

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

EFFECTO DE LA ÉPOCA DE SIEMBRA, DENSIDAD Y CULTIVAR SOBRE LA
PRODUCTIVIDAD DE SORGO DULCE

por

Manuel MARTINEZ HAEDO FABRUCCINI
Sergio ALBANO MACHADO

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2007

Tesis aprobada por:

Director: _____
Guillermo Siri-Prieto

Oswaldo Ernst

Jorge Mazziotto

Fecha: _____

Autor: _____
Manuel Martínez Haedo

Sergio Albano

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, Sergio Albano y Beatriz Machado que me apoyaron a lo largo de toda la carrera e hicieron que esto fuera posible.

Sergio

Agradezco a mis padres Alberto y Cristina que siempre me apoyaron a lo largo de toda la carrera y me brindaron todos los medios para poder lograr este título que sin ellos seguramente no hubiera sido posible. A mi novia Patricia que siempre me aguantó mis malhumores en algún periodo de exámenes o cuando algo de la tesis se complicaba un poco. Por último quiero agradecer a todos mis amigos, a los de toda la vida de Paysandú y a los que fui conociendo a lo largo de la carrera, a ellos por haber contribuido a hacer de esta etapa de estudiante universitario algo inolvidable y seguramente una de las mejores de mi vida.

Manuel

Por último queremos agradecer a quienes de una forma u otra colaboraron con esta tesis. Primero que nada al sorghum bicolor que se prestó para ser examinado, a Guillermo Siri-Prieto que fue nuestro director de tesis, Al Ing. Agr. Alberto Martínez Haedo que nos brindó materiales y transporte a lo largo de todo el trabajo de campo. A Cristina Fabruccini que siempre nos esperaba a medio día con algo rico y recién hecho para almorzar. A Juanchi, funcionario de la facultad que siempre estaba para darnos una mano en lo que precisáramos durante el trabajo de campo. A Matilde Nahuar que más de un día en pleno enero nos acompañó a contar plantitas para cebarnos mate y hacernos el aguante. A Hugo Duran, un amigo que trajimos engañado en semana santa diciéndole que se pasaba bien y no hicimos trabajar como nunca en su vida y por último a la EEMAC que nos proporcionó el lugar físico en donde realizar este trabajo.

Sergio y Manuel

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1. <u>SORGO, CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ESPECIE</u>	3
2.1.1. <u>Ubicación botánica del sorgo</u>	3
2.1.2. <u>Distribución</u>	4
2.1.3. <u>Adaptación</u>	4
2.1.4. <u>Características morfológicas del cultivo</u>	4
2.1.4.1. Características vegetativas.....	5
2.1.4.2. Identificación de los estados de crecimiento del sorgo.....	7
2.1.4.3. Potencial de rendimiento.....	11
2.1.4.4 Rendimiento de la planta individual.....	11
2.2. <u>APTITUD CLIMÁTICA DEL URUGUAY PARA EL CULTIVO DE SORGO</u>	12
2.2.1. <u>Temperatura</u>	12
2.2.2. <u>Radiación</u>	13
2.2.3. <u>Agua</u>	13
2.3. <u>INFORMACIÓN GENERAL SOBRE SORGO DULCE</u>	14
2.3.1. <u>Sequedad y dulzor del tallo</u>	14
2.3.2. <u>Azúcares en el tallo y las hojas</u>	14
2.3.2.1. Diferencias dentro de variedades.....	14
2.3.2.2. Variaciones en el azúcar durante el desarrollo.....	15
2.3.2.3. Azúcares en el grano de sorgo.....	15
2.3.3. <u>Variedades de sorgo dulce</u>	16
2.3.3.1. Características aprovechables para la elaboración de jugo.....	16
2.4. <u>INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE SORGO DULCE</u>	16
2.5. <u>INFORMACIÓN GENERAL SOBRE ETANOL</u>	18
2.5.1 <u>Los biocombustibles y el mundo</u>	18
2.5.2. <u>Oxigenantes para la gasolina</u>	19
2.5.3. <u>Producción de etanol como alcohol carburante</u>	19
2.5.4. <u>Producción de EtOH a partir de la sacarosa</u>	21
2.5.4.1. Procesos de separación.....	22
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	24
3.1. <u>LABORES CULTURALES</u>	24

3.1.1 <u>Preparación de la siembra</u>	24
3.1.2. <u>Fertilización</u>	24
3.1.3. <u>Control de malezas</u>	24
3.1.4. <u>Raleo</u>	25
3.1.5. <u>Cosecha</u>	25
3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	25
3.2.1. <u>Objetivo</u>	25
3.2.2. <u>Hipótesis biológicas</u>	25
3.2.3. <u>Hipótesis estadísticas</u>	25
3.2.4. <u>Diseño experimental</u>	26
3.2.4.1. <u>Tratamientos</u>	26
3.2.4.2. <u>Modelo estadístico</u>	26
3.2.4.3. <u>Supuestos</u>	26
3.2.4.4. <u>Variables</u>	27
3.3. <u>MEDIDAS REALIZADAS Y TOMA DE MUESTRAS</u>	27
3.3.1 <u>Al cultivo</u>	27
3.4. <u>ANÁLISIS DE LABORATORIO</u>	27
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	28
4.1. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA</u>	28
4.2. <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	29
4.3. <u>DENSIDAD DE PLANTAS</u>	30
4.4. <u>ÉPOCA DE SIEMBRA</u>	33
4.5. <u>VARIEDADES</u>	39
4.6. <u>INTERACCIÓN VARIEDAD/ÉPOCA</u>	40
4.7. <u>CALIDAD DE JUGO</u>	43
5. <u>CONCLUSIONES</u>	46
6. <u>RESUMEN</u>	48
7. <u>SUMMARY</u>	49
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	50
9. <u>ANEXOS</u>	55

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Estadios de crecimiento del sorgo.....	8
2. Producción mundial de alcohol etílico (2004).....	19
3. Productividad en la obtención de etanol para varias configuraciones.....	22
4. Variables medidas.....	27
5. Registros de lluvia para el ejercicio Jun 05/Jul 06.....	28
6. Análisis de varianza para las diferentes variables estudiadas en el ensayo de sorgo dulce de la EEMAC, 2006.....	29
7. Fechas y días a siembra implantación floración y cosecha según época de siembra y variedad.....	33
8. Precipitaciones y déficit hídrico según época de siembra.....	35
9. Precipitaciones mensuales según fecha de siembra.....	36
10. Promedio de temperaturas medidas de siembra a implantación, próximo a floración, de emergencia a floración y de floración a cosecha según época de siembra.....	36
11. Largo de entrenudos y relación altura/diámetro según fecha de siembra.....	38
12. Relación Caña/hoja y número de nudos por época de siembra.....	39
13. Relación tallos/planta, peso individual de tallos y altura por variedad.....	40
14. Número de nudos, Kg. hoja BS, relación Kg. caña BS/Kg. de hoja BS, largo de entrenudos y relación altura (cm.)/diámetro (mm.) por variedad.....	40
15. Porcentaje de extracción para cada época según variedad.....	41
16. Relación Altura/diámetro por época según variedades.....	42
17. Porcentaje de sólidos solubles totales y porcentaje de sacarosa según variedades.....	44
18. Porcentaje de POL según época.....	45
19. Kg de sólidos solubles totales/ha. y kg de sacarosa/ha según densidad.....	45

Figura No.

