

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**IMPACTO DE LA VARIEDAD, DENSIDAD DE SIEMBRA Y MOMENTO  
DE COSECHA DE SORGO DULCE EN LA PRODUCCIÓN  
DE ETANOL EN EL NORTE URUGUAYO**

**por**

**Leonardo CARRIÓN SBARDELLOTTO**

**TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2013**

Tesis aprobada por:

Director: -----  
Ing. Agr. Guillermo Siri- Prieto

-----  
Ing. Agr. Oswaldo Ernst

-----  
Ing. Agr. Javier Coitiño

Fecha: 16 de agosto de 2013

Autor: -----  
Leonardo Javier Carrión Sbardellotto

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la empresa ALUR que me brindó el apoyo material y logístico para realizar este trabajo de tesis apersonado en los Ing. Agr. Juan Carnelli, José María Rodríguez y Fernando Hackembruch así como el personal del campo experimental de la empresa.

Agradezco al director de la tesis Guillermo Siri-Prieto por darme la posibilidad de realizar este trabajo aun mucho tiempo después de haber culminado los cursos y haber realizado la orientación granjera.

Agradezco también a mi familia, fundamentalmente a mi madre, por esperar tanto tiempo para que me reciba.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	2
2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESPECIE Y DEL CULTIVO.....	2
2.1.1. <u>Importancia del cultivo</u> .....	2
2.1.2. <u>Ubicación botánica, características                 morfológicas y vegetativas</u> .....	3
2.1.3. <u>Aspectos fisiológicos</u> .....	5
2.1.4. <u>Etapas del crecimiento del cultivo</u> .....	8
2.2. POSIBILIDADES DEL PAÍS PARA LA PRODUCCIÓN DE SORGO DULCE.....	10
2.3. ASPECTOS INDUSTRIALES DE LA PRODUCCIÓN.....	10
2.3.1. <u>Importancia del Etanol</u> .....	10
2.3.2. <u>Procesos bioquímicos e industriales</u> .....	11
2.4. FACTORES PRODUCTIVOS. INVESTIGACIÓN.....	15
2.4.1. <u>Material genético</u> .....	15
2.4.2. <u>Densidad y distribución de plantas</u> .....	17
2.4.3. <u>Época de siembra</u> .....	19
2.4.4. <u>Momento de cosecha</u> .....	20
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	23
3.1. UBICACIÓN.....	23
3.2. TIPO DE SUELO.....	23
3.3. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	23
3.4. LABORES CULTURALES.....	24
3.4.1. <u>Preparación del suelo y siembra</u> .....	24
3.4.2. <u>Fertilización, control de plagas y de malezas</u> .....	24
3.4.3. <u>Raleo</u> .....	25
3.4.4. <u>Riego</u> .....	25
3.4.5. <u>Cosecha</u> .....	25
3.5. MEDICIONES REALIZADAS Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.....	26
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	27
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	28

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	28
4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	29
4.3. VARIEDAD, DENSIDAD DE SIEMBRA Y SU INTERACCIÓN.....	31
4.4. EFECTO DEL MOMENTO DE COSECHA.....	41
4.5. EFECTO COMBINADO DE LAS VARIEDAD Y EL MOMENTO DE COSECHA.....	42
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	47
6. <u>RESUMEN</u> .....	48
7. <u>SUMMARY</u> .....	49
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	50
9. <u>ANEXOS</u> .....	54

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Productos posibles de ser producidos a partir del sorgo dulce.....	3
2. Diagrama simplificado de la producción de etanol a partir de caña de azúcar y sorgo dulce.....	13
3. Productividad de etanol para varios métodos de fermentación.....	14
4. Resumen de significación en los análisis de varianza.....	30
5. Efecto de la variedad y la densidad de plantas en la población de tallos por planta y superficie.....	36
6. Efecto de la variedad y la densidad de plantas en los nudos por planta y en el largo, diámetro y peso por tallo .....	37
7. Efecto de la variedad y la densidad de siembra en la producción total, de panoja, tallos, jugo y fibra por hectárea.....	39
8. Influencia de las variedades en el % ART, % Fibra y en la cantidad de Brix, ART y Etanol por hectárea.....	40
9. Efecto del momento de cosecha en el % de Fibra y el % de Extracción.....	41
10. Efecto de la variedad y el momento de cosecha en el diámetro del tallo, número y largo de entrenudos.....	42
11. Efecto de la variedad y el momento de cosecha en el peso total, panoja, tallo, jugo y fibra por hectárea.....	44
12. Efecto de la variedad y el momento de cosecha en la calidad del jugo y producción de azúcares por hectárea.....	45
 Figura No.	
1. Evolución histórica (1966-2011) y del período oct10-abr11 de la temperatura media y de las precipitaciones.....	28
2. Evolución de la temperatura media y precipitaciones durante el	

período de crecimiento del cultivo.....	29
3. Efecto de la densidad de siembra en el número de tallos.....	32
4. Efecto de la densidad de siembra en el largo y diámetro del tallo.....	33
5. Efecto de la densidad de siembra en el peso individual por tallo y el peso de tallos por hectárea.....	34
6. Efecto de la densidad de siembra en él % Brix y la producción de jugo.....	35

## **1. INTRODUCCIÓN**

La demanda mundial por combustibles renovables se ha expandido rápidamente en los últimos años. Menor costo, autosuficiencia en relación a los países exportadores de petróleo, reducción del volumen de emisiones de gases con efecto invernadero, incertidumbre con respecto a la disponibilidad futura de recursos no renovables y tensiones geopolíticas en las regiones productoras de combustible fósil son algunos de los factores que han despertado un gran interés por los biocombustibles.

El sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] es un tipo de sorgo especial con un tallo rico en azúcar como el de la caña de azúcar, presentando en general una mayor adaptabilidad que esta. Debido a que la disponibilidad de agua se ha vuelto una mayor preocupación para la producción agrícola, se hace difícil el cultivo de la caña de azúcar en algunas zonas, siendo el sorgo dulce una alternativa. Su rápido crecimiento, alto nivel de azúcar y potencial para la producción de biomasa son ventajas que se agregan.

El sorgo dulce podría entrar en rotaciones con otros cultivos, permitiendo una explotación más racional del suelo así como equilibrando los sistemas de producción de energía y alimentos, produciéndose de esta forma una diversificación de las opciones productivas. Presenta características generales que llevan a pensar en que pueda transformarse en una opción importante para pequeños y medianos productores junto con otros cultivos de uso intenso de la mano de obra; aunque también podría entrar en un esquema más extensivo con la mecanización de las distintas etapas del cultivo.

El ensayo fue realizado en coordinación con la empresa A.L.U.R S.A en la zona de Bella Unión, en donde dicha empresa tiene instalada su industria sucroalcoholera a partir de la caña de azúcar. Se pretende que el período de cosecha e industrialización de esta en el futuro vaya desde el mes de mayo hasta setiembre, siendo el sorgo dulce una alternativa para extender el período industrial hacia los meses de marzo y parte de abril.

Para optimizar la producción de etanol a partir de sorgo dulce en la zona se hace necesaria la búsqueda de materiales genéticos, momentos de siembra, épocas de cosecha apropiados, etc. Los aspectos industriales de la producción de etanol a partir de la fermentación del jugo extraído de este tipo de sorgo son aún menos conocidos que la fase agrícola, debiendo por lo tanto hacer hincapié también en este aspecto.

El objetivo fue evaluar el 4 materiales genéticos, 2 densidades de plantas y 2 momentos de cosecha se sorgo dulce sobre la producción de etanol en la zona de influencia del emprendimiento sucroalcoholero de ALUR (zona norte del país), para hallar la combinación variedad-densidad-momento de cosecha con mejor producción.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESPECIE Y DEL CULTIVO**

#### **2.1.1. Importancia del cultivo**

En nuestro país existen grandes posibilidades de emplearlo como materia prima para la producción de etanol. Presenta ventajas con respecto a otros cultivos ya que se adapta a diversas condiciones de suelo y clima. En comparación con la caña de azúcar, el cual es el cultivo más importante a nivel mundial para la producción de biocombustibles, posee un ciclo productivo relativamente corto de aproximadamente 4 meses en promedio y se adapta a una mayor diversidad de climas, siendo conveniente para áreas de clima templado. Puede producirse con una menor cantidad de agua de riego y de lluvia que esta. Posee además un relativamente alto contenido de azúcares directamente fermentables en el tallo para la producción de alcohol así como un elevado rendimiento en biomasa total.

Las características que presenta este cultivo hacen pensar que pueda transformarse en una opción importante para pequeños y medianos productores, junto con otros cultivos de intenso uso de la mano de obra o también un uso más extensivo. Además del empleo de los azúcares fermentables puede llegar a presentar una importante producción de granos, despunte de hojas y bagazo (residuo fibroso luego de la extracción del jugo), fabricación de raciones, etc. (Woods, 2000).

No existe otra especie que sintetice la sacarosa tan rápidamente como el sorgo dulce. De ahí sus posibilidades, a nivel nacional, como complemento de cultivos azucareros como la caña de azúcar y la remolacha azucarera. Existen posibilidades ciertas de emplearlo como materia prima para la producción de etanol como sustituto de los combustibles líquidos producidos a partir del petróleo, además de otros usos (Mazziotto, 2005).

El sorgo tiene menores requerimientos de agua y nitrógeno para producir biomasa comparada con otros cultivos energéticos, es tolerante al stress hídrico y puede ser usado como forraje para animales. Comparado con la caña de azúcar, el sorgo azucarado requiere 30% menos agua por kg de biomasa aérea producida. El sorgo es uno de los cultivos con mayor eficiencia en el uso de la radiación interceptada (3,6g de MS/MJ de radiación fotosintética activa absorbida) (Woods, 2000).

Cuadro 1. Productos posibles de ser producidos a partir del sorgo dulce

Grano	{	<ul style="list-style-type: none"> <li>Raciones animales</li> <li>Alimentos humanos (harinas, levaduras)</li> <li>Alcohol etílico (previa hidrólisis del almidón)</li> </ul>
Tallo	{	<ul style="list-style-type: none"> <li>Azúcar cristalizada</li> <li>Melazas para alcohol y biogás</li> <li>Ensilaje</li> <li>Alcohol etílico (etanol) { <ul style="list-style-type: none"> <li>vinaza</li> <li>fertilizantes</li> <li>biogás</li> </ul> </li> <li>Jugos</li> <li>Jarabes</li> <li>Bagazo { <ul style="list-style-type: none"> <li>combustibles de calderas industriales</li> <li>tabiques para la construcción o artesanías</li> </ul> </li> </ul>
Hojas	{	Alimentación animal

### **2.1.2. Ubicación botánica, características morfológicas y vegetativas**

Los sorgos (*Sorghum* spp.) son un género botánico de unas 20 especies de gramíneas oriundas de las regiones tropicales y subtropicales de África oriental. Este género tiene la habilidad de formar fácilmente híbridos interespecíficos, por lo que la taxonomía del género es algo confusa. Entre los cultivos que se manejan para la producción de biocombustibles el sorgo dulce o sorgo azucarado (*Sorghum bicolor* L. Moench) aparece como de los más promisorios.

El sorgo dulce, al igual que los otros tipos de sorgos, pertenece al género *Sorghum*, tribu de las Andropogóneas de la familia de las Gramíneas. El género *Sorghum* posee espiguillas pares, de las cuales una es sésil y fértil y la otra pedicelada y generalmente estéril.

Es reconocida la capacidad del sorgo de adaptarse a un amplio rango de condiciones ambientales, especialmente a condiciones de déficit hídrico. Existen características morfológicas que contribuyen a lo anterior dentro de las que se destaca el extenso sistema radicular, una cubierta de cera en hojas y tallos que reducen las pérdidas de agua, cantidad, tamaño y ubicación de estomas, etc.

El sistema radicular consiste en raíces adventicias fibrosas que salen de los primeros nudos del tallo, los cuales se encuentran por debajo e inmediatamente por encima del suelo. También están las raíces laterales que crecen a lo largo de la raíz seminal, la cual se desarrolla verticalmente. Nakayama y Van Bavel (1963) determinaron que el 90% de

la actividad radicular se desarrolla en un radio de 40 cm de la hilera y 90 cm de profundidad, no habiendo demasiada absorción de agua y nutrientes fuera de esos límites. Es común en algunas variedades raíces aéreas de anclaje, engrosadas, visibles sobre el nivel del suelo.

Esta característica de explorar intensamente el suelo, debido a una mayor cantidad de raíces por unidad de volumen, raíces más finas y fibrosas en comparación con otras especies, hacen al cultivo más resistente al déficit hídrico ya su vez permite una alta eficiencia de utilización de nutrientes, fundamentalmente comparado con maíz.

La forma de las hojas es lanceolada o linear-lanceolada, predominando generalmente esta última forma. La superficie de las mismas, al igual que los tallos es glauca. El número de hojas está asociado con el cultivar y el largo del ciclo, pudiendo variar entre 7 y 18. La parte media del largo de las hojas es generalmente la más ancha. Hojas alternas y opuestas, naciendo una de cada nudo del tallo principal o los secundarios. El largo de las vainas va desde 15 a 35 cm y envuelven el tallo, mientras que el de las láminas va de 30 a 135 cm y de 1,5 a 3 cm de ancho.

Los estomas se encuentran en ambas caras de la hoja en hileras simples o dobles, estando en mayor cantidad y siendo de menor tamaño que otras especies. El largo de estos es  $\frac{2}{3}$  inferior a los de maíz con un 50% más de estomas por unidad de área que este. Para soportar condiciones de déficit de agua, a lo anterior se suma la capacidad de permanecer aunque sea levemente abierto durante el día en condiciones de severo stress hídrico y la presencia de células motoras que arrollan las hojas ante condiciones como las anteriores.

El tallo es de crecimiento erecto, pudiendo ser secos o jugosos e insípidos o dulces. En las variedades para grano es sólido e insípido. En las variedades forrajeras el jugo puede ser dulce y tiene un contenido importante de azúcares en los sorgos dulces. La corteza del tallo es dura por estar constituida por numerosas fibras que la fortalecen, elemento este que cobra importancia en la resistencia del cultivar al vuelco.

El interior del tallo está compuesto por una medula tierna, el cual es el tejido que contiene el jugo dulce. Este jugo contiene fundamentalmente sacarosa, glucosa y fructosa.

En cada nudo del tallo existen yemas que pueden llegar a desarrollarse o no. Las yemas próximas al suelo desarrollan raíces que ayudan al anclaje de la planta. Las yemas basales desarrollan tallos secundarios (macollos) mientras que las ubicadas en la parte superior de la planta tienen la capacidad de desarrollar ramas. Esto último depende de las condiciones ambientales, de la variedad y posibles daños al tallo, siendo un carácter indeseable ya que constituyen centros de consumo adicionales a la panoja y tallos

principales como secundarios. Además generalmente presentan un retraso importante en su desarrollo y estado de madurez con respecto a los tallos principales.

La primera rama lateral sale de la yema en el nudo siguiente debajo de la panoja y el proceso va descendiendo por el tallo. Por el contrario los macollos se desarrollan primero en las yemas más bajas, en la corona.

La producción de macollos es un componente importante en el rendimiento de etanol de un cultivo. Entre los factores que influyen en el grado de macollamiento se encuentran factores genéticos (variedad), condiciones ambientales y de manejo, destacándose en estas últimas la densidad y distribución de plantas. Dentro de los factores ambientales que influyen se citan la humedad y fertilidad del suelo, temperatura y el fotoperíodo. En algunos climas la producción de macollos constituye un mecanismo de perennidad.

La altura de planta en el sorgo dulce es generalmente superior a los 2 metros, siendo a veces superior a los 4 metros. El largo de los entrenudos se incrementa desde la base hacia arriba, siendo el pedúnculo el más largo. La extensión del pedúnculo es importante en la práctica pues determina la separación que existe entre la panoja y el resto de la planta, pudiendo haber problemas en la cosecha si hay poca separación. Si la panoja queda aunque sea parcialmente envuelta en la hoja bandera, se puede crear un microclima propicio para el ataque de hongos e insectos.

La forma y tamaño de la panoja es variable, pudiendo ir desde laxa a compacta y de color blanco a castaño oscuro, pasando por tonos rojizos. El tamaño del grano es variable, desde muy pequeño en los primitivos materiales introducidos desde África hasta muy grande en los materiales doble propósito (extracción de jugo de los tallos y producción de grano).

### **2.1.3. Aspectos fisiológicos**

La planta de sorgo presenta un metabolismo del tipo C4. En este tipo de plantas el resultado de las modificaciones evolutivas es que el CO<sub>2</sub> es fijado en 2 compartimientos diferentes: en el mesófilo el CO<sub>2</sub> es fijado como HCO<sub>3</sub> por la enzima anhidrasa carbónica (AC) para ser tomado a continuación por la enzima fosfoenolpiruvatocarboxilasa (PEPc) que incorpora el carbono en un ácido C4. Este ácido C4 es transportado hacia la vaina del haz vascular por la acción de acarreadores específicos ATP dependientes en donde es descarboxilado para liberar CO<sub>2</sub> que es fijado por la enzima RUBISCO e incorporado en el ciclo de Calvin-Benson.

Con la acción del mecanismo anterior de concentración y bombeo de CO<sub>2</sub> hacia los sitios de fijación por RUBISCO la planta es capaz de mantener altas tasas de asimilación

de CO<sub>2</sub> en presencia de baja concentración intracelular de dicho gas. El mecanismo C<sub>4</sub> es una adaptación encaminada al uso eficiente del agua.

En comparación con las especies con metabolismo C<sub>3</sub> (89% del total), se pueden resumir las siguientes características de las plantas C<sub>4</sub> (menos del 1% del total): a) Alto punto de saturación en luz por fotosíntesis b) Fotosíntesis máxima con temperatura elevada c) Alta eficiencia en el uso del agua d) Alta eficiencia en el uso del nitrógeno e) Bajo punto de compensación por CO<sub>2</sub> f) Alto punto de compensación por luz g) No presenta fotorespiración o esta es muy baja.

En cuanto a su respuesta al fotoperíodo, el sorgo es una planta considerada de “día corto”, o sea que el período a la floración se acelera al acortarse los días y se alarga a medida que crece el largo de los días. Las plantas de día corto requieren para florecer de un período oscuro que exceda una duración crítica y no lo pueden hacer bajo iluminación continua. En cambio en las plantas consideradas de día largo, la floración se inhibe cuando el período oscuro excede un período crítico y pueden florecer bajo iluminación continua.

El fotoperiodismo está bajo control hormonal. Los fitocromos de las células de las hojas son los perceptores del cambio en la duración del día. Una vez que las hojas han recibido un mensaje fotoperiódico, producen una sustancia o precursor de una sustancia llamada florígeno, la cual debe ser transmitida al meristemo el cual va a ser inducido a florecer.

El rendimiento del sorgo dulce está altamente influenciado por la radiación y el fotoperiodismo. Tanto el rendimiento en kilos de tallos, como el contenido de azúcares utilizables de los jugos se ven afectados por el largo del día y la intensidad de la radiación solar, pudiendo esta última ser responsable del 75% en la variación en los rendimientos (Mazziotto, 2005). Se podría afirmar que el rendimiento del cultivo se reduce en 1% por cada reducción en un punto porcentual de la heliofanía. Considerando la variación en radiación y heliofanía existente en el país, se puede esperar una diferencia de hasta 15% en distintas zonas.

La radiación solar recibida entre la iniciación floral y la formación del grano está altamente correlacionada con la producción de azúcar y el peso de los tallos. Por lo anterior, se debería buscar una época de siembra en que el desarrollo coincida con el período de mayor radiación.

Para los distintos cultivares de sorgo dulce, se necesitan en promedio 140 días libre de heladas como mínimo. La mínima temperatura para la germinación es de 10° C, estando la óptima entre 18 y 21°C. La temperatura mínima para el crecimiento de la planta es de 15,5°C, siendo la óptima entre 28 y 29°C. El rango óptimo para la floración se encuentra entre 17 y 24°C (Cassou et al., 1983).

El sorgo no se adaptaría a zonas en que no hubiera una suma térmica mínima de 600°C durante su estación de crecimiento, por lo que no existen en el país limitantes para su utilización, sino que por el contrario las temperaturas predominantes en verano se ubican dentro del rango de máxima respuesta biológica (Carrasco, 2004). En ensayos realizados en el norte de Italia, el período de crecimiento en términos de suma térmica es de alrededor de 1250 GDD.

A las características anatómicas citadas anteriormente, se agregan características fisiológicas que hacen al sorgo más resistente a condiciones de escasa humedad. Posee una presión osmótica muy alta en sus raíces que le permiten usar agua que está fuertemente retenida en el suelo, teniendo además un ritmo de transpiración muy eficaz. Ante condiciones adversas de humedad puede mantenerse en estado de latencia, reanudando el crecimiento luego de establecidas las condiciones normales. Es un cultivo fundamentalmente adaptado a condiciones semiáridas con precipitaciones de 400 a 600 mm.

Es un cultivo que tolera rangos de pH entre 5 y 8.5, siendo mucho más tolerante a la salinidad que el maíz. Es un cultivo capaz de producir en condiciones que otros no lo lograrían.

El macollaje es un proceso que responde positivamente a las bajas temperaturas, a la mayor disponibilidad de nitrógeno, luz y agua. Resulta variable para distintos genotipos. La dominancia apical es el proceso que determina la cantidad de macollos presentes en una planta y así la mayoría de los factores que afectan la producción de macollos lo hacen a través de su influencia en este proceso bioquímico.

La temperatura influye en la producción apical de auxinas; la mayor densidad de siembra puede disminuir la incidencia de luz en las hojas basales y con ello la exportación de hormonas tipo citoquinina desde la raíz hacia la parte aérea de la planta. La abundancia de nitrógeno provocaría un efecto similar a través de su influencia en la síntesis y traslado de hormonas de origen radicular.

La respuesta en macollaje a diferentes factores ocurre si estos actúan dentro de determinado período que iría desde que la planta tiene menos de una hoja totalmente expandida a 6 hojas totalmente expandidas. Antes de ese período no existen macollos por inmadurez de las yemas y luego no se forman por dominancia apical. Por lo tanto el número de tallos que tendrá la planta queda determinado luego del período de 6 hojas.

Cuanto mayor es la temperatura durante los primeros 30 días del cultivo, menor es el macollaje que se produce. El umbral crítico para el macollaje estaría alrededor de 18 °C, implicando esto que cuando por época de siembra o por región ecológica en la etapa crítica se supera este umbral de temperatura, será menor la intensidad del macollaje

pudiendo esto influir marcadamente en el rendimiento del cultivo (Martínez y Albano, 2007).

El jugo extraído del tallo del sorgo dulce, el cual se encuentra en un tejido que es una médula tierna, representa aproximadamente el 50% de su peso en verde, siendo rico en monosacáridos y disacáridos (fundamentalmente glucosa, fructosa y sacarosa), todos fácilmente fermentables para la obtención de alcohol etílico (Terzaghi, 2008 ).

Si se utilizan fuentes sacarígenas, la obtención de etanol se realiza en forma simple, extrayendo los jugos contenidos para su fermentación y destilación. Si se utilizan fuentes ricas en almidón, debe procederse a un tratamiento ácido enzimático que lleven estas sustancias a formas simples fácilmente fermentables (glucosa).

#### **2.1.4. Etapas del crecimiento del cultivo**

La duración de las distintas etapas de crecimiento del cultivo así como el número final de hojas se indica solo en términos generales, pudiendo haber variaciones en función de la variedad, la región ecológica y las condiciones ambientales de un año en particular. Se describen a continuación los distintos estados de crecimiento del cultivo de sorgo dulce.

##### **0- Emergencia**

Se da cuando el coleoptile atraviesa la capa de suelo entre la semilla y la superficie. El tiempo requerido para que se produzca varía dependiendo de la temperatura y humedad del suelo, vigor de la semilla y profundidad de siembra. Durante esta etapa de crecimiento la plántula depende de las reservas de la semilla. La baja temperatura y la alta humedad del suelo pueden retrasarla y favorecer el ataque de hongos presentes en el suelo.

##### **1- 3 Hojas**

La planta alcanza esta fase cuando el cuello de la tercera hoja se encuentra perfectamente visible. En este momento el punto de crecimiento se encuentra aun debajo de la superficie del suelo. En promedio ocurre alrededor de 10 días después de la emergencia.

##### **2- 5 Hojas**

A partir de este momento el sistema radicular comienza a desarrollarse rápidamente y las raíces producidas en los nudos inferiores pueden separar la hoja basal de la planta. Ocurre aproximadamente 3 semanas luego de la emergencia de la planta. La planta ingresa en su gran etapa de crecimiento en este momento, acumulándose la materia seca a tasa casi constante hasta la etapa de madurez si no ocurren condiciones que limiten el crecimiento.

##### **3- Diferenciación del ápice de crecimiento**

La diferenciación del ápice de crecimiento de vegetativo a reproductivo se produce alrededor de 30 días luego de la emergencia. A partir de aquí queda determinado el número de hojas. Aproximadamente un tercio del área foliar ya está totalmente

desarrollada (7 a 10 hojas). Luego de la diferenciación del ápice el tallo incrementa su velocidad de crecimiento.

