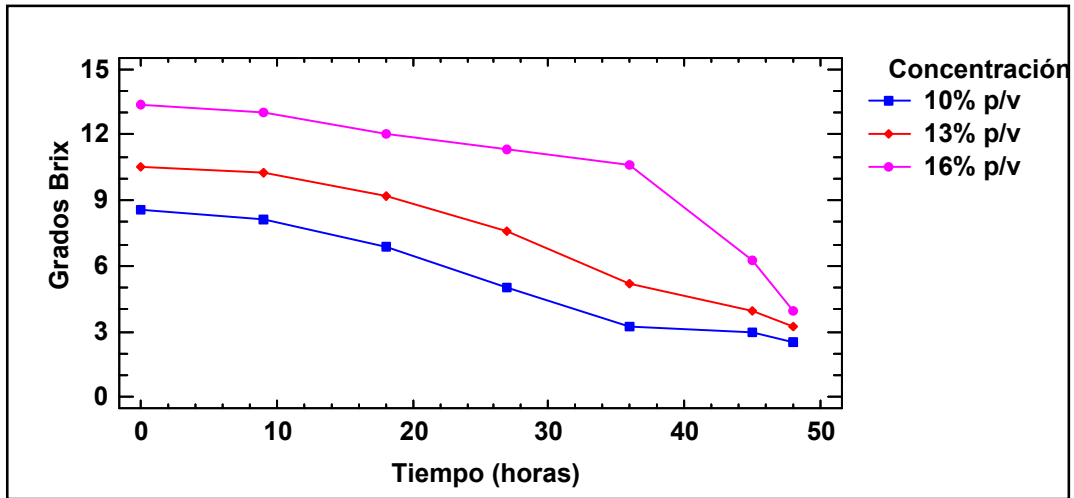
En la variedad MTAI 8 (gráfica 6) se presentó una mayor conversión es así que para las concentraciones del 10% y 13% p/v los E.D disminuyen de 100 a 13 unidades y para la concentración del 16% p/v de 100 a 25 unidades E.D. Los resúmenes estadísticos se detallan en el anexo F.

5.3.2 Grados Brix para las variedades MCOL 2215 y MTAI 8. Al igual que los E.D los grados Brix disminuyen a medida que el tiempo de fermentación transcurre, lo que nos indica que a medida que los microorganismos consumen los sólidos solubles éstos también se ven afectados. Los resultados obtenidos para esta etapa se muestran en las graficas 7 y 8.



Gráfica 7. Decrecimiento de grados Brix en función del tiempo de fermentación variedad MCOL 2215.

Los valores de grados brix para la variedad MCOL 2215 (gráfica 7) decrecen desde 9.0 hasta 3 para un 10% p/v de concentración de almidón, de 11.5 hasta 3, para un 13% p/v y de 13.2 hasta 3 para un 16% p/v de concentración de almidón. Los resúmenes estadísticos se detallan en el anexo G.

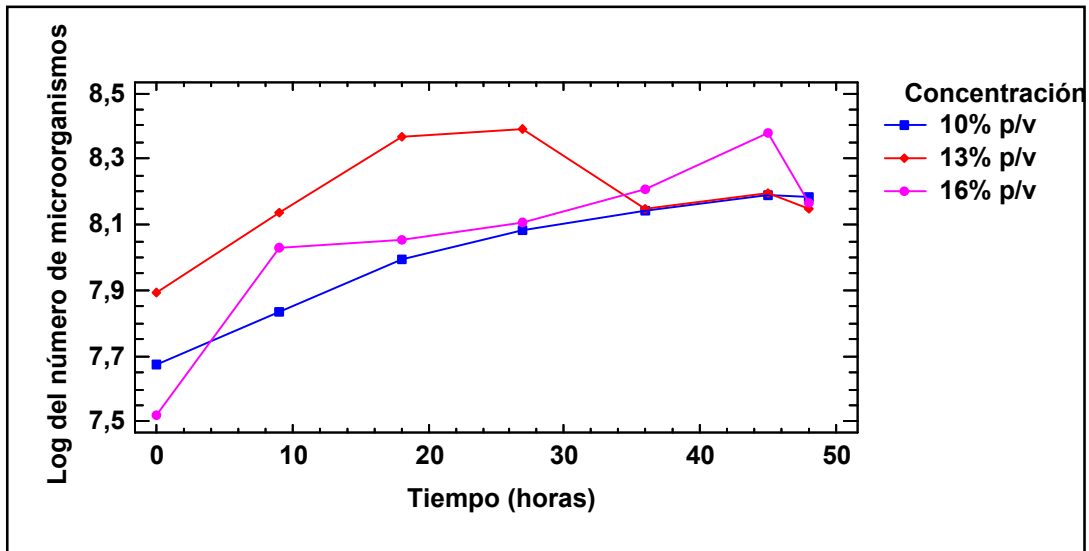


Gráfica 8. Decrecimiento de grados Brix en función del tiempo de fermentación variedad MTAI 8.

Para la variedad MTAI 8 (Gráfica 8) los Grados Brix decrecen de 9 hasta 2.8 para una concentración del 10% p/v, de 10,5 hasta 3 para un 13% p/v y de 13.5 hasta 4.0 para una concentración del 16% p/v. Los resúmenes estadísticos se detallan en el anexo H.

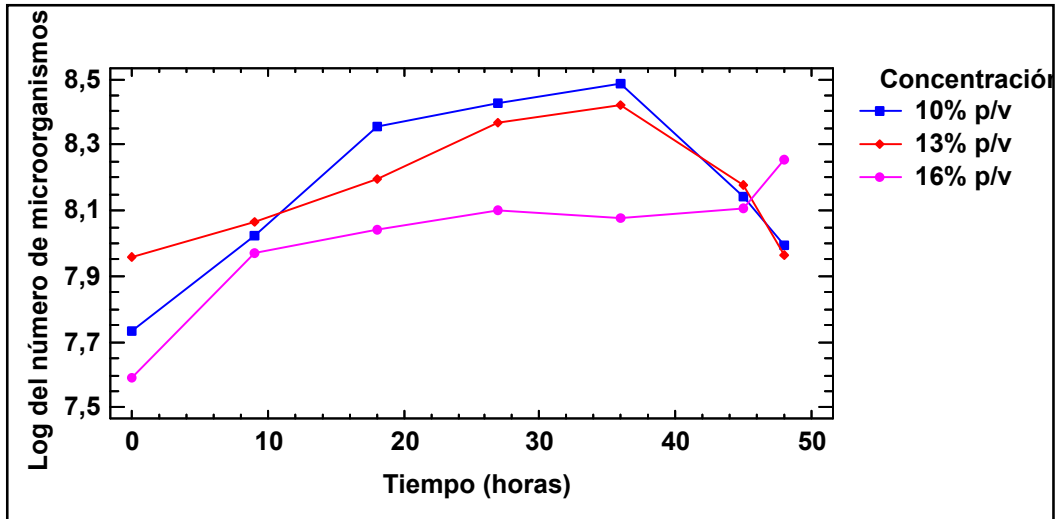
Los resultados obtenidos en el decrecimiento de Equivalentes de Dextrosa (E.D) y grados Brix coinciden con los reportados por Ribeiro *et al.*, (2004) y Flórez (2005) quienes estipulan que este decrecimiento se debe al metabolismo de los microorganismos utilizados en el proceso de fermentación.

5.3.3 Crecimiento celular (*Saccharomyces cerevisiae*) para las variedades MCOL 2215 y MTAI 8. Al evaluar el aumento de biomasa en función del tiempo de fermentación se observa que éstos aumentan a medida que se da el consumo de equivalentes de Dextrosa (E.D). Los resultados de esta etapa se ilustran en las gráficas 9 y 10.



Gráfica 9. Crecimiento Microbiano en función del tiempo de Fermentación variedad MCOL 2215.

En las gráficas 9 y 10 se observa que el crecimiento microbiano tuvo un comportamiento logarítmico, tal como se esperaba. La gráfica 9 muestra que para las concentraciones del 10%, 13% y 16% p/v de la variedad MCOL 2215 el crecimiento de la biomasa fue muy lento en las primeras 9 horas de fermentación, alcanzándose el mayor número de microorganismos a las 27 horas de fermentación, dado que durante este tiempo las células de levadura presentan necesidades nutricionales, influenciándose directamente la multiplicación y el crecimiento celular, además de la transformación de azúcares en alcohol gracias a su metabolismo; apreciándose un número de microorganismos de 8.12×10^{10} para las tres concentraciones. Los resúmenes estadísticos se detallan en el anexo I.

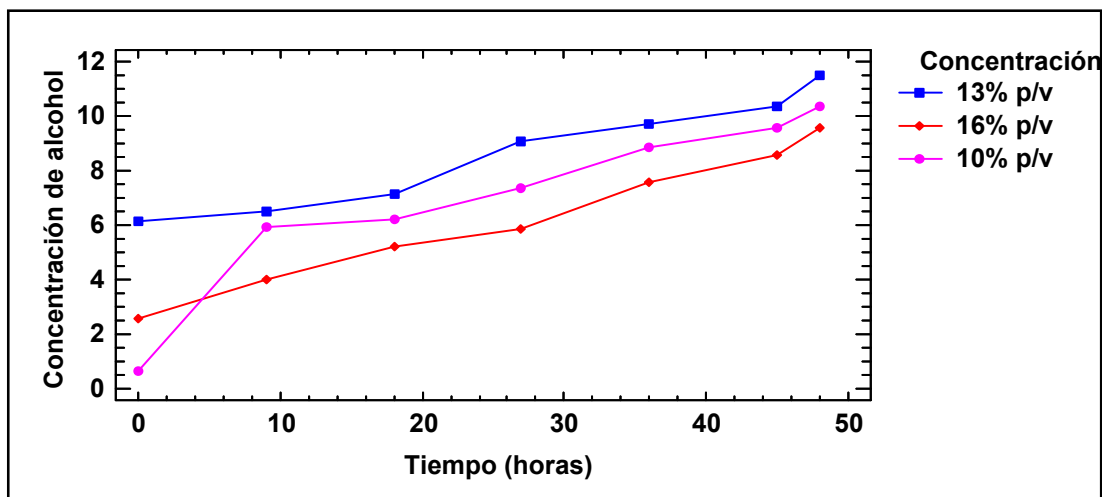


Gráfica 10. Crecimiento Microbiano en función del tiempo de Fermentación variedad MTAI 8

En el caso de la variedad MTAI 8 (Gráfica 10) se observa que para las concentraciones del 10% y 13% p/v se aprecia un incremento de los microorganismos de 7.93×10^{10} y para el 16% p/v los microorganismos incrementan hasta 8.25×10^{10} , aunque el mejor crecimiento lo presenta la concentración del 10% p/v. Los resúmenes estadísticos se detallan en el anexo J. Este crecimiento microbiano se da debido a que las levaduras son capaces de asimilar diferentes formas de azúcares y transformarla en biomasa, CO_2 y H_2O en los procesos anaeróbicos, donde la mayor parte de los azúcares es convertida en etanol y CO_2 (Riveiro *et al.*, 2004).

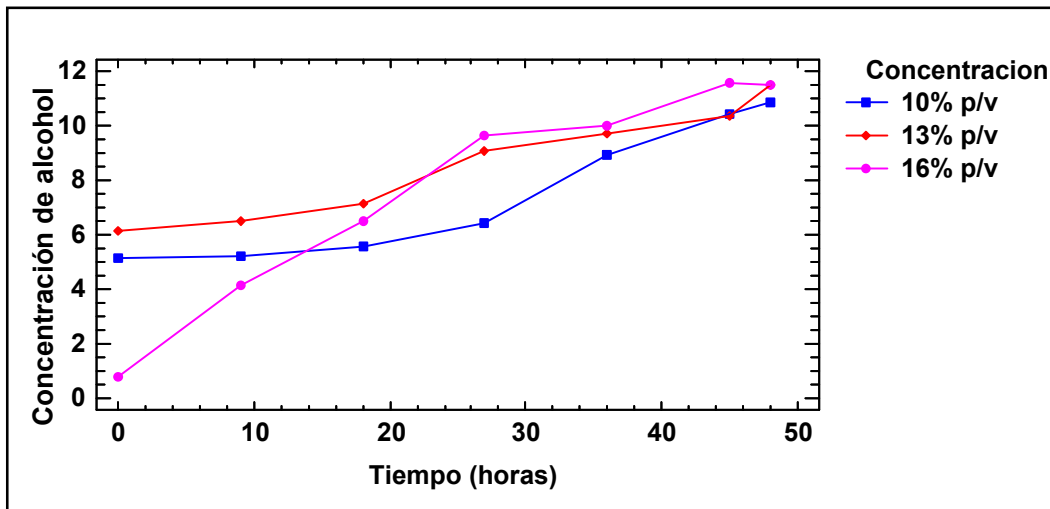
5.3.4 Variación de la concentración de alcohol durante el tiempo de fermentación para las variedades MCOL 2215 y MTAI 8. En las gráficas 11 y 12 se observa que la producción de alcohol aumenta a partir de las 9 horas, hasta alcanzar un máximo a las 36 horas. Al comparar las variedades MCOL 2215 y MTAI 8, se puede observar que la rápida disminución en el consumo de los

azúcares reductores coincide con el intervalo de tiempo en el cual se presenta una gran producción de alcohol.



Gráfica 11. Producción de alcohol en función del tiempo de fermentación para la variedad MCOL 2215.

En la gráfica 11 se muestran los valores obtenidos en la producción de alcohol de la variedad de yuca MCOL 2215, notándose que en las primeras horas de fermentación la producción de alcohol es baja con valores de 5,9% v/v, 6,0% v/v y 4,0% v/v para las concentraciones del 10%, 13% y 16% respectivamente; al final de la fermentación se obtienen valores de 10.5% v/v, 11.5% v/v y 9.5% v/v. Los resúmenes estadísticos se detallan en el anexo K.



Gráfica 12. Producción de alcohol en función del tiempo de fermentación para la variedad MTAI 8.

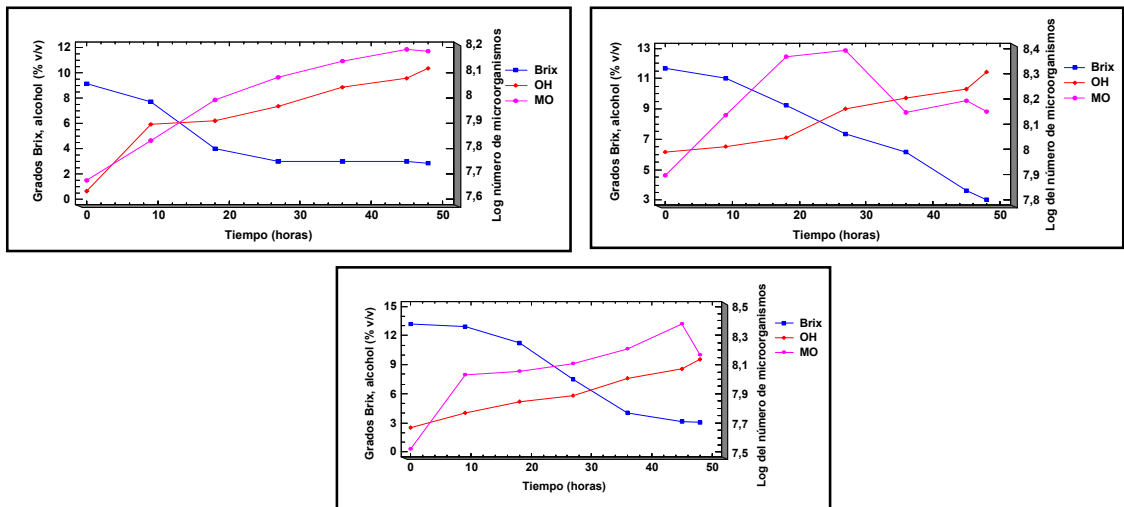
Al comparar la producción de alcohol en las variedades MTAI 8 (Gráfica 12) y MCOL 2215 (Gráfica 11) observamos que los valores son similares para las 9 horas iniciales, pero que varían para las últimas horas de fermentación, de tal manera que se tienen valores de 11,1% v/v para la concentración del 10% p/v, y de 11.5% v/v para las concentraciones del 13% y 16% p/v en la variedad MTAI 8, mientras que en la variedad MCOL 2215 se tienen valores de 10.5% v/v, 11.5% v/v y 9.5% v/v para las concentraciones del 10%, 13% y 16% p/v respectivamente.