1. Heliofanía promedio mensual.....	28
2. Temperaturas promedio mensual.....	28
3. Toneladas de tallo/ha en BF, toneladas de jugo/ha en BF y porcentaje de extracción según densidad de siembra.....	30
4. Numero de plantas/m2, numero de tallos/m2 y relación tallos/planta según densidad de siembra.....	31
5. Relación altura/diámetro (y1), largo de entrenudos (y1) y altura de cañas (y2) según densidad de siembra.....	32
6. Kg de tallo, KG de hoja y Kg de panoja según densidad de siembra.....	33
7. TT. de tallo BF (y1), TT. de jugo BF (y1) y % de extracción (y2) promediado por densidad, según época de siembra.....	34
8. Peso por tallo (g) BS promediado por densidad, según época de siembra.....	34
9. Numero de nudos, diámetro de cañas y altura de tallos según época de siembra.....	37
10. TT. MS/Ha de tallo, hoja y panoja según época de siembra.....	38
11. N° tallos/ha(y1) y peso/tallo(y2) por época y variedad.....	41
12. Altura de tallos y diámetro de tallos por variedad dentro de cada época.....	42
13. Relación MS caña/MS hoja según variedad/época de siembra.....	43
14. Kg de sólidos solubles totales/ha. y kg de sacarosa/ha, según época de siembra.....	44

1. INTRODUCCION

Históricamente nuestro país ha presentado una alta dependencia a los combustibles derivados del petróleo. Estos se han caracterizado por precios altos con tendencias al alza, aumentando dramáticamente su incidencia en los costos de producción. El constante aumento en el uso de los mismos esta ocasionando perjuicios ecológicos cada vez mayores. Si bien no es posible pensar en una sustitución radical de los derivados del petróleo, disponemos de los recursos naturales para la producción de bioenergía y con ello reducir estos efectos.

En los últimos tiempos, la incertidumbre que genera la dependencia directa que cualquier país pueda tener con respecto al suministro continuo de petróleo y su escalada reciente en los precios es que ha comenzado nuevamente el interés en la investigación y producción de etanol a partir de diferentes materias primas. Según la información, se señala que agregar un 10 por ciento de etanol al combustible reduciría hasta en un 30% las emisiones de monóxido de carbono y entre 6-10% las de dióxido de carbono (Smith y Buxton 1993, Gnansounou et al. 2005).

Para Uruguay que no es productor de petróleo debe ser una prioridad absoluta producir biocombustible y obtener una energía más económica y limpia. Es por eso que el sorgo dulce, debido a su rápida tasa de crecimiento (120-180 días), un valor de producción de energía muy alto y una gran adaptabilidad, ha sido frecuentemente sugerido como una excelente fuente de producción de etanol (Smith et al. 1987, Smith y Buxton 1993). El sorgo podría entrar en rotaciones de cultivos y pasturas, permitiendo una explotación más racional del suelo y equilibrando los sistemas de producción de energía y alimentos, diversificando las opciones productivas.

El sorgo presenta características generales las cuales llevan a 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. El sorgo es además un cultivo que aparte del empleo de los azúcares fermentables para etanol, presenta una importante producción de granos, despunte de hojas y bagazo (residuo post extracción de los azúcares) cuyo destino puede ser energía para el proceso de fabricación de etanol, fabricación de raciones, etc. (Woods, 2000).

Si bien existe mucha información de prácticas de manejo para el sorgo dulce, estas fueron realizadas con variedades con un potencial de rendimiento limitado (Cassou et al. 1983, Smith y Buxton 1993, Gnansounou et al. 2005). Hoy en día, con la aparición de tecnologías de producción más avanzadas (manejo de suelos, fertilización, etc.) y de variedades modernas que son más productivas, se hizo necesario determinar la mejor combinación posible entre varias medidas de manejo.

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de épocas de siembra, densidades de siembra y variedades en la producción de etanol con sorgo azucarado en el noroeste del Uruguay.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

Entre los cultivos que se manejan para la producción de biocombustibles, el sorgo azucarado (*Sorghum bicolor* L. Moench) debido a su rusticidad aparece como el más promisorio para adaptarse a las condiciones ambientales, edáficas y socio-económicas de nuestro país. La preferencia del sorgo respecto a otros cultivos energéticos está basada en sus menores requerimientos de agua y N para producir biomasa, en su tolerancia a condiciones de stress hídrico y en su uso potencial alternativo como forraje en sistemas de producción animal (Geng et al. 1989, Mastroilli 1999). Por ejemplo, comparado con la caña de azúcar, el sorgo azucarado requiere 1/3 menos de agua y N por kg. de biomasa aérea producida. El sorgo es reconocido además como uno de los cultivos de mayor eficiencia de uso de la radiación interceptada (3.6 g de MS/MJ de la radiación fotosintética activa absorbida) (Woods, 2001).

No existe otra planta que sintetice tan rápido la sacarosa como el sorgo azucarado y es por este motivo que ha sido objeto de investigación durante muchos años. El sorgo sacarígeno presenta la característica de poder obtener alcohol etílico a partir de la fermentación de sus jugos el cual se puede utilizar como fuente primaria sustitutiva de energía. El alcohol ha sido considerado como posible combustible para motores de combustión interna a lo largo de toda la historia. En muchos países como Brasil, Irlanda, Francia, Alemania, Reino Unido, ya se han realizado pruebas utilizando mezclas de alcohol y gasolina en diferentes proporciones. Además de ser usado como carburante, del etanol se pueden obtener diversos derivados tales como Acetona, Acetaldehído, Ácido Acético y etileno, de los cuales se pueden derivar una gran variedad de productos tales como el nylon, neofrene, nitroglicerina, polietileno.

Se podría considerar al sorgo azucarado como un posible sustituto de la caña de azúcar. Los jugos extraídos de los tallos de sorgo azucarado representan aproximadamente el 50% de su peso y son ricos en monosacáridos y disacáridos (glucosa, fructuosa y sacarosa) fácilmente fermentables para la obtención de alcohol etílico. La calidad del jugo extraído de los tallos se mide por el total de sólidos disueltos en el jugo (BRIX) y por la composición de esos sólidos, particularmente el contenido de sacarosa (POL) y de otros sólidos fermentables (Woods, 2001).

2.1. SORGO, CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ESPECIE

2.1.1 Ubicación botánica del sorgo

Familia	Subfamilia	Tribu	Genero
Gramineae	Panicoideae	Andropogoneae	Sorghum

2.1.2 Distribución

El sorgo es originario del cuadrante noreste de África donde se encuentra la mayor variabilidad de especies silvestres y cultivadas hoy en día probablemente fue domesticada en Etiopía por medio de selección de sorgos silvestres entre 5000 y 6000 años atrás. De este centro de origen fue distribuida hacia toda África. Posteriormente hacia el medio oriente y desde este hacia India hace 3000 años. El sorgo fue introducido en América por medio de los esclavos venidos de oeste africano. A fin del siglo XIX fue reintroducido como cultivar comercial. Hoy en día se encuentra ampliamente distribuido en las zonas más áridas de África hacia las Americas. Se producen entre 40 y 45 millones de tt/año en un área de 40 millones de has. lo cual hace al sorgo el 5° cereal más importante del mundo.

2.1.3 Adaptación

El sorgo está adaptado a un amplio rango de condiciones ambientales pero especialmente a condiciones áridas. Tiene un amplio número de características morfológicas y fisiológicas que contribuyen a esta adaptación, dentro de las cuales se incluyen un extenso sistema radicular, cubierta de cera en las hojas que reducen las pérdidas de agua, tiene la capacidad de detener su crecimiento en períodos de estrés hídrico y retomarlo cuando las condiciones vuelven a ser favorables. También es tolerante a excesos hídricos adaptándose a climas lluviosos. Sin embargo es un cultivo fundamentalmente adaptado a condiciones tropicales semiáridas con precipitaciones de 400 a 600 mm.