#### 4- Hoja bandera visible

Después de la diferenciación del ápice, el crecimiento activo del tallo y las hojas se dan en forma conjunta hasta que la hoja bandera se encuentra visible en el cogollo. En este momento todas las hojas, menos las últimas 3 o 4, se encuentran completamente extendidas y se tiene aproximadamente un 80% del área foliar final. La interceptación de luz se aproxima al máximo así como el crecimiento y la absorción de nutrientes continúa a una tasa activa. Se empieza a formar la panoja y se han perdido de 2 a 5 hojas basales.

De aquí en adelante cualquier referencia al número de hojas totales deberá comenzar contando desde la hoja bandera. Solamente alrededor de un 20% del crecimiento total ha ocurrido, habiendo mayor acumulación de nutrientes con más del 40% del potasio ya absorbido.

#### 5- Embuche

Se consigue en este momento la máxima interceptación de luz debido a que todas las hojas se encuentran desarrolladas y se consigue la máxima área foliar. La panoja se encuentra cubierta por la vaina de la hoja bandera. El tallo se encuentra completamente elongado, restando solamente la elongación del pedúnculo que provoca la excreción de la panoja.

#### 6- Floración

El pedúnculo por su crecimiento en longitud eleva la panoja desde la vaina de la hoja bandera. La floración en una panoja individual comienza en la parte superior y desciende a la base en un período de entre 4 y 9 días, diciéndose que la panoja se encuentra en floración cuando esta ha llegado al centro de la panoja. Se dice que el cultivo se encuentra en floración cuando al menos el 50% de las panojas se encuentran en alguna etapa de floración.

En la etapa de floración se ha acumulado aproximadamente el 50% de la materia seca, mientras es del orden de un 70, 60 y 80% para nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente. El tiempo requerido para alcanzar esta etapa varía en función de la variedad y condiciones ambientales, pero se puede decir que ocupa aproximadamente los dos tercios del tiempo entre siembra y madurez fisiológica.

#### 7- Masa blanda

Los granos se llenan rápidamente entre la floración y esta etapa. El peso del tallo, que había crecido suavemente en la etapa de floración, empieza a bajar en esta etapa de llenado del grano. La traslocación que se produce desde el tallo llega a ser el 10% del total de la materia seca del grano. Las hojas basales se siguen secando, contando la planta con 8 a 10 hojas.

#### 8- Masa dura

En esta etapa cerca de las tres cuartas partes de la materia seca del grano ya ha sido acumulada. El tallo ha llegado a su peso máximo y el consumo de nutrientes prácticamente se detiene, continuando el secado de las hojas inferiores.

### 9- Madurez fisiológica

En este momento la planta tiene su máximo peso seco. Si las condiciones de temperatura y humedad son favorables, pueden crecer ramificaciones en los nudos del tallo.

## **2.2. POSIBILIDADES DEL PAÍS PARA LA PRODUCCIÓN DE SORGO DULCE**

El cultivo tiene muy buena adaptación a las condiciones climáticas del país, ya que las características en cuanto a radiación, temperatura, requerimientos hídricos y período libre de heladas se ajustan a las condiciones agroclimáticas del país. Existe investigación en distintas zonas del país, de la cual se comentará más adelante, que evidencia la buena adaptación del cultivo.

Quien primero realizó un intento de regionalización fue Corsi (1983). Esta, parte de que el cultivo tiene requerimientos similares al maíz pero es menos sensible desde el punto de vista térmico. Considerando una temperatura base de crecimiento de 15° C, no es posible realizar el cultivo con menos de 600° C en la estación de crecimiento. No existe por lo tanto limitantes en este sentido en el país. El rango de temperaturas predominantes en verano se encuentra dentro de la zona de máxima respuesta biológica.

También para Corsi (1983) todo el país tiene buena aptitud en cuanto a requerimientos hídricos, teniendo en cuenta también que el cultivo tolera déficit hídrico de cierta magnitud y algo de exceso hídrico.

## **2.3. ASPECTOS INDUSTRIALES DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL**

### **2.3.1. Importancia del etanol**

El progresivo agotamiento y encarecimiento de recursos energéticos basados en combustibles no renovables, ha hecho en el mundo renovar el interés por los biocombustibles. A lo anterior se suma que el consumo de energía a nivel mundial sigue aumentando a tasas cada vez mayores y la contaminación generada por la liberación a la atmósfera de enormes cantidades de gases contaminantes.

El biocombustible más importante a nivel mundial hoy en día es el alcohol carburante (etanol etOH), el cual puede ser utilizado como oxigenante de la nafta, en reemplazo principalmente del MTBE (Éter metil tert-butílico), aumentando su contenido de O<sub>2</sub>, lo que permite una mejor combustión de la misma disminuyendo las emisiones contaminantes de hidrocarburos no oxidados en forma completa.

El uso de etanol como oxigenante presenta varias ventajas sobre los otros usos como ser: mayor contenido de O<sub>2</sub> (menor cantidad de aditivo requerido), mayor

octanaje, no es tóxico, no contamina fuentes de agua y reduce las emisiones de CO. El etanol actúa como anticongelante en los motores, mejorando el arranque del motor en frío. El octanaje del etanol puro es 115 y se quema mejor a altas compresiones que la gasolina, por lo que da más poder a los motores. La gasolina conduce la electricidad y presenta mayor volatilización (presión de vapor más alta) que contribuye a la emisión de hidrocarburos no quemados (HC).

Como desventajas se podrían citar: su producción es más costosa. Se consume entre un 25% y 30% más rápidamente que la nafta, por lo tanto para ser competitivo debe tener un menor precio.

Se pueden encontrar dos tipos de etanol utilizados como combustibles o aditivos, el etanol anhidro y el etanol hidratado. Se diferencian en el contenido de agua que poseen, que es aproximadamente 0,5% en el anhidro y cercano al 5% en el hidratado. El primero se utiliza en mezclas con gasolina de origen fósil en una proporción máxima de 25% sin necesidad de cambios en el motor de gasolina convencional, mientras que el hidratado se utiliza puro para motores que han sido debidamente adaptados para ese combustible. El etanol hidratado proviene directamente de la torre de destilación, mientras que para obtener el anhidro se requiere un proceso adicional que remueve la mayoría del agua del combustible.

Los usos del etanol son muchos, van desde la preparación de bebidas alcohólicas, perfumería, elaboración de medicamentos, acetaldehído, etc., hasta la creciente tendencia ya mencionada como sustituto o componente de las gasolinas. Su principal uso dentro de procesos industriales es de ser intermediario para producir otros productos químicos.

Brasil y Estados Unidos son actualmente los mayores productores mundiales de etanol, fundamentalmente a partir de caña de azúcar y maíz respectivamente. Con la creación en Brasil del Programa Nacional de Alcohol, Proalcool, mayores proporciones de etanol fueron utilizadas en la mezcla, al punto que en 1984 toda la gasolina que se consumió en Brasil fue mezclada con etanol anhidro. También en Brasil se ha investigado y desarrollado motores que funcionan solamente con etanol hidratado.

### **2.3.2. Procesos bioquímicos e industriales**

El etanol se puede producir mediante el proceso de fermentación de distintas materias primas de origen agropecuario. Las más adecuadas son aquellas que poseen un alto contenido de azúcar, como la caña de azúcar, el sorgo dulce o la remolacha azucarera. También puede obtenerse de materiales con alto contenido de almidón previa hidrólisis del mismo.

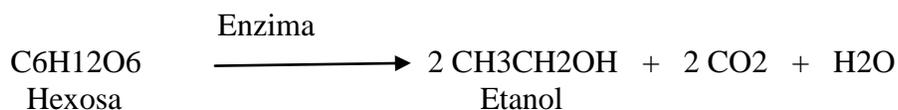
Es un compuesto orgánico de fórmula  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$ , líquido, incoloro, de olor característico, que se funde a  $-114,1^\circ \text{C}$ , hierve a  $78,3^\circ \text{C}$  y tiene una densidad de  $0,789 \text{ g/ml}$  a  $20^\circ \text{C}$ . Es miscible en todas las proporciones con el agua y con la mayoría de los solventes orgánicos.

Si se utilizan fuentes sacarígenas (no amiláceas), la obtención de etanol se realiza en forma simple, extrayendo los jugos contenidos en el material para posteriormente someterlo a procesos de fermentación y destilación. En cambio, si se utilizan fuentes ricas en almidón, previamente debe procederse a un tratamiento ácido-enzimático que logre formas simples fermentecibles (glucosa).

Una vez recibida la materia prima en la industria, esta es picada y molida, con lo cual se extrae el jugo azucarado que puede llegar a ser mayor al 50% del material. Del residuo fibroso restante (bagazo), el cual es introducido en un difusor, se extraen los azúcares restantes. El jugo azucarado es introducido en cubas de fermentación donde las levaduras convierten el azúcar en etanol. Finalmente por destilación se separa el alcohol de los restantes líquidos, los que constituyen un residuo denominado vinaza (Mazziotto, 2005).

La producción de etanol a partir de fuentes vegetales para su uso como combustible data de alrededor del año 1900 y se trata en la actualidad de un proceso perfectamente establecido. El proceso de producción de etanol es una combinación de tecnologías que incluye la aplicación de la microbiología, la química y la ingeniería. En dicho proceso, la etapa más importante es la fermentación alcohólica ya que es aquí donde los azúcares son convertidos en alcohol mediante la utilización de microorganismos tales como las levaduras del género *Saccharomyces*.

El microorganismo más utilizado para la producción de etanol, por medio del proceso de fermentación alcohólica de azúcares, es la levadura (hongo unicelular) *Saccharomyces cerevisiae*. Esta convierte, en condiciones de anaerobiosis, una molécula de hexosa en 2 moléculas de etanol más  $\text{CO}_2$  y agua, liberando además 2 moles de ATP.

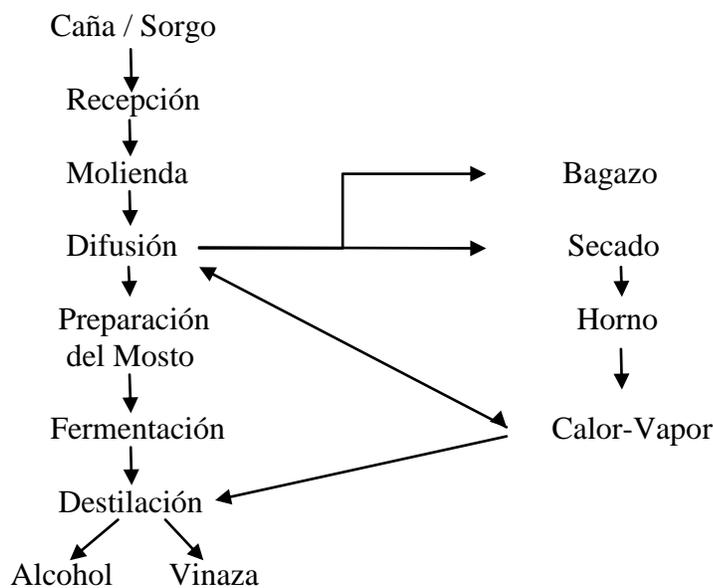


En condiciones de aerobiosis estas levaduras tienen la facultad de convertir los monosacáridos en  $\text{CO}_2$ . Además tienen la ventaja de soportar concentraciones relativamente altas de etanol.

Entre las bacterias más promisorias se encuentra *Zymomonas mobilis*, la cual convierte una molécula de hexosa en una molécula de etanol liberando un mol de ATP. Al igual que *Saccharomyces cerevisiae* tiene alta tolerancia a la concentración de alcohol

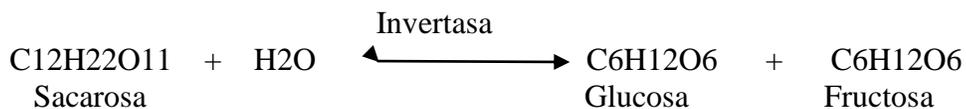
y un estrecho rango de sustratos (glucosa, fructosa, sacarosa) (Hawgood et al. 1985, Classen et al. 1999). Su uso en jugos de caña de azúcar o sorgo dulce lleva a la formación del polisacárido levano, lo cual aumenta la viscosidad de los caldos de fermentación. También se produce sorbitol, el cual reduce la conversión de sacarosa a etanol (Grote y Rogers 1985, Doelle y Doelle 1989).

Cuadro2. Diagrama simplificado de la producción de etanol a partir de caña de azúcar y sorgo dulce



La mayoría de los azúcares en el jugo de caña de azúcar es sacarosa. En el sorgo dulce, dependiendo de diversos factores, además de sacarosa existe una presencia importante de azúcares reductores libres.

La levadura *S. cerevisiae* tiene la capacidad de producir la hidrólisis de la molécula de sacarosa (inversión), convirtiendo a esta última en 1 molécula de glucosa mas una molécula de fructosa, dos hexosas fácilmente asimilables por la levadura para el proceso de fermentación alcohólica. El peso molecular de las 2 moléculas de hexosas obtenidas es aproximadamente un 5% superior al peso molecular de la molécula de sacarosa de la cual provienen.



El típico proceso de producción de alcohol por lotes a partir de melazas o jugo, comienza con la esterilización de la materia prima seguida del ajuste del pH con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y de los °Brix entre valores de 14 y 22. El material obtenido se somete al proceso de fermentación por las levaduras. El vino resultante se decanta y centrifuga para recuperar el alcohol, mientras las levaduras se recircula a los fermentos. Para la obtención de alcohol anhidro se usa mayormente la destilación azotrópica con benceno (Kosaric y Velikonja, 1995).

La fermentación alcohólica también puede llevarse a cabo por lotes alimentados o en forma continua. Los lotes alimentados con recirculación de células hacen que aumente la productividad volumétrica. Controlando la velocidad de alimentación del medio se logra la neutralización del efecto inhibitorio de altas concentraciones de sustrato o producto en el caldo de fermentación. La adición de sacarosa entre un 10 y 14% produce aumentos en la productividad de alcohol (Echegaray et al., 2000).

El proceso continuo de fermentación presenta ventajas frente a la fermentación por lotes debido a los menores costos del bioreactor, de mantenimiento y de operación, así como mejor control del proceso y mayor productividad.

Cuadro 3. Productividad de etanol para varios métodos de fermentación

Proceso	Productividad (g/l/h)
Cultivo por lotes	1,8 – 2,5
Cultivo continuo	6
Cultivo continuo en cascada de biorreactores	20
Remoción continua de etanol por vacío	89
Remoción continua de etanol por separación de membranas	100

La concentración de etanol en los caldos de cultivo en donde se produce la fermentación alcohólica varía entre 2,5% y 10% (p/p), por lo que para llegar a obtener alcohol anhidro se debe producir un proceso de concentración hasta niveles mayores a 99%, siendo este el que se usa en la mezcla con combustible fósil.

La primera etapa para la obtención de etanol anhidro es la destilación convencional que eleva la concentración de etanol hasta un nivel de 40 a 50% (p/p). Mediante el empleo de una columna de rectificación se puede obtener en destilado con una concentración de 90 a 92% (p/p) (Wooley et al., 1999). Debido a las propiedades fisicoquímicas de la mezcla etanol-agua, no es posible retirar completamente el agua a presión atmosférica debido a la formación de una mezcla azeotrópica que implica la

obtención de mezclas con un máximo de 95,6% en peso de etanol, por lo que son necesarios procesos no convencionales de separación.

Entre los distintos tipos de destilación azeotrópica la que se realiza con benceno es la más frecuente. El proceso consiste en una columna de deshidratación (columna azeotrópica) que se alimenta con una mezcla con un contenido de alcohol cercano al 90% a la cual se le agrega el benceno en la parte superior retirándose en la parte inferior el etanol anhidro con una concentración de agua menor al 1%.

## **2.4. INCIDENCIA DE ALGUNOS FACTORES EN LA PRODUCTIVIDAD INVESTIGACIONES EN SORGO DULCE**

### **2.4.1. Material genético**

De acuerdo con Fariello (1979), Woods (2000); el cultivo de sorgo dulce en condiciones de secano tiene un potencial productivo, dependiendo del material genético y las condiciones ambientales, de unos 35 mil a 70 mil kg/ha de tallo en un período de 100 a 120 días de crecimiento. El potencial de producción de etanol sin irrigar estaría en 2000 a 3000 l/ha.

Un buen material genético para la producción de etanol debe tener la capacidad de producir altos rendimientos de tallos por hectárea de calibre medio a grande; crecimiento erguido y fuerte que no permita un fácil vuelco durante las tormentas; elevado % de jugo extraíble con alto % ART en el mismo; tolerancia al stress por déficit o exceso de agua; resistencia a las enfermedades; semillas que tengan una buena germinación y produzcan plántulas vigorosas; adaptación a diversas condiciones de suelo y clima, etc.

Las variedades de maduración tardía tienen por lo general un mayor rendimiento de tallos por hectárea que las tempranas, habiendo por lo general una correlación positiva entre el rendimiento y el largo del ciclo.

En condiciones adecuadas de crecimiento se deberían producir de 2 a 4 macollos de buen diámetro. Los tallos de diámetro menor tienen mayor tendencia al vuelco y se requiere un número más elevado de ellos para obtener la misma producción. Para obtener una tonelada de tallos, se necesita 4 veces más tallos de 1 cm de diámetro que de 2 cm de diámetro.

Para las variedades Topper y M 81, de origen norteamericano, existe información sobre trabajos de investigación a nivel nacional y extranjero. En cuanto a la variedad Etanur 3 y el híbrido Etanur 2, de origen nacional, existe escasa información.

La variedad Topper fue lanzada por la Universidad de Georgia, por el USDA-ARS y por el MAFES (Mazziotto, 2006). La variedad M 81 está bien adaptada al sureste de los

E.U.A. Fue lanzada por el USDA-ARS, MAFES y por las estaciones experimentales de Alabama, Florida, Georgia, Kentucky y sur de Carolina (Mazziotto, 2006).

Según Terra et al. (2006b) el cultivar M 81-E produjo 121% mas biomasa de tallos que el cultivar Portela, alcanzando un promedio de 55,21 Mg/ha en el ensayo, lo que demuestra su alto potencial productivo. Esta producción de encuentra dentro del rango de productividad mencionado normalmente en la bibliografía para sorgo dulce en condiciones de secano en Uruguay y otras partes del mundo. La diferencia de productividad a favor de M 81-E fue atribuida fundamentalmente a la longitud del tallo, resultando con un promedio de 2,7 m.

Terra y Correa (2006a) obtuvieron para la variedad M81 una mayor producción de biomasa fresca un 23% superior que la variedad Topper. El largo del tallo fue de 2,53m y 2,16m para M81 y Topper respectivamente.

En ensayos realizados por Siri-Prieto et al. (2005,2006) en la EEMAC no se encontraron diferencias significativas entre las variedades Topper y M 81-E en cuanto a la producción de tallos limpios por ha, pero logrando la variedad M 81-E mayor % de extracción (48%) resultando en mayor producción de jugo/ha. La variedad M 81-E presentó valores de sacarosa más estables para las 2 épocas de siembra evaluadas en calidad. A pesar de no encontrarse interacción entre época de siembra y variedad en cuanto a los tallos/planta, hubo una tendencia de la variedad Topper a incrementar el macollaje en la época temprana, que fue de 2,33 tallos por planta, siendo para M 81-E de 1,47 tallos por planta. Como consecuencia de lo anterior, Topper alcanzó una población de 250 mil tallos por ha para la época temprana (12 de octubre).

De acuerdo al experimento anterior, la variedad Topper presentó valores significativamente superiores a M81-E en °Brix para la siembra temprana (19,4 vs. 15,8), no siendo significativo en la etapa intermedia (7 de noviembre), siendo inverso el resultado mostrado en el contenido de sacarosa para la siembra temprana, 7,4 y 0,2 respectivamente para M81-E y Topper respectivamente.

En ensayos realizados por Siri-Prieto et al. (2006,2007) en tres lugares distintos, en la EEMAC la variedad M81-E presentó un mejor comportamiento en rendimiento promedio para las 3 épocas de siembra con respecto a Topper, 42,1 vs. 34,9 ton/ha respectivamente. En el ensayo en el CRS (Canelones) la variedad M81-E tuvo las mayores poblaciones finales de tallos (20,2 tallos/m<sup>2</sup>) comparado con la variedad Topper (16,4 tallos/m<sup>2</sup>), pudiendo influir esto en el rendimiento de tallos limpios. En el ensayo de BM la variedad M81-E logró las mejores poblaciones de tallos considerando todas las combinaciones posibles, afectando esto el peso individual de cada tallo.

En experimentos realizados por Siri-Prieto et al. (2007,2008) en la zona de Bella Unión se encontró una tendencia a la interacción variedad x época de siembra, teniendo

la variedad Theis un mejor comportamiento en rendimiento que M81-E y Topper en noviembre siendo nula la diferencia en diciembre. En la variedad M81-E que tuvo problemas de implantación en diciembre hubo compensación del bajo número de tallos con mayor diámetro de tallo, llegando a valores de hasta 750g por tallo con solo 10,8 tallos/m<sup>2</sup>.

Con respecto a la calidad del jugo, la variedad Topper presentó 15% más de °Brix (17,7) que M81-E (15,1) y Theis (15,6). No hubo interacción entre variedad y época de siembra. Un similar comportamiento se produjo para el contenido de Sacarosa, con 9,5, 7,4 y 7,7 respectivamente. La variedad Topper tuvo menor % de extracción.

En el trabajo de Martínez y Albano (2007), en el cual se probaron las variedades M81 y Topper, se concluye que existen diferencias entre las variedades pero estas se compensan entre sí logrando la misma producción de jugo. M81 tiene tallos más altos y más pesados pero con menos cantidad de tallos por planta y ya que no existen diferencias en el número de plantas también tiene menos cantidad de tallos/ha. Topper logra el mismo rendimiento que M81 con un mayor número de tallos más bajos y más livianos.

De acuerdo al ensayo anterior M81 tiene mayor número de hojas pero más chicas con una mayor relación caña/hoja. No existió diferencia entre ambas variedades en el diámetro. Existió interacción entre la variedad y la época de siembra para el % de extracción, no así para la producción de tallos/ha y jugo/ha. Dentro de cada época de siembra la variedad que tiene mayor número de tallos presenta un menor peso por tallo con menor % de extracción y viceversa. Comparando ambas variedades dentro de cada época, M81 tiene una tendencia a presentar tallos más altos, con menor macollaje y menor tallos/ha. Los tallos de M81 tienen una mayor relación altura/diámetro en todas las épocas, presentando cañas más frágiles y susceptibles al vuelco.

Se encontraron diferencias significativas en el % °Brix a favor de Topper, las cuales no fueron lo suficientemente grandes para provocar diferencias significativas en los sólidos totales/ha.

Para la variedad Topper se encontró una fuerte correlación entre la producción y el diámetro del tallo, siendo menor con respecto a la altura. En cambio para la variedad M81-E fue mayor la correlación que hubo con la altura que con el diámetro (Mazziotto, 2006)

Schaffert (1987) obtuvo para 7 localidades de los estados de SP, RS, MG, GO y ES en Brasil con los materiales BR 506 y BR 507 liberadas por EMBRAPA rendimientos que van de 41,1 a 68,1 ton/há de materia verde y de 10,2 a 18,7 toneladas de materia seca.

### **2.4.2. Densidad y distribución de plantas**

La población y distribución de plantas son factores que interaccionan provocando cambios en la competencia por luz, nutrientes y agua, afectando esto el cultivo influyendo en diferentes características como altura, diámetro, macollamiento, vuelco de plantas, etc. En el sorgo dulce se produce una compensación parcial de la baja densidad a través de un mayor macollaje.

De acuerdo a Ambrosioni et al. (1983) se recomienda sembrar con una distancia de 0,70 m entre líneas y de 7 a 10 plantas por metro lineal, originando una población de entre 100 y 140 mil plantas/ha con una profundidad de siembra entre 2,5 y 4 cm.