Al obtenerse estos valores notamos que el consumo de azúcares reductores alcanzó un 95% para el sustrato de almidón, como se describe en el ítem 5.3.1, lo cual tiene un efecto directo en la producción de alcohol, donde se alcanzaron valores de 10%, 11,1%, 12% v/v, demostrando que estos son similares a los reportados por González y Molina (2006) quienes reportaron en su trabajo con almidón de papa que los azúcares reductores pueden alcanzar un 91% para el sustrato de papa y que gracias a ello se pueden tener valores superiores a los obtenidos industrialmente que no sobrepasan el 7% v/v a 8% v/v (Araya, 1998)

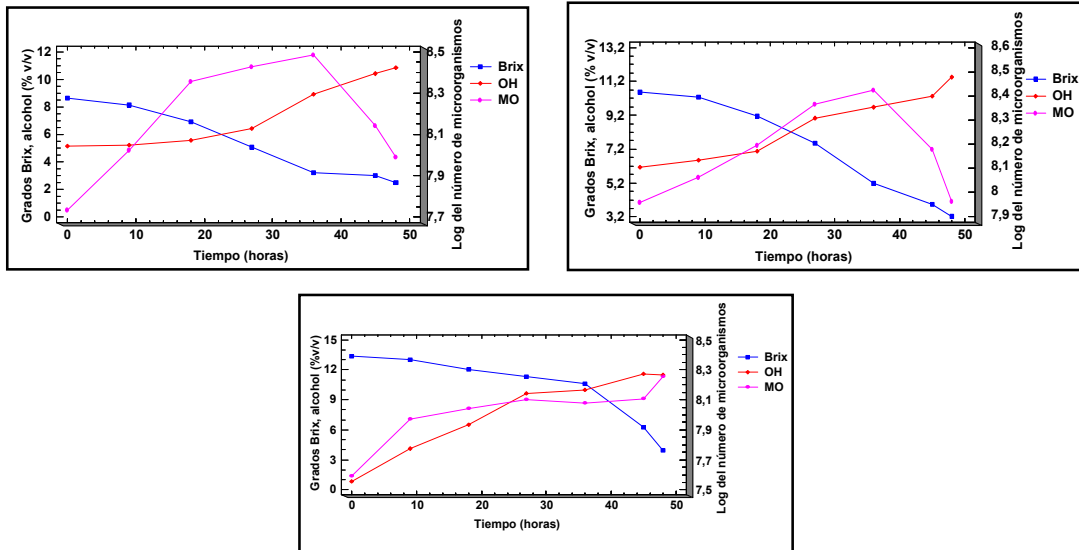
aunque estos valores están por debajo de los obtenidos por Cardona *et al.*, (2004) quienes trabajaron con diferentes materias primas y obtuvieron una concentración de 28% v/v de etanol al transformar los azúcares totales y los obtenidos por Bvochora *et al.*, (2000) quienes obtienen concentraciones de etanol de hasta 16,8% v/v en su trabajo con sorgo dulce.

5.3.5 Crecimiento celular, producción de alcohol y consumo de grados Brix durante el proceso de fermentación de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8.

En las gráficas 13 hasta 18 se muestran la relación entre el consumo de los sólidos solubles presentes en la solución, el porcentaje de alcohol producido (% v/v) y el crecimiento celular durante el proceso de fermentación, para las concentraciones de almidón del 10%, 13% y 16% p/v de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8.



Gráfica 13. Interacción entre grados Brix, microorganismos y alcohol en función del tiempo de fermentación variedad MCOL 2215 10%, 13% y 16% p/v.



Gráfica 14. Interacción entre grados Brix, microorganismos y alcohol en función del tiempo de fermentación variedad MTAI 8 10%,13% y 16% p/v.

Al contrastar las gráficas anteriores se encuentra que al inicio hay un lento consumo de azúcares reductores, que coincide con la parte en donde se da un pequeño crecimiento de microorganismos y donde la producción de alcohol es muy pequeña. Además, se muestra una rápida reproducción de los microorganismos hasta las 36 horas, seguida de una gran disminución de la tasa de crecimiento en las horas finales.

El comportamiento anterior describe una fase inicial donde se presenta un crecimiento pequeño y lento hasta la novena hora, donde el microorganismo se adapta al medio al cual tiene que obtener los nutrientes, una segunda fase en donde se presenta un crecimiento exponencial y una fase estacionaria en la que se alcanza una máxima concentración de microorganismos (Quintero y Quelbis, 2004).

La máxima productividad de alcohol fue obtenida a las 36 horas de fermentación, con valores entre 10% v/v y 12% v/v respectivamente, notándose que el mejor

rendimiento se obtiene con la variedad MTAI 8 y las concentraciones del 10% p/v. De acuerdo con estos datos durante el proceso fermentativo la cantidad de sustrato convertido en alcohol fue eficiente en ambas variedades, lo que coincide con las afirmaciones realizadas por Pantoja de Olivera *et al.*, (2001) quienes trabajaron con pulpa de pupujana y expresaron que los hidrolizados al momento de ser fermentados presentaban una eficiencia en la conversión de azúcares reductores a etanol.

5.4 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ALCOHOL

Los datos de las corridas experimentales para el rendimiento en litros de alcohol / tonelada de almidón se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Rendimiento en litros de alcohol/tonelada de almidón de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8 a concentraciones de sustrato de 10%, 13% y 16% p/v.

Almidón de yuca	Rendimiento (litros de alcohol/tonelada de almidón)			
MCOL 2215- 10% p/v	614,80	572,40	572,40	593,60
MCOL 2215- 13% p/v	524,33	518,47	531,44	658
MCOL 2215- 16% p/v	449,40	508,80	436,80	518,40
MTAI 8 10% p/v	618	618,20	619	618,50
MTAI 8 13% p/v	524,60	500,89	491,44	675,69
MTAI 8 16% p/v	510	614	553,50	632,40

La evaluación del rendimiento de alcohol de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8 se realizó a partir de un análisis de varianza de los datos obtenidos para cada variedad en las concentraciones de almidón evaluadas, el cual mostró diferencia significativa entre las variedades y concentraciones (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de varianza del rendimiento de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8.

Análisis de la Varianza para Rendimiento - Sumas de Cuadrados de Tipo III

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Yuca	45290,7	5	9058,15	4,94	0,0072
B:BLOQUE	23790,8	3	7930,27	4,32	0,0220
RESIDUOS	27521,3	15	1834,75		
TOTAL (CORREGIDO)	96602,8	23			

Los cocientes F están basados en el error cuadrático medio residual.

Para identificar las diferencias entre variedades y concentraciones se realizó una prueba de múltiples rangos. Los resultados se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Medias por mínimos cuadrados para 95% de intervalos de confianza y contraste de múltiples rangos de según yuca MCOL 2215 y MTAI 8.

Contraste Múltiple de Rangos para Rendimiento según Yuca

Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey				
Yuca	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos

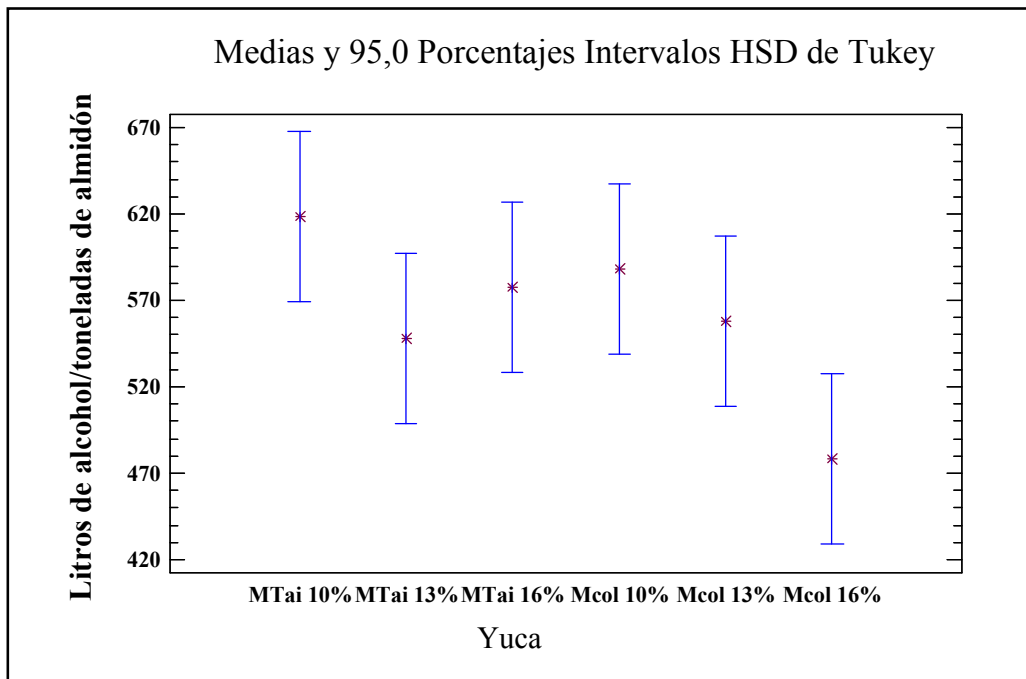
Mcol 16%	4	478,35	21,417	X
MTai 13%	4	547,97	21,417	XX
Mcol 13%	4	558,06	21,417	XX
MTai 16%	4	577,475	21,417	X
Mcol 10%	4	588,3	21,417	X
MTai 10%	4	618,425	21,417	X

Contraste			Diferencias	+/- Límite

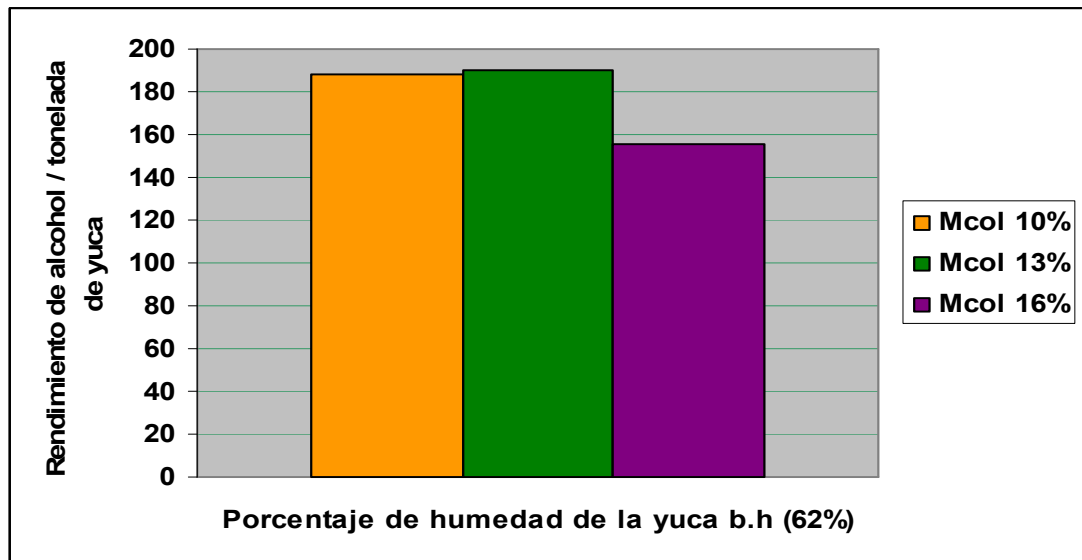
MTai 10% - MTai 13%			70,455	98,6417
MTai 10% - MTai 16%			40,95	98,6417
MTai 10% - Mcol 10%			30,125	98,6417
MTai 10% - Mcol 13%			60,365	98,6417
MTai 10% - Mcol 16%			*140,075	98,6417
MTai 13% - MTai 16%			-29,505	98,6417
MTai 13% - Mcol 10%			-40,33	98,6417
MTai 13% - Mcol 13%			-10,09	98,6417
MTai 13% - Mcol 16%			69,62	98,6417
MTai 16% - Mcol 10%			-10,825	98,6417
MTai 16% - Mcol 13%			19,415	98,6417
MTai 16% - Mcol 16%			*99,125	98,6417
Mcol 10% - Mcol 13%			30,24	98,6417
Mcol 10% - Mcol 16%			*109,95	98,6417
Mcol 13% - Mcol 16%			79,71	98,6417

* indica una diferencia significativa.

Las diferencias significativas para el rendimiento se indican con un asterisco (*) a un nivel de confianza del 95%. En dicha tabla se observan dos grupos homogéneos; de igual manera se observa que la media de la variedad MTAI 8 al 10% p/v, presenta el mayor valor de rendimiento con 618,425 litros de alcohol / tonelada de almidón y el menor valor de rendimiento lo presenta la variedad MCOL 2215 al 16% p/v con un valor de 478,35 litros de alcohol / tonelada de almidón. Estos datos se representan en la gráfica 15.

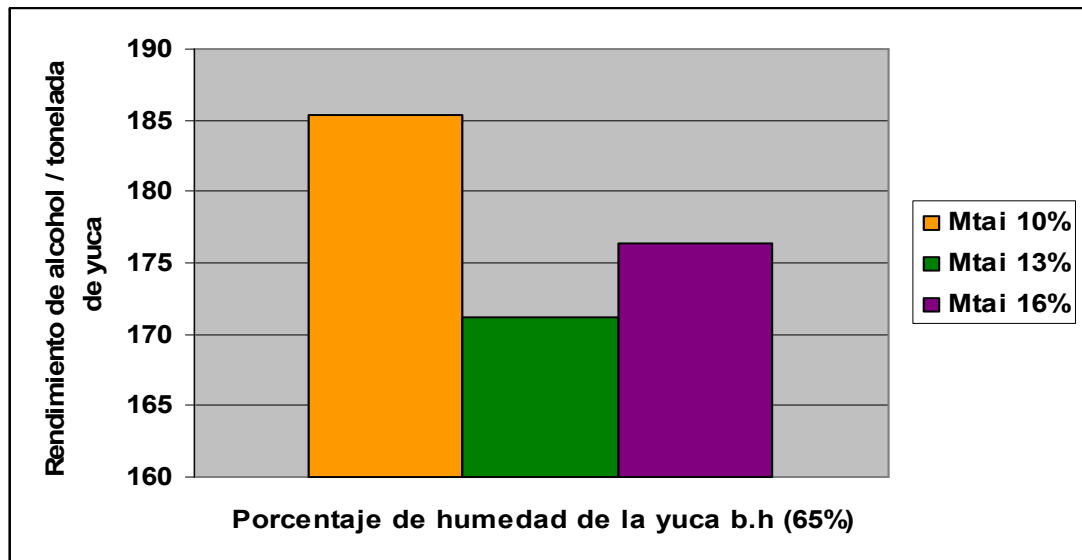


Gráfica 15. Medias para el rendimiento en Litros de alcohol / tonelada de almidón de las variedades MCOL 2215 y MTAI 8.



Gráfica 16. Rendimientos litros de alcohol / tonelada de yuca de la variedad MCOL 2215 para una humedad de yuca fresca del 62%.