También puede ser cultivado en un amplio rango de suelos. Se adapta muy bien a los vertisoles pesado que se encuentran en los trópicos lugar el cual su resistencia a los déficit hídricos es especialmente requerida, pero también se adapta a suelos arenosos. Tolera rangos de ph entre 5 y 8.5. es mucho mas tolerante a la salinidad que el maíz. Es un cultivo adaptado a suelos pobres y puede producir grano donde muchos otros cultivos no lo lograrían.

2.1.4 Características morfológicas del cultivo

El sorgo es una gramínea vigorosa con altura 0.5-5m. Ciclo de vida anual (puede comportarse como perenne en los trópicos). Puede producir 1 o más macollos los cuales inicialmente emergen de la base del tallo y posteriormente de los nudos basales. El sistema radicular consiste de raíces adventicias fibrosas que emergen de los primeros nudos del tallo los cuales se encuentran por debajo en inmediatamente por encima del nivel del suelo. Las raíces son de aproximadamente 0.9 m de profundidad y se extienden 1.5 m lateralmente. El número de hojas puede variar entre 7 y 24 dependiendo del cultivar. Hojas alternas. El largo de vainas va desde 15 a 35 cm y envuelven el tallo. El

largo de las láminas va desde 30 a 135 cm. y de 1.5 a 3 cm. de ancho. La flor es una panoja erecta, esta presenta un tallo central y puede tener ramificaciones primarias secundarias y en algunos casos terciarias.

2.1.4.1 Características vegetativas

Macollaje

El sorgo es una gramínea típica que presenta una gran variación en cuanto a su capacidad de macollar a influencia de factores genéticos o ambientales. El número de macollos que se desarrollan a partir de las 8 a 10 yemas basales depende de la variedad por un lado y de la población, humedad, fertilidad del suelo, fotoperíodo y vigor de la plántula por otro, como principales factores ambientales. En algunos casos, el macollaje constituye un mecanismo de perennidad a través de la producción de macollos tardíos en el ciclo que surgen de la base de la planta y sobreviven hasta la estación venidera. Esto último no sucede en nuestras condiciones porque la ocurrencia de heladas impide la sobrevivencia, en forma vegetativa. En zonas tropicales con dos épocas lluviosas es posible obtener dos cosechas de la misma planta simplemente cortando el rastrojo. En algunos casos incluso, en ciertas zonas de África, el cultivo proveniente del rebrote rinde más que el original.

Altura

La altura de la planta puede presentar una gran variación habiendo variedades con 45cm. hasta algunas de 4m. o más. La altura es función directa del número de nudos, los que a su vez llevan al número final de hojas. El número de nudos producidos, es por su parte, función del tiempo de crecimiento. El largo de entrenudos y del pedúnculo, así como el largo de la panoja contribuyen también a la altura final de la planta y cada uno de ellos se encuentra regulado por mecanismos genéticos independientes (Doggett, 1970).

Tallo

El tallo es de crecimiento erecto, pudiendo ser secos o jugosos e insípidos o dulces. En las variedades para grano, el tallo es sólido e insípido. En las variedades forrajeras puede ser dulce y con un importante contenido de azúcares en los sorgos azucarados. En cada nudo existen yemas que pueden llegar a desarrollarse o no. Las yemas próximas al suelo desarrollan raíces que ayudan al anclaje de la planta. Las basales desarrollan macollos mientras que las ubicadas en la parte superior de la planta tienen la capacidad de desarrollar ramas, este es un mecanismo de sobrevivencia puesto que constituye una respuesta común a un daño producido al tallo.

La ramificación puede ser un carácter indeseable, dado que constituyen “centros de consumo” laterales que pueden competir con la panoja principal y no generar ningún beneficio, ya que estas difícilmente completan el llenado de grano y además dificulta la cosecha, ya que presentan un atraso importante en sus estados de desarrollo en relación al tallo principal.

Pedúnculo

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, ya que determina la separación que existe entre la panoja y la masa verde de la planta. Poca separación entre la panoja y la masa verde puede generar problemas a la hora de la cosecha. Un aspecto importante en el desarrollo de la panoja es el sanitario, ya que si la panoja queda envuelta, aún parcialmente por la vaina de la hoja bandera, se crea un microclima propicio para el ataque de hongos e insectos.

Hoja

El número de hojas varía con el cultivar. Las hojas jóvenes se mantienen erectas en tanto la mayoría de las viejas se curvan. La forma de la hoja es lanceolada o linear-lanceolada. Normalmente predomina esta última forma y la parte más ancha de la hoja se encuentra en la parte media del largo. Los estomas se encuentran en ambas caras de la hoja en hileras simples o dobles. El largo de estos es $2/3$ de los de maíz en tanto que hay un 50% más por unidad de área.

El área de la hoja ocupada por poros es igual tanto en sorgo como en maíz. El comportamiento estomático del sorgo es responsable de su rusticidad con respecto al déficit hídrico, ya que aún bajo condiciones de cebero stress los estomas permanecen abiertos aunque sea levemente durante el día.

Las hojas también presentan líneas de células motoras, que arrollan la hoja en condiciones de stress hídrico.

El arreglo de las hojas es en forma opuesta, situándose la hoja bandera en una orientación independiente y determinada por la orientación azimutal de la hileras (Lugg et al., 1981).

Este tipo de arreglo de las hojas en un plano, da a la planta una proyección rectangular si la observamos de arriba, lo que constituye un carácter de adaptación a las condiciones en las que conviven una gran cantidad de individuos en una superficie dada y en que las planta se arregla en hileras con una escasa distancia entre ellas. La luz recibida por el cultivo es así aprovechada por un mayor número de hojas al ser la

competencia entre pares por este factor de menor intensidad relativa, debido a la baja superposición de hojas.

Raíces

La única raíz temporal en sorgo es la seminal. El resto del sistema radicular fibroso se desarrolla a partir de los nudos inferiores del tallo. Nakayama y Van Bavel (1963) determinaron que el 90% de la actividad radicular se desarrolla en un radio de 40cm. de la hilera y a una profundidad de 90cm., no habiendo absorción de agua y de nutrientes fuera de estos límites. El sistema radicular del sorgo, no se destaca tanto por la cantidad en peso de raíces sino por la profundidad y ramificación en comparación con el maíz por ejemplo (Millar, 1916). De esta forma, la exploración del suelo es intensa siendo de las especies de mayor superficie radicular por medida de volumen de suelo. Dicha característica da al sorgo la ventaja comparativa frente a las demás especies de poder explorar inmensamente el suelo, lo que le hace más resistente al estrés hídrico y a su vez le permite una alta eficiencia en la utilización de nutrientes.

2.1.4.2 Identificación de los estados de crecimiento en sorgo.

Los estados de crecimiento y desarrollo se describen solo en términos generales y si bien los híbridos sembrados en diferentes lugares pueden presentar un patrón de crecimiento similar, los intervalos de tiempo entre un estado y otro, así como el número final de hojas pueden presentar variaciones de acuerdo al híbrido, localidad y condiciones ambientales de un año en particular.

Cuadro N° 1. Estadios de crecimiento del sorgo

Estado de crecimiento	N° de días a partir de emergencia	Características distintivas
0	0	Emergencia: coleoptile visible en la superficie del suelo
1	10	3 hojas: cuello visible de la 3ra hoja
2	20	5 hojas: cuello visible de la 5ta hoja
3	30	Diferenciación del punto de crecimiento: Estado 8 hojas según criterio anterior
4	40	Hoja bandera visible: En el cogollo
5	50	Embuche: Panoja ubicada en la vaina de la hoja bandera
6	60	Floración: Mitad de plantas en alguna etapa de floración
7	70	Masa blanda
8	85	Masa dura
9	95	Madurez fisiológica: Máxima acumulación de materia seca

Estadio 0 (emergencia)

Se da cuando el colioptile atraviesa la capa de suelo que media entre la superficie y la semilla. El tiempo requerido para ello depende de la temperatura del suelo, humedad, profundidad de siembra y vigor de la semilla.