Las densidades altas (22 plantas/m<sup>2</sup>) obtuvieron los mejores rendimientos por área, lográndose en promedio para las variedades Topper y M81 96,5; 73,8 y 52 tons/ha para 22, 14 y 8 pl/m<sup>2</sup> respectivamente. Si bien las densidades más bajas presentaron mayor rendimiento individual por planta (0,94 y 0,79 kg para M81-E y Topper respectivamente) en relación a las más altas (0,47 y 0,52), esto no compensó la menor cantidad de plantas. En cuanto a la producción de jugo, a pesar de que la producción por planta fue mayor en las densidades bajas, las producciones por unidad de superficie fueron mayores para las densidades altas (Terzaghi, 2008)

En el ensayo de población constante (14 pl/m<sup>2</sup>), para ambas épocas de siembra y variedades probadas, el mayor peso por planta fue obtenido a mayor distancia entre hileras (0,66 y 0,56 kg para 0,70 y 0,30m de distancia entre hileras respectivamente), concluyendo que si se logran arreglos espaciales con mayor rectangularidad (mayor distancia entre hileras) se lograrían mayores rendimientos por superficie sin limitaciones a nivel de suelo (Terzaghi, 2008)

La densidad alta (14 pl/m<sup>2</sup>) logró mayor producción de tallos por hectárea. Al no existir diferencia en peso por tallo entre ambas densidades, la densidad alta, que logró mayor cantidad de tallos por hectárea también logró mayor toneladas de tallos (72,3 y 57,4 ton/ha para alta y baja densidad respectivamente). La mayor densidad también logró mayor % de extracción (2% superior), lo que ocasionó mayor producción de jugo independientemente de la época y la variedad (Martínez y Albano, 2007)

La alta densidad presentó cañas más altas pero de igual diámetro que la baja densidad, pudiendo esto implicar esto mayor susceptibilidad al vuelco. No existió diferencias entre las distintas densidades (7 y 14 pl/m<sup>2</sup>) en cuanto al % de sólidos solubles totales y el % de sacarosa; existiendo si diferencia en la producción total por hectárea (Martínez y Albano, 2007)

El efecto de la población fue por si sola muy importante para las distintas variables estudiadas y no tuvo casi interacción con las otras fuentes de variación (época y/o

variedad). El tratamiento de alta densidad (14 plantas/m<sup>2</sup>) obtuvo en promedio 22 tallos/m<sup>2</sup> con un número de tallos/planta cercano a 1,5. El tratamiento de baja población (7 plantas/m<sup>2</sup>) tuvo un mejor macollaje (2,2 tallos/planta) pero no llegó a los niveles de tallos/há de la población alta (17 y 22 tallos/m<sup>2</sup>). El rendimiento en tallo limpio por hectárea fue de 75,1 y 35,3 ton/ha para la densidad alta y baja respectivamente. El mayor peso por planta de la densidad baja (360 y 350g) no compensó el menor número de tallos. La población alta tuvo un mayor % de extracción (47 y 45%) resultando en mayor producción de jugo/ha (35,9 y 26,9 ton/ha) (Siri-Prieto et al., 2005,2006).

De acuerdo a Siri-Prieto et al. (2007,2008) el peso total de tallos/ha no fue afectado por la población y/o distancia entre hileras. Tampoco se encontró interacción entre población, distribución y variedades, llegándose a la conclusión en dicho ensayo a que el sorgo dulce presenta una gran plasticidad para lograr la mayor cantidad posible de biomasa por unidad de área.

Fassio (2006) dentro del convenio INIA-ANCAP comparó tres densidades de plantas (60, 95 y 130 mil) combinado con marcos de siembra rectangulares y cuadrados. Independientemente de la densidad la mayor producción de tallos y de jugo por hectárea se obtuvo para los marcos de siembras cuadrados con igual distancia entre plantas y entre filas. La mejor combinación se obtuvo para una densidad de 60 mil plantas con marco de siembra cuadrado (40 x 40). En la distribución cuadrada de plantas se produjo un mayor macollamiento.

### **2.4.3. Época de siembra**

En un ensayo realizado por Siri-Prieto et al. (2005,2006) no se encontró interacción entre época de siembra y variedad en cuanto a los tallos por planta, hubo una tendencia de la variedad Topper a incrementar el macollaje en la época temprana (12 de octubre) con respecto a M81-E, siendo de 2,33 y 1,47 tallos/planta respectivamente. Con lo anterior Topper logró en la época temprana una población de 250 mil tallos/ha, valores superiores a los encontrados en Uruguay para producciones máximas los cuales son cercanos a 200 mil tallos/ha (aproximadamente 100 a 140 plantas/ha) (Ambrosioni y Britos, 1983).

La variedad Topper presentó valores significativamente superiores en °Brix a los de M81-E para la época de siembra temprana (19,4 vs. 15,8), siendo esta diferencia no significativa en la época intermedia (07/11). La época de siembra tardía (14/12) obtuvo los mejores rendimientos en tallos limpios por hectárea (81,8 ton/ha), no resultando el régimen hídrico la causa de dicha respuesta. El % de pureza (sacarosa sobre sólidos totales) interactuó con la época y la variedad, siendo más estable la variedad M81-E.

De acuerdo a Siri-Prieto et al. (2006,2007) las épocas de siembra más tempranas tuvieron un efecto positivo en las toneladas de tallos limpios por hectárea. Este efecto

también pudo haber afectado la calidad del jugo por un incremento en los sólidos totales (solo medido en EEMAC).

Se obtuvo una disminución de la materia verde por hectárea desde una siembra del 05/10 hacia el 06/12. Por el contrario la producción de tallos no tuvo diferencias significativas y se produjo un aumento de la producción de azúcares hacia la fecha de siembra tardía (Fassio, 2006)

De acuerdo con Martínez y Albano (2007), de las cuatro fechas de siembra que se evaluaron (12/10, 7/11, 14/12 y 19/01), la tercer época (14/12) fue la que obtuvo mayor rendimiento con 81,8 toneladas de tallo limpio por hectárea. En la siembra más tardía (19/01) el ciclo se acortó un 11% lo que produjo una menor producción de tallo limpio y de jugo por hectárea comparado con la época 3 (30,5% y 32,1% menos respectivamente)

Los menores rendimientos de las 2 épocas más tempranas (21,3 y 30 ton/ha de jugo, 56,9 y 64 ton/ha de tallo limpio para las épocas de octubre y noviembre respectivamente) estuvieron explicadas fundamentalmente por mayores déficit hídricos. En la calidad del jugo, las distintas épocas no presentaron diferencias en los sólidos totales.

#### **2.4.4. Momento de cosecha**

La planta de sorgo dulce luego de alcanzar la floración inicia un proceso de acumulación de azúcares a una tasa más elevada hasta llegar a la maduración del grano. Normalmente cerca de esta época ocurre la máxima concentración de azúcares reductores totales (ART) en el jugo y de extracción total del mismo. Estos dos parámetros pueden variar dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales. Es por lo tanto muy importante determinar con precisión el punto óptimo de cosecha y el período de utilización industrial sin que haya pérdida importante de azúcares.

La evolución del contenido de azúcares a partir de la floración, ya que previamente son casi inexistentes, y de una manera tal que la parte apical hace de “bomba de succión” de forma que la mayor concentración hacia el final del ciclo se encuentre en los entrenudos superiores, comportamiento muy diferente al de la caña de azúcar donde la mayor concentración de azúcares se encuentran en los nudos medios y basales (Mazziotto, 2005)

El contenido de los distintos azúcares varía al madurar la planta. El aumento en azúcar total entre la etapa de grano pastoso y la madurez es casi el doble que entre las etapas de grano lechoso a pastoso. Cuando la planta es muy joven (40 a 45 días), la mayor cantidad es de azúcares reductores. En la mayoría de los sorgos azucarados el nivel de sacarosa en el tallo aumentaba hacia la madurez.

De acuerdo a Ventre et al. (1948) las distintas partes del tallo difieren en su contenido de azúcar, siendo la parte central la más rica. Observó que las partes inferiores del tallo contienen más glucosa que sacarosa. Comparó el contenido de azúcar del tallo en tres etapas distintas de desarrollo. En la primera, las concentraciones de fructosa eran altas y en ciertas variedades superaban a la glucosa.

El contenido de azúcar de las hojas disminuye cuando se deposita almidón en el grano. El contenido de azúcar en la hoja varía durante el día, alcanzando su máximo en la tarde y disminuyendo gradualmente hacia el amanecer siguiente.

De acuerdo a Mazziotto (2005), si el objetivo es la producción de alcohol y por lo tanto interesan los ART, el período de cosecha puede ser más amplio luego de la floración. Si el objetivo es la producción de azúcar, como el % de sacarosa se incrementa a partir de la floración en desmedro de los azúcares reductores libres, la cosecha debería ser más cercana al estado de grano maduro.

El momento más oportuno para la cosecha estará influenciado por el propósito de la producción (azúcar o alcohol) y por los cronogramas de molienda que la industria se plantee. Si el objetivo de la producción es obtener alcohol, importando por lo tanto los ART, el período de cosecha puede ser más o menos amplio luego de la floración, ya que estos no variarían mayormente luego de este período. Si el propósito es la obtención de azúcar, como el % de sacarosa se incrementa dentro de los ART hacia el período de maduración del grano, la cosecha debería dirigirse hacia esa época, potencialmente con el agregado de que se puede aprovechar el grano (Mazziotto, 2005)

Según Mazziotto (2006), la calidad del jugo medida como mililitro de alcohol por litro de jugo no tendría grandes variaciones, existiendo un incremento del peso de los tallos y por lo tanto de los litros de jugo (también de alcohol) hacia el final del período.

Ensayos realizados por este autor en Paysandú (Parada Esperanza) en el período 2006-2007 se observó para las 3 variedades evaluadas (Topper, M81 y Theis) si bien los °Brix pudieron declinar, dependiendo de la variedad, hacia el estado de grano maduro; la producción de alcohol fue mayor en esta etapa final, fundamentalmente por una mayor producción de tallos por hectárea. A conclusiones similares se llegaron en un ensayo en el departamento de Soriano (Cañada Nieto) en el mismo período.

En ensayos realizados por Siri-Prieto et al. (2005,2006) se observó una interacción entre variedad y momento de corte, siendo la variedad M81-E más productiva (tallos/ha) en los momentos de corte más tempranos. La variedad Topper mostró una estabilidad en el tiempo mejor, pero habiendo una marcada diferencia en los momentos tempranos. Con respecto al peso individual por tallo, M81-E obtuvo los mejores rendimientos comparado con Topper en todos los momentos de corte. Existió una alta relación entre

los kg/ha de tallos limpios y el número de tallos/m<sup>2</sup>, siendo claro que para lograr altos rendimientos se precisa una adecuada población de tallos.

En los momentos de corte más temprano, hubo una mayor reducción del peso de los tallos por efecto del almacenamiento con respecto a momentos de corte más tardíos. En el primer momento de corte (grano lechoso) el %Brix fue bajo para ambas variedades (cerca de 9 y 11 para M81-E y Topper respectivamente). Para el segundo momento de corte (grano duro) el contenido de M81-E aumentó muy poco mientras que el de Topper aumentó considerablemente, llegando a valores cercanos al 19%.

El almacenamiento de los tallos luego de la cosecha tendría un efecto en la calidad del jugo, ocurriendo lo inverso de lo que se da antes del corte; disminuyendo el contenido de sacarosa y aumentando el de azúcares reductores. Existen variedades en las cuales este proceso es más rápido luego de la cosecha y en otras variedades es más paulatino. Éste aspecto puede resultar trascendente si el objetivo es obtener azúcar y no tanto si el objetivo es obtener alcohol, pues para este caso interesan los ART.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. UBICACIÓN**

El presente trabajo fue realizado en un campo denominado “Campo Placeres” ubicado en la séptima sección judicial del departamento de Artigas limitando con la ruta nacional 3 a la altura del km 615. El mismo es arrendado por ALUR para la producción de caña de azúcar. El ensayo fue de diciembre de 2010 hasta abril de 2011.

#### **3.2. TIPO DE SUELO**

El tipo de suelo predominante en el área en que se realizó el ensayo fue un Brunosol Subéutrico Típico con horizonte superior de color pardo muy oscuro a negro, textura franco arenosa a franco arcillo arenosa, fertilidad media y drenaje moderadamente bueno a imperfecto. Asociado a este suelo existieron (casi totalmente en el bloque IV) suelos con presencia de cantos rodados con menor fertilidad y mejor drenaje que el suelo anterior. Corresponde al grupos de suelos CONEAT s10.20 con índice promedio 88.

Como guía para la fertilización se realizó un análisis de suelo del cual resultó: fosforo 9 ppm, potasio 0,39 meq/100 grs, materia orgánica 3,81% y pH 5,23.

#### **3.3. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO**

Consistió en evaluar el comportamiento de 4 genotipos de sorgo dulce, 2 densidades de siembra para cada uno así como 2 momentos de cosecha con el propósito de la producción de etanol.

Los materiales genéticos evaluados fueron las variedades Topper y M 81 de origen EE.UU. producida la semilla en un semillero nacional, materiales bastante estudiados en distintos ensayos realizados a nivel nacional, así como 2 materiales provenientes de origen nacional, la variedad Etanur 3 y el híbrido Etanur 2.

Las poblaciones iniciales evaluadas fueron de 7 plantas/m<sup>2</sup> y 14 plantas/m<sup>2</sup>. Los momentos de cosecha estudiados fueron en grano lechoso y grano maduro con aproximadamente 40% de humedad.

El ensayo fue establecido entre el 19 y el 20 de diciembre de 2010. Las parcelas fueron dispuestas en 4 bloques de 16m por 20m cada uno. Dentro de cada bloque se sorteó la disposición de los 4 materiales genéticos evaluados, con una dimensión de 4m por 20m para cada uno. Dentro de la parcela de cada variedad se sortearon las 2 densidades, resultando en total 32 parcelas de 4m por 10m cada una.

El sistema que se utilizó fue de camellones bajos a 1,33 m con filas dobles de plantas en cada uno de ellos a 50 cm de distancia entre filas con una distancia entre plantas de 20 cm para la densidad baja (7 plantas/m<sup>2</sup>) y 10 cm para la densidad alta (14 plantas/m<sup>2</sup>). Este sistema de plantación fue decidido por la posibilidad de aplicar riegos por surcos en caso de necesidad y además porque sería un sistema adecuado para la cosecha mecánica con las cosechadoras para caña de azúcar que dispone actualmente la firma ALUR.

A los efectos de las evaluaciones que se realizaron, de los 3 camellones que componen cada parcela se marcaron 4 metros lineales en la doble fila de plantas (8 metros en total) en el camellón central, cosechándose una fila de 4m en el estado de grano lechoso y la otra fila de 4m en el estado de grano duro.

### **3.4. LABORES CULTURALES**

#### **3.4.1. Preparación del suelo y siembra**

En la parcela en donde se realizó el ensayo había instalado un cultivo de caña de azúcar que fue abandonado, estando con una pasada de rastra de discos al momento de comenzar con la preparación del suelo. Por lo anterior había muchos restos, fundamentalmente raíces y tocones de caña.

La parcela fue asignada al ensayo a principios de diciembre, realizándose una preparación rápida del suelo con 2 pasadas cruzadas de rastra de disco y posterior formación de los camellones relativamente bajos a 1,33m de distancia. Debido a la excesiva cantidad de restos y terrones se procedió a emparejar en forma manual con un rastrillo, luego se marco el surco y se plantó manualmente a una profundidad aproximada de 3 cm. Se distribuyó semilla en exceso para luego con un raleo ajustar a las densidades requeridas.

#### **3.4.2. Fertilización, control de plagas y de malezas**

Basándose en el análisis de suelo, en la historia inmediatamente anterior de la chacra y en la disponibilidad de fertilizantes se decidió realizar una fertilización de base únicamente con fósforo, utilizándose para ello 200 kg/ha de 0-46-0. Debido al análisis de suelo (9ppm), a que el fertilizante fue esparcido al voleo sobre el camellón y a que fue incorporado en forma relativamente superficial con una rastra de dientes, se realizó una refertilización de 50 kg/ha en la línea de plantas incorporándolo en forma manual.

Debido a que se dificultó conseguir fertilizantes potásicos, a que el análisis de suelo resultó de 0,39 meq/100grs y a que el cultivo de caña de azúcar inmediatamente anterior tuvo fertilización potásica se decidió no fertilizar con este nutriente, aun sabiendo de la gran extracción de potasio que realiza un cultivo de sorgo dulce.

El total del nitrógeno fue agregado como urea en dos partes posterior a la emergencia del cultivo luego de una lluvia o un riego. En total se agregaron 120 kg/ha de nitrógeno, la mitad en el estado de 2 hojas verdaderas y la otra mitad en 6 hojas verdaderas.

Para prevenir el ataque de insectos en las primeras etapas del cultivo, fundamentalmente lagartas cortadoras, se realizó una cura de la semilla utilizada con el insecticida Imidacloprid. La aplicación se realizó en una bolsa plástica.

Debido a un intenso ataque fundamentalmente de “lagarta cogollera” (*Spodoptera frugiperda*) se realizaron 4 aplicaciones de insecticida durante el ciclo, utilizándose para ello Clorpirifós a razón de 0,8 a 1,2 l/ha dependiendo del estado de desarrollo del cultivo. La aplicaciones se realizaron en forma manual con un volumen de 400 l/ha, utilizándose un pico tipo abanico plano en el sentido de la fila de plantas.

La decisión de realizar una aplicación de insecticida se tomo cuando el grado de presencia de adultos, larvas y daño en el cultivo fue muy evidente. La primera aplicación se realizó en el estado de V3 y la última cuando comenzó el crecimiento rápido del tallo.

En cuanto al control de malezas, debido a que no se pudo incorporar con la semilla el antídoto del principio activo Metolaclor, se aplicó posterior a la siembra y antes de la emergencia del cultivo únicamente Atrazina a razón de 2,5 kg/ha. Debido a la presencia de focos de pasto bolita y gramilla se realizaron aplicaciones localizadas de Glifosato. En las primeras etapas del cultivo se realizó control manual de gramíneas.

### **3.4.3. Raleo**

A los efectos de ajustar la distancia entre plantas a las densidades requeridas, se realizó un raleo de plantas en forma manual en el estado de V3 utilizándose una regla calibrada con las distancias requeridas.

### **3.4.4. Riego**

La decisión de aplicar un riego por surcos se tomó de acuerdo al nivel de humedad del suelo, los síntomas mostrados por el cultivo y la previsión de lluvias. El nivel de humedad del suelo se observó realizando excavaciones próximas a las plantas y observando presencia de grietas algunas veces.

### **3.4.5. Cosecha**

La cosecha se realizó en forma manual, cortando la planta a nivel del suelo y trasladando lo cosechado a un galpón de la firma ALUR en donde se separaron tallos,

hojas y panojas, se realizaron las distintas mediciones y se prepararon las muestras para ser enviadas al laboratorio.

Se cosecharon 4 metros lineales de una fila de plantas en el estado de grano lechoso y los otros 4 metros de la otra fila en el estado de grano duro.

### **3.5. MEDICIONES REALIZADAS Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS**

Luego de realizada la cosecha, en los dos estados del grano, las plantas cortadas a nivel del suelo fueron llevadas a un galpón para su procesamiento. Se procedió al deshojado de los tallos y corte de la panoja aproximadamente a la mitad entre la misma y la hoja bandera. Lo anterior se hizo con la totalidad de los tallos cosechados en los 4m lineales en cada estado del grano.

Para cada parcela se determinó el número de tallos, el largo y diámetro de los mismos en la mitad del entrenudo 5 desde abajo, el número de nudos y el peso del total de tallos, hojas y panojas. Posteriormente el total de tallos fueron enviados al laboratorio de “Cala” de la firma ALUR para su procesamiento.

En el laboratorio las muestras tuvieron el mismo proceso que se le realizan a las muestras de la caña de azúcar que ingresa al ingenio de la firma. En términos generales, a la muestra se le hace un pretiturado y posterior desfibrado (Jeffco) con el objetivo de extraer el mayor porcentaje posible de jugo en la etapa de prensado. Se pesan 500 grs de este material, el cual es introducido en una prensa obteniéndose el jugo y la torta húmeda. El prensado se realiza con una presión de 175 kg/cm<sup>2</sup> por 2 minutos.

Con la torta húmeda obtenida antes se obtiene el % de Fibra del peso total de tallos. A partir del jugo se hacen las siguientes determinaciones: % Brix, % Sacarosa (POL), % Azúcares Reductores Libres y Almidón (ppm/Brix). A partir del contenido de Sacarosa y Azúcares Reductores Libres se determinan los Azúcares Reductores Totales (% ART), debido que al hidrolizarse la molécula de sacarosa el peso molecular de la glucosa y fructosa que resultan es un 5% superior a la molécula de sacarosa que las originó.

$$\% \text{ ART} = (\% \text{ Sacarosa}) \times 1,05 + (\% \text{ Az. Reduct. Libres})$$

Para determinar el contenido teórico de Etanol, utilizamos el % ART pues indica la cantidad total de monosacáridos disponibles para el proceso de fermentación por parte de la levadura.

Para el cálculo de los litros de Etanol producidos por hectárea a partir del % ART, primero se calcularon los kg/ha de ART y luego se tuvo en cuenta el peso molecular, la densidad del Etanol (0,789) y una determinada eficiencia de fermentación. Se consideró una eficiencia de fermentación del 95%, resultando así la cantidad de azúcares reales

para alcohol. De cada molécula de glucosa con un peso molecular de 180 se obtienen 2 moléculas de etanol con un peso de 92.

$$\text{Etanol (litros/ha)} = (\text{ART (kg/ha)} \times 0,95 \times (92/180)) / 0,789$$

### 3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

#### 3.6.1. Objetivo

El objetivo fue evaluar el comportamiento de 4 materiales genéticos, 2 densidades de plantas y 2 momentos de cosecha de sorgo dulce sobre la producción de etanol, para poder determinar cuál es la combinación variedad-densidad de siembra-momento de cosecha con mayor producción.

#### 3.6.2. Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental de parcelas divididas con factorial en bloques completos al azar con 4 repeticiones. Los efectos de la variedad, población de plantas y momento de cosecha sobre las distintas variables evaluadas en el sorgo dulce fueron evaluados como parcelas divididas siendo la parcela mayor variedad, la parcela media población y la parcela menor momento de cosecha. Se utilizó el PROC MIXED (Procedure of the Statistical Analysis System) del SAS. Repeticiones y sus interacciones fueron consideradas como efectos al azar y los tratamientos y sus interacciones como efectos fijos. Un nivel de significancia al 0,10 fue establecido a priori.

#### 3.6.2. Hipótesis

Ho: Los promedios de cada tratamiento son iguales ( $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu$ )

Ha: Existe al menos una diferencia entre promedios ( $\mu_j \neq \mu_j'$  para algún j)

#### 3.6.3. Modelo estadístico

$$Y_{ijkl} = \mu + y_i + \beta_j + g_{ij} + a_k + v_l + (y_a)_{ik} + (y_v)_{il} + (a_v)_{kl} + (y_{av})_{ikl} + C_{ijkl}$$

$y_i$  = Variedad

$\beta_j$  = Bloques

$g_{ij}$  = Error A

$a_k$  = Densidad

$v_l$  = Momento de Cosecha

$(y_a)_{ik}$  = Interacción Variedad\*Densidad

$(y_v)_{il}$  = Interacción Variedad\*Momento de Cosecha

$(a_v)_{kl}$  = Interacción Densidad\*Momento de Cosecha

$(y_{av})_{ikl}$  = Interacción Variedad\*Densidad\*Momento de Cosecha

$C_{ijkl}$  = Error

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

En la figura 1 se presenta la evolución histórica durante el período 1966-2011 y la del período octubre 2010-abril 2011 de la temperatura media y las precipitaciones para la zona de influencia de la Estación Meteorológica del Campo Experimental de ALUR Bella Unión, la cual se encuentra a una distancia de 5 km de donde se realizó el ensayo.

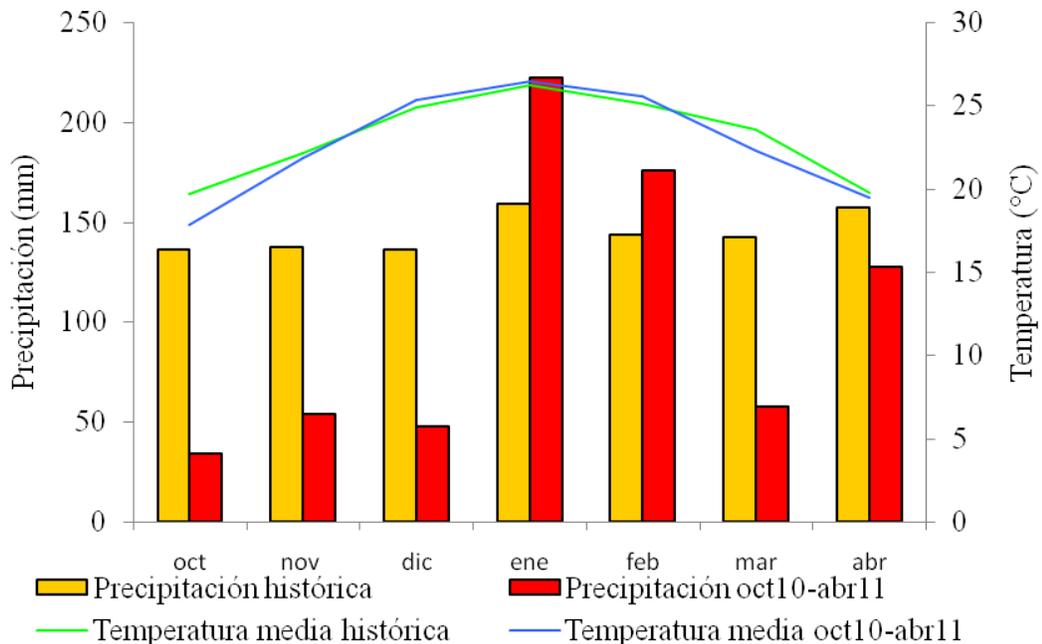


Figura 1. Evolución histórica mensual (1966-2011) y del período oct10-abr11 de la temperatura media y las precipitaciones

En general se puede apreciar que la temperatura media fue un poco inferior a las históricas en la primavera temprana y otoño. En el período de gran crecimiento del cultivo las temperaturas ocurridas fueron levemente superiores a las históricas.

Las precipitaciones ocurridas en la primavera fueron notablemente inferiores a las históricas, revirtiéndose la situación en el verano.