En la gráfica 16 se muestra la extrapolación de rendimientos de alcohol / tonelada de yuca donde se tiene en cuenta la humedad de la variedad de yuca la cual se encuentra dentro del rango de 62% b.h. Notamos que la variedad MCOL 2215 presenta un rendimiento de 181,5 litros de alcohol / tonelada de yuca fresca al 10% p/v, mayor a los reportados por González y Molina (2006) quienes obtuvieron un rendimiento de 94,5 litros de etanol / tonelada de papa, con una concentración de 20% p/v; Assis (2007) quien obtiene un rendimiento de 129 litros / tonelada de raíz de batata y Téllez *et al.*, (2001) quienes obtienen un rendimiento del 89.1 Litros / tonelada de almidón de yuca lo que equivale a una concentración de 6.4% v/v de etanol y menores a los rendimientos de Leonel y Cereda (2004) quienes obtuvieron un rendimiento con el farelo de mandioca de 298,14 Litros / tonelada de farelo.



Gráfica 17. Rendimientos litros de alcohol / tonelada de yuca de la variedad MTAI 8 para una humedad de yuca fresca del 65%.

En la gráfica 17 se muestra la extrapolación de rendimiento de alcohol / tonelada de yuca fresca, cuya humedad es de 65% b.h de materia prima, para la variedad MTAI 8 observándose que al 10% p/v se tiene el máximo rendimiento con un valor de 185.4 litros de alcohol / tonelada de yuca fresca, superando los rendimientos obtenidos por la variedad MCOL 2215, además de los reportados por Gonzáles y Molina (2006) y Assis (2007), pero inferiores a los de Leonel y Cereda (2004).

6. CONCLUSIONES

- Los valores de porcentajes de humedad de las variedades de yuca empleadas en este estudio concuerdan con los reportados por el CIAT, los que oscilan entre un 62% b.h y 65% b.h.
- Durante la etapa de hidrólisis enzimática (licuefacción y sacarificación) los equivalentes de dextrosa (E.D) y grados Brix aumentan significativamente, alcanzándose los máximos valores al final del proceso con la variedad MTAI 8 al 10% p/v de 100 unidades de E.D y 13.8 grados Brix; mientras que para la variedad MCOL 2215 se obtuvieron valores de 65 unidades de E.D en las concentraciones del 13% y 16% p/v y grados Brix de 14.5 a una concentración de 16% p/v.
- En el proceso de fermentación los equivalentes de dextrosa (E.D) y grados Brix disminuyen notablemente hasta alcanzar valores finales de 16 unidades de E.D y 3 grados Brix a una concentración de 16% p/v para la variedad MCOL 2215 y 13 unidades de E.D y 3 grados Brix respectivamente para la variedad MTAI 8 al 10% p/v, mientras que el porcentaje de alcohol aumenta simultáneamente en ambas variedades con valores máximos de 10% y 12% v/v, lo que nos indica que la cantidad de azúcares reductores es inversamente proporcional a la producción de alcohol.

- La variedad MTAI 8 a concentraciones de sustrato de 10% p/v presenta el mayor rendimiento de alcohol con 618,425 litros de alcohol/tonelada de almidón y el menor rendimiento se tiene con la variedad MCOL 2215 a concentraciones de 16% p/v con un valor de 478,35 litros de alcohol/tonelada de almidón.

- La variedad MTAI 8 presenta una gran ventaja ante la variedad MCOL 2215 por tanto puede ser seleccionada como materia prima para la producción de alcohol, ya que presenta rendimientos de alcohol de 185,4 litros / tonelada de yuca fresca a una concentración de almidón del 10% p/v, mientras que el menor lo presentó la venezolana con 155,8 litros/ tonelada de yuca a una concentración de sustrato 16 % p/v.

7. RECOMENDACIONES

- Se sugiere trabajar con concentraciones mínimas de sustrato debido a que a menores concentraciones se hace más eficiente el proceso, además se obtienen los mejores rendimientos de alcohol como es el caso de la concentración del 10% p/v de almidón evitándose la pérdida de materia prima como ocurrió con la concentración del 16% p/v.
- Realizar investigaciones utilizando otro tipo de enzimas que trabajen a menores temperaturas.
- Desarrollar una investigación para determinar la eficiencia energética del almidón de yuca como materia prima para la producción de biocombustible en la región Caribe colombiana.

8. BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN, F. y DUFOUR, D. 1998. Almidón agrario de yuca en Colombia. Producción y recomendaciones. Tomo I. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD). Cali, Colombia. pp 9-24.

ALFA - LAVAL. 1996. Equipment for starch production from fresh manioc root.

ÁLVAREZ, E y LLANO, G. 2002. Enfermedades del cultivo de la yuca y métodos de control. En: Ospina, B y Ceballos, H. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización, pp. 131-147. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.

ALCÁNTAR, A. 1983. Usos e industrialización de la batata. Boletín Informativo No. 5. pp. 8. República Dominicana. Centro de Desarrollo Agropecuario, Zona Norte. (CENDA).

ARTIME, R. 2005. Aplicaciones de las enzimas. Universidad de Salamanca. Pp 5 - 35.

ARAYA, R. 1998. Determinación de la concentración de nutrientes necesaria para mejorar el rendimiento del proceso fermentativo de la Fábrica Nacional de Licores. Tesis de Licenciatura para la obtención del título de Licenciado en Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

ARISTIZABAL, J. 2004. Estudio de la viabilidad técnica y económica de la producción de dextrinas a partir de yuca utilizando tecnologías de vía seca. Proyecto CLAYUCA – CIAT, Cali, Colombia.

ARISTIZABAL, J; SANCHEZ, T. 2007. Guía Técnica para la Producción y Análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO N° 163. pp 1 -20.

ASSIS, T. 2007. Estudio para quantificacáo de alcohol a partir da batata. Fundaçáo centro tecnológico de minas gerais. CETEC. Servico Brasileiro de Respostas Técnicas. SBRT. pp 1-8.

BALAGOPALAN, C; PADMAJA, G; NANDA, S y MOORTHY, S. 1988. Cassava in Food, Feed and Industry. Boca Raton, Florida, Estados Unidos de América. CRC Press. p.138.

BEMILLER, J. 1997. Starch Modification: challenges and prospects. Starch/Starke, Weinheim, v.49, n.4, p. 127 -131.

BENAVIDEZ, M; CABRERA, J; ZAPATA, L. 1983. Modificación enzimática de almidones y proteínas. Proyecto multinacional de tecnología de alimentos OEA-IIT. Ministerio de Desarrollo Económico. Colombia.

BERMUDEZ, C. 2000. Residuos de industrializao mandioca no Brasil. Sao Paulo, Ed. Puliceia, p 174.

BUITRAGO, J. 1990. La yuca en la alimentación animal, pp. 67-71. CIAT. Cali, Colombia.446 pp.

BVOCHORA J; READ, J; ZVAUYA, R. 2000. Application of very high gravity technology to the cofermentation of sweet stem sorghum juice and sorghum grain. Industrial Crops and Products 11 (2000) 11–17.

CADAVID, L. 2005. Producción de yuca. Manual. CLAYUCA. Cali, Colombia.36 pp.

CARDONA, C; SANCHEZ, O; RAMIREZ, J. 2004. Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de mercado. Revista colombiana de Biotecnología vol N° 2.

CARRERA, J. 2002. Módulos de Biotecnología. Enzimas industriales, Universidad del Cauca, Primer edición.

CEBALLOS, H; DE LA CRUZ, A. 2002. Taxonomía y morfología de la yuca. En: Ceballos, H. y Ospina, B. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización, p. 28. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.

CEBALLOS, H. 2002. La yuca en Colombia y en el mundo: nuevas perspectivas para un cultivo milenario. En Ceballos, H. y Ospina, B. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización, p. 3. CIAT. Cali, Colombia. 586 p

CEBALLOS H., 2005. Variedad de yuca para uso industrial. Corpoica-Verónica. <http://www.ciat.cgiar.org/yuca/pdf/corpoica-veronica.pdf>

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). 2005. Annual report for 2005. CIAT. Cali, Colombia.

CEREDA, M. 2002. Caracterización, usos y tratamientos de residuos de industrialización de Mandioca. Botucatu: Centro de Raíces Tropicales.

CORPOICA. 2000. DOCUMENTO: Nuevas variedades de yuca para uso industrial en la Región Caribe colombiana.

CORPOICA, 2005. Variedades de yuca industrial cultivadas en Colombia.

CORRAZA, M; RODRIGUES, D; NOZAKI, J. 2001. Preparation and characterization of orange wine. Quim. Nova. Maringa. PR. Vol. 24 n 4, p 449 – 452.

DIARIO OFICIAL DEL ESTADO. 2001. Ley 693/2001 de 19 de septiembre. Normas sobre el Uso de Alcoholes Carburantes. Diario No 44.564, de 27-09-01.

DIAZ, M y FILELLA M. 2005. Estudio de la Modificación Vía Enzimática de Almidón de Yuca para la Obtención de Maltodextrinas. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Química. P.2-3.

DUPRAT, F ; GALLANT, D ; GUILBOT, A ; MERCIER, C ; ROBIN, J. 1980. Les polymères végétaux. Paris, Monties. pp. 176-231.

FAO. 2006. Datos agrícolas de FAOSTAT. Producción. Cultivos primarios. En Base de datos estadísticos de la FAO.

FENNEMA, O. 2000. Química de los alimentos. Zaragoza: Acribia, 550 p

FERNÁNDEZ, G. 2004. Calidad de los productos amiláceos en la producción de alcohol. PP 145- 156

FERNÁNDEZ, C; GARRO, O. 2004. Alcohol a partir del sorgo dulce sacarificación y fermentación. Cátedra Microbiológica de alimentos, Facultad de Agroindustria. Universidad Nacional del Nordeste. Chaco, Argentina.

FLORES L. 2005. Obtención de etanol carburante a partir de almidón de yuca. Universidad Autónoma de Occidente. Bogota, Colombia.

FRANCO, C; DAIUTO, E; DEMIATE, I. 2001. Propiedades gerais do amido. Coordinadora Marne Pascoli Cereda. Campinas: Fundacao cargill, v. 1, 224p

GACESA, P y HUBBLE J. 2000. Tecnología de la enzimas. (Acribia. Zaragoza. España) pp 5-35.

GALLART, D; BOCHET, B; BULÉON, A; PEREZ, S. 1992. Physical Characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. Vol 46, pp 3 – 16.

GÓMEZ, G. 2000. Cassava, cyanide and animal nutrition. In: Workshop on Cassava Toxicity and Thyroid: Research and Public Health Issues. May 31-June 2. Ottawa, International Development Research Center.

GONZALEZ, J y MOLINA, M. 2006. Estudio de los factores que afectan la hidrólisis enzimática y el proceso fermentativo para la producción de alcohol a partir de papa. Ingeniería. San José. Costa Rica.

GRACE, M. 1977. Elaboración de la yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. 116 pp.

GUILBOT, A y MERCIER, C. 1985. Starch. In the Polysacchariaes, Ed. O Aspinall. Academica Press. New York, 204 – 282.

HOOVER, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. Carbohydrate Polymers, 45, 253-267. <http://orbita.starmedia.com/aldocova/cultivares/yuca.html>. Visitada en febrero del 2006

FAO/FIDA. 2006. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación / Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. Datos provisionales. Volumen 6. International Fund for Agricultural Development (IFAD), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma

JANE, J; KASEMSUWAN, T; LEAS, S; ZOBEL, H; ROBYT, J. 1994. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. Starch/Stärke, 46, 121-129.

JARAMILLO, G. 2002. Recursos genéticos de *Manihot* en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). En: Ceballos, H. y Ospina, B. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización, pp. 271-291. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.

JOBLING, S. 2004. Improving Starch for food and industrial applications. Carr Opin plant Biol. 7: 210 – 218.

KEIM, C. 2000. Technology and economics of fermentation alcohol. An update. En Enzymes microbiology technology. Vol N° 2, p 103 – 114.

KURIKI, T; IMANAKAT, T. 1999. The concept of the a – amylase family: structural similarity and common catalytic mechanism. J. Biosci, Bioeng 87, 557 – 565.

LATHAM, M. 2002. Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos. En Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 29. Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Ithaca, Nueva York, Estados Unidos de América.

LEONEL, M y CEREDA, M. 2004. Avaliacao Técnico Económica da producao de etanol de farelo de mandioca, utilizando pectinase como enzima complementar. Energia na Agricultura. Brasil. Vol 13. pp 1-14.

LIMA, U; BASSO, L; AMORINOH, V. 2001. Fadiga. In: Biotecnología Industrial: Processos Fermentativos e enzimáticos. Producao de etanol. Sao Paulo: Edgard Blucher, v, 3. p 90 – 122.

LÓPEZ, J. 2002. Semilla vegetativa de yuca. En: Ospina, B y Ceballos, H. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización, pp. 49-75. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.

LUJAN, D; ALVARINO, N; SALCEDO J. 2001. “Estudio preliminar para la obtención de jarabe de glucosa a partir de la hidrólisis enzimática del almidón de yuca. Utilizando extractos crudos de alfa amilasa (*B. Licheniformis*) y glucoamilasa (*A. niger*), Revista Temas Agrarios, pp 65 – 72.

MADHUSUMAN, B y THARANATHAN, R. 1995. Legume and cereal starches why difereences in digestibility carbohydr polym. Vol 28, pp 153 – 158.

MAMEDE, M; PASTORE, G. 2004. Avaliacao da producto dos compostos majoritario da fermentacao de mosto da uva por levaduras isoladas da regia da

“Serra Gaúcha” CRS. Cienc. Tecnol. Aliment. Campinas – sp. V 24, p 453 – 458.

MERA, I; CARRERA, J. 2005. obtención de glucosa a partir de almidón de yuca *Manihot sculenta*

MESTRES, C. 1996. Los estados físicos del almidón. En: Conferencia internacional sobre Almidón. Propiedades físico-químicas, funcionales y nutricionales. Usos. 8-10 mayo. Quito, Escuela Politécnica Nacional, Instituto de Investigación Tecnológica. pp. 1-16.

MILLER, G. 1959. “Dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar”, Analytical chemistry 31, 426 – 428.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2005. Reporte anual de las evaluaciones agrícolas 2005 - 2006. Secretaria de Agricultura. Colombia.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural – Dirección de Política Sectorial (DPS) – Grupo de Sistemas de Evaluación 2006 EVALUACIONES AGROPECUARIAS SECRETARIA DE AGRICULTURA, UMATAS.

MONEIRA, J y GOLDEMBERG, J. 1999. The alcohol program. Energ. Policy 27: 229 – 245.

MONTES, M y MAGAÑA, I. 2004. Enzimas con Aplicación Industrial. <http://www.cinvestav.mx/publicaciones/avaype/sepoct02/HORCASITAS.PDF>

MOORTY, S. 1991. Extraction of starches from tuber crops using Ammonia. Carbohydrate Polymers 16.

MURILLO, O; HAUG, M. 2005. Ficha Técnica Procesamiento de Yuca. Aspectos generales de la Yuca. <http://www.lincos.net/infocomm/webpages/agricultura/agroindustria/yuca.html> visitada en diciembre del 2006

NOVO NORDISK A/S. 2002. Product Sheet Termamyl 120 L, Fungamyl, AMG. Enzyme Business, Bagsvaerd, Denmark.

NOVO NORDISK. 2002. Hoja Técnica: Amiloglucosidasa AMG 300L, Termamyl® 120L. San José: Trisan S.A.

NOVOA, G. 2000. El mercado internacional del azúcar, edulcorantes, alcohol y melaza.

ORTEGA, E. 2006. Documento Experiencias y Resultados del Programa Nacional de yuca. Informes anuales presentados al CIAT. pp 1-25

OSPINA, B; GARCÍA, M Y ALCALDE, C. 2002. Sistemas mecanizados de siembra y cosecha para el cultivo de la yuca. En: Ospina, B y Ceballos, H. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización, pp. 326-339. CIAT. Cali, Colombia. 586 pp.

PACHECO, T; SGARBIERI, C. 2002. Diferentes métodos de concentración de proteína de levadura e suas implicacoes nas propriedades funcionais. Bol. SBCTA, V 36, n 2, p 83 – 94.