Durante esta etapa el crecimiento de la plántula depende del suministro que realiza el tejido de reserva de la semilla. El frío o la humedad en exceso en esta etapa pueden favorecer el ataque de hongos del suelo.

Estadio 1 (3 Hojas)

Se dice que la planta alcanza este estadio cuando el cuello de la 3er hoja se encuentra perfectamente visible. A esta altura el punto de crecimiento se encuentra aún debajo de la superficie del suelo. Aunque la tasa de crecimiento depende mucho de la temperatura, este estadio ocurre normalmente alrededor de 10 días posterior a la emergencia.

Estadio 2 (5 Hojas)

Tiene lugar aproximadamente tres semanas después de la emergencia de la planta. En este momento el sistema radicular se desarrolla rápidamente y las raíces producidas en los nudos inferiores pueden separar la hoja basal de la planta. Esto normalmente no crea dificultad en identificar el estadio de 5 hojas por que la hoja basal tiene punta redondeada y la segunda hoja es afilada. La planta entra en su gran estadio de crecimiento en el estadio 2 la materia seca se acumula casi a tasa constante hasta la madurez, si las condiciones de crecimiento son satisfactorias.

Estadio 3 (diferenciación del ápice de crecimiento)

Alrededor de 30 días después de la emergencia del sorgo se produce la diferenciación de su ápice de crecimiento, de vegetativo a reproductivo.

El numero de hojas queda definido, y pronto quedara definido el potencial de rendimiento por el tamaño final de la panoja. Aproximadamente un tercio del área foliar ya está totalmente desarrollada (de 7 a 10 hojas dependiendo del ciclo del híbrido) y hasta 3 de las hojas inferiores pueden haberse perdido. Luego de la diferenciación del ápice, el crecimiento del tallo se incrementa rápidamente, generalmente es aproximadamente un tercio del periodo siembra-madurez fisiológica (máximo peso seco)

Estadio 4 (Hoja bandera visible)

Inmediatamente después de la diferenciación del ápice, la elongación activa del tallo y el desarrollo activo de las hojas se dan simultáneamente hasta que la hoja bandera se encuentra visible en el cogollo, Para entonces todas las hojas excepto las ultimas 3 o 4, están totalmente extendidas y se tiene aproximadamente en 80% del área foliar total. La intercepción de luz se aproxima al máximo y el crecimiento y la absorción de nutrientes continua 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 debe realizarse desde la punta contando a la hoja bandera como hoja 1. Mientras que solamente alrededor de un quinto del crecimiento total ha ocurrido, la acumulación de nutrientes es mucho mayor con más del 40% del potasio ya absorbido.

Estadio 5 (Embuche)

En este estadio todas las hojas se encuentran desarrolladas, consiguiendo así el máximo de área foliar como la máxima intercepción de luz. En este estadio, la panoja casi alcanza su tamaño final y se encuentra cubierta por la vaina de la hoja bandera. A excepción del pedúnculo, cuya elongación comienza y determina durante su crecimiento la excreción de la panoja (distancia entre la base de la panoja y el cuello de la hoja

bandera), el tallo se encuentra completamente alargado. En este punto se ha determinado el tamaño potencial de la panoja.

Estadio 6 (Floración)

A partir del estadio 5 el pedúnculo por su crecimiento en longitud levanta la panoja desde la vaina de la hoja bandera. El estado de floración se define cuando al menos la mitad de las plantas se encuentra en alguna etapa de floración. Sin embargo dado que la floración en una panoja individual comienza en la parte superior y desciende a la base en un periodo de entre 4 y 9 días, cuando se trata de definir la floración en una planta individual, el momento considerado es cuando la floración ha llegado al centro de la panoja.

En este estado, aproximadamente un 50% de la materia seca se ha acumulado, en tanto que para el consumo de nutrientes, se ha tomado un 70, 60 y 80% para nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente. El tiempo requerido para la floración dependerá del ciclo del híbrido, así como de las condiciones ambientales, sin embargo, normalmente los dos tercios del tiempo entre siembra y madurez fisiológica.

Estadio 7 (Masa blanda)

Entre la floración y esta etapa, los granos se llenan rápidamente. En este período acumulan cerca de la mitad de la materia seca total. El peso del tallo se eleva muy suavemente durante la floración y baja cuando el llenado del grano comienza su periodo lineal. La translocación que se produce da cuenta de un 10% del total de la materia seca del grano. Por otra parte las hojas basales se siguen secando y en esta etapa la planta puede contar con entre 8 y 12 hojas.

Estadio 8 (Masa dura)

A esta altura cerca de las tres cuartas partes de la materia seca del grano ya ha sido acumulada. El tallo ha llegado a su peso mínimo y el consumo de nutrientes prácticamente se detiene. A su vez continua el secado de las hojas inferiores.

Estadio 9 (Madurez fisiológica)

En este momento la planta tiene su máximo peso seco. El tiempo entre la floración y la madurez fisiológica es variable de acuerdo al híbrido y las condiciones ambientales, sin embargo representa alrededor de un tercio del ciclo total. El híbrido y las condiciones ambientales también hacen variar el porcentaje de humedad del grano en madurez fisiológica. Su valor normal está entre 25 y 35%. Luego de alcanzar esta etapa las hojas funcionales que quedan pueden permanecer verdes o morir rápidamente. Si las condiciones de humedad y temperatura son favorables, a partir de los nudos del tallo

pueden crecer ramificaciones. El tallo puede experimentar un leve aumento de peso en esta etapa.

2.1.4.3 Potencial de rendimiento

El sorgo presenta características fotosintéticas particulares que hay que tener en cuenta para analizar el potencial de rendimiento. Estas surgen de su condición de planta con metabolismo C₄, que resumimos en forma simple:

- Alto punto de saturación en luz por fotosíntesis.
- Fotosíntesis máxima con temperatura elevada.
- Alta eficiencia en el uso del agua.
- Alta eficiencia en el uso del nitrógeno.
- Bajo punto de compensación por CO₂.
- Alto punto de compensación por luz.

En todos los casos, las características son expresadas en relación a las equivalentes en plantas C₃ (arroz, algodón, cereales de invierno, oleaginosos).

2.1.4.4 Rendimiento de la planta individual

En este ítem nos enfocamos solamente en el macollaje ya que es lo que va a determinar el número de tallos a cosechar y el peso de los mismos.

Macollaje

El macollaje es un proceso con respuesta positiva a las bajas temperaturas, a la elevación de la disponibilidad de nitrógeno, luz y agua y resulta variable para diferentes genotipos.

La dominancia apical es el proceso que determina la existencia en mayor o menor grado de macollos 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, por ejemplo actuará a través de su reconocida influencia sobre la producción apical de auxinas, del mismo modo la densidad de siembra, disminuirá la incidencia de luz en hojas basales y con ello la exportación de hormonas tipo citoquinina desde la raíz hacia la parte aérea. La abundancia de nitrógeno provocará un efecto similar a través de su influencia en la síntesis y exportación de hormonas de origen radicular. El conocimiento de la dominancia apical permite predecir en la práctica, las respuestas que las plantas tendrán en macollaje frente a cualquier forma de manejo no contemplada aquí.

La respuesta en macollaje a diferentes factores ocurre si estos actúan dentro de determinado período receptivo que iría desde que la planta tiene menos de una hoja

totalmente expandida a 6 hojas totalmente expandidas. Antes de este período no existen macollos por inmadurez de las yemas y luego no existe por dominancia apical. En este sentido en número de tallos que tendrá el cultivo quedará definido después de transcurrido el estadio de 6 hojas.