Como se aprecia en la figura 2, las precipitaciones ocurridas cercanas a la fecha de siembra (19 y 20/12) en conjunto con temperaturas adecuadas hicieron que la implantación del ensayo sea buena. Algunas de las precipitaciones ocurridas durante el

verano fueron puntualmente intensas, habiendo entre ellas un período relativamente extenso sin lluvia.

Lo anterior sumado a la temperatura, al tipo de suelo y a la sistematización para regar por surcos, hizo tomar la decisión de aplicar los riegos que se efectuaron, teniendo cada uno de estos una lámina aproximada de 35 a 45 mm cada uno de acuerdo a información de estudios de riego efectuados en caña de azúcar en situaciones similares.

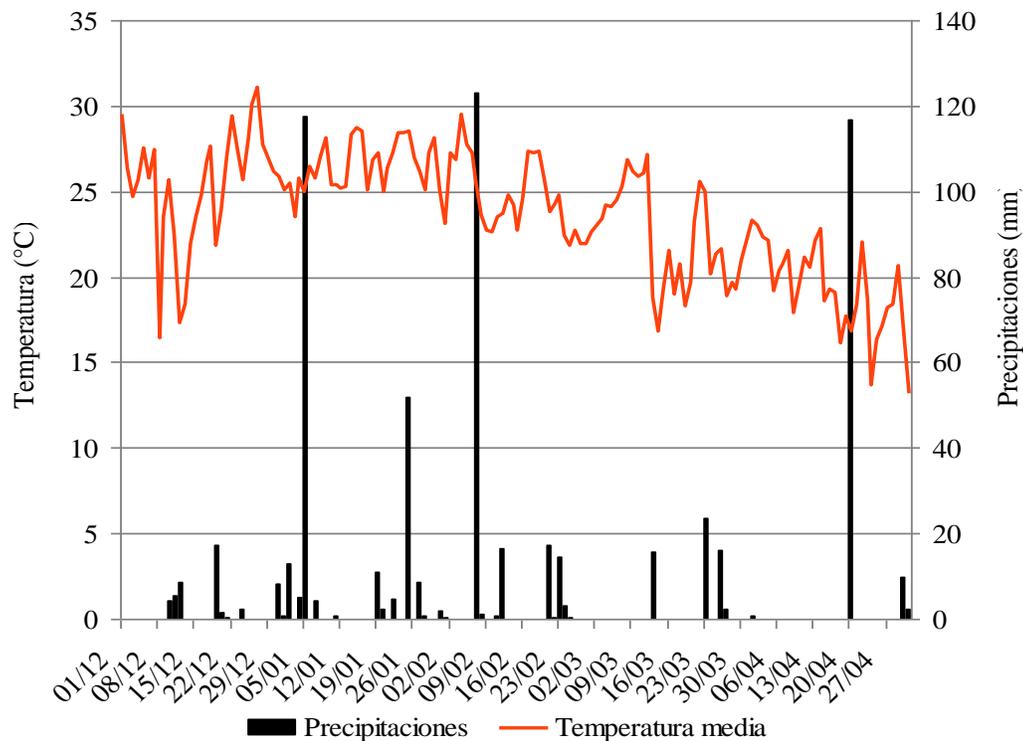


Figura 2. Evolución diaria de la temperatura media y precipitaciones durante el período de crecimiento del cultivo

#### 4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el cuadro 4 se presentan los resultados del análisis de varianza para todas las variables estudiadas (variedad, densidad y momento de cosecha) y sus interacciones.

Para los tratamientos evaluados se observa que solamente para el % de Extracción no existió efecto de las variedades. En cuanto al efecto de la densidad de siembra, además de tampoco existir efecto en el % de Extracción, tampoco hubo en general efecto en la

calidad del jugo (excepto % Brix) y en la producción de azúcares por hectárea. El momento de cosecha influyó en el % Extracción, la Fibra y los azúcares según el tipo.

En cuanto a las interacciones se dieron fundamentalmente en Variedad x Densidad y Variedad x Cosecha. Se destaca que no existió interacción de ningún tipo en la producción de Etanol por hectárea.

Cuadro 4. Análisis de varianza para las distintas variables estudiadas

Variable	Var.	Dens.	Cos.	V x D	V x C	D x C	VxDxC
Tallos/m <sup>2</sup>	xxx	xxx	ns	xxx	ns	ns	ns
Tallos/pl	xxx	xxx	ns	xxx	x	ns	ns
Largo tallo	xxx	xxx	ns	xxx	ns	ns	ns
Diámetro tallo	xxx	xxx	xx	xxx	xxx	xx	ns
Nudos/planta	xxx	xxx	ns	xxx	xx	ns	xx
Largo nudo	xxx	xx	ns	x	xx	ns	ns
Peso/tallo limp.	xxx	xxx	ns	xxx	x	x	ns
Peso Total/ha	xxx	xxx	ns	xx	xxx	ns	ns
P. Panoja/ha	xx	xx	ns	xx	xxx	ns	ns
P. Hoja/ha	xxx	xxx	xxx	ns	xxx	ns	ns
P. Tallos/ha	xx	xxx	ns	xx	xx	ns	ns
Extracción (%)	ns	ns	xxx	ns	ns	ns	ns
Jugo(kg/ha)	xx	xxx	ns	xx	xx	ns	ns
Brix (%)	xxx	xx	ns	ns	xx	x	ns
Brix(Kg./ha)	xxx	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Sacarosa (%)	xxx	ns	xx	ns	xx	ns	ns
Sacarosa(kg/ha)	xxx	ns	xx	ns	xx	ns	ns
Az. Reduct. (%)	xxx	ns	xxx	ns	xxx	ns	ns
Az.Red.(kg/ha)	xxx	x	xxx	ns	xxx	ns	x
ART (%)	xxx	x	x	ns	ns	ns	ns
ART (kg/ha)	xxx	ns	x	ns	ns	ns	ns
Etanol(litros/ha)	xxx	ns	x	ns	ns	ns	ns
Fibra (%)	xxx	ns	xxx	ns	ns	ns	ns
Fibra(kg/ha)	xx	xxx	xxx	xx	x	x	ns

(xxx) indica diferencias significativas con un nivel de significación menor al 1%

(xx) indica diferencias significativas con un nivel de significación entre 1% y 10%

(x) indica tendencia (nivel de significación entre 10 y 20%)

(ns) indica diferencias no significativas

Var.- Variedad    Dens.- Densidad    Cos.- Cosecha    V x D – Variedad x Densidad

V x C – Variedad x Cosecha    D x C – Densidad x Cosecha

V x D x C – Variedad x Densidad x Cosecha

Para evaluar las diferencias entre medias se usó la prueba Lsmeans con un  $\alpha$  de 5%.

#### **4.3. VARIEDAD, DENSIDAD DE SIEMBRA Y SU INTERACCIÓN**

Existió efecto significativo de la densidad en el número de tallos por planta y por superficie. El macollaje en la densidad baja produjo un promedio para las distintas variedades de casi 1,5 tallos por planta. Se aprecia el nulo macollaje que se produjo en la densidad alta, relevándose incluso menos plantas que las 14 plantas/m<sup>2</sup> iniciales, consecuencia de muerte de plantas o defectos en el establecimiento de las densidades cuando se produjo el raleo de plantas (figura 4).

En forma similar al ensayo anterior Martínez y Albano (2007) obtuvieron para la densidad de siembra de 14 pl/m<sup>2</sup> un promedio para las variedades estudiadas (Topper y M81) de 21 tallos/m<sup>2</sup> (1,5 tallos/pl). Con el tratamiento de 7 pl/m<sup>2</sup> se tuvo un mayor macollaje, obteniéndose 2,3 tallos/planta (17 tallos/m<sup>2</sup>), no compensando el mayor macollaje en el tratamiento de baja densidad la mayor cantidad de tallos/m<sup>2</sup> de la alta densidad de siembra. No se encontró una interacción entre la época y la densidad de siembra.

La baja densidad (7 pl/m<sup>2</sup>) mostró diferencias significativas en el largo y el diámetro del tallo con respecto a los tratamientos de alta densidad (14 pl/m<sup>2</sup>) (figura 4).

Se hallaron diferencias significativas en el largo de los tallos y no en el diámetro. También se encontró interacción para el largo de tallos entre la densidad y época de siembra. Al contrario de lo que fue hallado en este ensayo, han encontrado un largo de tallo de 2,05 y 2,12 m para baja y alta densidad respectivamente (Martínez y Albano, 2007).

La mayor población de tallos finales de la densidad alta tuvo como consecuencia un menor peso individual por tallo. A pesar de lo anterior la alta densidad tuvo una mayor producción de tallos por hectárea (figura 5).

Siri-Prieto et al. (2006) obtuvieron un rendimiento de tallos limpios por hectárea de 75 y 60 toneladas por hectárea para los tratamientos de alta densidad (14 pl/m<sup>2</sup>) y baja densidad (7 pl/m<sup>2</sup>) respectivamente. De igual forma Martínez y Albano (2007) obtuvieron para los tratamientos de alta y baja densidad un rendimiento de tallos limpios de 72,3 y 57,4 ton/ha respectivamente.

Terzaghi (2008) para la siembra del 15/11 obtuvo un rendimiento de tallos de 96,5, 73,8 y 52 ton/ha para los tratamientos de 22, 14 y 8 plantas por m<sup>2</sup> respectivamente. Para la siembra del 29/12 se obtuvieron 69,2, 56,2 y 46,6 toneladas de tallos por hectárea para 22, 14 y 8 plantas/m<sup>2</sup> respectivamente.

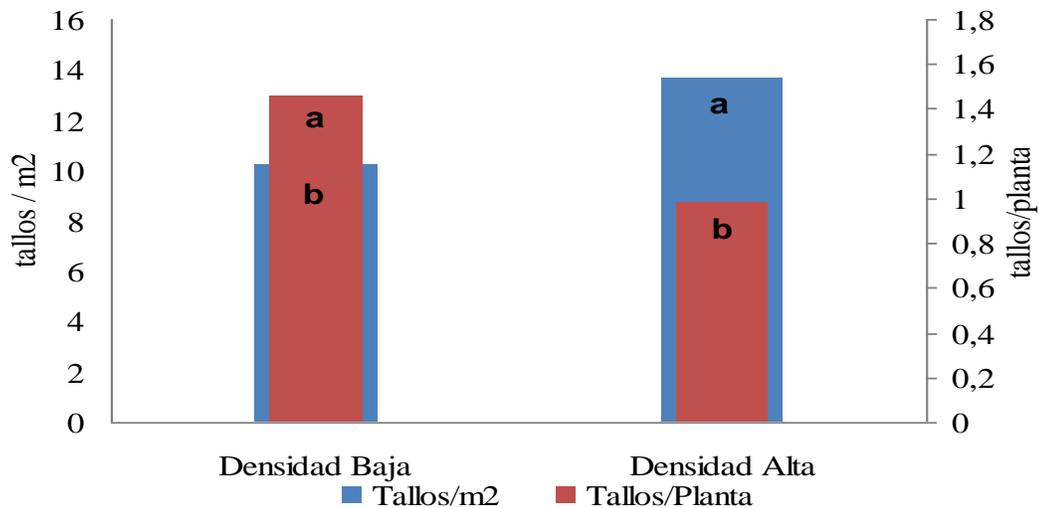


Figura 3. Efecto de la densidad de siembra en el número de tallos

En cuanto al peso por tallo limpio la densidad baja mostró diferencias significativas con respecto a la alta densidad. La densidad baja presentó mayor peso por planta (0,94 y 0,79 kg para M81 y Topper respectivamente) en relación a la densidad alta (0,47 y 0,52 kg para M81 y Topper respectivamente).

Martinez y Albano (2007) no obtuvieron diferencias significativas en el peso por tallo entre los tratamientos de alta y baja densidad (176 y 173 g/tallo en BS respectivamente). Si se obtuvieron diferencias en el rendimiento de tallos por hectárea, siendo de 72,3 y 57,4 ton/ha para la alta y baja densidad respectivamente.

En general podemos decir que el sorgo dulce compensó en cierto grado la menor población de plantas con un mayor largo y diámetro de tallos, mayor largo de entrenudos y mayor cantidad de nudos. Lo anterior produjo un mayor peso individual de cada tallo, lo cual no compensó totalmente la menor cantidad de tallos por m<sup>2</sup> teniendo la densidad de siembra alta un mayor peso de tallos por unidad de superficie, aunque la diferencia no es demasiado grande cercana a los 3000 kg (figura 6).

Terzaghi (2008) obtuvo con las poblaciones más densas más producción de jugo por hectárea pero con menor cantidad de jugo por planta.

Martínez y Albano (2007) obtuvieron en la producción de jugo por hectárea 34,4 toneladas para la densidad alta, un valor de 8,1 toneladas más que la densidad baja.

El % de extracción también tuvo diferencias significativas, siendo de 47 y 45% para la alta y baja densidad respectivamente. Siri-Prieto et al. (2006) obtuvo diferencias

significativas en el % de extracción y en la cantidad de jugo producida por hectárea. Obtuvieron un % de extracción de 45 y 47% para baja y alta densidad respectivamente, mientras que la producción de jugo/ha fue de 26,9 y 35,9 ton/ha para baja y alta densidad respectivamente.

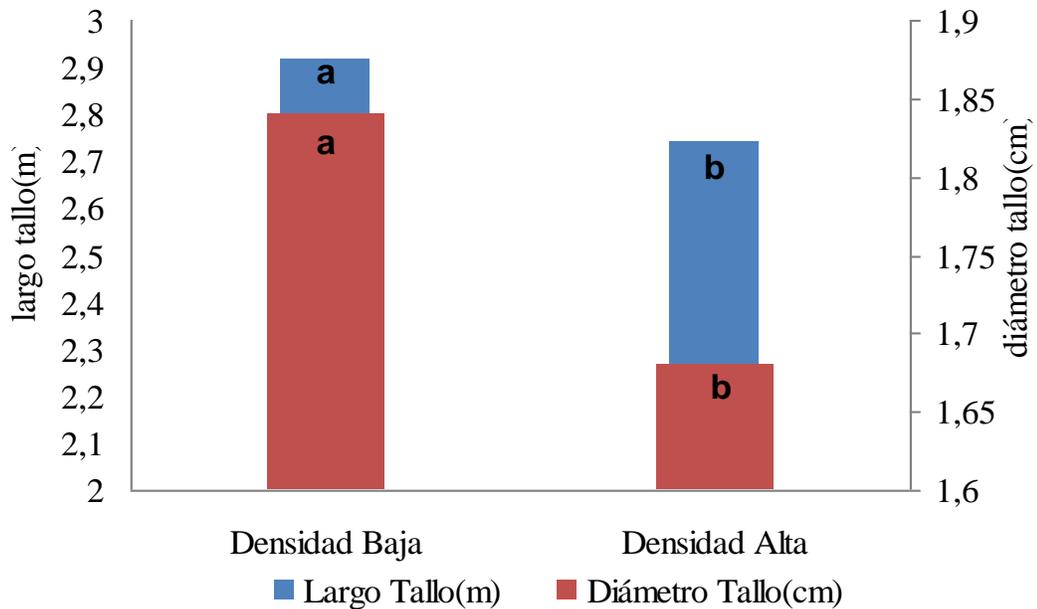


Figura 4. Efecto de la densidad de siembra en el largo y diámetro del tallo

El % de extracción no fue afectado por la densidad de siembra. Como la densidad de siembra alta (14 pl/m<sup>2</sup>) fue la que tuvo mayor peso de tallos por hectárea también produjo una mayor cantidad de jugo por hectárea (figura 6).

La población de plantas por m<sup>2</sup> se ajusta bastante bien a las propuestas inicialmente para el experimento (7 y 14 plantas/m<sup>2</sup>).

La explicación en parte del bajo número de tallos por unidad de área y por planta puede ser la tardía fecha de siembra. De acuerdo a Cassou et al. (1983), las relativas bajas temperaturas al inicio del cultivo favorecen la producción de macollos, lo cual se lograría para una misma región ecológica con un adelanto de la fecha de siembra.

Siri-Prieto et al. (2007), han obtenido diferencias en el número de tallos por unidad de área llegando a un promedio (para las 3 épocas de siembra probadas) para tallos/m<sup>2</sup> de 13,7, 18,4 y 24,7 para los sitios EEMAC, CRS y BM respectivamente y para las 3 variedades ensayadas (M81, Topper y Theis) con una densidad de siembra única de 14

pl/m<sup>2</sup>, valores en general superiores a los obtenidos (cuadro 5). Los valores obtenidos para M81 fueron en general superiores a los de Topper llegando a diferencias extremas de 32,2 y 23,5 respectivamente para la siembra del 14 de noviembre en el sitio BM.

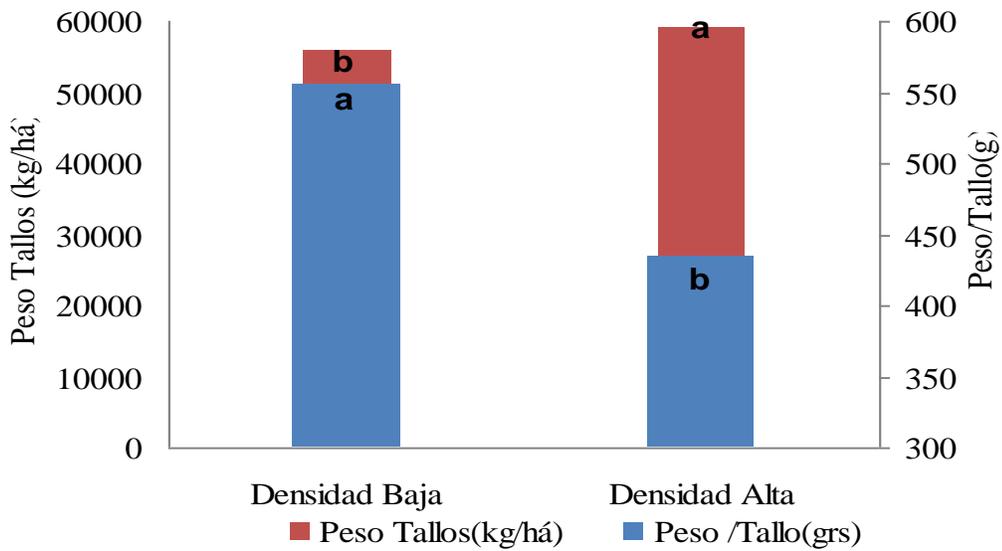


Figura 5. Efecto de la densidad de siembra en el peso individual por tallo y el peso de tallos por hectárea

Siri-Prieto et al. (2006) en la época de siembra del 14/12 y el 7/11 no encontraron diferencias significativas entre M81 y Topper en cuanto a tallos/m<sup>2</sup> y tallos/planta, si habiendo diferencias en la siembra del 12/10. Para esta época también hubo diferencias en los tallos/planta, 2.33 y 1.47 para Topper y M81 respectivamente.

Encontraron para las cuatro épocas de siembra ensayadas diferencias promedio de 2,1 y 1,7 plantas/m<sup>2</sup> para Topper y M81 respectivamente, acentuándose esta diferencia en la época de siembra temprana (Martínez y Albano, 2007).

En el cuadro 5 se aprecia como la densidad baja con menor población final de tallos por m<sup>2</sup> en general, afectó en forma diferencial a las variedades, siendo la variedad M81 la que tuvo más respuesta en producción de macollos con baja densidad, llegando a una producción de 1,8 tallos por planta y teniendo una población final de tallos/m<sup>2</sup> solamente de un tallo menos que con alta densidad.

En los otros materiales la diferencia en tallos/m<sup>2</sup> para densidad alta y baja es mayor. La mayor diferencia se da en la variedad Topper, no compensando esta la menor densidad de plantas a través de una mayor producción de macollos.

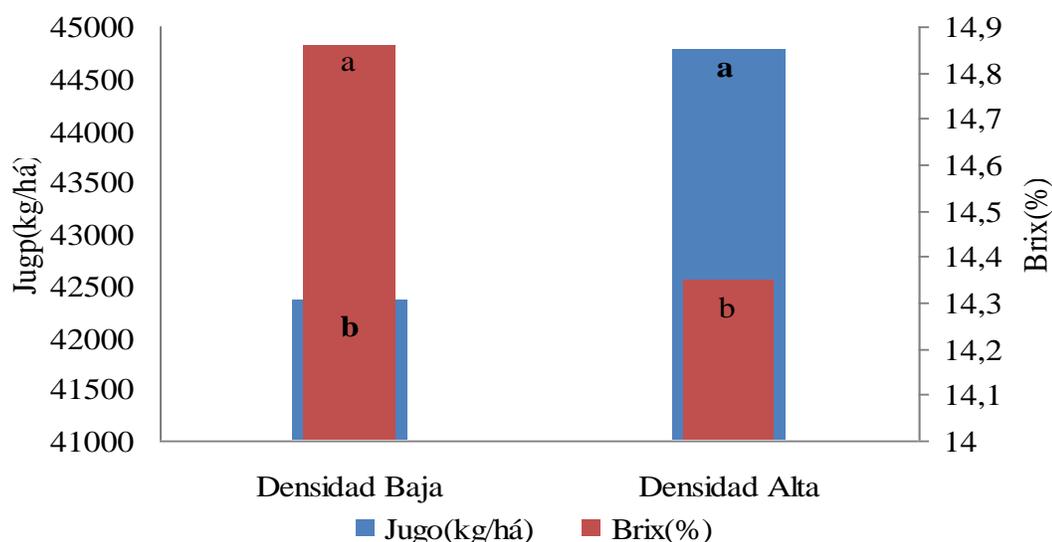


Figura 6. Efecto de la densidad de siembra en el % Brix y la producción de jugo

En cuanto al peso individual de cada tallo, las variedades Topper y Etanur 3 muestran diferencias significativas con respecto a M81 y Etanur 2. El menor ciclo de Etanur 2 pudo influir en un menor peso de tallo. Éste material (híbrido) presentó un considerable desarrollo vegetativo en las primeras etapas que se destacaba con respecto a las demás, pero su floración se produjo aproximadamente 10 días antes que las otras, reduciendo el ciclo y seguramente afectando el peso individual. También cabe destacar que Etanur 2 fue en forma apreciable más afectada por el vuelco de plantas que los otros materiales.

La variedad Topper compensó parcialmente la menor producción de macollos a través de un mayor diámetro de tallos. Este último aspecto se discutirá más adelante.

Se hallaron diferencias significativas en el peso individual del tallo en base seca, siendo de 188,9 g para M81 y 160,7 g para Topper. En este ensayo, para las distintas épocas y densidades, M81 logró tallos más altos y pesados pero con menor cantidad de tallos por planta, siendo resultados opuestos a los encontrados aquí. También encontraron interacción entre variedad y época de siembra (Martínez y Albano, 2007)

Siri-Prieto et al. (2007) no encontraron interacción variedad-época para el peso por tallo, ni diferencias significativas entre las variedades M81, Topper y Theis en las 3 localidades evaluadas (EEMAC, CRS y BM).

En cuanto al largo del tallo la variedad M81 se destaca frente a las otras, siendo la variedad Topper la de menor medida y teniendo los materiales Etanur un comportamiento intermedio. Para el diámetro de tallo (en el 5° entrenudo) sucede lo

inverso de lo sucede para el largo, teniendo la variedad Topper un valor significativamente superior y M81 inferior (cuadro 6).

Cuadro 5. Efecto de la variedad y la densidad de plantas en la población de tallos por planta y superficie

VARIEDAD	DENSIDAD	Plantas/m <sup>2</sup>	Tallos/m <sup>2</sup>	Tallos/pl.
M 81-E	DB	7	12,6	1,8
	DA	13,9	13,5	0,97
	Media	10,5	13,1	1,39
TOPPER	DB	7	8,8	1,26
	DA	14,1	14,5	1,03
	Media	10,6	11,7	1,15
ETANUR 3	DB	7	9,8	1,4
	DA	13,9	13,5	0,97
	Media	10,5	11,7	1,19
ETANUR 2	DB	7	9,6	1,38
	DA	13,9	13,2	0,95
	Media	10,5	11,4	1,17
MDS (va*den)			0,39	0,04
MDS (var)			0,3	0,03
DB (Densidad Baja)				
DA (Densidad Alta)				

Mazziotto (2005) obtuvo para las variedades M81, Topper y Theis un largo de tallo de 3,24 , 2,2 y 2,74 m respectivamente; obteniendo para diámetro de tallo 1,974 , 1,822 y 1,822 respectivamente. Martínez y Albano (2007) no obtuvieron diferencias significativa para el diámetro pero si para el largo de tallo, obteniendo 2,263 m para M81 y 1,915 m para Topper. También encontraron interacción entre variedad y época de siembra.

Mazziotto (2005) obtuvo un peso por tallo de 659, 732 y 454 gramos para las variedades Theis, M81 y Topper respectivamente con un marco de plantación de 0,7 m entre filas y 10 plantas por metro lineal.

Siri-Prieto et al. (2007) en la EEMAC obtuvieron diferencias en el largo pero no en el diámetro, no existiendo interacción con la época de siembra. En general ocurrió que Topper presentó menor largo que M81, aumentando la diferencia a medida que se atrasa la época de siembra, siendo mayor la diferencia en la siembra del 23/07. Ocurrió algo similar en las otras 2 localidades (CRS y BM) evaluadas.