PADMAJA, G. 1995. Culpables de la toxicidad de la yuca: ¿los cianógenos o el bajo contenido de proteína? Yuca boletín informativo, Vol. 19 No. 2, Diciembre, pp. 4-5.

PANTOJA DE OLIVEIRA, L; MAEDA, N; ANDRADE, S; PEREIRA, N; CARVALHO, M; ASTO, FI – FILHO, S. 2001. Bebida alcohólica fermentada a partir de pupunha, (*Bactris gasipaes kunth*). Anais do XVII Congresso Brasileiro de ciencia y tecnología de Alimentos Fortaleza _ LE, pp. 999.

PANDEY, A; NIGAM, P; SOCCOL, C; SOCCOL, Y; SINGH, D; MOHAN, R. 2000. Advances in microbial amylases. Biotechnol. Appl. Biochem. 31, pp.135 – 152.

PARKER, R y RING, S. 2001. Aspects of the physical chemistry of starch. Journal of Cereal Science, 34, 1-17.

PEÑA, J. 2004. Producción de alcohol a partir de sustratos azucarados. Revista de ingeniería de alimentos. P 1- 5.

PEREIRA, J. 2000. Bioprocesos industriales. In: PEREIRA JR, N; BON, E.P.S; Tecnología Enzimática. Rio de Janeiro – RJ p 25 – 56.

- PRASANNA, A. 2005. Amylases and Their Applications. African Journal of Biotechnology. Vol 4. pp 1525-1529.
- QUINTERO, B y QUELBIS, R. 2004. Evaluación del crecimiento microbiano durante la obtención de alcohol a partir del almidón de papa. Universidad Autónoma de Colombia. Semana Universitaria, Bogotá. D.C
- RIBEIRO, F; LOPEZ, J; FERRARI, S. 2004. Complementación de nitrógeno de forma continúa en los procesos de fermentación alcohólica. Brasil Azucarero, Rio de Janeiro, vol 105, n 1, p 26 – 30.
- RIBEIRO, E. y SERAVALLE, E. 2004, Química de Alimentos. Sao Paulo: Eggard Blucher, 184p
- RIVIER, M. 2001 Almidón agrio de yuca en Colombia. CIAT - CIRAD - CETEC - UNIVALLE. Cali.
- SANCHEZ, O y CARDONA, C. 2005. Producción Biotecnológica de alcohol carburante I. Obtención de alcohol a partir de diferentes materias primas. Interciencia vol 30 N° 11, pp 671 – 678.
- SÁNCHEZ, T. 2004. Evaluación de 6000 variedades de yuca. Cali, Colombia, Programa Mejoramiento de yuca-CIAT.
- SATYANARAYANA, T; RAO, J; EZHILVAN NAN, M. 2005. a- Amylases. In: Enzyme Technology, A. Pandey, C. Webb, CR. Soccol, C. La roche (Eds.), Asiatech Publishers Inc; New Delhi, India pp 189 – 220.
- SIVARAMAKHISHNAN; GANGADHARAN, D; MADHAVAN, K; RICARDO, C; PANDEY, A. 2006. a – Amylases from Microbial Source. An. Overview on Recent Developments. Food Technol. Biotechnol. pp 173 – 184.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA. 2005. Reporte de las variedades cultivadas en la región.
- SMITH, R. 2000. Characterization and analysis of starches. In: Whistler, R.L. & Paschall, E. Starch: Chemistry and Technology. Vol II. Industrial Aspects. New York, Academia Press. pp 593.

SOUZA, V; ESPINOSA, R. 2002. Hidrólisis Enzimática de un Polisacárido Vegetal. Hidrólisis del Almidón.

SRITOTH, K; PIYACHOMKWAN, K; WANLAPATIT, S; OATES, C. 2000. Cassava Starch Technology: The Thai Experience. *Starch/Stärke*, 52: 439-449.

SURMELY, R; ALVAREZ, H; CEREDA, M; VIPOUX, O. 2002. Hidrolise do amido. En: Tecnología, usos y potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. Landi Franco, Cm y Col. Fundacao Cargill. Pp 377 – 448.

TAGGART, P. 2004. Starch as an ingredient: manufacture and applications. In: Eliasson, A-C. *Starch in food. Structure, function and applications*. Cambridge, Reino Unido. Woodhead Publishing Limited.

TELLEZ, A; ALVAREZ, G; ROA, A. 1997. “Diseño puesto en marcha de un sistema semicontinuo en dos etapas: Hidrolisis – fermentación para la producción de alcohol a partir de almidón de papa usando simultáneamente *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae*”, *Revista colombiana de química* vol 26 N° 2.

TELLEZ, A; ALVAREZ, G; ROA, A. 2001. Producción de etanol a partir del almidón de yuca mediante biorreactor de tanque agitado con control de variables. Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB.

TESTER, R; KARKALAS, J. 2002. Starch, in *Biopolymers*, Vol. 6: Polysaccharides II, Polysaccharides from Eukaryotes, Vol. 6, (Eds.: E. J. Vandamme, S. De Baets, A. Steinbuchel), Wiley-VCH, Weinheim p. pp. 381-438.

TESTER, R; KARKALAS, J; QI, X. 2004. Starch structure and digestibility Enzymes – substrate relationship. *World's poul sel.*, J, vol. 60. 186 – 196.

THIRÉ, M; SIMAO, A; ANDRADE, T. 2003. High resolution imaging of the microstructure of maize starch films, *Carbohydrate Polymers*, 54, 149- 158.

THOMPSON, D. 2000. Strategies for the manufacture of resistant starch. *Trends in Food Science & Technology* 11, 245-253.

TRUBELL, J. 1994. La influencia de la amilasa en el gránulo de almidón, *diario internacional de las macromoléculas biológicas*. Pp 315 – 321.

TUCKER, G y WOODS, L. 1991. Eds. *Enzymes in Food Processing*. Blackie and Son Ltd. London.

VAN DER MAARE, M; VAN DER VEEN, B; UITDEHAAG, J; LEEMHUIS, H; DIJKHUIZEN, L. 2002. Properties and applications of starch- converting enzymes of the α – amylase family, J. Biotechnol. 94 137-155.

VIAN, A. 1994. Introducción a la química industrial. 2 ed. Barcelona, España. Reverté. pp. 470-474.

VILPOUX, O. 2004. Cassava starch production process in Brasil, Thailand and China. In: Marney, P y Olivier, F. Technology, use and potencialities of Latin American starchy tubers. São Paulo, Brasil, NGO Raíces and Cargill Foundation. pp. 147-185.

WINNICK. 1984. Determinación de etanol en la sangre. Cámara de Winnick.

WURZBURG, O. 1995. Modified Starches: Properties and Uses. Boca Raton, Estados Unidos de América. CRC Press. pp. 4-10, 29-40, 254-256.

ANEXOS

ANEXO A

Resumen estadístico; equivalentes de Dextrosa variedad MCol 2215, concentraciones 10,13, 16 %

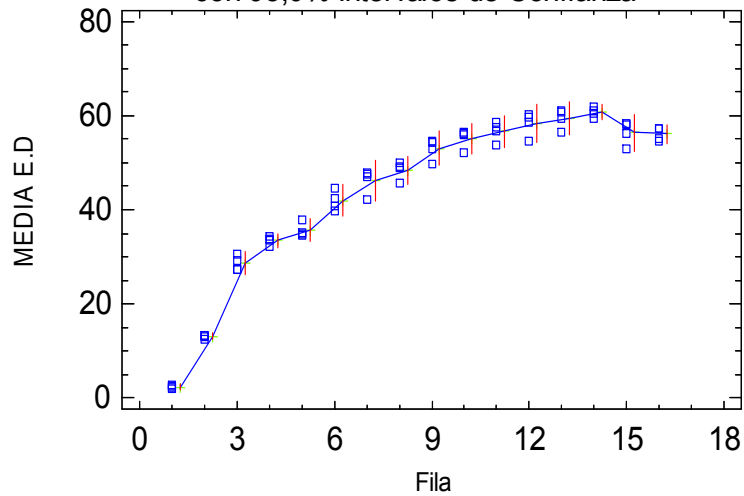
Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	2,38069	2,38063	0,372279	0,856713
2	4	13,1149	13,2333	0,386011	0,870392
3	4	28,6921	28,3413	1,5526	3,2029
4	4	33,4018	33,6061	0,889495	2,07602
5	4	35,6226	34,9995	1,48223	3,16206
6	4	41,9275	41,5952	2,11973	4,87505
7	4	46,1622	47,3244	2,67562	5,64127
8	4	48,3714	48,955	1,93525	4,43781
9	4	52,9512	53,7093	2,28607	4,99651
10	4	55,1195	56,0083	2,05407	4,35626
11	4	56,6547	57,1754	2,13402	4,92162
12	4	58,2745	59,114	2,58436	5,7547
13	4	59,4158	60,122	2,17778	4,76756
14	4	60,73	60,8128	1,04509	2,45449
15	4	56,3548	57,1002	2,45133	5,34622
16	4	56,0543	56,1682	1,32427	2,49876
Total	64	44,0768	49,8508	17,0071	59,922

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

GRAFICO MEDIAS E.D MCOL 2215 (10%)
con 95,0% Intervalos de Confianza



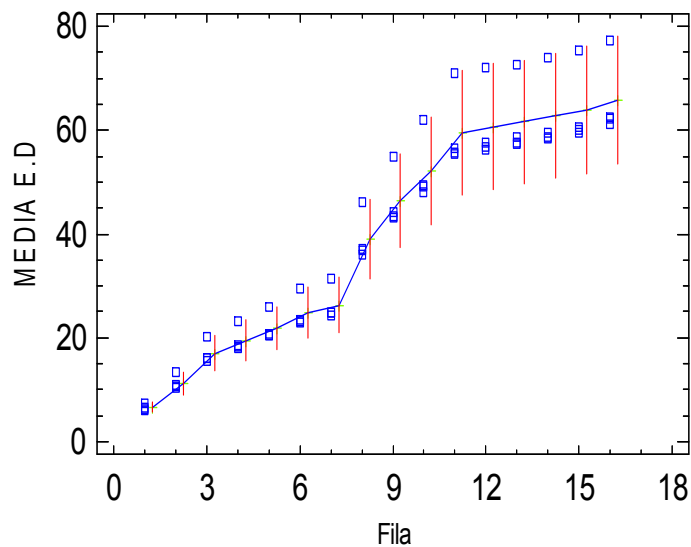
Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	6,58011	6,3852	0,611039	1,38779
2	4	11,2588	10,7015	1,34637	2,89409
3	4	16,9863	16,1125	2,14007	4,61899
4	4	19,4921	18,3278	2,51998	5,21724
5	4	21,8439	20,6063	2,6465	5,44706
6	4	24,8401	23,3909	3,13609	6,49401
7	4	26,2851	24,7833	3,33997	6,9918
8	4	39,0954	37,0989	4,77559	10,2413
9	4	46,4032	43,8072	5,6036	11,5721
10	4	52,1287	49,3133	6,56738	13,9724
11	4	59,6503	56,1487	7,56669	15,6537
12	4	60,7158	57,2244	7,60662	15,7676
13	4	61,5989	58,1738	7,44294	15,4025
14	4	62,7037	59,1863	7,54477	15,5493
15	4	63,8803	60,326	7,71167	15,9797
16	4	65,8066	62,4146	7,70858	16,2611
Total	64	39,9543	43,3205	21,4205	71,248

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

GRAFICO MEDIAS E.D MCOL 2215 (13%)
con 95,0% Intervalos de Confianza

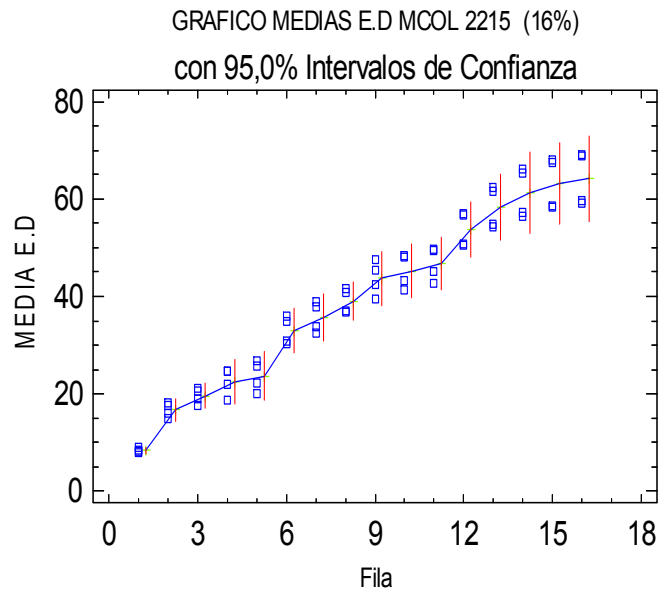


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	8,35041	8,2855	0,428316	1,01938
2	4	16,7455	16,8758	1,45464	3,14772
3	4	19,5853	19,8298	1,5639	3,35622
4	4	22,4772	23,2733	2,80481	5,99784
5	4	23,6319	23,9284	3,09979	6,68509
6	4	32,9835	32,8743	2,86365	5,81044
7	4	35,7145	35,7561	3,08279	6,31031
8	4	39,0225	38,9288	2,48365	4,74968
9	4	43,6464	43,87	3,5293	8,12018
10	4	45,2121	45,6385	3,49397	7,05867
11	4	46,7202	47,2612	3,41832	6,93367
12	4	53,8045	53,8356	3,56141	6,39316
13	4	58,2306	58,2044	4,23751	8,07827
14	4	61,3147	61,2934	5,18139	9,57614
15	4	63,1876	63,1769	5,31578	9,51364
16	4	64,1706	64,2696	5,53251	10,0968
Total	64	39,6748	41,0407	17,701	61,2144

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



ANEXO B

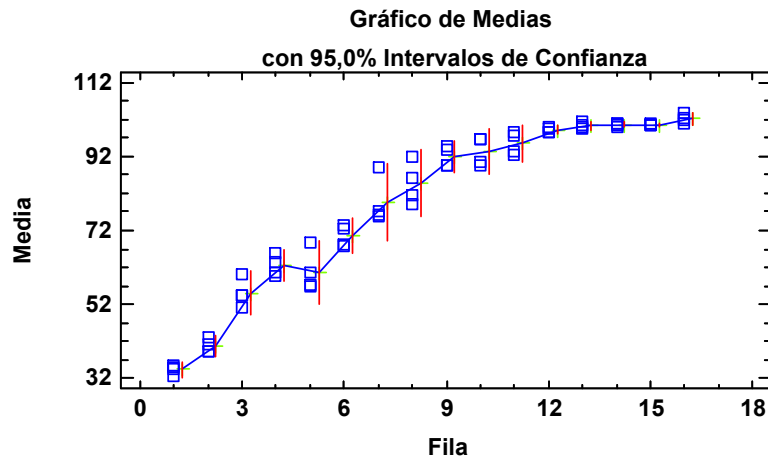
Resumen estadístico; equivalentes de Dextrosa variedad Mtai- 8, concentraciones 10,13, 16 %

Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	34,4248	34,7441	1,32908	3,11152
2	4	40,7236	40,3392	1,74783	3,67037
3	4	55,1345	54,6235	3,64269	8,80411
4	4	62,4583	62,0988	2,7154	5,88436
5	4	60,7171	58,7991	5,41786	11,6478
6	4	70,4869	70,2868	2,99658	5,68992
7	4	79,5314	76,6787	6,47831	13,6285
8	4	84,695	83,9824	5,60825	12,6954
9	4	91,8778	91,5689	2,79054	5,47358
10	4	93,2343	93,458	3,80424	7,10334
11	4	95,513	95,4671	3,06044	6,02198
12	4	99,17	99,066	0,731007	1,45211
13	4	100,185	100,013	0,782093	1,79801
14	4	100,533	100,623	0,389429	0,906784
15	4	100,523	100,424	0,346307	0,729553
16	4	102,221	102,158	1,08058	2,5713
Total	64	79,4643	89,4544	22,2863	71,0202