La temperatura es uno de los factores que afecta el macollaje de la planta individual y cuya expresión es independiente de otros factores ambientales o de manejo. Cuanto mayor es la temperatura en los primeros 30 días del cultivo menor es el macollaje. El umbral crítico de temperatura para el macollaje estaría alrededor de los 18 °C. Esto implica que, cuando por época de siembra o por región ecológica, la temperatura que ocurre en la etapa crítica supera este umbral, no se podrá contar con este componente del rendimiento.

2.2 APTITUD CLIMÁTICA DEL URUGUAY PARA EL CULTIVO DE SORGO

La primera aproximación de regionalización fue realizada por Corsi (1983). La misma parte de que el cultivo tiene requerimientos similares a los de maíz pero es menos sensible a diferentes niveles de disponibilidad térmica. Considerando la temperatura base de crecimiento de 15°C, no es posible realizar este cultivo con menos de 600 °C en la estación de crecimiento. No existen limitantes en este sentido en el país.

En cuanto a los requerimientos hídricos, el cultivo tolera deficiencia de hasta 200mm en la estación de crecimiento debido a las características de la planta; en cambio es afectado por excesos mayores a los 100mm en la maduración. Para Corsi todo el país tendría aptitud preferencial en cuanto a requerimientos hídricos. Posteriormente, Carrasco (1982) profundizó el análisis con el objetivo de identificar diferencias entre regiones en temperatura, radiación, agua y disponibilidad de nutrientes, que posibilita la expresión del máximo potencial de producción del cultivo.

2.2.1 Temperatura

En relación a la temperatura el mismo demuestra que, si bien nuestro país es pequeño, el rango de temperaturas predominantes en verano, se encuentra dentro de la zona de máxima respuesta biológica.

Para los cultivares de sorgo azucarado, se cree que necesitan en promedio un periodo libre de heladas de por lo menos 140 días. La temperatura mínima para la germinación es de 10 grados Celsius (óptima de 18 – 21° C). La temperatura mínima para el crecimiento de la planta es de 15,5°C. (Óptima (28 – 29°C) mientras que el rango óptimo para la floración se encuentra entre 17 – 24°C (Cassou et al., 1983)

2.2.2 Radiación

La importancia de la radiación es sorgo radica en dos aspectos. En primer lugar por su condición de especie C4 y por otra parte el rendimiento en grano depende en última instancia de la fotosíntesis durante el llenado de grano. 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, cabe esperar una diferencia de 15% de rendimiento potencial entre el oeste y el este.

Cowley y Smith (1969) concluyen que los rendimientos en tallo y azúcar son afectados por la longitud del día y la radiación solar. Por otro lado Hipp B.W. 1970 determino que la radiación solar recibida durante el periodo de bota a grano lechoso es responsable en un 75% en la variación en los rendimientos y el mismo coincide con los meses de máxima radiación solar (junio, julio, agosto) en el hemisferio norte.

2.2.3 Agua

El sorgo aparece como una planta tolerante al déficit hídrico lo cual se atribuye a:

- Un sistema radicular más eficiente, debido a que provee el doble de raíces con relación al tamaño de la parte aérea y a una mayor concentración osmótica en sus raíces, corona y tallos con respecto por ejemplo, al maíz. Además su sistema radicular presenta un alto grado de ramificaciones (Miller, 1916).

- El sistema aéreo presenta una serie de características que reducen la pérdida de agua, como recubrimiento de tallos y hojas por una capa de cera, mayor cutinización de la epidermis, un alto número de estomas, de menor tamaño y con una menor sensibilidad ante la fluctuación del balance hídrico de la planta. A su vez, las hojas presentan células motoras en su nervadura que le permiten a estas enrollarse bajo condiciones adversas.

- La planta de sorgo presenta una gran capacidad de reacción frente a condiciones desfavorables de humedad en el suelo, pudiendo permanecer en estado latente durante cierto tiempo y reanudar el crecimiento cuando las condiciones vuelven a ser favorables.

Aunque el cultivo tiene una gran tolerancia a la sequía tiene una gran respuesta a condiciones de riego o de buena disponibilidad de agua.

El sorgo puede ser sembrado en zonas con precipitaciones tan bajas como 400mm. Sin embargo, no solo la precipitación total es importante, ya que la distribución de la misma en la estación de crecimiento puede influenciar en los potenciales de producción. Una de las formas de explicar esto es teniendo en cuenta el consumo de agua del cultivo en sus distintas etapas de desarrollo. En relación a esto se ha observado que alrededor de la floración es cuando se da el máximo consumo diario de agua. Sin embargo algunos

autores coinciden en que es el embuche el periodo de máximo consumo (Herron et al. 1963, Muisick et al. 1963).

Para variedades de sorgo dulce el periodo crítico en cuanto a requerimientos de agua va desde la emergencia a la floración. Se debe asegurar un adecuado suministro de agua en la germinación y crecimiento temprano (Cassou et al., 1983).

Una disponibilidad de agua suficiente durante el periodo de crecimiento es también importante para un buen rendimiento en tallos y jugo. Lira (1977) afirma que el sorgo azucarado puede ser cultivado en localidades donde la precipitación alcanza apenas los 300 mm.

2.3 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE SORGO DULCE

2.3.1 Sequedad y dulzor del tallo

Los tallos y nervaduras centrales de las hojas del sorgo son secos o jugosos, dulces o no dulces, existiendo gradaciones intermedias para ambas características. Ambas son controladas por dos loci de genes distintos y evidentemente no están interrelacionados. Una variedad que posee el alelo D dominante tiene un tallo seco y meduloso y hojas con nervaduras centrales blancas y secas. Las variedades que tienen el alelo d recesivo tienen tallos jugosos y hojas con nervaduras centrales jugosas, verde-grisáceas u opacas (Swanson y Parker, 1931). Una planta medulosa tendrá una nervadura central completamente blanca y una planta jugosa puede tener solo una línea blanca muy fina. Existen grados entre ambos extremos. No se sabe con seguridad si estas gradaciones se deben a alelos múltiples en el locus D o a modificadores entre otros locis.

En las variedades de tallo meduloso se pudo extraer un 17 a 20 % de jugo y en las de tallo jugoso un 33 a 48 %.

Se ha informado que solo un locus, el X, controla la dulzura del tallo y que es dominante el insípido sobre el dulce (Ayyangar et al., 1936). Para hacer jarabe se usan tallos de variedades que son a la vez dulces y jugosos.

2.3.2 Azúcares en el tallo y hojas

La glucosa y la fructosa son monosacáridos y azúcares reductores predominantes en el tallo y las hojas. La sacarosa, azúcar no reductor es el principal disacárido.

2.3.2.1 Diferencias dentro de variedades

La cantidad y composición de los jugos y azúcares del tallo maduro, cambian según la variedad o el híbrido. Los forrajes de sorgos dulces pueden contener 21% de azúcar

total sobre la base de peso seco, mientras que en los forrajes de sorgo granífero varía entre 5 y 6%. Estudios exhaustivos realizados sobre la composición de jugos del sorgo de tallos de variedades destinadas a la obtención de jarabe de azúcar, han mostrado información detallada acerca del contenido de azúcar en estas plantas (Ventre et al. 1948, Webs-Ter et al., 1954). La sacarosa, principal azúcar del jugo del tallo de planta madura, oscila entre 6 y 15% y en la mayoría de las variedades es del 13%. La glucosa varía 0.5 y 5% y la fructosa de 0 a 1.5%.