Cuadro 6. Efecto de la variedad y la densidad de plantas en los nudos por planta y en el largo, diámetro y peso por tallo

VARIEDAD	DENSIDAD	L.Tallo	D.Tallo	Nud. /pl.	P.Tallo
M 81-E	DB	2,99	1,75	14,9	482,0
	DA	2,91	1,65	14,4	435,9
	Media	2,95	1,70	14,7	458,9
TOPPER	DB	2,92	1,96	15,3	637,5
	DA	2,57	1,69	14,0	409,9
	Media	2,75	1,83	14,6	523,7
ETANUR 3	DB	2,92	1,88	14,6	578,6
	DA	2,68	1,68	13,7	445,0
	Media	2,80	1,78	14,2	511,8
ETANUR 2	DB	2,84	1,78	14,2	525,0
	DA	2,80	1,68	14,1	448,6
	Media	2,83	1,73	14,1	486,8
MDS (var*den)		0,07	0,04	0,3	23,7
MDS (var)		0,05	0,03	0,22	17,8

DB (Densidad Baja)

DA (Densidad Alta)

El largo del entrenudo y la cantidad de nudos por planta fueron afectados significativamente por la densidad de siembra, teniendo ambos valores superiores para la densidad de siembra baja.

Martínez y Albano (2007) encontraron diferencias significativas para las densidades de siembra de 7 y 14 pl/m<sup>2</sup> en el largo de entrenudo pero no en el número de nudos como promedio para las distintas épocas de siembra que ensayaron. No encontraron interacción con la época de siembra. El mayor largo de entrenudos lo encontraron para la densidad alta (18 cm).

Las variedades M81 y Topper presentaron mayor cantidad de nudos por planta mientras que Topper tuvo menor largo de entrenudo.

Se obtuvieron para las variedades M81 y Topper, 18,5cm y 17cm en el largo del nudo respectivamente, siendo 12,2 y 11,1 nudos por planta respectivamente para ambas variedades (Martínez y Albano, 2007)

En cuanto al peso total por hectárea no existieron diferencias entre los 4 materiales evaluados para la densidad alta, destacándose M81 en el tratamiento de baja densidad. El macollaje producido por M81 a baja densidad compensó la menor población inicial de

plantas y logró una producción de tallos similar a la producida por los otros materiales en alta densidad.

Para el peso de tallos limpios por hectárea la tendencia es similar al peso total, quedando en evidencia la compensación que produjo M81 con un mayor macollaje en el tratamiento de baja densidad.

El notorio incremento del peso individual de cada tallo que se produjo en la variedad Topper en el tratamiento de baja densidad, no compensó totalmente la escasa producción de macollos y menor cantidad inicial de plantas. Como se verá más adelante, el mayor peso individual de cada tallo en este caso se debió fundamentalmente a un mayor diámetro del mismo. En esta variedad se produjo la mayor diferencia en el peso de cada tallo comparando alta y baja densidad, siendo la diferencia de 227,62 gramos.

La densidad baja tuvo un efecto positivo en el largo del tallo, diámetro del tallo y en el número de nudos por planta en todos los materiales. La variedad Topper disminuye notablemente los 3 parámetros anteriores por efecto de la alta densidad, siendo el material en que más se aprecia este efecto. Como se menciona antes, Topper se destaca por el diámetro del tallo a baja densidad. Esta variedad macolló poco pero compensó parcialmente a través de un mayor diámetro.

La variedad Etanur 3, de origen nacional y que tiene como origen la variedad Topper, muestra un comportamiento similar a esta, teniendo una disminución importante en el largo y diámetro del tallo por efecto de la alta densidad de siembra.

Con respecto a la producción de jugo, la mayor producción por hectárea se da en los cuatro materiales con densidad alta conjuntamente con la variedad M81 con densidad baja, algo a lo que ya se refirió en otros parámetros. Se aprecia también aquí el similar comportamiento de Topper y Etanur 3 al bajar ambos la producción de jugo en los tratamientos con baja densidad (cuadro 7).

El aporte de fibra por unidad de superficie es importante por la utilización del bagazo en calderas aportando en el balance energético positivo que puede lograr el sorgo dulce.

La variedad M81 muestra un aporte importante de fibra por hectárea para alta y baja densidad de siembra, coincidiendo esto con otros parámetros de producción ya evaluados. En los tratamientos de alta densidad no hay diferencias entre los materiales en el aporte de fibra (cuadro 7).

El largo del ciclo de las variedades M81, Topper y Etanur 3 fue bastante similar, realizándose la cosecha de estas 3 variedades en el estado de grano lechoso a los 114 días de la siembra y en el estado de grano duro (de 30 a 40% de humedad) a los 140 días

de la siembra. En la variedad Etanur 2, de un ciclo menor, la cosecha en el estado de grano lechoso y grano maduro se hizo a los 104 y 130 días respectivamente.

Cuadro 7. Efecto de la variedad y densidad de siembra en la producción total, de panoja, tallos, jugo y fibra por hectárea

VARIEDAD	DENS.	P.T/há	Pan./há	Tall./há	Jugo/há	Fib./há
M 81-E	DB	78261	6974	60761	46054	8273
	DA	76072	6288	58741	44462	7959
	Media	77166	6631	59751	45258	8116
TOPPER	DB	70404	5131	56297	42728	7241
	DA	76527	6086	59352	44689	7807
	Media	73466	5609	57824	43709	7524
ETANUR 3	DB	72044	5691	56579	42828	7590
	DA	76654	6495	60010	45436	7982
	Media	74349	6093	58294	44132	7786
ETANUR 2	DB	64732	5780	50400	37789	7055
	DA	75437	6950	58975	44571	8112
	Media	70085	6365	54688	41180	7584
MDS (va*den)		3223	642	2632	2147	357
MDS (var)		2420	606	1962	1591	255
DB (Densidad Baja)						
DA (Densidad Alta)						

En el cuadro 8 se muestra la influencia de las variedades en las situaciones en donde no existió interacción. Independientemente de la densidad de plantas y del momento de cosecha se evidencia el mejor comportamiento de la variedad Topper en calidad de jugo y también en la producción por hectárea de azúcares totales y por lo tanto también de etanol. En segundo lugar se ubica Etanur 3 y en último Etanur 2.

La variedad Topper se destaca en cuanto a la calidad del jugo extraído frente a los otros materiales evaluados, fundamentalmente en cuanto al % ART que es lo que finalmente interesa si el objetivo es evaluar el potencial de producción de etanol.

De la misma manera que ocurrió con la producción de ART/ha, la variedad Topper tuvo un mayor producción teórica de etanol por hectárea, teniendo Etanur 3 un comportamiento intermedio entre Topper y M81.

La variedad M81 se destaca en la cantidad de fibra tanto en % como en los kg/ha producidos. La variedad Topper, la cual tuvo los mejores resultados en calidad y producción de jugo, fue la que presentó las producciones más bajas de fibra (cuadro 8).

Cuadro 8. Influencia de las variedades en el % ART, % Fibra y en la cantidad de Brix, ART y Etanol por hectárea

VARIEDAD	Brix(kg/há)	ART (%)	ART(kg/há)	Etanol(l/há)	Fibra (%)
M 81	6055	11,9	5396	3321	13,6
TOPPER	7183	14,7	6444	3966	13,0
ETANUR 3	6791	13,5	5974	3675	13,3
ETANUR 2	5412	12,2	5005	3080	13,9
MDS (var)	320	0,44	303	187	0,3

El contenido de fibra interesa pues en general su % presenta una correlación negativa con el % de extracción de jugo y positiva con el arrastre de azúcares en el proceso industrial. La producción por hectárea importa por el hecho de su utilización fundamentalmente como fuente de energía mediante su combustión lo que resulta en una ayuda en el balance energético positivo que puede presentar el cultivo de sorgo dulce.

Martínez y Albano (2007) obtuvieron en el promedio para las épocas de siembra y densidades probadas diferencias en el %Brix y el % de sacarosa en las variedades. El °Brix fue de 17,9 y 16,4 para Topper y M81 respectivamente, mientras que para las variedades anteriores el % de sacarosa fue de 4,7 y 6,1 respectivamente. Dentro de cada época de siembra evaluada no hubo diferencias en el °Brix entre ambas variedades. Tampoco existieron diferencias en los Brix (kg/ha).

La producción de ART por hectárea mostró la misma tendencia que mostró los °Brix del jugo. Como se verá más adelante solo la variedad Etanur 2 tuvo producción significativamente inferior a las otras en la producción de tallos por hectárea. Como se verá, lo mismo ocurrió en cuanto a la producción de jugo por hectárea, variando la producción de ART por hectárea en función de la calidad del jugo (%ART), en lo cual la variedad Topper se destaca con respecto a las otras.

Cabe destacar también el comportamiento intermedio de Etanur 3 con respecto a Topper y M81 en relación a los ART/ha y otras variables.

Mazziotto (2006) obtuvo para las variedades Topper y M81 un % Brix de 17,8 y 16,5 respectivamente. El mismo autor obtuvo 20 y 18,5 % de sólidos totales (°Brix) para Topper y M81 respectivamente.

El % de extracción de jugo no se vio afectado por la variedad. Los valores son relativamente altos comparados con los encontrados en la bibliografía, estando esto asociado al método utilizado, lo cual ya fue referido en materiales y métodos. En cuanto a la producción de jugo, como se comentó antes, Etanur 2 tuvo un comportamiento inferior a los otros 3 materiales.

Martínez y Albano (2007) no encontraron diferencias entre variedades en el % de extracción y la producción de jugo por hectárea. Si encontró interacción entre variedad y época de siembra, siendo la siembra del 14/12 la de mayor producción en ambas variables.

Siri-Prieto et al. (2006) encontraron diferencias entre variedades en el % de extracción pero no en la producción de jugo por hectárea, encontrándose también interacción entre variedad y época de siembra. La variedad M81 tuvo un % de extracción del 48% contra 44% de Topper.

De la misma manera que ocurrió con la producción de ART/ha, la variedad Topper tuvo una mayor producción teórica de etanol por hectárea, teniendo Etanur 3 un comportamiento intermedio entre Topper y M81.

Siri-Prieto et al. (2007) no obtuvieron diferencias significativas en cuanto al °Brix(%) y el total de Brix por hectárea para las 3 variedades (M81, Topper y Theis) y 3 localidades evaluadas (EEMAC, CRS y BM). Tampoco se encontró interacción entre las variables anteriores y la época de siembra. En otro ensayo la variedad Topper presentó valores significativamente superiores en °Brix a M81 (19,4 vs 15,8) en la siembra del 12/10, no habiendo diferencias en la del 7/11 (Siri-Prieto et al., 2006).

#### 4.4. EFECTO DEL MOMENTO DE COSECHA

La cantidad de fibra, tanto en % como por hectárea aumentó significativamente hacia el estado de grano maduro.

Cuadro 9. Efecto del momento de cosecha en el % de Fibra y el % de Extracción

COSECHA	Fibra (%)	Extracción (%)
GL	12,8	76,5
GD	14,1	74,5
MDS (cos)	0,39	0,62
GL (Grano Lechoso)	GD (Grano Duro)	

El % de extracción tuvo una disminución del 2% hacia el estado de grano maduro, en cambio la producción de jugo por hectárea no fue afectada significativamente por el momento de cosecha.

#### 4.5. EFECTO COMBINADO DE LAS VARIEDAD Y EL MOMENTO DE COSECHA

La producción de hoja disminuye en general hacia el estado de grano duro excepto en Etanur 3. Lo anterior se debe seguramente a 2 causas, la incidencia de algunas enfermedades fúngicas y la traslocación de fotosintatos hacia el tallo y panoja. Puede además haber ocurrido un déficit de nitrógeno hacia el final del ciclo incrementándose la pérdida de hojas basales además de la senescencia natural de las mismas.

La variedad M81 se destaca en el largo de entrenudo y entrenudos/planta para ambos momentos de cosecha, mientras que Topper lo hace en el diámetro del tallo para el estado de grano lechoso. Nuevamente se evidencia la disminución en general del diámetro del tallo desde el estado de grano lechoso hacia el estado de grano duro, no coincidiendo eso en general con lo que se cita. Solo para Etanur 2 no se da esta disminución en el diámetro del tallo y es en la variedad Topper en donde se presenta la mayor diferencia entre ambos momentos de cosecha (cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de la variedad y el momento de cosecha en el diámetro del tallo, número y largo de entrenudos

VARIEDAD	COSECHA	Diám. Tallo	Entren. /pl.	Largo Entr.
M 81-E	GL	1,74	14,7	20,2
	GD	1,66	14,7	20,0
	Media	1,70	14,7	20,1
TOPPER	GL	1,90	14,9	18,5
	GD	1,75	14,4	19,0
	Media	1,83	14,6	18,8
ETANUR 3	GL	1,84	14,5	19,3
	GD	1,72	13,9	20,3
	Media	1,78	14,2	19,8
ETANUR 2	GL	1,68	13,9	20,0
	GD	1,77	14,4	20,0
	Media	1,73	14,1	20,0
MDS(va*co)		0,04	0,55	0,44
MDS (var)		0,03	0,22	0,32
GL (Grano Lechoso)		GD (Grano Duro)		

Como era de esperar el largo del tallo no fue afectado por el momento de cosecha, habiendo si una influencia significativa en el diámetro del tallo con una disminución del mismo hacia la madurez del grano.

Siri-Prieto et al. (2006) no obtuvieron diferencias significativas para ninguna de las 2 variables. Si hubo una interacción entre las variedades y el momento de cosecha para el largo del tallo.

Mazziotto (2005) obtuvo para las tres variedades estudiadas (M81, Topper y Theis) un aumento sostenido del diámetro del tallo desde la etapa de prefloración hasta la etapa de grano maduro, lo cual se diferencia con los resultados obtenidos aquí.

Como se observa en el cuadro 11, la variedad M81 tuvo en general mayor producción de materia verde total que las otras. Exclusivamente para la producción de tallos limpios, que es lo que interesa comercialmente si el objetivo es la producción de etanol, Etanur 2 tuvo un rendimiento significativamente inferior a las otras 3 variedades. Cabe destacar que Etanur 2 (híbrido) fue afectada severamente por el vuelco de plantas, influyendo esto indudablemente en los rendimientos físicos y calidad del jugo.

Martínez y Albano (2007) no obtuvieron diferencias significativas en la producción de tallos limpios y panoja por hectárea entre las variedades M81 y Topper. Según Siri-Prieto et al. (2006), el rendimiento de tallos (EEMAC) fue afectado por el material genético sembrado, presentando M81 un mejor rendimiento promedio en las 3 épocas de siembra evaluadas que la variedad Topper (42,1 vs. 34,9 ton/ha respectivamente). No existió en este último ensayo interacción época x variedad. En el ensayo realizado en BM y el CRS no hubo efecto de ambas variedades en el rendimiento de tallos limpios.

La variedad M81 fue la única que no tuvo diferencias significativas en el peso de tallos limpios si la cosecha se realiza en grano lechoso o en grano maduro. En Topper se produce una disminución hacia el estado de grano duro mientras que en Etanur 2 y 3 se produce lo inverso, la cosecha de tallos aumenta hacia el estado de grano duro (cuadro 11).

Para la producción de jugo por hectárea las variedades M81 y Topper muestran mayor producción en el estado de grano lechoso, mientras que en los materiales Etanur no existen diferencias significativas entre ambos momentos de cosecha.

Para la calidad del jugo no se observaron diferencias entre los 2 estados de cosecha en cuanto a los °Brix. Si hubo interacción entre variedades y momento de cosecha.

En M81 y Topper se produjo un aumento del %Brix hacia el grano maduro, en Etanur 3 no existieron diferencias entre los 2 estados y en Etanur 2 una disminución.

Teixeira et al. (1987) en Jundiaí (SP) para la variedad BR 505 obtuvieron un aumento de la masa verde y el tenor de azúcares cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica del grano. Esto ocurrió 121 días después de la siembra.

Cuadro 11. Efecto de la variedad y el momento de cosecha en el peso total, panoja, tallo, jugo y fibra por hectárea

VARIEDAD	COSECHA	P.T./há	Pan./há	Tall./há	Jugo/há	Fi./há
M 81-E	GL	80874	7237	60855	46855	7838
	GD	73459	6024	58647	43660	8393
	Media	77166	6631	59751	45258	8116
TOPPER	GL	76664	5940	59633	45708	7359
	GD	70268	5278	56015	41710	7693
	Media	73466	5609	57824	43709	7524
ETANUR 3	GL	72524	6499	56579	43433	7144
	GD	76175	5686	60009	44831	8428
	Media	74349	6093	58294	44132	7786
ETANUR 2	GL	68623	5070	53384	40610	7109
	GD	71546	7660	55992	41750	8059
	Media	70085	6365	54688	41180	7584
MDS (va*co)		2715	628	838	2203	361
MDS (var)		2420	606	1962	1591	255
GL (Grano Lechoso)						
GD (Grano Duro)						

Para el %ART, ART/há y etanol/há solo hubo diferencias significativas entre variedades, no existiendo efecto de densidad, momento de cosecha e interacciones.

Schaffert (2008) obtuvo diferentes comportamientos según el material genético en cuanto a los °Brix y contenido de azúcares a lo largo del ciclo. Los materiales BR 501 y BR 506 presentan un pico de °Brix y Azúcares totales cercano a los 40 días luego de la floración disminuyendo hacia los 80 días, mientras que BR 505 y BR 507 presenta un aumento sostenido hacia los 80 días postfloración. Lo anterior evidencia el distintivo comportamiento que pueden tener diferentes materiales genéticos.

Llama la atención la disminución de la sacarosa hacia el estado de grano maduro y el aumento de los azúcares reductores libres. Mazziotto (2005) cita que hacia el estado de grano maduro se produce un aumento de la sacarosa en detrimento de los azúcares reductores. La disminución de la sacarosa puede deberse a que en la cosecha en el estado

de grano maduro las muestras estuvieron estacionadas 5 días antes de ser procesadas, pudiendo producirse una hidrólisis natural de la misma.

Cuadro12. Efecto de la variedad y el momento de cosecha en la calidad del jugo y producción de azúcares por hectárea

VARIEDAD	COSECHA	Brix (%)	Sac (%)	Red (%)	Sac/há	Red/há
M 81-E	GL	12,9	5,1	6,6	2367	3128
	GD	13,9	3,5	8,2	1530	3571
	Media	13,4	4,3	7,4	1948	3350
TOPPER	GL	16,1	8,2	6,5	3716	2963
	GD	16,8	5,8	8,4	2412	3491
	Media	16,5	7,0	7,4	3063	3227
ETANUR 3	GL	15,1	6,7	6,9	2928	2993
	GD	15,6	4,1	8,8	1851	3963
	Media	15,3	5,4	7,9	2389	3465
ETANUR 2	GL	13,5	6,4	5,7	2621	2319
	GD	12,8	5,7	5,6	2330	2344
	Media	13,2	6,1	5,7	2475	2331
MDS(va*co)		0,60	0,88	0,43	423	219
MDS (var)		0,44	0,64	0,31	306	159

GL (Grano Lechoso)

GD (Grano Duro)

Mazziotto (2006) obtuvo para la variedad Topper una disminución del % Brix hacia la madurez del grano, siendo de 19,2, 19,5 y 15,7 para los estados lechoso, pastoso y maduro respectivamente. Para M81 y los estados de grano lechoso y pastoso el contenido fue de 18,8 y 18,6 respectivamente.

Siri-Prieto et al. (2006) obtuvieron para Topper un importante aumento del % Brix hacia el estado de grano maduro, pasando de valores próximos a 12% en grano lechoso a valores cercanos a 19% en grano maduro. Para M81 se obtuvieron valores más bajos en general (cerca de 11%) no existiendo diferencias significativas en los 2 momentos de corte evaluados.

La sacarosa en el estado de grano lechoso representa el 45% del Brix y el 102% de los reductores. En el estado de grano duro la sacarosa es el 32% del Brix y el 61% de los reductores. Esta menor incidencia de la sacarosa hacia el estado de grano maduro discrepa en general con lo que cita la bibliografía y como se dijo antes la explicación puede estar que las muestras en el estado de grano maduro estuvieron 5 días estacionadas antes de ser procesadas (cuadro 12).

Siguiendo la misma tendencia que los azúcares totales la producción teórica de etanol disminuyó hacia el estado de grano maduro, siendo esta disminución del orden del 8%.

Mazziotto (2006) obtuvo en general un aumento en la producción teórica de etanol a medida que el estado de maduración del grano avanzaba. Se obtuvo para los estados de grano lechoso y maduro una producción de 4002 y 4470 litros respectivamente para la variedad Topper, obteniéndose 4680 y 5772 respectivamente para la variedad Theis. Para M81 y en grano lechoso y pastoso se obtuvo 4602 y 5136 respectivamente.

Como se vio antes no existieron diferencias significativas en el % Brix con respecto a los 2 momentos de cosecha. Si se aprecian diferencias al discriminar según variedad, siendo Topper y M81 las que presentan un aumento del % Brix hacia el estado de grano duro. En Etanur 3 no existen diferencias entre ambos momentos de cosecha y en Etanur 2 existe una disminución. Recordemos que en este último material hubo una importante incidencia de vuelco, influyendo esto seguramente en la calidad del jugo.

Siri-Prieto et al. (2006) obtuvo diferencias para los °Brix y el contenido de sacarosa según el momento de corte (Grano Lechoso y Grano Duro). La variedad M81 tuvo valores bajos de Brix con respecto a Topper y mantuvo estos valores del primer al segundo corte, siendo en promedio un Brix de 11,8%. La variedad Topper en cambio tuvo un fuerte incremento en °Brix llegando a valores cercanos a 19%.

La producción por hectárea de azúcares muestra la misma tendencia que la concentración. La producción de ART/ha es solo un 8% menor en el estado de grano duro comparado con el estado de grano lechoso. Dependiendo de la variedad, no se perdería demasiada producción si la cosecha avanza hacia el estado de grano maduro, habiendo de esta forma un período bastante amplio en donde se mantiene la productividad y calidad del jugo.

## **5. CONCLUSIONES**

En general hubo efecto muy significativo de las variedades, siendo casi nulo el efecto de la densidad en la calidad de jugo, % de fibra y producción de etanol.

Hubo un bajo macollaje siendo M81 la variedad con mayor producción de macollos, obteniendo esta variedad similar producción de tallos con baja y alta densidad.

A pesar de la compensación que hubo con baja densidad no se llegó a la producción de tallos de la alta densidad. También con alta densidad se logró una mayor producción de jugo aunque con menor calidad (menor Brix).

La variedad Topper tuvo mejor calidad de jugo.

En cuanto a la calidad del jugo no existieron diferencias para los 2 momentos de cosecha. Si se aprecian diferencias si se discrimina según variedad.

Para el %ART y la producción de ART por hectárea y por lo tanto también de etanol, solo se vieron diferencias entre variedades. No hubo incidencia de la densidad, el momento de cosecha y tampoco existió interacción.

Topper es la que tiene mayor producción de etanol seguida de Etanur 3. La no incidencia de la densidad de plantas y el momento de cosecha tiene desde el punto de vista práctico una mayor versatilidad de esquemas de siembra y período de cosecha.

Las conclusiones anteriores deberían validarse para ensayos en otros años y en siembras más tempranas.

## **6. RESUMEN**

Se evaluó el efecto del material genético, densidad de plantas y momento de cosecha en la productividad de sorgo dulce para la producción de etanol. El trabajo fue realizado en la zona norte de Uruguay en la zona de influencia del predio sucroalcoholero de la empresa Alur S.A. Se espera que en el futuro la producción de alcohol a partir de sorgo dulce complemente la producción a partir de caña de azúcar adelantando el período de zafra hacia una época en que no es posible obtener una adecuada producción de caña.

Los materiales genéticos utilizados fueron las variedades M81, Topper y Etanur 3, así como el híbrido Etanur 2. Las densidades usadas fueron 14 pl/m<sup>2</sup> y 7 pl/m<sup>2</sup>, ajustándose las mismas mediante raleo luego de una siembra en forma manual. La cosecha se realizó en el estado de grano lechoso-pastoso y grano duro. Se utilizó un experimento factorial (4x2x2) con un diseño en parcelas subdivididas distribuidas en 4 bloques, totalizando 16 tratamientos distintos. Se realizaron mediciones a campo sobre el número de tallos por m<sup>2</sup> y por planta, largo y diámetro del tallo, nudos por planta y largo de los mismos, peso por tallo y por hectárea, peso de hoja, panoja y total por hectárea. En el laboratorio se determinó el % extracción, % fibra, % Brix, POL, % Red y %ART. A partir de las mediciones anteriores se determinó la producción de Fibra, Brix, POL, Red y ART por hectárea. Con este último se calculó la producción teórica de etanol por hectárea. Se dio un efecto significativo de las variedades, no hubo efecto de la densidad de siembra en la calidad del jugo ni el % de fibra y existió efecto del momento de cosecha en el % de extracción, el contenido de fibra y el tipo de azúcares. Se dio efecto significativo en las interacciones Variedad x Densidad y Variedad x Cosecha. La variedad Topper se destaca en cuanto a la calidad del jugo y en la producción de azúcares totales por superficie y por lo tanto también de etanol. Fue la variedad con un menor % de fibra, siendo M81 la de mayor contenido. La menor densidad de plantas a pesar que produjo un mayor macollaje no llegó a compensar la mayor cantidad de tallos por superficie de la mayor densidad. La alta densidad causó tallos más livianos que la densidad baja pero con mayor producción por hectárea que esta última. Se destaca M81 en la producción de tallos por hectárea y Topper en el peso por tallo.