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

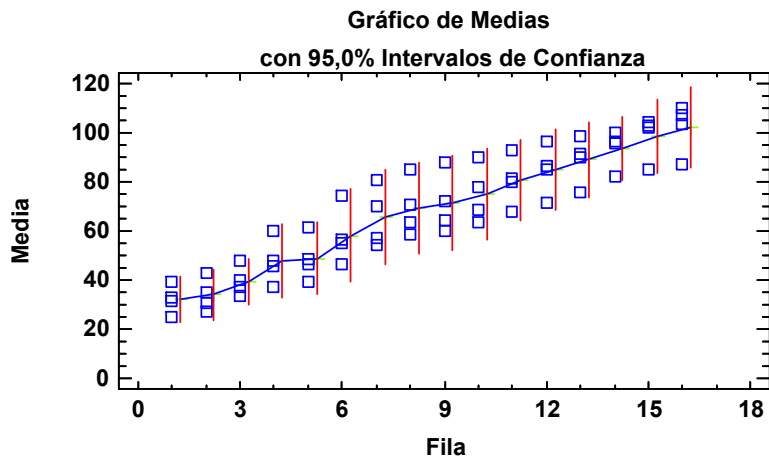


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	32,313	32,2644	5,60713	13,649
2	4	34,0841	33,0135	6,55361	15,2059
3	4	39,7212	38,6663	5,80226	13,596
4	4	47,8039	46,7831	9,36572	22,66
5	4	48,9368	47,6016	9,21312	22,1593
6	4	58,0473	55,7164	11,8722	28,3078
7	4	65,4013	63,2518	12,0271	25,8364
8	4	69,3428	67,0213	11,6395	26,8719
9	4	71,1883	68,4833	11,9683	27,2078
10	4	74,8333	73,0006	11,6009	26,4496
11	4	80,3271	80,4673	10,2356	25,0019
12	4	84,7165	85,8083	10,1586	24,641
13	4	88,8195	90,6484	9,5869	22,8843
14	4	93,3813	95,8463	7,89324	18,003
15	4	98,3766	102,403	9,1985	19,4148
16	4	101,72	105,188	10,304	22,975
Total	64	68,0633	69,0717	23,7413	84,2025

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

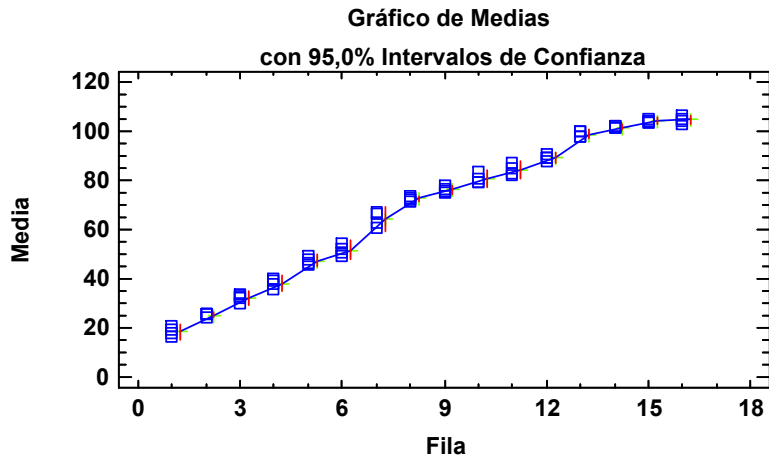


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	18,6374	18,6173	1,95457	4,64118
2	4	25,5097	25,8009	0,838834	1,85458
3	4	32,2719	32,8087	1,5999	3,47486
4	4	38,2465	38,55	2,07585	4,67332
5	4	47,4053	47,1325	1,62068	3,76793
6	4	51,7258	51,6947	2,30182	5,44183
7	4	64,3768	64,7432	3,11133	6,88232
8	4	72,4463	72,2579	0,865763	1,99116
9	4	76,1508	76,032	1,00801	2,27756
10	4	80,7642	80,1271	2,13059	4,6096
11	4	84,1189	83,7063	2,2315	4,7906
12	4	89,1323	89,3755	1,19038	2,83094
13	4	98,5736	98,6551	1,02899	1,96467
14	4	101,492	101,409	0,594631	1,19276
15	4	103,857	103,78	0,82116	1,74972
16	4	104,526	104,601	1,21711	2,948
Total	64	68,0771	74,3806	28,4763	89,5883

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



ANEXO C

Resumen estadístico; Grados Brix variedad MCol 2215, concentraciones 10,13, 16 %

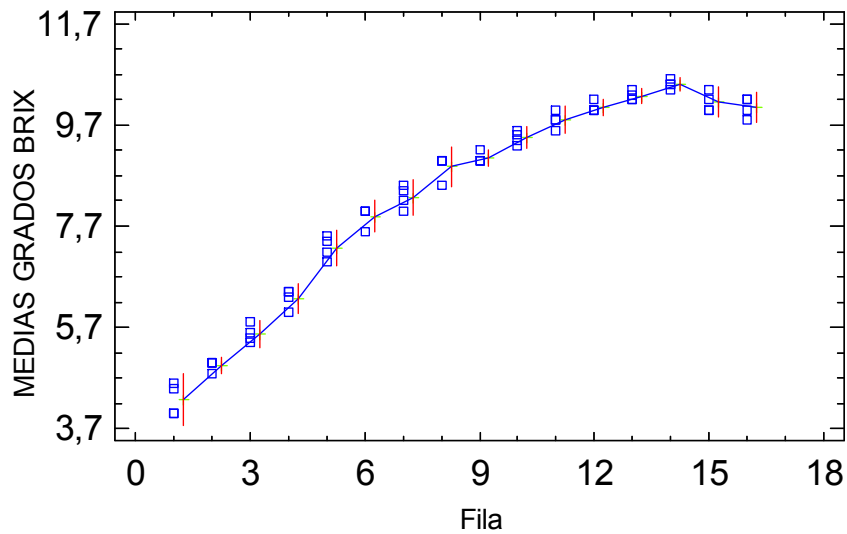
Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	4,275	4,25	0,320156	0,6
2	4	4,95	5,0	0,1	0,2
3	4	5,575	5,55	0,170783	0,4
4	4	6,275	6,35	0,189297	0,4
5	4	7,275	7,3	0,221736	0,5
6	4	7,9	8,0	0,2	0,4
7	4	8,275	8,3	0,221736	0,5
8	4	8,875	9,0	0,25	0,5
9	4	9,05	9,0	0,1	0,2
10	4	9,45	9,45	0,129099	0,3
11	4	9,8	9,8	0,163299	0,4
12	4	10,05	10,0	0,1	0,2
13	4	10,275	10,25	0,0957427	0,2
14	4	10,5	10,5	0,0816497	0,2
15	4	10,15	10,1	0,191485	0,4
16	4	10,05	10,1	0,191485	0,4
Total	64	8,29531	9,0	2,00495	6,6

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

GRAFICO MEDIAS GRADOS BRUX MCOL 2215 10%
con 95,0% Intervalos de Confianza

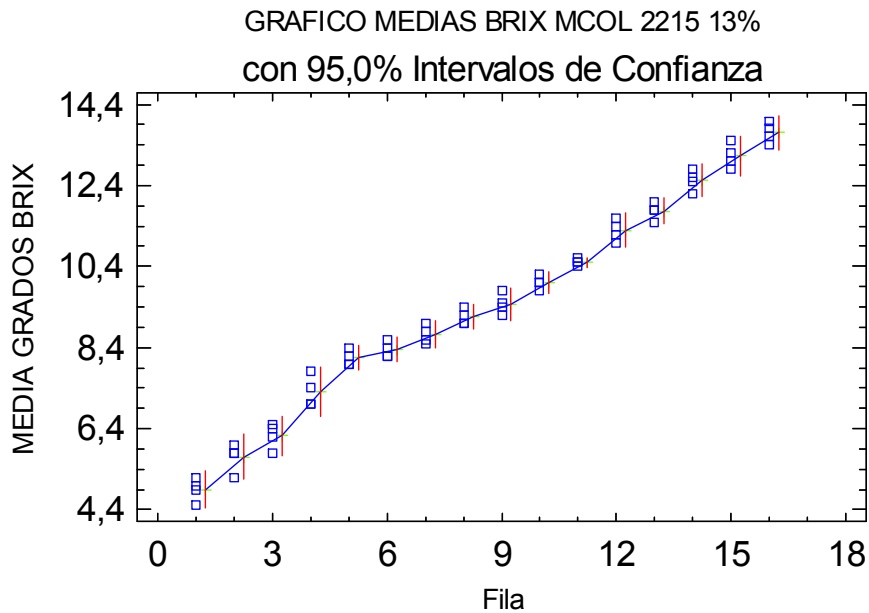


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	4,9	4,95	0,294392	0,7
2	4	5,7	5,8	0,34641	0,8
3	4	6,225	6,3	0,30957	0,7
4	4	7,3	7,2	0,382971	0,8
5	4	8,15	8,1	0,191485	0,4
6	4	8,35	8,3	0,191485	0,4
7	4	8,725	8,7	0,221736	0,5
8	4	9,15	9,1	0,191485	0,4
9	4	9,475	9,45	0,25	0,6
10	4	10,0	10,0	0,163299	0,4
11	4	10,5	10,5	0,0816497	0,2
12	4	11,3	11,3	0,258199	0,6
13	4	11,775	11,8	0,206155	0,5
14	4	12,525	12,55	0,25	0,6
15	4	13,125	13,1	0,298608	0,7
16	4	13,7	13,7	0,258199	0,6
Total	64	9,43125	9,3	2,58604	9,5

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

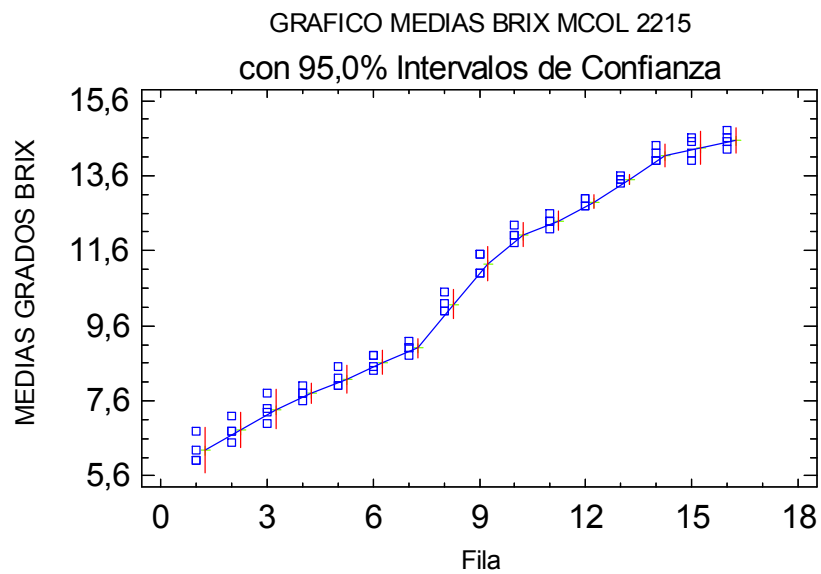


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica
1	4	6,275	6,15	0,377492
2	4	6,825	6,8	0,287228
3	4	7,375	7,35	0,330404
4	4	7,8	7,8	0,163299
5	4	8,175	8,1	0,236291
6	4	8,625	8,65	0,206155
7	4	9,0	9,0	0,163299
8	4	10,175	10,1	0,236291
9	4	11,25	11,25	0,288675
10	4	12,025	12,0	0,206155
11	4	12,4	12,4	0,163299
12	4	12,9	12,9	0,11547
13	4	13,5	13,5	0,0816497
14	4	14,15	14,1	0,191485
15	4	14,325	14,35	0,275379
16	4	14,55	14,55	0,208167
Total	64	10,5844	10,75	2,82664

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



ANEXO D

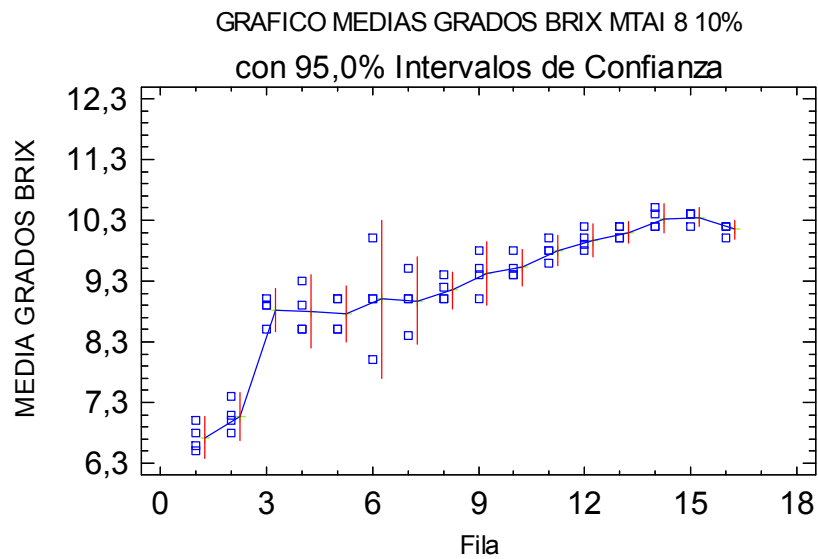
Resumen estadístico; Grados Brix, variedad Mtai – 8 concentración 10, 13, 16%

Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	6,725	6,7	0,221736	0,5
2	4	7,075	7,05	0,25	0,6
3	4	8,825	8,9	0,221736	0,5
4	4	8,8	8,7	0,382971	0,8
5	4	8,75	8,75	0,288675	0,5
6	4	9,0	9,0	0,816497	2,0
7	4	8,975	9,0	0,45	1,1
8	4	9,15	9,1	0,191485	0,4
9	4	9,425	9,45	0,330404	0,8
10	4	9,525	9,45	0,189297	0,4
11	4	9,8	9,8	0,163299	0,4
12	4	9,975	9,95	0,170783	0,4
13	4	10,1	10,1	0,11547	0,2
14	4	10,325	10,3	0,15	0,3
15	4	10,35	10,4	0,1	0,2
16	4	10,15	10,2	0,1	0,2
Total	64	9,18438	9,4	1,06357	4,0

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

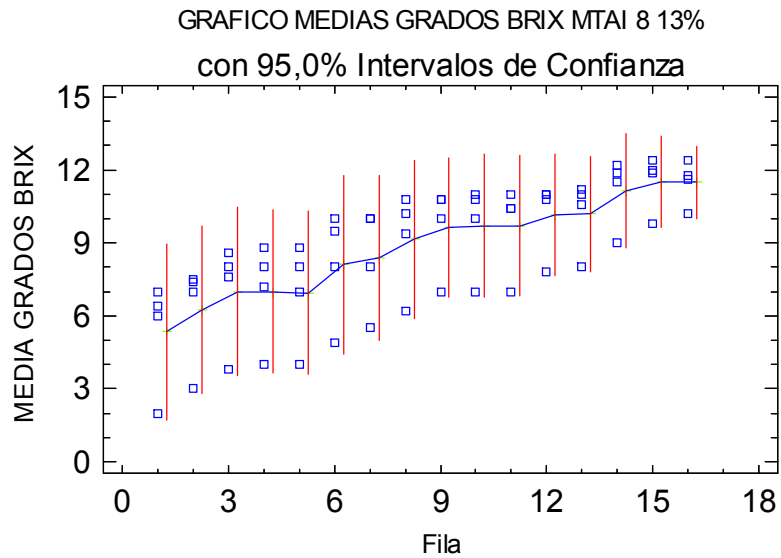


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	5,35	6,2	2,27083	5,0
2	4	6,225	7,2	2,16083	4,5
3	4	7,0	7,8	2,17256	4,8
4	4	7,0	7,6	2,10396	4,8
5	4	6,95	7,5	2,1	4,8
6	4	8,1	8,75	2,29637	5,1
7	4	8,375	9,0	2,136	4,5
8	4	9,15	9,8	2,04858	4,6
9	4	9,65	10,4	1,80647	3,8
10	4	9,7	10,4	1,85113	4,0
11	4	9,7	10,4	1,82209	4,0
12	4	10,15	10,9	1,5695	3,2
13	4	10,2	10,8	1,48773	3,2
14	4	11,15	11,7	1,46173	3,2
15	4	11,525	11,95	1,17011	2,6
16	4	11,5	11,7	0,930949	2,2
Total	64	8,85781	9,45	2,49309	10,4