2.3.2.2 Variaciones en el azúcar durante el desarrollo

El contenido de los distintos azúcares varía al madurar la planta. El aumento en azúcar total entre la etapa de grano pastoso y la de madurez es casi el doble que entre las etapas de grano lechoso a pastoso. En la planta muy joven (40-45 días), la mayor concentración es de azúcares reductores (Webster et al., 1948). Ventre et al. (1948) compararon los contenidos de azúcar del jugo del tallo en tres etapas de desarrollo. En la primera, las concentraciones de fructosa eran altas y en ciertas variedades superaban a las de glucosa. En la mayoría de los sorgos azucarados el nivel de sacarosa en tallo aumentaba hasta la madurez (Webster, 1963).

Las distintas partes del tallo difieren en su contenido de azúcar; la central es la más rica. Ventre et al. (1948) observaron que las partes inferiores del tallo contienen más glucosa que sacarosa. El contenido de azúcar y la succulencia del tallo disminuyen al aumentar la densidad vegetal (Eilrich et al., 1964). El azúcar de las hojas disminuye cuando se deposita almidón en el grano (Eilrich et al., 1964). Asimismo el contenido de azúcar de las hojas de los sorgos dulces, varía durante el día, alcanzando su máximo en la tarde y gradualmente disminuye hasta el amanecer siguiente (Millar, 1924).

2.3.2.3 Azúcares en el grano de sorgo

Los azúcares que provienen de las partes verdes de la planta son los precursores del almidón en el grano. Kersting et al. (1961) determinaron que el contenido de azúcar aumentó hasta los 12 días después de la polinización, y constituyó el 10% del grano. Luego descendió al 1% a los 20 días. Sin embargo la cantidad de azúcar en grano se mantuvo bastante constante (0,25 mg) hasta la maduración. Paralelamente el contenido de almidón del grano se elevó con rapidez después de 5 días hasta superar el 60%. Después de 35 días, el almidón y el azúcar descendieron ligeramente, indicación de que la actividad fisiológica continúa después de la maduración.

2.3.3 Variedades de sorgo dulce

2.3.3.1 Características aprovechables para la elaboración de jugo.

Las variedades de sorgo azucarado utilizadas para la manufactura de jarabe deben presentar las siguientes características: 1) capacidad de producir altos rendimientos por hectárea de tallos medianos y grandes; 2) crecimiento erguido y fuerte, que no permita su fácil vuelco durante las tormentas; 3) elevado % de jugo para extraer; 4) este debe poseer excelentes propiedades como para producir un jugo de buena calidad; 5) resistencia a las enfermedades; 6) período de crecimiento relativamente corto; 7) tolerancia a la sequía y al exceso de agua; 8) resistencia a los daños causados por insecticidas y herbicidas; 9) semillas que germinen bien y produzcan plántulas vigorosas; 10) adaptación a varias condiciones de clima y suelo.

Las variedades de maduración tardía por lo general tienen un mayor rendimiento de talos/ha que las tempranas. Es necesario un alto rendimiento de estas últimas para la producción de jugo. En buenas condiciones de crecimiento las plantas deberían producir de 2 a 4 macollos que desarrollarían tallos de gran diámetro. Las variedades que no dan buenos macollos por lo general producen bajos rendimientos de tallos en los cultivos comerciales, porque no pueden aprovechar los pequeños espacios que quedan en las hileras. Los tallos de diámetro menor tienen mayor tendencia al vuelco y se requiere un número más elevado de ellos para obtener una misma cantidad en la cosecha. Para obtener una tonelada de tallos de 1 cm. de diámetro se necesita aproximadamente 4 veces la cantidad de 2 cm. de diámetro. Como todas las demás características el diámetro de los tallos establece un límite bien definido en el rendimiento.

Una buena variedad debería tener al menos un 50% de extracción de jugo.

Las enfermedades pueden causar desde una ligera reducción en el rendimiento y la calidad del jugo hasta la pérdida total de la cosecha.

2.4 INVESTIGACIONES PREVIAS SOBRE SORGO DULCE

La información disponible sobre este cultivo en el país para la producción de alcohol etílico es escasa y las primeras investigaciones datan de 1945 en las que se destacan rendimientos de 34.5 a 88 tt de materia verde/ha y de 300 a 1500 Kg. de grano/ha. (Bentancur, 1945). Resultados similares obtuvieron Bergeret y Fernández Paolillo (1956).

Los rendimientos en tallo limpio/ha y los porcentajes totales de azúcares en jugo obtenidos, Bentancur (1945), Bergeret y Fernández Paolillo (1956), Fariello (1979), permitieron obtener niveles entre 1500 a 2800 L/ha de alcohol. Bergeret y Fernández Paolillo (1956), Fariello (1980), Fariello (1981), Bistolfi Zunini (1981). De estos trabajos

se concluyó que tanto la producción de tallos como de alcohol por hectárea se ven afectados por la variable fecha de siembra. Los mejores resultados se obtuvieron en la segunda quincena de noviembre disminuyendo en fechas posteriores.

En lo que tiene que ver con densidad y distribución en estos experimentos se encontraron incrementos en rendimiento hasta las 70000 pl/ha observándose una tendencia a disminuir los mismos a medida que aumenta la distancia entre hileras. Bistolfi Zunini (1981). No obtuvo diferencia significativa entre poblaciones de 85700 y 142800 pl/ha. En este ensayo se analizó el comportamiento de 4 cultivares, presentando RIO diferencias significativamente superiores en la producción de tallos y alcohol /ha, frente a ROMA, RAMADA y el híbrido X4325.

De acuerdo con Woods (2001) y a otros trabajos locales (Fariello, 1980); el cultivo de sorgo azucarado en condiciones de secano tiene un potencial productivo, dependiendo de los materiales genéticos y las condiciones ambientales, de unos 35-70 Mg/ha de tallo en 100-120 días de crecimiento. Según este autor el potencial de producción de etanol del cultivo de sorgo azucarado sin irrigar ronda los 2000-3000 l/ha. Similares resultados son reportados por Fariello (1980) en ensayos en el sur del país. A los efectos de estudiar la adaptación y comportamiento agronómico de algunos materiales de sorgo azucarado disponibles en el país a las condiciones agroclimáticas de la región este, en Diciembre de 2005 se instalaron algunas parcelas de observación y se realizaron 2 ensayos en la Unidad Experimental Palo a Pique de INIA Treinta y Tres (Terra et al., 2006). El objetivo general fue cuantificar el efecto de prácticas de manejo de suelos como la intensidad de uso, intensidad de laboreo y fertilización N sobre el comportamiento agronómico y productivo de algunos materiales de sorgo azucarado en Argisoles del Este.

En ambos casos las variables a analizar fueron: número de plantas a la emergencia, N-NO₃ en el suelo a V12 (previo aplicación de N), altura del cultivo a la cosecha, número de tallos, peso de tallos limpios, número de espigas, peso de espigas, peso de hojas, materia seca total y por componentes, rendimiento de grano, producción de jugo y calidad de jugo (BRIX – POL).

Cuando se evaluó 4 intensidades de laboreo: a. Siembra Directa desde 1995 (SD); b. Laboreo Reducido desde 1995 (LR); c. Laboreo Convencional desde 1995 (LC); d. Siembra Directa desde 1999 sobre laboreo convencional desde 1995 (SDLC). Se encontraron efectos significativos de la intensidad de laboreo sobre la producción de biomasa de tallos, pero, contrariamente a lo esperado, no se detectaron efectos de la fertilización nitrogenada ni de su interacción con la intensidad de laboreo sobre esta variable. La biomasa de tallos en el tratamiento de siembra directa con uso previo en laboreo convencional (SDLC, 26.05 Mg/ha) fue 10 % inferior al promedio de los otros tres tratamientos. Adicionalmente se observó una tendencia a mayores rendimientos de

tallos (6%) en las parcelas con siembra directa continua desde 1995 (SD, 29.78 Mg/ha) comparado con las parcelas en laboreo reducido (P=0.11).