Palabras clave: Sorgo dulce; Etanol; Cultivares; Densidad de siembra; Momento de Cosecha; °Brix; POL; ART

## **7. SUMMARY**

In this work, it was evaluated the effect of genetic material, plants density and harvest moment, in the productivity of sweet sorghum for ethanol production. The work was done in northern Uruguay, in the zone of influence of the sugar-ethanol company, Alur S.A. It is expected that in the future, the alcohol production from sweet sorghum, could supplement production from sugar cane, advancing the harvest period when not possible to obtain an adequate cane production. The genetic materials varieties used were M81, Topper and Etanur 3, and the hybrid Etanur 2. Densities used were 14 pl/m<sup>2</sup> and 17 pl/m<sup>2</sup>, being adjusted by thinning them after seeding by hand. The harvest was made in the statement of milky-pasty grain and hard grain. It was used a factorial statistical design (4x2x2) in a split plot in four blocks, totaling 16 different treatments. Field measurements were made on the number of stems per meter and per plant, length and diameter of stem, knots per plant and knots length, weight per stem and per hectare, leaf weight, panicle weight and total per hectare. In the laboratory was determined: % extraction, % fiber, % Brix, % POL, % Red and % ART. From previous measurements was determined production of fiber, Brix, POL, Red and ART per hectare. With the latter, it was calculated the theoretical output of ethanol per hectare. It was observed a significant effect of the varieties, there was no effect of plant density on quality of juice and % of fiber. But there was an effect of harvest time on % of extraction, fiber content and type of sugars. It was observed a significant effect in the interactions: Variety x Density and Variety x Harvest. The Topper variety is notable for the quality of the juice and total sugar production per area, therefore also in ethanol. This variety has less % fiber, being M81 the greatest variety of contents. The lower density of plants produced high tailoring plants but did not compensate the number of stems per unit area of the highest density. The higher density caused lighter stems than the lower density but higher production per hectare than the last. The M81 variety stands in producing stems per hectare and Topper in stem weight.

Keywords: Sweet Sorghum; Ethanol; Cultivars; Planting density; Harvest time; °Brix; POL; ART

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

1. AMBROSONI, J.M.; BRITOS, O.S. 1983. Efecto de la población de plantas en sorgo azucarado para la productividad de alcohol etílico. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 103 p.
2. CARRASCO, P. 2004. Fisiología del rendimiento del sorgo. Montevideo, s.e. pp. 17-21.
3. CASSOU, S.; VALDENEGRO, J. G.; VERDE, R. 1983. Efecto de tres factores de producción en sorgo sacarígeno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 159 p.
4. CLAASSEN, P.; VAN LIER, J.B; LÓPEZ CONTRERAS, A.M; VAN NIEL E.W.J.; SIJTSMA, L; STAMS, A.J.M.; de VRIES, S.S.; WEUSTHUIS, R.A 1999. Utilization of biomass for the supply of energy carriers. *Applied Microbiology and Biotechnology*.52: 741-755.
5. CORSI, W. C. 1983. Regionalización agroclimática de Uruguay para cultivos. CIAAB. Miscelánea no.40. 28 p.
6. DOELLE, M.B.; DOELLE, W. 1989. Ethanol production from sugar cane syrup using *Zymomonas mobilis*. *Journal of Biotechnology*. 11: 25-36
7. ECHEGARAY, O.; CARVALHO, J.; FERNANDES, A.; SATO, S.; AQUARONE, E.; VITOLO, M. 2000. Fed-batch cultura of *Saccharomyces cerevisiae* in sugarcane blackstrap molasses; invertase activity of intact cells in ethanol fermentation. *Biomass and Bioenergy*. 19: 39-50
8. FARIELLO, R. J. 1979. Producción de jugo azucarado a partir de cultivares de sorgo. In: Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía (2ª, 1979, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p.
9. FASSIO, A. 2006. Cultivo de sorgo azucarado para la producción de alcohol etílico en el litoral SW del país. Convenio INIA-ANCAP. In: Jornada de Cultivos de Verano (2006, La Estanzuela). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1-4 (Actividades de Difusión no.472).
10. \_\_\_\_\_.; VÁZQUEZ, D.; CERETTA, S. 2007. Convenio INIA-ANCAP II para la producción de sorgo azucarado. Rendimiento de etanol a partir de jugos de sorgo dulce. Bella Unión, s.e. 19 p.

11. GROTE, W.; ROGERS, P.L. 1985. Ethanol production from sucrose-based raw materials using immobilized cells of *Zymomonas mobilis*. *Biomass*. 8: 169-184.
12. HAWGOOD, N.; EVANS, S.; GREENFIELD, P.F. 1985. Enhanced ethanol production in multiple batch fermentations with an auto-flocculating yeast strain. *Biomass*. 7: 261-278.
13. KOSARIC, N.; VELIKONJA, J. 1995. Liquid and gaseous fuels from biotechnology; challenge and opportunities. *FEMS Microbiology Reviews*. 8(2): 111-142
14. MARTINEZ, M.; ALBANO, S. 2007. Efecto de la siembra, densidad y cultivar sobre la productividad de sorgo dulce. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 47 p.
15. MAZZIOTTO, J. 2005. Agroecología y biocombustibles; herramientas para el desarrollo. Montevideo, Hemisferio Sur. 246 p.
16. NAKAYAMA, F. S.; VAN BAVEL, C.H.M. 1963. Root activity distribution patterns of Sorghum and soil moisture conditions. *Agronomy Journal*. 55: 271-274.
17. SCHAFFERT, R.E. 2008. Potencial do sorgo na producao de etanol no Brasil. (en línea). In: Simpósio Estadual de Agroenergía (2008, Porto Alegre, RS). Tecnología agronómica e industrial para alimentos e energía. Porto Alegre, RS, EMBRAPA. pp. 1-28.  
Consultado jun. 2012. Disponible en <http://www.cpact.embrapa.br/publicaciones/download/libro/agroenergía2008/agroener/palestras/terca-feira/sorgo-na-producao-etanol-brasil.pdf>
18. SIRI-PRIETO, G.; ERNST, O.; INGOLD, J.; MOSQUEIRA, J. 2006. Cultivo de sorgo dulce para la producción de etanol. Proyecto de investigación. Convenio Facultad de Agronomía-Ancap (2005-2006). (en línea). Paysandú, Uruguay, EEMAC. 24 p. Consultado abr. 2012. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/3%20-%20exp%20sgD%20en%20prod%20et>
19. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; HAMILTON, R.; MOSQUEIRA, J. 2007. Cultivo de sorgo dulce para la producción de etanol. Proyecto de investigación. Convenio Facultad de Agronomía-Ancap (2006-2007). (en línea). Paysandú, Uruguay, EEMAC/CRS/BM. 32 p. Consultado abr. 2012. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgibin/wxis.exe?isisscript=BIBNAL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresión=mfn=006328>

20. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; TERZAGHI, L. 2008. Cultivo de sorgo dulce para la producción de etanol. Proyecto de investigación. Convenio Facultad de Agronomía-ALUR (2007-2008). (en línea). Bella Unión, Uruguay, ALUR/FAGRO. 27 p. Consultado abr. 2012. Disponible en [http://www.iica.org.uy/index.php?option=com\\_docman&task](http://www.iica.org.uy/index.php?option=com_docman&task)
21. TEIXEIRA, C.; JARDINE, J.; BEISMAN, D. 1997. Utilizacao do sorgo sacarino como materia prima complementar a cana de açúcar para obtencao de etanol em microdestilaria. (en línea). Food Science and Technology (Campinas). 17(3): 69-86. Consultado abr. 2012. Disponible en [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s010120611997000300011&script=sci\\_ar\\_ttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s010120611997000300011&script=sci_ar_ttext)
22. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; NICOLELLA, G.; HOEPPNER, M. 1999. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. (en línea). Pesquisa Agropecuária Brasileira. 34(9):1601-1606. Consultado abr.2012. Disponible en [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0100-204x1999000900010&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0100-204x1999000900010&script=sci_abstract&tlng=es)
23. TERRA, J.A.; CORREA, J.M. 2006a. Comportamiento productivo de algunos cultivares de sorgo azucarado bajo distintas alternativas de manejo de suelos. (en línea). Melo, Uruguay, UEPP/FAGRO. 7 p. Consultado jun. 2012. Disponible en [http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad\\_461.pdf](http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_461.pdf)
24. \_\_\_\_\_.; ROEL, A.; MACEDO, R.; CORREA, J.M. 2006b. Cultivos de verano; resultados experimentales 2005-2006. (en línea). Montevideo, INIA. 39 p. Consultado jun. 2012. Disponible en [http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad\\_499.pdf](http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_499.pdf)
25. TERZAGHI, L. 2008. Efecto de la época, variedad y arreglo espacial de plantas en sorgo azucarado. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 51 p.
26. VENTRE, E.K.; BAYALL, S.; CATLETT, J.L. 1948. Sucrose, dextrose and levulose content of some domestic varieties of sorghum at different stages of maturity. Journal of Agricultural Research. 76(5-6): 146-151.
27. WOODS, J. 2000. Integrating sweet sorghum and sugarcane for Bioenergy; modeling the potential for electricity and ethanol production in SE Zimbabwe. Ph D Thesis. London, United Kingdom. King's College London. s.p.

28. WOOLEY, R.; RUTH, M.; SHEEHAN, J.; IBSEN, K.; MAJDESKI, H.; GÁLVEZ, A. 1999. Lignocellulosic biomass to ethanol process design and economics utilizing co-current dilute acid prehydrolysis and enzymatic hydrolysis; current and futuristic scenarios. Golden, CO, National Renewable Energy Laboratory. 123 p.

## 9. ANEXOS

### TALLOS/m<sup>2</sup>

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			13.0438	0.1695	42	76.95	<.0001
Var	2			11.6438	0.1695	42	68.69	<.0001
Var	3			11.6625	0.1695	42	68.80	<.0001
Var	4			11.4000	0.1695	42	67.25	<.0001
den		1		10.2125	0.1237	42	82.54	<.0001
den		2		13.6625	0.1237	42	110.43	<.0001
cos			1	11.8688	0.1311	6	90.53	<.0001
cos			2	12.0062	0.1311	6	91.58	<.0001
Var*den	1	1		12.5875	0.2358	42	53.39	<.0001
Var*den	1	2		13.5000	0.2358	42	57.26	<.0001
Var*den	2	1		8.8125	0.2358	42	37.38	<.0001
Var*den	2	2		14.4750	0.2358	42	61.40	<.0001
Var*den	3	1		9.8250	0.2358	42	41.67	<.0001
Var*den	3	2		13.5000	0.2358	42	57.26	<.0001
Var*den	4	1		9.6250	0.2358	42	40.82	<.0001
Var*den	4	2		13.1750	0.2358	42	55.88	<.0001
Var*cos	1		1	13.1125	0.2397	42	54.70	<.0001
Var*cos	1		2	12.9750	0.2397	42	54.13	<.0001
Var*cos	2		1	11.6500	0.2397	42	48.60	<.0001
Var*cos	2		2	11.6375	0.2397	42	48.55	<.0001
Var*cos	3		1	11.2875	0.2397	42	47.09	<.0001
Var*cos	3		2	12.0375	0.2397	42	50.21	<.0001
Var*cos	4		1	11.4250	0.2397	42	47.66	<.0001
Var*cos	4		2	11.3750	0.2397	42	47.45	<.0001
den*cos	1	1		10.1438	0.1750	42	57.97	<.0001
den*cos	1	2		10.2812	0.1750	42	58.76	<.0001
den*cos	2	1		13.5937	0.1750	42	77.69	<.0001
den*cos	2	2		13.7312	0.1750	42	78.48	<.0001
Var*den*cos	1	1	1	12.7750	0.3334	42	38.31	<.0001
Var*den*cos	1	1	2	12.4000	0.3334	42	37.19	<.0001
Var*den*cos	1	2	1	13.4500	0.3334	42	40.34	<.0001
Var*den*cos	1	2	2	13.5500	0.3334	42	40.64	<.0001
Var*den*cos	2	1	1	8.7250	0.3334	42	26.17	<.0001

Var*den*cos	2	1	2	8.9000	0.3334	42	26.69	<.0001
Var*den*cos	2	2	1	14.5750	0.3334	42	43.71	<.0001
Var*den*cos	2	2	2	14.3750	0.3334	42	43.11	<.0001
Var*den*cos	3	1	1	9.4000	0.3334	42	28.19	<.0001
Var*den*cos	3	1	2	10.2500	0.3334	42	30.74	<.0001
Var*den*cos	3	2	1	13.1750	0.3334	42	39.51	<.0001
Var*den*cos	3	2	2	13.8250	0.3334	42	41.46	<.0001
Var*den*cos	4	1	1	9.6750	0.3334	42	29.02	<.0001
Var*den*cos	4	1	2	9.5750	0.3334	42	28.72	<.0001
Var*den*cos	4	2	1	13.1750	0.3334	42	39.51	<.0001
Var*den*cos	4	2	2	13.1750	0.3334	42	39.51	<.0001

## TALLOS/PLANTA

### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			1.3819	0.01775	42	77.85	<.0001
Var	2			1.1488	0.01775	42	64.71	<.0001
Var	3			1.1831	0.01775	42	66.65	<.0001
Var	4			1.1588	0.01775	42	65.28	<.0001
den		1		1.4597	0.01316	42	110.94	<.0001
den		2		0.9766	0.01316	42	74.22	<.0001
cos			1	1.2103	0.01429	6	84.68	<.0001
cos			2	1.2259	0.01429	6	85.78	<.0001
Var*den	1	1		1.7988	0.02448	42	73.49	<.0001
Var*den	1	2		0.9650	0.02448	42	39.43	<.0001
Var*den	2	1		1.2638	0.02448	42	51.63	<.0001
Var*den	2	2		1.0338	0.02448	42	42.23	<.0001
Var*den	3	1		1.4013	0.02448	42	57.25	<.0001
Var*den	3	2		0.9650	0.02448	42	39.43	<.0001
Var*den	4	1		1.3750	0.02448	42	56.18	<.0001
Var*den	4	2		0.9425	0.02448	42	38.51	<.0001
Var*cos	1		1	1.3938	0.02510	42	55.52	<.0001
Var*cos	1		2	1.3700	0.02510	42	54.57	<.0001
Var*cos	2		1	1.1450	0.02510	42	45.61	<.0001
Var*cos	2		2	1.1525	0.02510	42	45.91	<.0001
Var*cos	3		1	1.1400	0.02510	42	45.41	<.0001
Var*cos	3		2	1.2263	0.02510	42	48.85	<.0001
Var*cos	4		1	1.1625	0.02510	42	46.31	<.0001

Var*cos	4	2	1.1550	0.02510	42	46.01	<.0001	
den*cos	1	1	1.4494	0.01861	42	77.89	<.0001	
den*cos	1	2	1.4700	0.01861	42	79.00	<.0001	
den*cos	2	1	0.9713	0.01861	42	52.20	<.0001	
den*cos	2	2	0.9819	0.01861	42	52.77	<.0001	
Var*den*cos	1	1	1.8250	0.03461	42	52.72	<.0001	
Var*den*cos	1	1	2	1.7725	0.03461	42	51.21	<.0001
Var*den*cos	1	2	1	0.9625	0.03461	42	27.81	<.0001
Var*den*cos	1	2	2	0.9675	0.03461	42	27.95	<.0001
Var*den*cos	2	1	1	1.2500	0.03461	42	36.11	<.0001
Var*den*cos	2	1	2	1.2775	0.03461	42	36.91	<.0001
Var*den*cos	2	2	1	1.0400	0.03461	42	30.05	<.0001
Var*den*cos	2	2	2	1.0275	0.03461	42	29.68	<.0001
Var*den*cos	3	1	1	1.3400	0.03461	42	38.71	<.0001
Var*den*cos	3	1	2	1.4625	0.03461	42	42.25	<.0001
Var*den*cos	3	2	1	0.9400	0.03461	42	27.16	<.0001
Var*den*cos	3	2	2	0.9900	0.03461	42	28.60	<.0001
Var*den*cos	4	1	1	1.3825	0.03461	42	39.94	<.0001
Var*den*cos	4	1	2	1.3675	0.03461	42	39.51	<.0001
Var*den*cos	4	2	1	0.9425	0.03461	42	27.23	<.0001
Var*den*cos	4	2	2	0.9425	0.03461	42	27.23	<.0001

## **PESO TALLO LIMPIO**

### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standar Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			458.94	10.5674	42	43.43	<.0001
Var	2			523.69	10.5674	42	49.56	<.0001
Var	3			511.81	10.5674	42	48.43	<.0001
Var	4			486.81	10.5674	42	46.07	<.0001
den		1		555.78	8.0091	42	69.39	<.0001
den		2		434.84	8.0091	42	54.29	<.0001
cos			1	499.69	8.9872	6	55.60	<.0001
cos			2	490.94	8.9872	6	54.63	<.0001
Var*den	1	1		482.00	14.3776	42	33.52	<.0001
Var*den	1	2		435.88	14.3776	42	30.32	<.0001
Var*den	2	1		637.50	14.3776	42	44.34	<.0001
Var*den	2	2		409.88	14.3776	42	28.51	<.0001

Var*den	3	1	578.63	14.3776	42	40.24	<.0001
Var*den	3	2	445.00	14.3776	42	30.95	<.0001
Var*den	4	1	525.00	14.3776	42	36.52	<.0001
Var*den	4	2	448.63	14.3776	42	31.20	<.0001
Var*cos	1	1	465.13	14.9445	42	31.12	<.0001
Var*cos	1	2	452.75	14.9445	42	30.30	<.0001
Var*cos	2	1	543.25	14.9445	42	36.35	<.0001
Var*cos	2	2	504.13	14.9445	42	33.73	<.0001
Var*cos	3	1	514.38	14.9445	42	34.42	<.0001
Var*cos	3	2	509.25	14.9445	42	34.08	<.0001
Var*cos	4	1	476.00	14.9445	42	31.85	<.0001
Var*cos	4	2	497.63	14.9445	42	33.30	<.0001
den*cos		1	566.94	11.3266	42	50.05	<.0001
den*cos		1	544.63	11.3266	42	48.08	<.0001
den*cos		2	432.44	11.3266	42	38.18	<.0001
den*cos		2	437.25	11.3266	42	38.60	<.0001
Var*den*cos	1	1	492.25	20.3330	42	24.21	<.0001
Var*den*cos	1	1	471.75	20.3330	42	23.20	<.0001
Var*den*cos	1	2	438.00	20.3330	42	21.54	<.0001
Var*den*cos	1	2	433.75	20.3330	42	21.33	<.0001
Var*den*cos	2	1	670.75	20.3330	42	32.99	<.0001
Var*den*cos	2	1	604.25	20.3330	42	29.72	<.0001
Var*den*cos	2	2	415.75	20.3330	42	20.45	<.0001
Var*den*cos	2	2	404.00	20.3330	42	19.87	<.0001
Var*den*cos	3	1	577.25	20.3330	42	28.39	<.0001
Var*den*cos	3	1	580.00	20.3330	42	28.53	<.0001
Var*den*cos	3	2	451.50	20.3330	42	22.21	<.0001
Var*den*cos	3	2	438.50	20.3330	42	21.57	<.0001
Var*den*cos	4	1	527.50	20.3330	42	25.94	<.0001
Var*den*cos	4	1	522.50	20.3330	42	25.70	<.0001
Var*den*cos	4	2	424.50	20.3330	42	20.88	<.0001
Var*den*cos	4	2	472.75	20.3330	42	23.25	<.0001

### **PANOJA (kg/há)**

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			6630.56	269.52	42	24.60	<.0001
Var	2			5608.50	269.52	42	20.81	<.0001

Var	3		6092.63	269.52	42	22.61	<.0001
Var	4		6365.19	269.52	42	23.62	<.0001
den		1	5893.97	190.58	42	30.93	<.0001
den		2	6454.47	190.58	42	33.87	<.0001
cos		1	6186.53	190.58	6	32.46	<.0001
cos		2	6161.91	190.58	6	32.33	<.0001
Var*den	1	1	6973.50	381.16	42	18.30	<.0001
Var*den	1	2	6287.63	381.16	42	16.50	<.0001
Var*den	2	1	5131.50	381.16	42	13.46	<.0001
Var*den	2	2	6085.50	381.16	42	15.97	<.0001
Var*den	3	1	5690.75	381.16	42	14.93	<.0001
Var*den	3	2	6494.50	381.16	42	17.04	<.0001
Var*den	4	1	5780.13	381.16	42	15.16	<.0001
Var*den	4	2	6950.25	381.16	42	18.23	<.0001
Var*cos	1	1	7236.75	381.16	42	18.99	<.0001
Var*cos	1	2	6024.38	381.16	42	15.81	<.0001
Var*cos	2	1	5939.88	381.16	42	15.58	<.0001
Var*cos	2	2	5277.13	381.16	42	13.84	<.0001
Var*cos	3	1	6499.13	381.16	42	17.05	<.0001
Var*cos	3	2	5686.13	381.16	42	14.92	<.0001
Var*cos	4	1	5070.38	381.16	42	13.30	<.0001
Var*cos	4	2	7660.00	381.16	42	20.10	<.0001
den*cos		1	5862.25	269.52	42	21.75	<.0001
den*cos		1	5925.69	269.52	42	21.99	<.0001
den*cos		2	6510.81	269.52	42	24.16	<.0001
den*cos		2	6398.13	269.52	42	23.74	<.0001
Var*den*cos	1	1	7706.50	539.04	42	14.30	<.0001
Var*den*cos	1	1	6240.50	539.04	42	11.58	<.0001
Var*den*cos	1	2	6767.00	539.04	42	12.55	<.0001
Var*den*cos	1	2	5808.25	539.04	42	10.78	<.0001
Var*den*cos	2	1	5441.75	539.04	42	10.10	<.0001
Var*den*cos	2	1	4821.25	539.04	42	8.94	<.0001
Var*den*cos	2	2	6438.00	539.04	42	11.94	<.0001
Var*den*cos	2	2	5733.00	539.04	42	10.64	<.0001
Var*den*cos	3	1	5695.50	539.04	42	10.57	<.0001
Var*den*cos	3	1	5686.00	539.04	42	10.55	<.0001
Var*den*cos	3	2	7302.75	539.04	42	13.55	<.0001
Var*den*cos	3	2	5686.25	539.04	42	10.55	<.0001
Var*den*cos	4	1	4605.25	539.04	42	8.54	<.0001
Var*den*cos	4	1	6955.00	539.04	42	12.90	<.0001
Var*den*cos	4	2	5535.50	539.04	42	10.27	<.0001
Var*den*cos	4	2	8365.00	539.04	42	15.52	<.0001

## HOJA (kg/há)

### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			10785	359.58	42	29.99	<.0001
Var	2			10033	359.58	42	27.90	<.0001
Var	3			9962.38	359.58	42	27.71	<.0001
Var	4			9032.06	359.58	42	25.12	<.0001
den		1		9457.34	266.57	42	35.48	<.0001
den		2		10449	266.57	42	39.20	<.0001
cos			1	10872	289.64	6	37.54	<.0001
cos			2	9034.34	289.64	6	31.19	<.0001
Var*den	1	1		10527	495.74	42	21.23	<.0001
Var*den	1	2		11043	495.74	42	22.28	<.0001
Var*den	2	1		8975.75	495.74	42	18.11	<.0001
Var*den	2	2		11090	495.74	42	22.37	<.0001
Var*den	3	1		9774.38	495.74	42	19.72	<.0001
Var*den	3	2		10150	495.74	42	20.48	<.0001
Var*den	4	1		8552.75	495.74	42	17.25	<.0001
Var*den	4	2		9511.38	495.74	42	19.19	<.0001
Var*cos	1		1	12782	508.52	42	25.14	<.0001
Var*cos	1		2	8787.88	508.52	42	17.28	<.0001
Var*cos	2		1	11090	508.52	42	21.81	<.0001
Var*cos	2		2	8975.50	508.52	42	17.65	<.0001
Var*cos	3		1	9445.63	508.52	42	18.57	<.0001
Var*cos	3		2	10479	508.52	42	20.61	<.0001
Var*cos	4		1	10169	508.52	42	20.00	<.0001
Var*cos	4		2	7894.88	508.52	42	15.53	<.0001
den*cos		1	1	10386	376.99	42	27.55	<.0001
den*cos		1	2	8529.19	376.99	42	22.62	<.0001
den*cos		2	1	11358	376.99	42	30.13	<.0001
den*cos		2	2	9539.50	376.99	42	25.30	<.0001
Var*den*cos	1	1	1	12500	701.09	42	17.83	<.0001
Var*den*cos	1	1	2	8553.00	701.09	42	12.20	<.0001
Var*den*cos	1	2	1	13064	701.09	42	18.63	<.0001
Var*den*cos	1	2	2	9022.75	701.09	42	12.87	<.0001
Var*den*cos	2	1	1	9774.75	701.09	42	13.94	<.0001
Var*den*cos	2	1	2	8176.75	701.09	42	11.66	<.0001
Var*den*cos	2	2	1	12406	701.09	42	17.70	<.0001