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

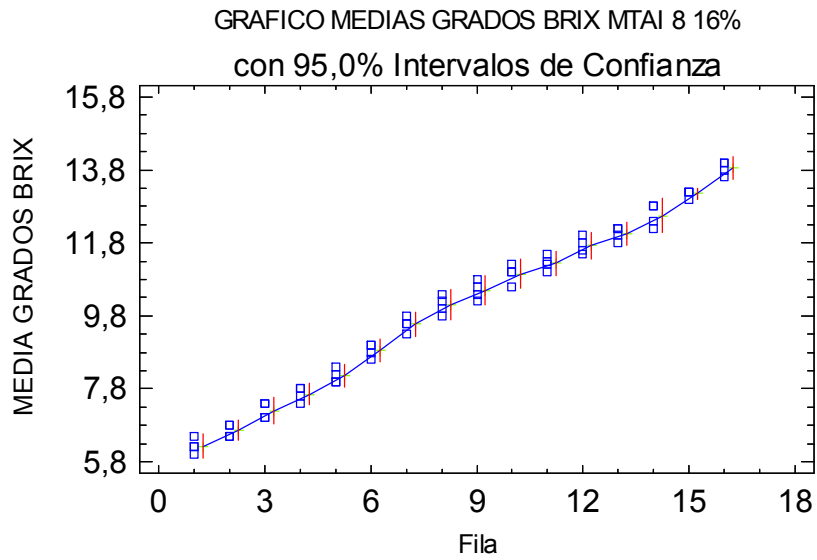


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	6,225	6,2	0,206155	0,5
2	4	6,65	6,65	0,173205	0,3
3	4	7,2	7,2	0,23094	0,4
4	4	7,65	7,7	0,191485	0,4
5	4	8,15	8,1	0,191485	0,4
6	4	8,85	8,9	0,191485	0,4
7	4	9,575	9,6	0,206155	0,5
8	4	10,1	10,1	0,258199	0,6
9	4	10,5	10,5	0,258199	0,6
10	4	10,95	11,0	0,251661	0,6
11	4	11,25	11,25	0,208167	0,5
12	4	11,725	11,7	0,221736	0,5
13	4	12,05	12,1	0,191485	0,4
14	4	12,55	12,6	0,3	0,6
15	4	13,15	13,2	0,1	0,2
16	4	13,85	13,9	0,191485	0,4
Total	64	10,0266	10,3	2,32933	8,0

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 16 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



ANEXO E

Resumen estadístico; equivalentes de dextrosa etapa de fermentación variedad Mcol 2215 concentración 10, 13, 16%

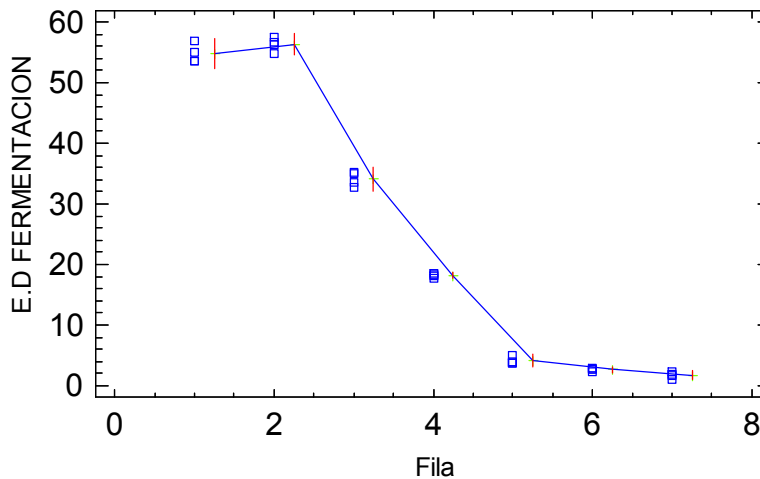
Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	54,7592	54,3375	1,58294	3,39295
2	4	56,3248	56,4725	1,11	2,65039
3	4	34,0657	34,207	1,20124	2,49667
4	4	18,208	18,2346	0,364827	0,878252
5	4	4,14255	3,90088	0,607644	1,30222
6	4	2,60602	2,69088	0,285227	0,656129
7	4	1,72764	1,78516	0,469155	1,10863
Total	28	24,5477	18,2346	22,6939	56,3864

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

GRAFICO DE MEDIAS E.D FERMENTACION MCOL 2215 10%

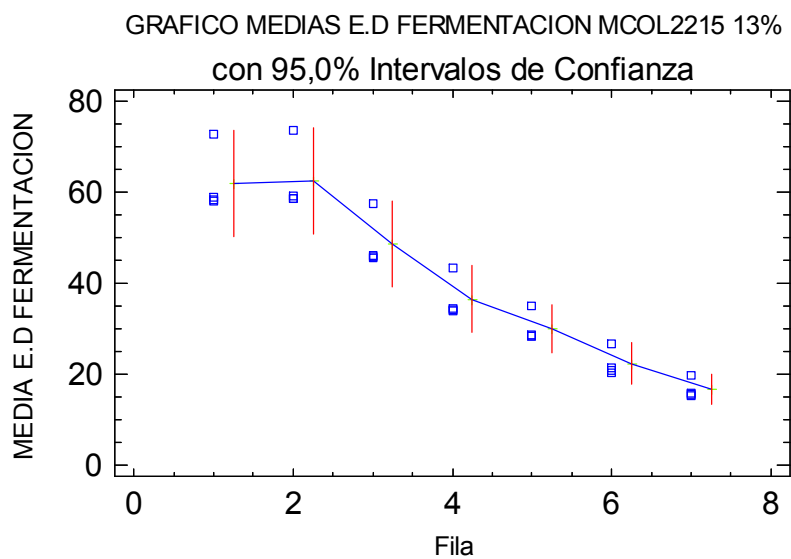


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	61,9845	58,5532	7,27696	14,9378
2	4	62,4892	58,9331	7,35736	14,949
3	4	48,7219	45,8954	5,95368	12,191
4	4	36,4884	34,3321	4,58249	9,42083
5	4	30,0457	28,4221	3,37102	6,86161
6	4	22,3334	21,1287	2,93695	6,29515
7	4	16,5881	15,6621	2,08162	4,37175
Total	28	39,8073	34,7704	17,9606	58,1916

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

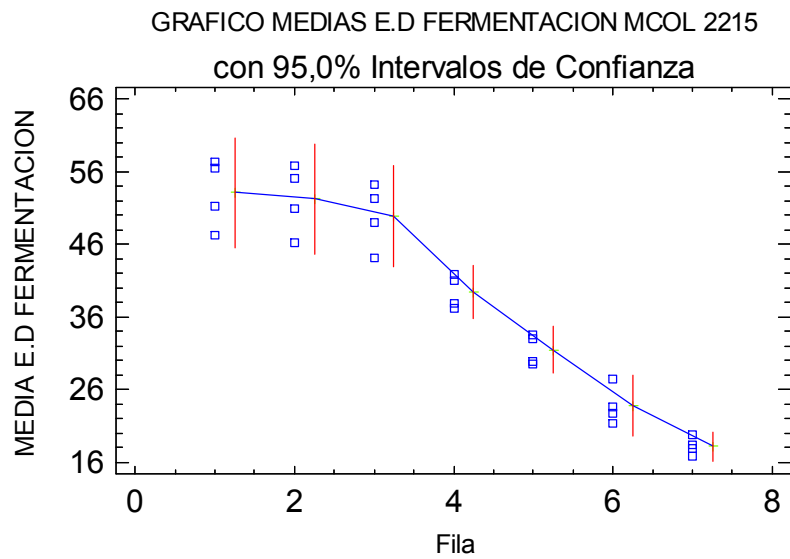


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	53,076	53,8874	4,71601	10,0747
2	4	52,2545	53,0036	4,74312	10,595
3	4	49,898	50,6419	4,37756	9,97167
4	4	39,4749	39,4489	2,27682	4,64606
5	4	31,5012	31,4491	2,03535	3,89719
6	4	23,8506	23,2213	2,60587	6,06021
7	4	18,2019	18,0825	1,2779	3,06347
Total	28	38,3225	39,4489	13,712	40,5125

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



ANEXO F

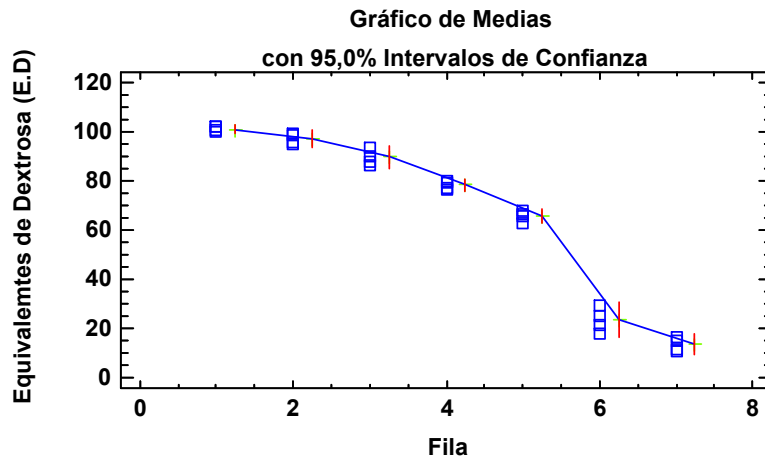
Resumen estadístico; equivalentes de dextrosa Mtai – 8 concentración 10, 13, 16%

Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	100,818	100,914	1,16174	2,42719
2	4	96,8535	96,9097	2,07448	4,02152
3	4	89,5724	89,054	3,03884	6,93032
4	4	78,2526	78,1658	1,63117	3,44295
5	4	65,5471	65,747	1,79997	4,31052
6	4	23,6628	23,5446	4,62144	10,765
7	4	13,5623	13,5011	2,71718	5,88602
Total	28	66,8956	78,1658	33,2085	91,2555

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

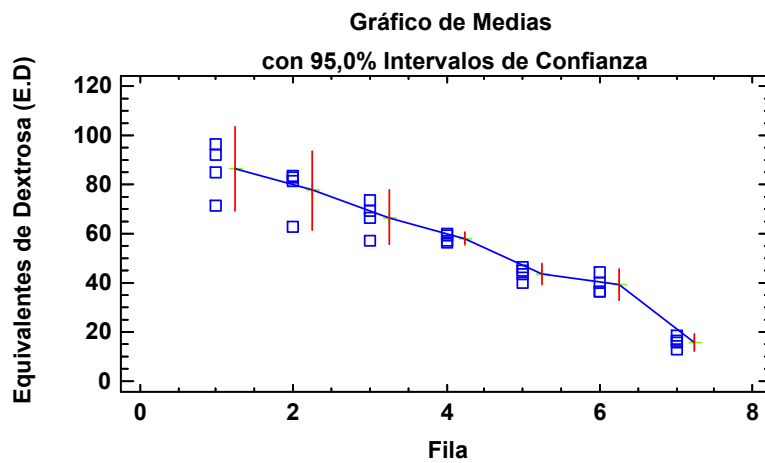


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	86,2468	88,4711	10,9115	24,8306
2	4	77,4398	81,8972	10,0053	20,9384
3	4	66,6454	67,9141	7,06512	16,638
4	4	58,1267	57,9971	1,48089	3,00812
5	4	43,7599	44,4122	2,66735	6,19921
6	4	39,4533	38,4783	3,90394	8,31388
7	4	15,9854	16,2168	2,25411	5,38785
Total	28	55,3796	57,0289	23,5341	83,3776

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

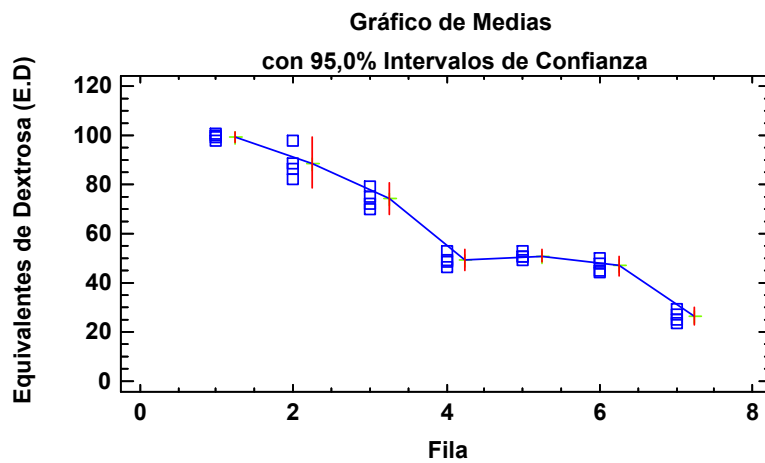


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	99,2311	99,2821	1,30385	3,14126
2	4	88,5829	87,4214	6,44015	15,3464
3	4	74,2243	73,8034	3,91202	9,07293
4	4	49,2144	49,0367	2,64912	6,41703
5	4	50,9132	50,5795	1,49739	3,54379
6	4	46,912	46,5001	2,43411	5,39739
7	4	26,4547	26,2557	2,32098	5,43825
Total	28	62,2189	51,6045	24,5815	76,8163

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



ANEXO G

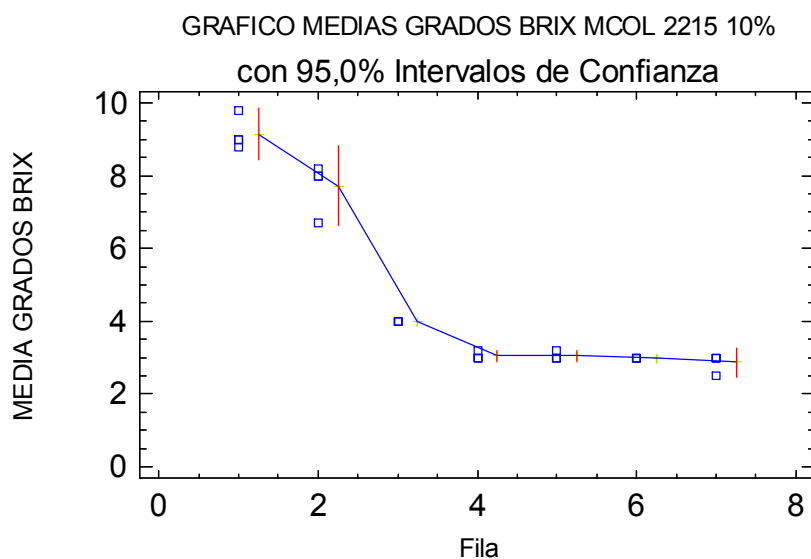
Resumen estadístico; Grados Brix, variedad Mcol 2215 concentración 10, 13, 16%

Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Ra
1	4	9,15	9,0	0,443471	1,1
2	4	7,725	8,0	0,689807	1,1
3	4	4,0	4,0	0,0	0,1
4	4	3,05	3,0	0,1	0,1
5	4	3,05	3,0	0,1	0,1
6	4	3,0	3,0	0,0	0,1
7	4	2,875	3,0	0,25	0,1
Total	28	4,69286	3,1	2,48476	7,1