En otro ensayo realizado en el INIA Palo Pique, se evaluaron tres 2 variedades (M81 y Portela conjuntamente con 3 niveles de fertilización Nitrogenada: 0-50-100-150 kg de N a V10.

La producción de biomasa de tallos fue afectado tanto por el cultivar utilizado como por la fertilización nitrogenada a V10. El cultivar M81 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 de la materia prima utilizada para la producción de etanol. Estos datos de productividad de tallos del cultivar M81 se encuentran dentro del rango mencionado normalmente en la bibliografía para los sorgos azucarados en condiciones de secano en otras partes del mundo y en Uruguay. Por otro lado, el cultivar M81 tuvo respuesta al agregado de nitrógeno pero no a la dosis, mientras el cultivar Portela no tuvo respuesta al nitrógeno. La diferencia de productividad de tallos entre ambos cultivares estuvo explicada básicamente por el largo de tallos, mientras el cultivar Portela alcanzó una altura de planta a cosecha de 1.8-m el cultivar M81 alcanzó 2.7-m de altura promedio que mas que compensó el menor numero de tallos/ha. El mayor potencial de rendimiento del cultivar M81 y por tanto los mayores requerimientos de nitrógeno posiblemente fueron la explicación de su respuesta a la fertilización nitrogenada en la producción de tallos.

2.5 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE ETANOL

2.5.1 Los biocombustibles y el mundo.

Hoy en día en el mundo se está viviendo la problemática general del agotamiento progresivo de sus recursos energéticos basados mayoritariamente en combustibles no renovables. Para agravar aún más esta problemática se presenta la situación que el consumo de energía a nivel mundial sigue aumentando a ritmos cada vez más crecientes.

En adición a esto, se continúa acentuando la problemática de la contaminación generada por la liberación a la atmósfera de enormes cantidades de gases contaminantes. Como ya se sabe esta situación ha ayudado a generar los cambios climáticos y de algún tiempo a esta parte se ha convertido en una de las grandes problemáticas de los gobiernos, las ONG's las comunidades y la opinión pública en general. Toda esta situación ha generado que en los últimos tiempos este creciendo de forma progresiva el interés de las principales economías del mundo en la producción y utilización de recursos energéticos renovables como lo es el alcohol carburante.

El biocombustible más importante a nivel mundial hoy, es el alcohol carburante (etanol etOH), el cual puede ser utilizado como oxigenante de la gasolina, elevando su

contenido de O₂, lo que permite una mayor combustión de la misma disminuyendo las emisiones contaminantes de hidrocarburos no oxidados completamente.

2.5.2 Oxigenantes para la gasolina.

La gasolina necesita de aditivos que aumenten su octanaje y así disminuir su capacidad auto detonante, incrementando su resistencia a la compresión. Sin embargo los oxigenantes solo se comenzaron a usar a partir de 1979. El primero en usarse fue el *metil ter-butil eter* (MTBE). Posteriormente y hasta el día de hoy se han utilizado otros oxigenantes, que produjeran la emisión de gases menos contaminantes que el MTBE como son el *etil ter-butil eter* (ETBE), el *ter-amil metil eter* (TAME).

El uso del EtOH como oxigenante presenta varias ventajas sobre los demás como son: mayor contenido de O₂, (menor cantidad de aditivo requerido), mayor octanaje, no es tóxico, reduce en mayor medida las emisiones de CO y no contamina las fuentes de agua. Por otro lado, su producción es más costosa, la gasolina mezclada con EtOH conduce la electricidad y su presión de vapor de Reid es más alta, lo que implica una mayor volatilización que contribuye a la emisión de hidrocarburos (HC) no quemados y posterior formación de ozono y de smog.

2.5.3 Producción de etanol como alcohol carburante.

El principal productor mundial de EtOH es Brasil que ha utilizado el alcohol hidratado como combustible y el alcohol anhidro como oxigenante.

En 2004 la producción mundial de alcohol carburante alcanzó los 40764,45 millones de litros distribuyéndose de la siguiente forma:

Cuadro N° 2. Producción mundial de alcohol etílico (2004)

País	Mill. litros
1. Brasil	15098,37
2. EEUU	13379,98
3. China	3648,74
4. India	1748,67
5. Francia	828,91
6. Rusia	749,43
7. Sur África	416,35
8. Reino Unido	401,21
9. Arabia Saudita	299,01
10. España	299,01
Total	40764,45

Fuente: adaptado de RFA (2005).

El microorganismo que más se utiliza para la producción de EtOH es una levadura llamada *Saccharomyces cerevisiae*, que convierte las hexosas en EtOH en condiciones anaerobias, generando 2 moles de ATP por cada mol de hexosa consumida (Classen et al., 1999), además de 2 moles de EtOH, además en condiciones aerobias esta levadura tiene la posibilidad de convertir las hexosas en CO₂. Las levaduras tienen además la ventaja de soportar concentraciones relativamente altas de EtOH (hasta 150g.L⁻¹).

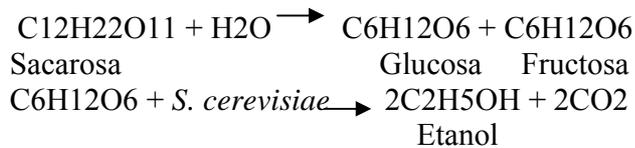
Entre las bacterias, la más promisoría es *Zymomonas mobilis*, la cual convierte 1 mol de hexosa en 1 mol de EtOH, liberando tan solo 1 mol de ATP, lo que resulta en mayores rendimientos (hasta un 97% del máximo teórico). Esta bacteria tiene una alta tolerancia al alcohol (100g.L⁻¹) pero su rango de sustratos fermentables es también muy estrecho (glucosa, fructosa y sacarosa: Hawgood et al. 1985, Classen et al. 1999). Además, su uso en jarabes de caña de azúcar o sorgo dulce, conlleva a la formación de polisacárido levano, el cual aumenta la viscosidad de los caldos de fermentación y de sorbitol, lo cual reduce la eficiencia de la conversión de sacarosa a EtOH (Grote y Rogers 1985, Doelle y Doelle 1989).

También se han evaluado otros microorganismos con capacidad de hidrolizar la celulosa, de asimilar pentosas y de trabajar en condiciones termofílicas, ya que el incremento de la temperatura acelera los procesos metabólicos y disminuye las necesidades de refrigeración. Entre los microorganismos de este tipo se encuentran levaduras como *Pichia stipitis*, *Candida shehatae* y *Pachysolen tannophilus*, pero su tasa de producción de EtOH a partir de glucosa es por lo menos 5 veces menor a la observada para *S. cerevisiae* (Classen et al., 1999) Otro grupo importante de microorganismos productores de EtOH son los clostridios termofílicos y sacarolíticos como *Clostridium thermohydrosulfuricum*, *C. thermosaccharolyticum* y *C. thermocellum*, los cuales pueden sintetizar hasta 2 mol de EtOH por mol de hexosa. La principal desventaja es que su tolerancia al alcohol es muy baja, por lo que las máximas concentraciones alcanzadas son de menos de 20g.L⁻¹.

La mayor parte del EtOH es producido mediante fermentación por lotes. La concentración de sustrato al inicio de la fermentación es de 15-25% (p/v) y el pH se ajusta a un valor de 4-5 para disminuir los riesgos de infección. El proceso se lleva a cabo a 30-35°C. Generalmente el rendimiento es del 90% del máximo teórico. El resto del sustrato es convertido en biomasa y otros metabolitos. La concentración de EtOH al término de la fermentación es de 80-100g.L⁻¹(Classen, 1999). En la mayoría de las destilerías, el tiempo de fermentación es de 24h, aumentándose 6 h para la sedimentación de las levaduras en los tanques (Pandey y Agarwal, 1993).