Var*den*cos	2	2	2	9774.25	701.09	42	13.94	<.0001
Var*den*cos	3	1	1	9680.50	701.09	42	13.81	<.0001
Var*den*cos	3	1	2	9868.25	701.09	42	14.08	<.0001
Var*den*cos	3	2	1	9210.75	701.09	42	13.14	<.0001
Var*den*cos	3	2	2	11090	701.09	42	15.82	<.0001
Var*den*cos	4	1	1	9586.75	701.09	42	13.67	<.0001
Var*den*cos	4	1	2	7518.75	701.09	42	10.72	<.0001
Var*den*cos	4	2	1	10752	701.09	42	15.34	<.0001
Var*den*cos	4	2	2	8271.00	701.09	42	11.80	<.0001

## LARGO TALLO

### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			2.9475	0.03212	42	91.77	<.0001
Var	2			2.7469	0.03212	42	85.52	<.0001
Var	3			2.8031	0.03212	42	87.27	<.0001
Var	4			2.8256	0.03212	42	87.97	<.0001
den		1		2.9200	0.02271	42	128.57	<.0001
den		2		2.7416	0.02271	42	120.71	<.0001
cos			1	2.8194	0.02271	6	124.14	<.0001
cos			2	2.8422	0.02271	6	125.14	<.0001
Var*den	1	1		2.9875	0.04542	42	65.77	<.0001
Var*den	1	2		2.9075	0.04542	42	64.01	<.0001
Var*den	2	1		2.9188	0.04542	42	64.26	<.0001
Var*den	2	2		2.5750	0.04542	42	56.69	<.0001
Var*den	3	1		2.9238	0.04542	42	64.37	<.0001
Var*den	3	2		2.6825	0.04542	42	59.06	<.0001
Var*den	4	1		2.8500	0.04542	42	62.74	<.0001
Var*den	4	2		2.8013	0.04542	42	61.67	<.0001
Var*cos	1		1	2.9538	0.04542	42	65.03	<.0001
Var*cos	1		2	2.9413	0.04542	42	64.75	<.0001
Var*cos	2		1	2.7563	0.04542	42	60.68	<.0001
Var*cos	2		2	2.7375	0.04542	42	60.27	<.0001
Var*cos	3		1	2.7950	0.04542	42	61.53	<.0001
Var*cos	3		2	2.8112	0.04542	42	61.89	<.0001
Var*cos	4		1	2.7725	0.04542	42	61.04	<.0001
Var*cos	4		2	2.8788	0.04542	42	63.38	<.0001
den*cos		1	1	2.9188	0.03212	42	90.87	<.0001

den*cos	1	2	2.9213	0.03212	42	90.95	<.0001
den*cos	2	1	2.7200	0.03212	42	84.69	<.0001
den*cos	2	2	2.7631	0.03212	42	86.03	<.0001
Var*den*cos	1	1	3.0025	0.06424	42	46.74	<.0001
Var*den*cos	1	2	2.9725	0.06424	42	46.27	<.0001
Var*den*cos	1	2	2.9050	0.06424	42	45.22	<.0001
Var*den*cos	1	2	2.9100	0.06424	42	45.30	<.0001
Var*den*cos	2	1	2.9450	0.06424	42	45.85	<.0001
Var*den*cos	2	1	2.8925	0.06424	42	45.03	<.0001
Var*den*cos	2	2	2.5675	0.06424	42	39.97	<.0001
Var*den*cos	2	2	2.5825	0.06424	42	40.20	<.0001
Var*den*cos	3	1	2.8900	0.06424	42	44.99	<.0001
Var*den*cos	3	1	2.9575	0.06424	42	46.04	<.0001
Var*den*cos	3	2	2.7000	0.06424	42	42.03	<.0001
Var*den*cos	3	2	2.6650	0.06424	42	41.49	<.0001
Var*den*cos	4	1	2.8375	0.06424	42	44.17	<.0001
Var*den*cos	4	1	2.8625	0.06424	42	44.56	<.0001
Var*den*cos	4	2	2.7075	0.06424	42	42.15	<.0001
Var*den*cos	4	2	2.8950	0.06424	42	45.07	<.0001

## DIÁMETRO TALLO

### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			1.7000	0.01603	42	106.04	<.0001
Var	2			1.8288	0.01603	42	114.07	<.0001
Var	3			1.7794	0.01603	42	110.99	<.0001
Var	4			1.7263	0.01603	42	107.68	<.0001
den		1		1.8431	0.01172	42	157.29	<.0001
den		2		1.6741	0.01172	42	142.86	<.0001
cos			1	1.7881	0.01245	6	143.66	<.0001
cos			2	1.7291	0.01245	6	138.91	<.0001
Var*den	1	1		1.7513	0.02228	42	78.60	<.0001
Var*den	1	2		1.6488	0.02228	42	74.00	<.0001
Var*den	2	1		1.9638	0.02228	42	88.14	<.0001
Var*den	2	2		1.6937	0.02228	42	76.02	<.0001
Var*den	3	1		1.8763	0.02228	42	84.21	<.0001
Var*den	3	2		1.6825	0.02228	42	75.51	<.0001
Var*den	4	1		1.7812	0.02228	42	79.95	<.0001

Var*den	4	2		1.6713	0.02228	42	75.01	<.0001
Var*cos	1		1	1.7363	0.02267	42	76.58	<.0001
Var*cos	1		2	1.6638	0.02267	42	73.38	<.0001
Var*cos	2		1	1.9025	0.02267	42	83.91	<.0001
Var*cos	2		2	1.7550	0.02267	42	77.41	<.0001
Var*cos	3		1	1.8350	0.02267	42	80.94	<.0001
Var*cos	3		2	1.7238	0.02267	42	76.03	<.0001
Var*cos	4		1	1.6787	0.02267	42	74.04	<.0001
Var*cos	4		2	1.7738	0.02267	42	78.23	<.0001
den*cos		1	1	1.8925	0.01657	42	114.20	<.0001
den*cos		1	2	1.7938	0.01657	42	108.24	<.0001
den*cos		2	1	1.6838	0.01657	42	101.60	<.0001
den*cos		2	2	1.6644	0.01657	42	100.43	<.0001
Var*den*cos	1	1	1	1.7875	0.03151	42	56.73	<.0001
Var*den*cos	1	1	2	1.7150	0.03151	42	54.43	<.0001
Var*den*cos	1	2	1	1.6850	0.03151	42	53.48	<.0001
Var*den*cos	1	2	2	1.6125	0.03151	42	51.18	<.0001
Var*den*cos	2	1	1	2.0525	0.03151	42	65.14	<.0001
Var*den*cos	2	1	2	1.8750	0.03151	42	59.51	<.0001
Var*den*cos	2	2	1	1.7525	0.03151	42	55.62	<.0001
Var*den*cos	2	2	2	1.6350	0.03151	42	51.89	<.0001
Var*den*cos	3	1	1	1.9550	0.03151	42	62.05	<.0001
Var*den*cos	3	1	2	1.7975	0.03151	42	57.05	<.0001
Var*den*cos	3	2	1	1.7150	0.03151	42	54.43	<.0001
Var*den*cos	3	2	2	1.6500	0.03151	42	52.37	<.0001
Var*den*cos	4	1	1	1.7750	0.03151	42	56.33	<.0001
Var*den*cos	4	1	2	1.7875	0.03151	42	56.73	<.0001
Var*den*cos	4	2	1	1.5825	0.03151	42	50.22	<.0001
Var*den*cos	4	2	2	1.7600	0.03151	42	55.86	<.0001

## NUDOS/PLANTA

### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			14.6875	0.1283	42	114.45	<.0001
Var	2			14.6375	0.1283	42	114.06	<.0001
Var	3			14.1688	0.1283	42	110.41	<.0001
Var	4			14.1313	0.1283	42	110.12	<.0001
den		1		14.7406	0.09603	42	153.51	<.0001

den	2		14.0719	0.09603	42	146.54	<.0001
cos		1	14.4719	0.1058	6	136.78	<.0001
cos		2	14.3406	0.1058	6	135.54	<.0001
Var*den	1	1	14.9375	0.1760	42	84.89	<.0001
Var*den	1	2	14.4375	0.1760	42	82.05	<.0001
Var*den	2	1	15.2625	0.1760	42	86.74	<.0001
Var*den	2	2	14.0125	0.1760	42	79.63	<.0001
Var*den	3	1	14.6000	0.1760	42	82.97	<.0001
Var*den	3	2	13.7375	0.1760	42	78.07	<.0001
Var*den	4	1	14.1625	0.1760	42	80.48	<.0001
Var*den	4	2	14.1000	0.1760	42	80.13	<.0001
Var*cos	1	1	14.6750	0.1815	42	80.86	<.0001
Var*cos	1	2	14.7000	0.1815	42	81.00	<.0001
Var*cos	2	1	14.8625	0.1815	42	81.89	<.0001
Var*cos	2	2	14.4125	0.1815	42	79.41	<.0001
Var*cos	3	1	14.4625	0.1815	42	79.69	<.0001
Var*cos	3	2	13.8750	0.1815	42	76.45	<.0001
Var*cos	4	1	13.8875	0.1815	42	76.52	<.0001
Var*cos	4	2	14.3750	0.1815	42	79.21	<.0001
den*cos		1 1	14.8813	0.1358	42	109.58	<.0001
den*cos		1 2	14.6000	0.1358	42	107.51	<.0001
den*cos		2 1	14.0625	0.1358	42	103.55	<.0001
den*cos		2 2	14.0812	0.1358	42	103.69	<.0001
Var*den*cos	1	1 1	14.8750	0.2489	42	59.77	<.0001
Var*den*cos	1	1 2	15.0000	0.2489	42	60.28	<.0001
Var*den*cos	1	2 1	14.4750	0.2489	42	58.17	<.0001
Var*den*cos	1	2 2	14.4000	0.2489	42	57.87	<.0001
Var*den*cos	2	1 1	15.6500	0.2489	42	62.89	<.0001
Var*den*cos	2	1 2	14.8750	0.2489	42	59.77	<.0001
Var*den*cos	2	2 1	14.0750	0.2489	42	56.56	<.0001
Var*den*cos	2	2 2	13.9500	0.2489	42	56.06	<.0001
Var*den*cos	3	1 1	14.7250	0.2489	42	59.17	<.0001
Var*den*cos	3	1 2	14.4750	0.2489	42	58.17	<.0001
Var*den*cos	3	2 1	14.2000	0.2489	42	57.06	<.0001
Var*den*cos	3	2 2	13.2750	0.2489	42	53.35	<.0001
Var*den*cos	4	1 1	14.2750	0.2489	42	57.36	<.0001
Var*den*cos	4	1 2	14.0500	0.2489	42	56.46	<.0001
Var*den*cos	4	2 1	13.5000	0.2489	42	54.25	<.0001
Var*den*cos	4	2 2	14.7000	0.2489	42	59.07	<.0001

## EXTRACCIÓN (%)

### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			75.6938	0.2858	42	264.82	<.0001
Var	2			75.5438	0.2858	42	264.29	<.0001
Var	3			75.7500	0.2858	42	265.01	<.0001
Var	4			75.2750	0.2858	42	263.35	<.0001
den		1		75.5844	0.2472	42	305.81	<.0001
den		2		75.5469	0.2472	42	305.66	<.0001
cos			1	76.6031	0.3187	6	240.37	<.0001
cos			2	74.5281	0.3187	6	233.86	<.0001
Var*den	1	1		75.7000	0.3506	42	215.91	<.0001
Var*den	1	2		75.6875	0.3506	42	215.87	<.0001
Var*den	2	1		75.8375	0.3506	42	216.30	<.0001
Var*den	2	2		75.2500	0.3506	42	214.62	<.0001
Var*den	3	1		75.8000	0.3506	42	216.19	<.0001
Var*den	3	2		75.7000	0.3506	42	215.91	<.0001
Var*den	4	1		75.0000	0.3506	42	213.91	<.0001
Var*den	4	2		75.5500	0.3506	42	215.48	<.0001
Var*cos	1		1	76.9625	0.4042	42	190.39	<.0001
Var*cos	1		2	74.4250	0.4042	42	184.12	<.0001
Var*cos	2		1	76.6125	0.4042	42	189.53	<.0001
Var*cos	2		2	74.4750	0.4042	42	184.24	<.0001
Var*cos	3		1	76.8000	0.4042	42	189.99	<.0001
Var*cos	3		2	74.7000	0.4042	42	184.80	<.0001
Var*cos	4		1	76.0375	0.4042	42	188.10	<.0001
Var*cos	4		2	74.5125	0.4042	42	184.33	<.0001
den*cos		1	1	76.6812	0.3495	42	219.38	<.0001
den*cos		1	2	74.4875	0.3495	42	213.11	<.0001
den*cos		2	1	76.5250	0.3495	42	218.93	<.0001
den*cos		2	2	74.5688	0.3495	42	213.34	<.0001
Var*den*cos	1	1	1	76.8000	0.4958	42	154.89	<.0001
Var*den*cos	1	1	2	74.6000	0.4958	42	150.45	<.0001
Var*den*cos	1	2	1	77.1250	0.4958	42	155.54	<.0001
Var*den*cos	1	2	2	74.2500	0.4958	42	149.75	<.0001
Var*den*cos	2	1	1	76.8000	0.4958	42	154.89	<.0001
Var*den*cos	2	1	2	74.8750	0.4958	42	151.01	<.0001
Var*den*cos	2	2	1	76.4250	0.4958	42	154.13	<.0001
Var*den*cos	2	2	2	74.0750	0.4958	42	149.39	<.0001

Var*den*cos	3	1	1	77.0250	0.4958	42	155.34	<.0001
Var*den*cos	3	1	2	74.5750	0.4958	42	150.40	<.0001
Var*den*cos	3	2	1	76.5750	0.4958	42	154.43	<.0001
Var*den*cos	3	2	2	74.8250	0.4958	42	150.90	<.0001
Var*den*cos	4	1	1	76.1000	0.4958	42	153.48	<.0001
Var*den*cos	4	1	2	73.9000	0.4958	42	149.04	<.0001
Var*den*cos	4	2	1	75.9750	0.4958	42	153.22	<.0001
Var*den*cos	4	2	2	75.1250	0.4958	42	151.51	<.0001

**BRIX (%)**

Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			13.4044	0.2591	42	51.73	<.0001
Var	2			16.4656	0.2591	42	63.55	<.0001
Var	3			15.3400	0.2591	42	59.20	<.0001
Var	4			13.1944	0.2591	42	50.92	<.0001
den		1		14.8513	0.2089	42	71.09	<.0001
den		2		14.3509	0.2089	42	68.70	<.0001
cos			1	14.4256	0.2525	6	57.12	<.0001
cos			2	14.7766	0.2525	6	58.51	<.0001
Var*den	1	1		13.3500	0.3378	42	39.52	<.0001
Var*den	1	2		13.4588	0.3378	42	39.84	<.0001
Var*den	2	1		16.7938	0.3378	42	49.71	<.0001
Var*den	2	2		16.1375	0.3378	42	47.77	<.0001
Var*den	3	1		15.7913	0.3378	42	46.74	<.0001
Var*den	3	2		14.8888	0.3378	42	44.07	<.0001
Var*den	4	1		13.4700	0.3378	42	39.87	<.0001
Var*den	4	2		12.9188	0.3378	42	38.24	<.0001
Var*cos	1		1	12.9338	0.3664	42	35.30	<.0001
Var*cos	1		2	13.8750	0.3664	42	37.87	<.0001
Var*cos	2		1	16.1225	0.3664	42	44.00	<.0001
Var*cos	2		2	16.8088	0.3664	42	45.87	<.0001
Var*cos	3		1	15.0838	0.3664	42	41.16	<.0001
Var*cos	3		2	15.5963	0.3664	42	42.56	<.0001
Var*cos	4		1	13.5625	0.3664	42	37.01	<.0001
Var*cos	4		2	12.8262	0.3664	42	35.00	<.0001
den*cos		1	1	14.4950	0.2954	42	49.07	<.0001
den*cos		1	2	15.2075	0.2954	42	51.48	<.0001

den*cos	2	1	14.3563	0.2954	42	48.60	<.0001	
den*cos	2	2	14.3456	0.2954	42	48.56	<.0001	
Var*den*cos	1	1	13.0575	0.4778	42	27.33	<.0001	
Var*den*cos	1	1	2	13.6425	0.4778	42	28.56	<.0001
Var*den*cos	1	2	1	12.8100	0.4778	42	26.81	<.0001
Var*den*cos	1	2	2	14.1075	0.4778	42	29.53	<.0001
Var*den*cos	2	1	1	16.1750	0.4778	42	33.86	<.0001
Var*den*cos	2	1	2	17.4125	0.4778	42	36.45	<.0001
Var*den*cos	2	2	1	16.0700	0.4778	42	33.64	<.0001
Var*den*cos	2	2	2	16.2050	0.4778	42	33.92	<.0001
Var*den*cos	3	1	1	15.1900	0.4778	42	31.79	<.0001
Var*den*cos	3	1	2	16.3925	0.4778	42	34.31	<.0001
Var*den*cos	3	2	1	14.9775	0.4778	42	31.35	<.0001
Var*den*cos	3	2	2	14.8000	0.4778	42	30.98	<.0001
Var*den*cos	4	1	1	13.5575	0.4778	42	28.38	<.0001
Var*den*cos	4	1	2	13.3825	0.4778	42	28.01	<.0001
Var*den*cos	4	2	1	13.5675	0.4778	42	28.40	<.0001
Var*den*cos	4	2	2	12.2700	0.4778	42	25.68	<.0001

### **BRIX (kg/há)**

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			6054.81	189.84	42	31.90	<.0001
Var	2			7183.44	189.84	42	37.84	<.0001
Var	3			6791.25	189.84	42	35.77	<.0001
Var	4			5413.19	189.84	42	28.52	<.0001
den		1		6296.84	151.75	42	41.49	<.0001
den		2		6424.50	151.75	42	42.34	<.0001
cos			1	6369.09	181.79	6	35.03	<.0001
cos			2	6352.25	181.79	6	34.94	<.0001
Var*den	1	1		6141.00	249.11	42	24.65	<.0001
Var*den	1	2		5968.63	249.11	42	23.96	<.0001
Var*den	2	1		7160.88	249.11	42	28.75	<.0001
Var*den	2	2		7206.00	249.11	42	28.93	<.0001
Var*den	3	1		6797.00	249.11	42	27.29	<.0001
Var*den	3	2		6785.50	249.11	42	27.24	<.0001
Var*den	4	1		5088.50	249.11	42	20.43	<.0001
Var*den	4	2		5737.88	249.11	42	23.03	<.0001

Var*cos	1	1	6050.25	268.47	42	22.54	<.0001
Var*cos	1	2	6059.38	268.47	42	22.57	<.0001
Var*cos	2	1	7365.38	268.47	42	27.43	<.0001
Var*cos	2	2	7001.50	268.47	42	26.08	<.0001
Var*cos	3	1	6554.38	268.47	42	24.41	<.0001
Var*cos	3	2	7028.13	268.47	42	26.18	<.0001
Var*cos	4	1	5506.38	268.47	42	20.51	<.0001
Var*cos	4	2	5320.00	268.47	42	19.82	<.0001
den*cos		1	6280.69	214.61	42	29.27	<.0001
den*cos		1	6313.00	214.61	42	29.42	<.0001
den*cos		2	6457.50	214.61	42	30.09	<.0001
den*cos		2	6391.50	214.61	42	29.78	<.0001
Var*den*cos	1	1	6298.75	352.29	42	17.88	<.0001
Var*den*cos	1	1	5983.25	352.29	42	16.98	<.0001
Var*den*cos	1	2	5801.75	352.29	42	16.47	<.0001
Var*den*cos	1	2	6135.50	352.29	42	17.42	<.0001
Var*den*cos	2	1	7289.00	352.29	42	20.69	<.0001
Var*den*cos	2	1	7032.75	352.29	42	19.96	<.0001
Var*den*cos	2	2	7441.75	352.29	42	21.12	<.0001
Var*den*cos	2	2	6970.25	352.29	42	19.79	<.0001
Var*den*cos	3	1	6286.00	352.29	42	17.84	<.0001
Var*den*cos	3	1	7308.00	352.29	42	20.74	<.0001
Var*den*cos	3	2	6822.75	352.29	42	19.37	<.0001
Var*den*cos	3	2	6748.25	352.29	42	19.16	<.0001
Var*den*cos	4	1	5249.00	352.29	42	14.90	<.0001
Var*den*cos	4	1	4928.00	352.29	42	13.99	<.0001
Var*den*cos	4	2	5763.75	352.29	42	16.36	<.0001
Var*den*cos	4	2	5712.00	352.29	42	16.21	<.0001

### SACAROSA (%)

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			4.3000	0.3789	42	11.35	<.0001
Var	2			6.9563	0.3789	42	18.36	<.0001
Var	3			5.3813	0.3789	42	14.20	<.0001
Var	4			6.0500	0.3789	42	15.97	<.0001
den		1		5.8031	0.3337	42	17.39	<.0001
den		2		5.5406	0.3337	42	16.61	<.0001

cos		1	6.6000	0.4364	6	15.13	<.0001
cos		2	4.7438	0.4364	6	10.87	<.0001
Var*den	1	1	4.2625	0.4562	42	9.34	<.0001
Var*den	1	2	4.3375	0.4562	42	9.51	<.0001
Var*den	2	1	7.2500	0.4562	42	15.89	<.0001
Var*den	2	2	6.6625	0.4562	42	14.60	<.0001
Var*den	3	1	5.5000	0.4562	42	12.06	<.0001
Var*den	3	2	5.2625	0.4562	42	11.54	<.0001
Var*den	4	1	6.2000	0.4562	42	13.59	<.0001
Var*den	4	2	5.9000	0.4562	42	12.93	<.0001
Var*cos	1	1	5.1000	0.5359	42	9.52	<.0001
Var*cos	1	2	3.5000	0.5359	42	6.53	<.0001
Var*cos	2	1	8.1500	0.5359	42	15.21	<.0001
Var*cos	2	2	5.7625	0.5359	42	10.75	<.0001
Var*cos	3	1	6.7125	0.5359	42	12.53	<.0001
Var*cos	3	2	4.0500	0.5359	42	7.56	<.0001
Var*cos	4	1	6.4375	0.5359	42	12.01	<.0001
Var*cos	4	2	5.6625	0.5359	42	10.57	<.0001
den*cos		1	6.5750	0.4719	42	13.93	<.0001
den*cos		1	5.0313	0.4719	42	10.66	<.0001
den*cos		2	6.6250	0.4719	42	14.04	<.0001
den*cos		2	4.4563	0.4719	42	9.44	<.0001
Var*den*cos	1	1	5.0750	0.6452	42	7.87	<.0001
Var*den*cos	1	1	3.4500	0.6452	42	5.35	<.0001
Var*den*cos	1	2	5.1250	0.6452	42	7.94	<.0001
Var*den*cos	1	2	3.5500	0.6452	42	5.50	<.0001
Var*den*cos	2	1	8.2500	0.6452	42	12.79	<.0001
Var*den*cos	2	1	6.2500	0.6452	42	9.69	<.0001
Var*den*cos	2	2	8.0500	0.6452	42	12.48	<.0001
Var*den*cos	2	2	5.2750	0.6452	42	8.18	<.0001
Var*den*cos	3	1	6.8000	0.6452	42	10.54	<.0001
Var*den*cos	3	1	4.2000	0.6452	42	6.51	<.0001
Var*den*cos	3	2	6.6250	0.6452	42	10.27	<.0001
Var*den*cos	3	2	3.9000	0.6452	42	6.05	<.0001
Var*den*cos	4	1	6.1750	0.6452	42	9.57	<.0001
Var*den*cos	4	1	6.2250	0.6452	42	9.65	<.0001
Var*den*cos	4	2	6.7000	0.6452	42	10.39	<.0001
Var*den*cos	4	2	5.1000	0.6452	42	7.91	<.0001