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

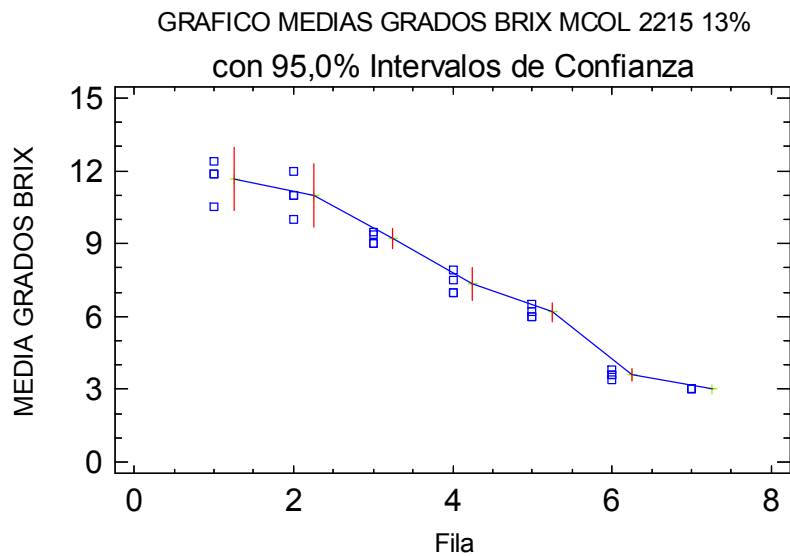


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	11,675	11,9	0,818026	1,9
2	4	11,0	11,0	0,816497	2,0
3	4	9,225	9,2	0,262996	0,5
4	4	7,35	7,25	0,43589	0,9
5	4	6,175	6,1	0,236291	0,5
6	4	3,6	3,6	0,163299	0,4
7	4	3,0	3,0	0,0	0,0
Total	28	7,43214	7,25	3,24597	9,4

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

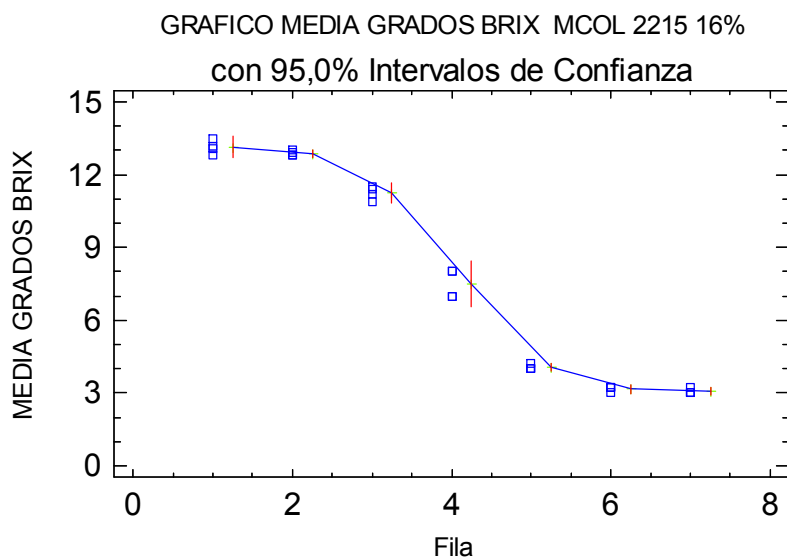


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	13,15	13,15	0,288675	0,7
2	4	12,875	12,85	0,0957427	0,2
3	4	11,25	11,3	0,264575	0,6
4	4	7,5	7,5	0,57735	1,0
5	4	4,05	4,0	0,1	0,2
6	4	3,15	3,2	0,1	0,2
7	4	3,05	3,0	0,1	0,2
Total	28	7,86071	7,5	4,30309	10,5

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



ANEXO H

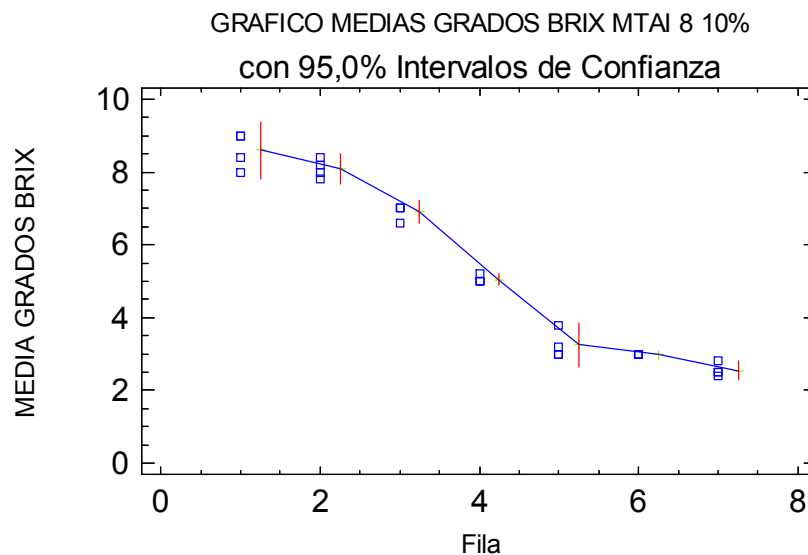
Resumen estadístico; Grados Brix, variedad Mtai – 8 concentración 10, 13, 16%

Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	8,6	8,7	0,489898	1,0
2	4	8,1	8,1	0,258199	0,6
3	4	6,9	7,0	0,2	0,4
4	4	5,05	5,0	0,1	0,2
5	4	3,25	3,1	0,378594	0,8
6	4	3,0	3,0	0,0	0,0
7	4	2,55	2,5	0,173205	0,4
Total	28	5,35	5,0	2,39714	6,6

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

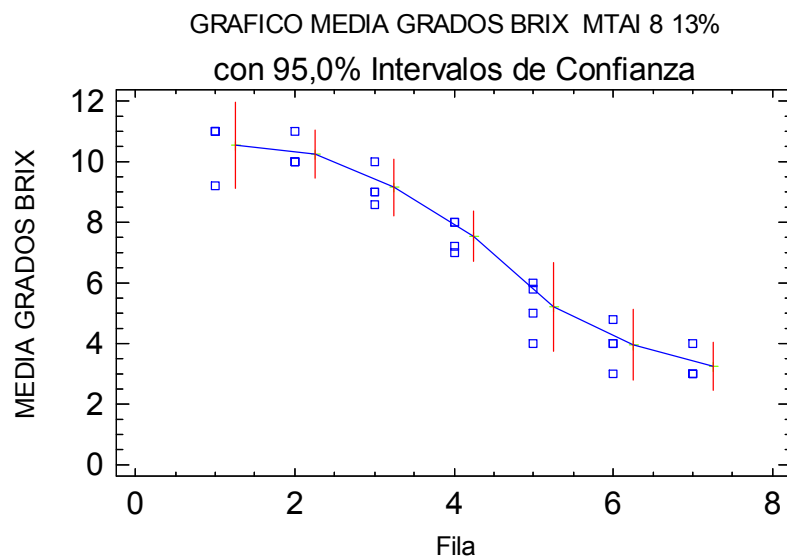


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	10,55	11,0	0,9	1,8
2	4	10,25	10,0	0,5	1,0
3	4	9,15	9,0	0,597216	1,4
4	4	7,55	7,6	0,525991	1,0
5	4	5,2	5,4	0,909212	2,0
6	4	3,95	4,0	0,737111	1,8
7	4	3,25	3,0	0,5	1,0
Total	28	7,12857	7,6	2,90757	8,0

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

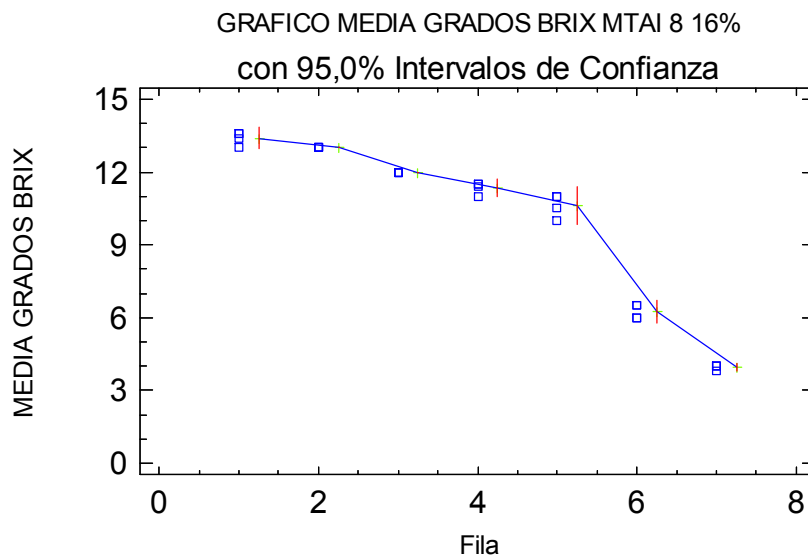


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	13,4	13,5	0,282843	0,6
2	4	13,0	13,0	0,0	0,0
3	4	12,0	12,0	0,0	0,0
4	4	11,35	11,45	0,238048	0,5
5	4	10,625	10,75	0,478714	1,0
6	4	6,25	6,25	0,288675	0,5
7	4	3,95	4,0	0,1	0,2
Total	28	10,0821	11,45	3,39357	9,8

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



ANEXO I

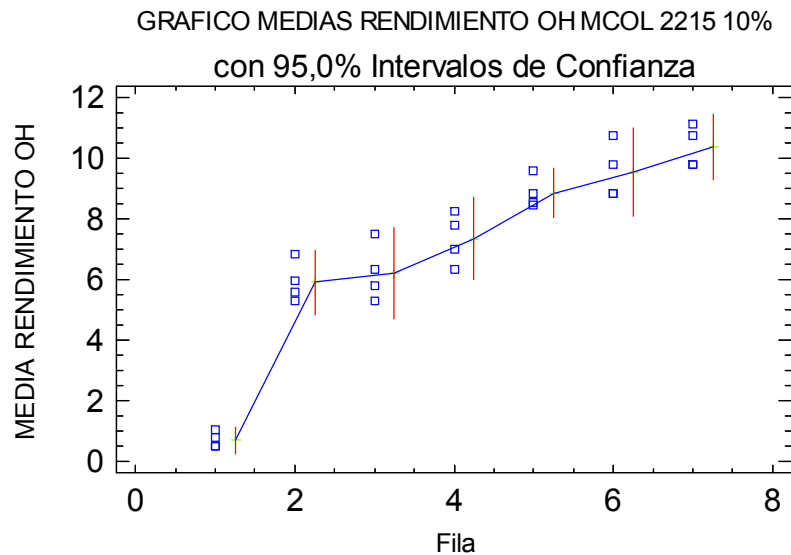
Resumen estadístico; rendimiento de alcohol variedad Mcol 2215 concentración 10, 13, 16%

Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	0,696	0,624	0,275739	0,576
2	4	5,9064	5,76	0,671789	1,5456
3	4	6,2262	6,0684	0,945243	2,208
4	4	7,344	7,392	0,846035	1,92
5	4	8,856	8,688	0,522149	1,152
6	4	9,552	9,312	0,91913	1,92
7	4	10,3655	10,272	0,686155	1,354
Total	28	6,9923	7,632	3,12056	10,656

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

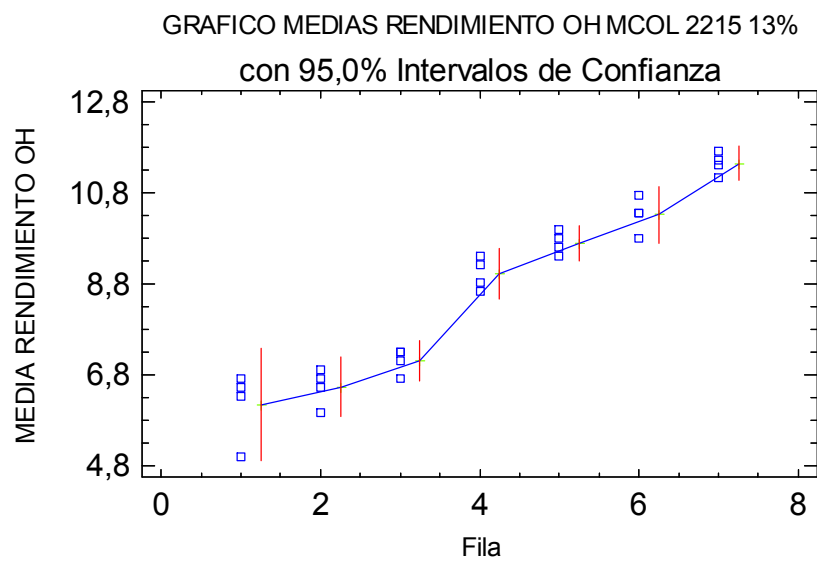


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	6,144	6,432	0,783837	1,728
2	4	6,528	6,624	0,414767	0,96
3	4	7,104	7,2	0,271529	0,576
4	4	9,024	9,024	0,350542	0,768
5	4	9,696	9,696	0,247871	0,576
6	4	10,32	10,368	0,395818	0,96
7	4	11,448	11,472	0,24	0,576
Total	28	8,60914	9,024	1,96099	6,72

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

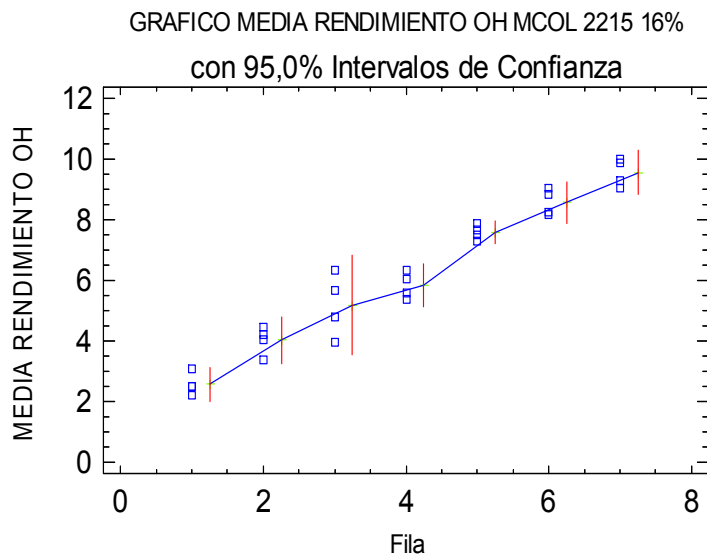


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	2,5632	2,4864	0,363788	0,864
2	4	4,02	4,128	0,474165	1,104
3	4	5,184	5,232	1,04283	2,4
4	4	5,832	5,808	0,439054	0,96
5	4	7,584	7,584	0,247871	0,576
6	4	8,568	8,544	0,424829	0,864
7	4	9,552	9,6	0,4604	0,96
Total	28	6,18617	6,192	2,41821	7,776

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



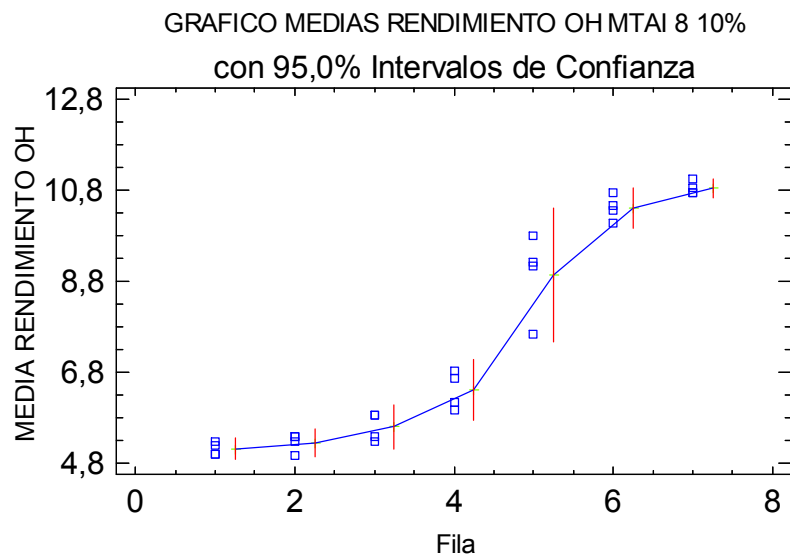
ANEXO J
Resumen estadístico; rendimiento de alcohol Mtai – 8 concentración 10, 13, 16%

Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	5,112	5,088	0,144	0,288
2	4	5,2512	5,328	0,191038	0,4032
3	4	5,592	5,616	0,30735	0,576
4	4	6,4008	6,408	0,420167	0,8832
5	4	8,94	9,168	0,921112	2,16
6	4	10,416	10,416	0,277128	0,672
7	4	10,8475	10,8	0,136239	0,29
Total	28	7,5085	6,408	2,38341	6,0672

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

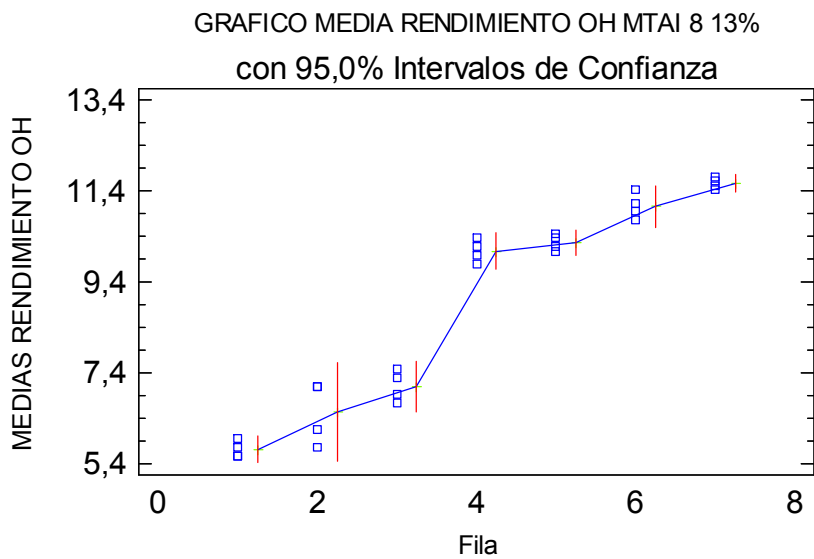


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	5,712	5,664	0,183826	0,384
2	4	6,528	6,624	0,683333	1,344
3	4	7,104	7,104	0,350542	0,768
4	4	10,08	10,08	0,247871	0,576
5	4	10,272	10,272	0,175271	0,384
6	4	11,064	11,04	0,286664	0,672
7	4	11,568	11,568	0,123935	0,288
Total	28	8,904	10,032	2,26736	6,144

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

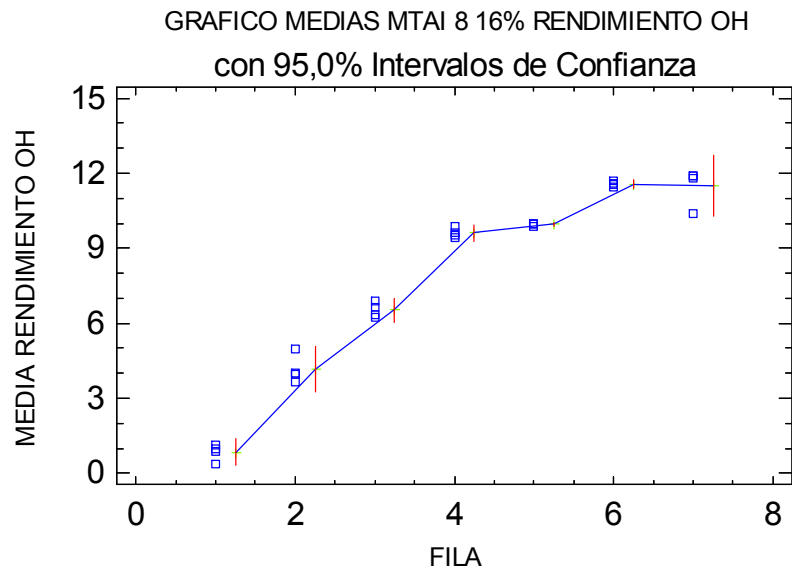


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	0,84	0,912	0,326729	0,768
2	4	4,14795	3,9855	0,573711	1,3248
3	4	6,528	6,48	0,303579	0,672
4	4	9,6	9,552	0,207384	0,48
5	4	9,9552	9,9744	0,0457051	0,096
6	4	11,568	11,568	0,123935	0,288
7	4	11,4936	11,8512	0,751641	1,536
Total	28	7,73325	9,552	3,84816	11,52

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



ANEXO K

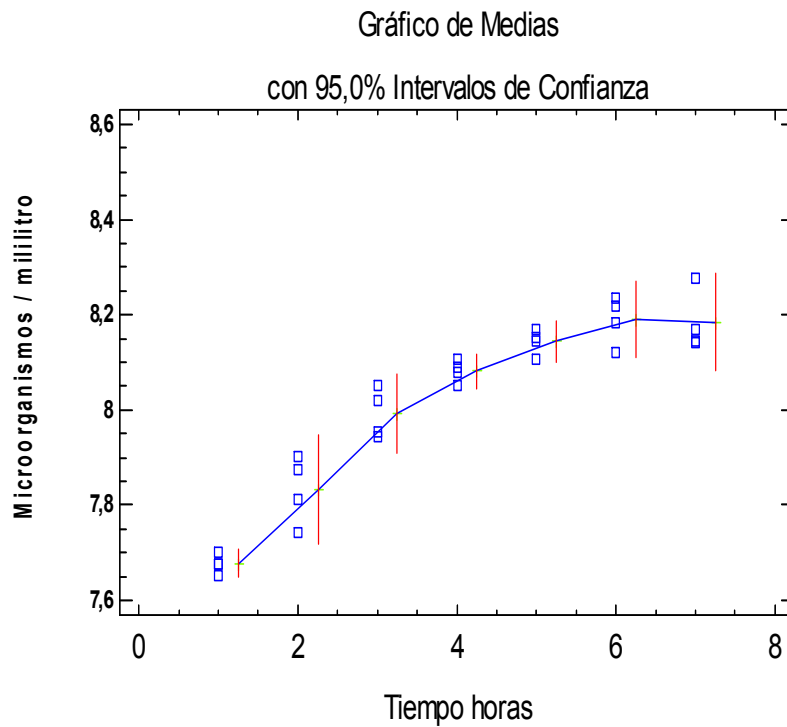
Resumen estadístico; microorganismos variedad Mcol 2215 concentración 10, 13, 16%

Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	7,67639	7,67669	0,0186837	0,0457575
2	4	7,83286	7,84399	0,0722653	0,162727
3	4	7,99215	7,98772	0,0525223	0,109144
4	4	8,081	8,08366	0,0226999	0,0543577
5	4	8,14356	8,14997	0,0270567	0,0632818
6	4	8,18994	8,20038	0,0502811	0,114573
7	4	8,18398	8,15746	0,0642607	0,136521
Total	28	8,01427	8,08366	0,188784	0,625541

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

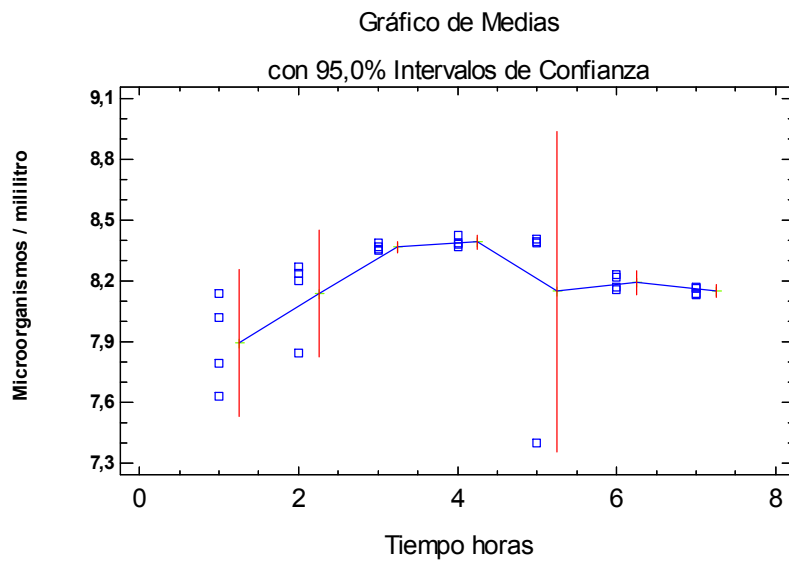


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	7,89594	7,90853	0,228052	0,509914
2	4	8,13658	8,21703	0,19642	0,422074
3	4	8,36614	8,36402	0,0181859	0,0418361
4	4	8,39092	8,38469	0,0227803	0,052178
5	4	8,14789	8,39137	0,497138	1,00428
6	4	8,19263	8,19314	0,0370713	0,0766341
7	4	8,1497	8,14984	0,0183084	0,0384583
Total	28	8,18283	8,22397	0,249142	1,02098

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

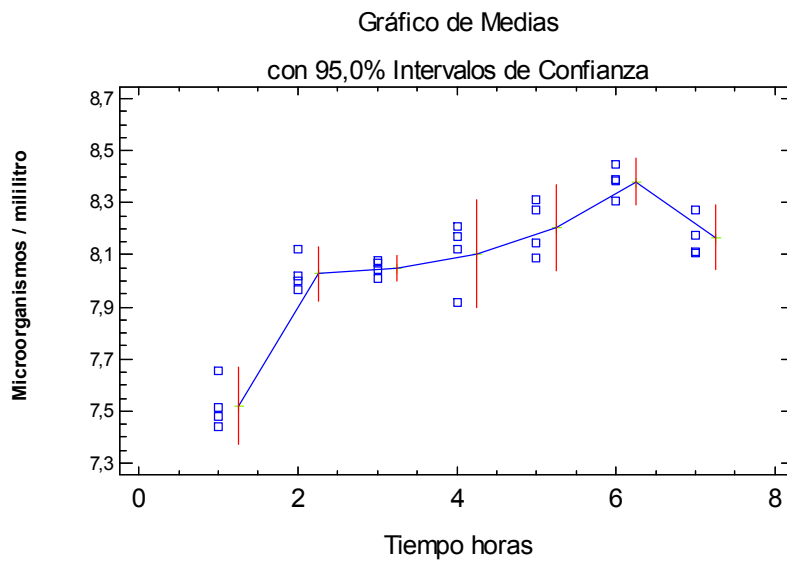


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	7,52039	7,4945	0,093375	0,21388
2	4	8,02698	8,01059	0,0663892	0,154432
3	4	8,05033	8,05572	0,0309263	0,0684574
4	4	8,10458	8,1455	0,130537	0,294399
5	4	8,20475	8,20956	0,105109	0,223618
6	4	8,38187	8,38694	0,0577806	0,140733
7	4	8,16714	8,14502	0,0772762	0,167491
Total	28	8,06515	8,10973	0,263539	1,00783

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



ANEXO L

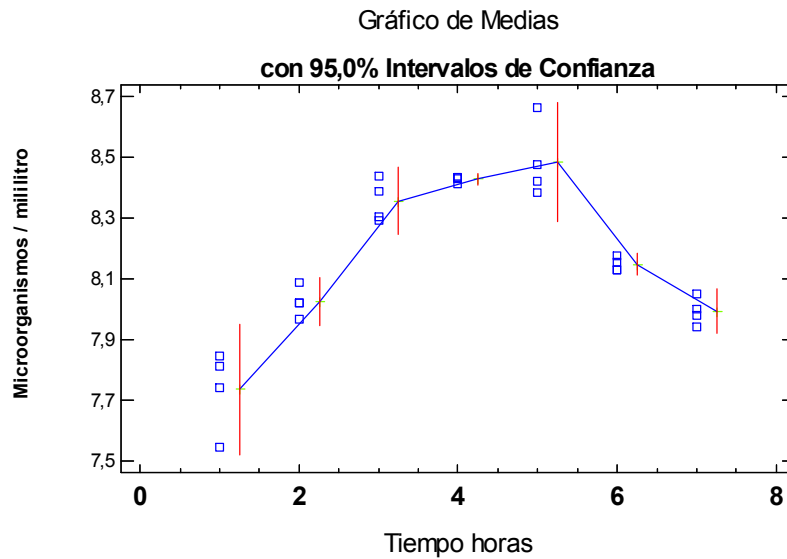
Resumen estadístico; microorganismos variedad Mtai – 8 concentración 10, 13, 16%

Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	7,73561	7,77664	0,134999	0,30103
2	4	8,02416	8,02119	0,0499223	0,121994
3	4	8,35566	8,34672	0,0692637	0,144701
4	4	8,42822	8,43337	0,0117796	0,0245893
5	4	8,48465	8,44631	0,123283	0,276547
6	4	8,14764	8,14207	0,0219592	0,0457575
7	4	7,99272	7,98886	0,0456945	0,109144
Total	28	8,16695	8,14207	0,265146	1,11719

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

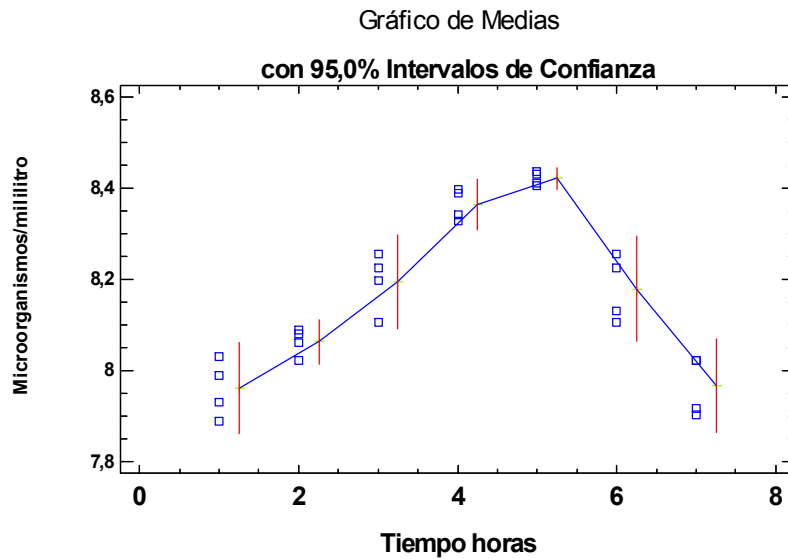


Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	7,95978	7,95921	0,0629118	0,142107
2	4	8,06454	8,07442	0,0316628	0,0669468
3	4	8,19552	8,21065	0,0645166	0,149762
4	4	8,3642	8,36579	0,0345759	0,0704811
5	4	8,42101	8,42107	0,0144614	0,0288263
6	4	8,17878	8,17717	0,0721406	0,149762
7	4	7,96548	7,96882	0,0645578	0,118099
Total	28	8,16419	8,11792	0,177754	0,546065

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.



Resúmenes Estadísticos

Fila	Recuento	Media	Mediana	Desviación Típica	Rango
1	4	7,59117	7,58805	0,0683447	0,16481
2	4	7,97366	7,95407	0,0673785	0,153584
3	4	8,0432	8,01894	0,0879389	0,20265
4	4	8,10319	8,11474	0,0878828	0,18327
5	4	8,07716	8,06846	0,141948	0,338819
6	4	8,10416	8,11193	0,0637586	0,12996
7	4	8,25596	8,25374	0,00861234	0,0179734
Total	28	8,02121	8,04605	0,209493	0,755288

El StatAdvisor

Esta tabla presenta estadísticos de la muestra para las 7 filas de su fichero de datos que tienen al menos un valor no perdido.