### **SACAROSA (kg/há)**

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			1948.75	181.56	42	10.73	<.0001
Var	2			3063.81	181.56	42	16.88	<.0001
Var	3			2389.19	181.56	42	13.16	<.0001
Var	4			2475.69	181.56	42	13.64	<.0001
den		1		2448.72	162.57	42	15.06	<.0001
den		2		2490.00	162.57	42	15.32	<.0001
cos			1	2908.00	215.23	6	13.51	<.0001
cos			2	2030.72	215.23	6	9.44	<.0001
Var*den	1	1		1976.37	214.55	42	9.21	<.0001
Var*den	1	2		1921.12	214.55	42	8.95	<.0001
Var*den	2	1		3122.25	214.55	42	14.55	<.0001
Var*den	2	2		3005.38	214.55	42	14.01	<.0001
Var*den	3	1		2355.75	214.55	42	10.98	<.0001
Var*den	3	2		2422.63	214.55	42	11.29	<.0001
Var*den	4	1		2340.50	214.55	42	10.91	<.0001
Var*den	4	2		2610.88	214.55	42	12.17	<.0001
Var*cos	1		1	2367.13	256.76	42	9.22	<.0001
Var*cos	1		2	1530.38	256.76	42	5.96	<.0001
Var*cos	2		1	3716.00	256.76	42	14.47	<.0001
Var*cos	2		2	2411.63	256.76	42	9.39	<.0001
Var*cos	3		1	2927.50	256.76	42	11.40	<.0001
Var*cos	3		2	1850.88	256.76	42	7.21	<.0001
Var*cos	4		1	2621.38	256.76	42	10.21	<.0001
Var*cos	4		2	2330.00	256.76	42	9.07	<.0001
den*cos		1	1	2837.69	229.91	42	12.34	<.0001
den*cos		1	2	2059.75	229.91	42	8.96	<.0001
den*cos		2	1	2978.31	229.91	42	12.95	<.0001
den*cos		2	2	2001.69	229.91	42	8.71	<.0001
Var*den*cos	1	1	1	2435.75	303.42	42	8.03	<.0001
Var*den*cos	1	1	2	1517.00	303.42	42	5.00	<.0001
Var*den*cos	1	2	1	2298.50	303.42	42	7.58	<.0001
Var*den*cos	1	2	2	1543.75	303.42	42	5.09	<.0001
Var*den*cos	2	1	1	3701.00	303.42	42	12.20	<.0001
Var*den*cos	2	1	2	2543.50	303.42	42	8.38	<.0001
Var*den*cos	2	2	1	3731.00	303.42	42	12.30	<.0001
Var*den*cos	2	2	2	2279.75	303.42	42	7.51	<.0001
Var*den*cos	3	1	1	2828.25	303.42	42	9.32	<.0001
Var*den*cos	3	1	2	1883.25	303.42	42	6.21	<.0001
Var*den*cos	3	2	1	3026.75	303.42	42	9.98	<.0001

Var*den*cos	3	2	2	1818.50	303.42	42	5.99	<.0001
Var*den*cos	4	1	1	2385.75	303.42	42	7.86	<.0001
Var*den*cos	4	1	2	2295.25	303.42	42	7.56	<.0001
Var*den*cos	4	2	1	2857.00	303.42	42	9.42	<.0001
Var*den*cos	4	2	2	2364.75	303.42	42	7.79	<.0001

### AZÚCARES REDUCTORES (%)

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			7.4137	0.1857	42	39.91	<.0001
Var	2			7.4300	0.1857	42	40.00	<.0001
Var	3			7.8475	0.1857	42	42.25	<.0001
Var	4			5.6744	0.1857	42	30.55	<.0001
den		1		7.1272	0.1640	42	43.45	<.0001
den		2		7.0556	0.1640	42	43.01	<.0001
cos			1	6.4372	0.2150	6	29.94	<.0001
cos			2	7.7456	0.2150	6	36.02	<.0001
Var*den	1	1		7.4250	0.2229	42	33.31	<.0001
Var*den	1	2		7.4025	0.2229	42	33.21	<.0001
Var*den	2	1		7.3212	0.2229	42	32.85	<.0001
Var*den	2	2		7.5387	0.2229	42	33.82	<.0001
Var*den	3	1		8.0050	0.2229	42	35.91	<.0001
Var*den	3	2		7.6900	0.2229	42	34.50	<.0001
Var*den	4	1		5.7575	0.2229	42	25.83	<.0001
Var*den	4	2		5.5912	0.2229	42	25.08	<.0001
Var*cos	1		1	6.6425	0.2627	42	25.29	<.0001
Var*cos	1		2	8.1850	0.2627	42	31.16	<.0001
Var*cos	2		1	6.4775	0.2627	42	24.66	<.0001
Var*cos	2		2	8.3825	0.2627	42	31.91	<.0001
Var*cos	3		1	6.8988	0.2627	42	26.26	<.0001
Var*cos	3		2	8.7962	0.2627	42	33.49	<.0001
Var*cos	4		1	5.7300	0.2627	42	21.81	<.0001
Var*cos	4		2	5.6187	0.2627	42	21.39	<.0001
den*cos		1	1	6.5131	0.2320	42	28.07	<.0001
den*cos		1	2	7.7412	0.2320	42	33.37	<.0001
den*cos		2	1	6.3613	0.2320	42	27.42	<.0001
den*cos		2	2	7.7500	0.2320	42	33.41	<.0001
Var*den*cos	1	1	1	6.8000	0.3152	42	21.57	<.0001

Var*den*cos	1	1	2	8.0500	0.3152	42	25.54	<.0001
Var*den*cos	1	2	1	6.4850	0.3152	42	20.57	<.0001
Var*den*cos	1	2	2	8.3200	0.3152	42	26.39	<.0001
Var*den*cos	2	1	1	6.3675	0.3152	42	20.20	<.0001
Var*den*cos	2	1	2	8.2750	0.3152	42	26.25	<.0001
Var*den*cos	2	2	1	6.5875	0.3152	42	20.90	<.0001
Var*den*cos	2	2	2	8.4900	0.3152	42	26.93	<.0001
Var*den*cos	3	1	1	6.9300	0.3152	42	21.98	<.0001
Var*den*cos	3	1	2	9.0800	0.3152	42	28.81	<.0001
Var*den*cos	3	2	1	6.8675	0.3152	42	21.79	<.0001
Var*den*cos	3	2	2	8.5125	0.3152	42	27.00	<.0001
Var*den*cos	4	1	1	5.9550	0.3152	42	18.89	<.0001
Var*den*cos	4	1	2	5.5600	0.3152	42	17.64	<.0001
Var*den*cos	4	2	1	5.5050	0.3152	42	17.46	<.0001
Var*den*cos	4	2	2	5.6775	0.3152	42	18.01	<.0001

### AZÚCARES REDUCTORES (kg/há)

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			3349.06	94.1634	42	35.57	<.0001
Var	2			3226.81	94.1634	42	34.27	<.0001
Var	3			3464.75	94.1634	42	36.80	<.0001
Var	4			2331.38	94.1634	42	24.76	<.0001
den		1		3034.06	73.5471	42	41.25	<.0001
den		2		3151.94	73.5471	42	42.86	<.0001
cos			1	2850.53	85.7951	6	33.22	<.0001
cos			2	3335.47	85.7951	6	38.88	<.0001
Var*den	1	1		3412.50	125.63	42	27.16	<.0001
Var*den	1	2		3285.63	125.63	42	26.15	<.0001
Var*den	2	1		3105.00	125.63	42	24.72	<.0001
Var*den	2	2		3348.63	125.63	42	26.66	<.0001
Var*den	3	1		3442.38	125.63	42	27.40	<.0001
Var*den	3	2		3487.13	125.63	42	27.76	<.0001
Var*den	4	1		2176.38	125.63	42	17.32	<.0001
Var*den	4	2		2486.38	125.63	42	19.79	<.0001
Var*cos	1		1	3127.75	133.17	42	23.49	<.0001
Var*cos	1		2	3570.38	133.17	42	26.81	<.0001
Var*cos	2		1	2962.63	133.17	42	22.25	<.0001

Var*cos	2	2	3491.00	133.17	42	26.22	<.0001
Var*cos	3	1	2993.25	133.17	42	22.48	<.0001
Var*cos	3	2	3936.25	133.17	42	29.56	<.0001
Var*cos	4	1	2318.50	133.17	42	17.41	<.0001
Var*cos	4	2	2344.25	133.17	42	17.60	<.0001
den*cos		1	2834.63	104.01	42	27.25	<.0001
den*cos		1	3233.50	104.01	42	31.09	<.0001
den*cos		2	2866.44	104.01	42	27.56	<.0001
den*cos		2	3437.44	104.01	42	33.05	<.0001
Var*den*cos	1	1	3303.25	177.66	42	18.59	<.0001
Var*den*cos	1	1	3521.75	177.66	42	19.82	<.0001
Var*den*cos	1	2	2952.25	177.66	42	16.62	<.0001
Var*den*cos	1	2	3619.00	177.66	42	20.37	<.0001
Var*den*cos	2	1	2874.75	177.66	42	16.18	<.0001
Var*den*cos	2	1	3335.25	177.66	42	18.77	<.0001
Var*den*cos	2	2	3050.50	177.66	42	17.17	<.0001
Var*den*cos	2	2	3646.75	177.66	42	20.53	<.0001
Var*den*cos	3	1	2851.75	177.66	42	16.05	<.0001
Var*den*cos	3	1	4033.00	177.66	42	22.70	<.0001
Var*den*cos	3	2	3134.75	177.66	42	17.64	<.0001
Var*den*cos	3	2	3839.50	177.66	42	21.61	<.0001
Var*den*cos	4	1	2308.75	177.66	42	13.00	<.0001
Var*den*cos	4	1	2044.00	177.66	42	11.50	<.0001
Var*den*cos	4	2	2328.25	177.66	42	13.10	<.0001
Var*den*cos	4	2	2644.50	177.66	42	14.89	<.0001

## ART (%)

### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			11.9362	0.2623	42	45.50	<.0001
Var	2			14.7356	0.2623	42	56.17	<.0001
Var	3			13.4988	0.2623	42	51.46	<.0001
Var	4			12.2025	0.2623	42	46.51	<.0001
den		1		13.2653	0.2167	42	61.23	<.0001
den		2		12.9212	0.2167	42	59.64	<.0001
cos			1	13.4591	0.2683	6	50.16	<.0001
cos			2	12.7275	0.2683	6	47.43	<.0001
Var*den		1	1	11.9187	0.3355	42	35.52	<.0001

Var*den	1	2	11.9537	0.3355	42	35.63	<.0001
Var*den	2	1	14.9337	0.3355	42	44.51	<.0001
Var*den	2	2	14.5375	0.3355	42	43.33	<.0001
Var*den	3	1	13.7725	0.3355	42	41.05	<.0001
Var*den	3	2	13.2250	0.3355	42	39.42	<.0001
Var*den	4	1	12.4363	0.3355	42	37.06	<.0001
Var*den	4	2	11.9687	0.3355	42	35.67	<.0001
Var*cos	1	1	12.0050	0.3710	42	32.36	<.0001
Var*cos	1	2	11.8675	0.3710	42	31.99	<.0001
Var*cos	2	1	15.0212	0.3710	42	40.49	<.0001
Var*cos	2	2	14.4500	0.3710	42	38.95	<.0001
Var*cos	3	1	13.9500	0.3710	42	37.60	<.0001
Var*cos	3	2	13.0475	0.3710	42	35.17	<.0001
Var*cos	4	1	12.8600	0.3710	42	34.66	<.0001
Var*cos	4	2	11.5450	0.3710	42	31.12	<.0001
den*cos		1	13.5025	0.3064	42	44.07	<.0001
den*cos		1	13.0281	0.3064	42	42.52	<.0001
den*cos		2	13.4156	0.3064	42	43.78	<.0001
den*cos		2	12.4269	0.3064	42	40.56	<.0001
Var*den*cos	1	1	12.1500	0.4745	42	25.61	<.0001
Var*den*cos	1	1	11.6875	0.4745	42	24.63	<.0001
Var*den*cos	1	2	11.8600	0.4745	42	24.99	<.0001
Var*den*cos	1	2	12.0475	0.4745	42	25.39	<.0001
Var*den*cos	2	1	15.0025	0.4745	42	31.62	<.0001
Var*den*cos	2	1	14.8650	0.4745	42	31.33	<.0001
Var*den*cos	2	2	15.0400	0.4745	42	31.70	<.0001
Var*den*cos	2	2	14.0350	0.4745	42	29.58	<.0001
Var*den*cos	3	1	14.0600	0.4745	42	29.63	<.0001
Var*den*cos	3	1	13.4850	0.4745	42	28.42	<.0001
Var*den*cos	3	2	13.8400	0.4745	42	29.17	<.0001
Var*den*cos	3	2	12.6100	0.4745	42	26.57	<.0001
Var*den*cos	4	1	12.7975	0.4745	42	26.97	<.0001
Var*den*cos	4	1	12.0750	0.4745	42	25.45	<.0001
Var*den*cos	4	2	12.9225	0.4745	42	27.23	<.0001
Var*den*cos	4	2	11.0150	0.4745	42	23.21	<.0001

### ART (kg/há)

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
--------	-----	-----	-----	-------------------	-------	----	---------	---------

Var	1		5396.25	180.07	42	29.97	<.0001
Var	2		6443.88	180.07	42	35.79	<.0001
Var	3		5973.63	180.07	42	33.17	<.0001
Var	4		5004.88	180.07	42	27.79	<.0001
den		1	5622.09	148.67	42	37.82	<.0001
den		2	5787.22	148.67	42	38.93	<.0001
cos		1	5941.66	184.07	6	32.28	<.0001
cos		2	5467.66	184.07	6	29.71	<.0001
Var*den	1	1	5488.13	230.38	42	23.82	<.0001
Var*den	1	2	5304.38	230.38	42	23.02	<.0001
Var*den	2	1	6383.25	230.38	42	27.71	<.0001
Var*den	2	2	6504.50	230.38	42	28.23	<.0001
Var*den	3	1	5915.75	230.38	42	25.68	<.0001
Var*den	3	2	6031.50	230.38	42	26.18	<.0001
Var*den	4	1	4701.25	230.38	42	20.41	<.0001
Var*den	4	2	5308.50	230.38	42	23.04	<.0001
Var*cos	1	1	5614.25	254.66	42	22.05	<.0001
Var*cos	1	2	5178.25	254.66	42	20.33	<.0001
Var*cos	2	1	6863.63	254.66	42	26.95	<.0001
Var*cos	2	2	6024.13	254.66	42	23.66	<.0001
Var*cos	3	1	6067.50	254.66	42	23.83	<.0001
Var*cos	3	2	5879.75	254.66	42	23.09	<.0001
Var*cos	4	1	5221.25	254.66	42	20.50	<.0001
Var*cos	4	2	4788.50	254.66	42	18.80	<.0001
den*cos		1	5848.56	210.25	42	27.82	<.0001
den*cos		1	5395.63	210.25	42	25.66	<.0001
den*cos		2	6034.75	210.25	42	28.70	<.0001
den*cos		2	5539.69	210.25	42	26.35	<.0001
Var*den*cos	1	1	5861.00	325.80	42	17.99	<.0001
Var*den*cos	1	1	5115.25	325.80	42	15.70	<.0001
Var*den*cos	1	2	5367.50	325.80	42	16.47	<.0001
Var*den*cos	1	2	5241.25	325.80	42	16.09	<.0001
Var*den*cos	2	1	6759.00	325.80	42	20.75	<.0001
Var*den*cos	2	1	6007.50	325.80	42	18.44	<.0001
Var*den*cos	2	2	6968.25	325.80	42	21.39	<.0001
Var*den*cos	2	2	6040.75	325.80	42	18.54	<.0001
Var*den*cos	3	1	5822.00	325.80	42	17.87	<.0001
Var*den*cos	3	1	6009.50	325.80	42	18.45	<.0001
Var*den*cos	3	2	6313.00	325.80	42	19.38	<.0001
Var*den*cos	3	2	5750.00	325.80	42	17.65	<.0001
Var*den*cos	4	1	4952.25	325.80	42	15.20	<.0001
Var*den*cos	4	1	4450.25	325.80	42	13.66	<.0001

Var*den*cos	4	2	1	5490.25	325.80	42	16.85	<.0001
Var*den*cos	4	2	2	5126.75	325.80	42	15.74	<.0001

### ETANOL (litros/há)

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			3320.81	110.82	42	29.97	<.0001
Var	2			3965.69	110.82	42	35.79	<.0001
Var	3			3676.25	110.82	42	33.17	<.0001
Var	4			3080.13	110.82	42	27.79	<.0001
den		1		3459.84	91.4880	42	37.82	<.0001
den		2		3561.59	91.4880	42	38.93	<.0001
cos			1	3656.53	113.27	6	32.28	<.0001
cos			2	3364.91	113.27	6	29.71	<.0001
Var*den	1	1		3377.25	141.78	42	23.82	<.0001
Var*den	1	2		3264.38	141.78	42	23.02	<.0001
Var*den	2	1		3928.25	141.78	42	27.71	<.0001
Var*den	2	2		4003.13	141.78	42	28.23	<.0001
Var*den	3	1		3640.63	141.78	42	25.68	<.0001
Var*den	3	2		3711.88	141.78	42	26.18	<.0001
Var*den	4	1		2893.25	141.78	42	20.41	<.0001
Var*den	4	2		3267.00	141.78	42	23.04	<.0001
Var*cos	1		1	3454.88	156.72	42	22.04	<.0001
Var*cos	1		2	3186.75	156.72	42	20.33	<.0001
Var*cos	2		1	4224.00	156.72	42	26.95	<.0001
Var*cos	2		2	3707.38	156.72	42	23.66	<.0001
Var*cos	3		1	3734.00	156.72	42	23.83	<.0001
Var*cos	3		2	3618.50	156.72	42	23.09	<.0001
Var*cos	4		1	3213.25	156.72	42	20.50	<.0001
Var*cos	4		2	2947.00	156.72	42	18.80	<.0001
den*cos		1	1	3599.13	129.38	42	27.82	<.0001
den*cos		1	2	3320.56	129.38	42	25.66	<.0001
den*cos		2	1	3713.94	129.38	42	28.70	<.0001
den*cos		2	2	3409.25	129.38	42	26.35	<.0001
Var*den*cos	1	1	1	3606.50	200.51	42	17.99	<.0001
Var*den*cos	1	1	2	3148.00	200.51	42	15.70	<.0001
Var*den*cos	1	2	1	3303.25	200.51	42	16.47	<.0001
Var*den*cos	1	2	2	3225.50	200.51	42	16.09	<.0001
Var*den*cos	2	1	1	4159.50	200.51	42	20.74	<.0001

Var*den*cos	2	1	2	3697.00	200.51	42	18.44	<.0001
Var*den*cos	2	2	1	4288.50	200.51	42	21.39	<.0001
Var*den*cos	2	2	2	3717.75	200.51	42	18.54	<.0001
Var*den*cos	3	1	1	3582.75	200.51	42	17.87	<.0001
Var*den*cos	3	1	2	3698.50	200.51	42	18.45	<.0001
Var*den*cos	3	2	1	3885.25	200.51	42	19.38	<.0001
Var*den*cos	3	2	2	3538.50	200.51	42	17.65	<.0001
Var*den*cos	4	1	1	3047.75	200.51	42	15.20	<.0001
Var*den*cos	4	1	2	2738.75	200.51	42	13.66	<.0001
Var*den*cos	4	2	1	3378.75	200.51	42	16.85	<.0001
Var*den*cos	4	2	2	3155.25	200.51	42	15.74	<.0001

### **FIBRA (%)**

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			13.6119	0.1780	42	76.47	<.0001
Var	2			13.0363	0.1780	42	73.24	<.0001
Var	3			13.3456	0.1780	42	74.98	<.0001
Var	4			13.8731	0.1780	42	77.94	<.0001
den		1		13.4756	0.1545	42	87.24	<.0001
den		2		13.4578	0.1545	42	87.13	<.0001
cos			1	12.8022	0.1997	6	64.10	<.0001
cos			2	14.1313	0.1997	6	70.75	<.0001
Var*den	1	1		13.6588	0.2176	42	62.78	<.0001
Var*den	1	2		13.5650	0.2176	42	62.35	<.0001
Var*den	2	1		12.8875	0.2176	42	59.24	<.0001
Var*den	2	2		13.1850	0.2176	42	60.61	<.0001
Var*den	3	1		13.3750	0.2176	42	61.48	<.0001
Var*den	3	2		13.3163	0.2176	42	61.21	<.0001
Var*den	4	1		13.9813	0.2176	42	64.27	<.0001
Var*den	4	2		13.7650	0.2176	42	63.27	<.0001
Var*cos	1		1	12.8950	0.2517	42	51.23	<.0001
Var*cos	1		2	14.3288	0.2517	42	56.92	<.0001
Var*cos	2		1	12.3463	0.2517	42	49.05	<.0001
Var*cos	2		2	13.7263	0.2517	42	54.53	<.0001
Var*cos	3		1	12.6263	0.2517	42	50.16	<.0001
Var*cos	3		2	14.0650	0.2517	42	55.87	<.0001
Var*cos	4		1	13.3413	0.2517	42	53.00	<.0001

Var*cos	4	2	14.4050	0.2517	42	57.23	<.0001
den*cos	1	1	12.8569	0.2184	42	58.86	<.0001
den*cos	1	2	14.0944	0.2184	42	64.52	<.0001
den*cos	2	1	12.7475	0.2184	42	58.36	<.0001
den*cos	2	2	14.1681	0.2184	42	64.86	<.0001
Var*den*cos	1	1	13.0275	0.3077	42	42.34	<.0001
Var*den*cos	1	2	14.2900	0.3077	42	46.45	<.0001
Var*den*cos	1	2	12.7625	0.3077	42	41.48	<.0001
Var*den*cos	1	2	14.3675	0.3077	42	46.70	<.0001
Var*den*cos	2	1	12.2775	0.3077	42	39.91	<.0001
Var*den*cos	2	1	13.4975	0.3077	42	43.87	<.0001
Var*den*cos	2	2	12.4150	0.3077	42	40.35	<.0001
Var*den*cos	2	2	13.9550	0.3077	42	45.36	<.0001
Var*den*cos	3	1	12.7200	0.3077	42	41.34	<.0001
Var*den*cos	3	1	14.0300	0.3077	42	45.60	<.0001
Var*den*cos	3	2	12.5325	0.3077	42	40.73	<.0001
Var*den*cos	3	2	14.1000	0.3077	42	45.83	<.0001
Var*den*cos	4	1	13.4025	0.3077	42	43.56	<.0001
Var*den*cos	4	1	14.5600	0.3077	42	47.32	<.0001
Var*den*cos	4	2	13.2800	0.3077	42	43.16	<.0001
Var*den*cos	4	2	14.2500	0.3077	42	46.32	<.0001

### FIBRA (kg/há)

#### Least Squares Means

Effect	Var	den	cos	Standard Estimate	Error	DF	t Value	Pr >  t
Var	1			8115.88	151.62	42	53.53	<.0001
Var	2			7524.25	151.62	42	49.63	<.0001
Var	3			7786.00	151.62	42	51.35	<.0001
Var	4			7583.75	151.62	42	50.02	<.0001
den		1		7539.56	109.14	42	69.08	<.0001
den		2		7965.38	109.14	42	72.98	<.0001
cos			1	7361.75	112.91	6	65.20	<.0001
cos			2	8143.19	112.91	6	72.12	<.0001
Var*den	1	1		8272.88	212.46	42	38.94	<.0001
Var*den	1	2		7958.88	212.46	42	37.46	<.0001
Var*den	2	1		7241.13	212.46	42	34.08	<.0001
Var*den	2	2		7807.38	212.46	42	36.75	<.0001

Var*den	3	1	7589.63	212.46	42	35.72	<.0001
Var*den	3	2	7982.38	212.46	42	37.57	<.0001
Var*den	4	1	7054.63	212.46	42	33.20	<.0001
Var*den	4	2	8112.88	212.46	42	38.19	<.0001
Var*cos	1	1	7838.00	214.42	42	36.55	<.0001
Var*cos	1	2	8393.75	214.42	42	39.15	<.0001
Var*cos	2	1	7355.88	214.42	42	34.31	<.0001
Var*cos	2	2	7692.63	214.42	42	35.88	<.0001
Var*cos	3	1	7144.00	214.42	42	33.32	<.0001
Var*cos	3	2	8428.00	214.42	42	39.31	<.0001
Var*cos	4	1	7109.13	214.42	42	33.16	<.0001
Var*cos	4	2	8058.38	214.42	42	37.58	<.0001
den*cos		1	7259.44	154.35	42	47.03	<.0001
den*cos		1	7819.69	154.35	42	50.66	<.0001
den*cos		2	7464.06	154.35	42	48.36	<.0001
den*cos		2	8466.69	154.35	42	54.85	<.0001
Var*den*cos	1	1	8182.25	300.47	42	27.23	<.0001
Var*den*cos	1	1	8363.50	300.47	42	27.84	<.0001
Var*den*cos	1	2	7493.75	300.47	42	24.94	<.0001
Var*den*cos	1	2	8424.00	300.47	42	28.04	<.0001
Var*den*cos	2	1	7194.00	300.47	42	23.94	<.0001
Var*den*cos	2	1	7288.25	300.47	42	24.26	<.0001
Var*den*cos	2	2	7517.75	300.47	42	25.02	<.0001
Var*den*cos	2	2	8097.00	300.47	42	26.95	<.0001
Var*den*cos	3	1	6834.50	300.47	42	22.75	<.0001
Var*den*cos	3	1	8344.75	300.47	42	27.77	<.0001
Var*den*cos	3	2	7453.50	300.47	42	24.81	<.0001
Var*den*cos	3	2	8511.25	300.47	42	28.33	<.0001
Var*den*cos	4	1	6827.00	300.47	42	22.72	<.0001
Var*den*cos	4	1	7282.25	300.47	42	24.24	<.0001
Var*den*cos	4	2	7391.25	300.47	42	24.60	<.0001
Var*den*cos	4	2	8834.50	300.47	42	29.40	<.0001