2.5.4 Producción de EtOH a partir de la sacarosa.

Como ya se mencionó anteriormente, el microorganismo más utilizado para la producción de EtOH a partir de sacarosa es *S. cerevisiae* por su capacidad de hidrolizar esta última para su conversión hasta glucosa y fructosa, 2 hexosas fácilmente asimilables. La reacción general de la fermentación se puede representar de la siguiente manera:



La fermentación alcohólica puede llevarse a cabo por lotes, por lotes alimentados o en forma continua. El proceso típico de producción de alcohol por lotes a partir de melazas o jugo, comprende la esterilización de la materia prima seguida del ajuste del pH con H_2SO_4 y de los Brix a valores de 14-22. El mosto obtenido se somete a fermentación. El vino resultante se decanta y centrifuga para recuperar el EtOH, mientras la levadura se recircula a los fermentos. Para la obtención de alcohol anhidro se utiliza mayoritariamente la destilación azotrópica con benceno (Kosaric y Velikonja, 1995).

La fermentación por lotes alimentados implica bajos niveles de concentración de sustrato en el transcurso de la fermentación, mientras el alcohol se va acumulando en el medio. El proceso de producción de lotes alimentados con recirculación de células hace que aumente la productividad volumétrica. El control de la velocidad de alimentación del medio es muy ventajoso por cuanto implica la neutralización del efecto inhibitorio causado por las altas concentraciones de sustrato o de producto en el caldo de fermentación. Se ha observado que la adición de sacarosa en forma lineal o exponencialmente decreciente conlleva a aumentos en la productividad de EtOH entre 10 y 14% (Echegaray et al., 2000)

Los procesos continuos tienen mayores ventajas frente a los procesos por lotes debido a los menores costos del biorreactor, menores requerimientos de mantenimiento, y operación, mejor control del proceso y mayor productividad. La clave de este proceso son las mayores densidades celulares, las cuales se pueden alcanzar por inmovilización de células, recuperación y reciclaje de biomasa o control del crecimiento celular. Sin embargo las levaduras cultivadas por periodos prolongados en condiciones anaeróbicas disminuyen su capacidad de producir alcohol. Adicionalmente, a tasas de dilución altas que garantizan productividades elevadas, el sustrato no alcanza a ser consumido completamente, por lo que los rendimientos disminuyen.

Cuadro N° 3. Productividad en la obtención de etanol para varias configuraciones

Proceso	Productividad g·L⁻¹·h⁻¹
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 con membranas	100

Fuente: Coombs (1996).

2.5.4.1 Procesos de separación.

La separación y recuperación de alcohol etílico producido a partir de diferentes materias primas se hace prácticamente de la misma manera. La concentración de alcohol en los caldos de cultivo resultantes de los procesos de fermentación oscila entre 2.5 y 10% (p/p), por lo que es necesario concentrar el etanol hasta valores mayores a 99% (p/p) y obtener así alcohol anhidro (deshidratado), que como ya se menciono en párrafos anteriores es utilizado como aditivo para la gasolina.

La primera etapa para la obtención de alcohol anhidro es la destilación convencional que eleva la concentración de EtOH en el caldo hasta un 45-50% (p/p). Luego se puede obtener un destilado con una concentración de 90-92% (p/p) mediante una columna de rectificación (Wooley et al., 1999). Debido a las propiedades físico-químicas de la mezcla alcohol-agua, es imposible retirar completamente el agua a presión atmosférica como consecuencia de la formación de una mezcla azeotrópica que implica la obtención de mezclas con un máximo de 95,6 en peso de EtOH, por lo que son necesarios procesos de separación no convencionales.

Dentro de estos procesos de separación no convencionales se encuentran la destilación a bajas presiones, la destilación azotrópica, la destilación extractiva, la adsorción y la preevaporación.

En la destilación azetotropica se realiza una adición de un tercer componente a la mezcla etanol-agua que forma nuevos azeótropos que facilitan la separación en esquemas tecnológicos que involucran dos o tres columnas de destilación.

Entre las sustancias que se agregan a la mezcla etanol-agua se encuentran, el benceno, toluteno y en n-pentano. El proceso consiste en una columna de deshidratación (columna azeotrópica) que se alimenta con una mezcla de cerca de 90% de alcohol. A esta columna se le agrega en el plato superior el benceno, mientras en la parte inferior se retira alcohol anhidro con una concentración de agua menor al 1%. El vapor de salida de

la parte superior de la columna, con una composición igual o cercana a la del azeótropo ternario, se condensa y lleva a un separador en donde la fracción rica en agua se alimenta a una pequeña columna de lavado (columna despojadora) para la regeneración del arrastrador, mientras que la otra fracción se recircula como reflujo a la parte superior de la columna azeotrópica (Chianese y Zinamosca, 1990)

Otra de las operaciones unitarias utilizadas para la deshidratación del EtOH es la adsorción. La tecnología que más se ha desarrollado en la industria del alcohol carburante y que ha ido sustituyendo a la destilación azeotrópica ha sido la adsorción de agua con tamices moleculares. Estos tamices son materiales granulares rígidos de forma esférica o cilíndrica elaborados a partir de aluminosilicatos de potasio. La molécula de agua tiene un diámetro menor que el de los caminos intersticiales de los tamices, mientras que la de EtOH no. Además, el agua se adsorbe en la superficie interna de los tamices, lo que los hace muy adecuados para la separación de las mezclas etanol-agua resultantes de la destilación convencional, (Madson y Monceaux, 1995). Con esta tecnología se puede obtener soluciones de EtOH por encima de su composición azeotrópica.

Otro enfoque propuesto para la separación del EtOH es el empleo de la extracción con fluidos supercríticos, que se basa en la gran capacidad de solubilización de un fluido a temperatura y presión superior a las de su punto crítico líquido-vapor. De esta manera se utilizan las ventajas tanto de la destilación como de la extracción líquida con la mejoría adicional de que pequeños cambios en temperatura y/o presión en la región crítica causan grandes cambios en la densidad del solvente y por lo tanto en su poder de disolución (Sanchez y Cardona, 2004). Budich y Brunner (2003) han utilizado CO₂ supercrítico (333.2 K y 10 MPa) en contracorriente para la recuperación de etanol de mezclas acuosas, siendo regenerado el disolvente mediante un sistema de destilación multi-etapa y obteniendo una concentración de etanol en el extracto de 99.5% en peso.

3- MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se instaló en la Estación Experimental ‘‘Mario A. Cassinoni’’ de la Facultad de Agronomía (32 S, 56 W), ubicada en el departamento de Paysandú, sobre la ruta nacional No 3 a 8 km de la ciudad de Paysandú, Uruguay, sobre un Brunosol Éútrico Típico (Typic Argiudoll) de la Unidad San Manuel.

Esta unidad está ubicada sobre la formación Fray Bentos (Oligocénica), compuesta de limos calcáreos, con variado contenido de arcilla, arenas finas y lodolitas. Se caracteriza por el alto contenido en carbonato de calcio que se presenta bajo la forma de concreciones, o bien disperso en la matriz. Su color es rosado claro y presenta diversos grados de tenacidad. El relieve está dominado por colinas y lomadas fuertes, presenta una erosión ligera a moderada. No presenta zonas inundables, así como tampoco posee jocosidad o pedregosidad. Los suelos dominantes son Brunosoles Éútricos típicos LAc, presentándose asociados a estos Brunosoles Éútricos Háplicos Fr y Brunosoles Éútricos Háplicos LAc. El grupo coneat presente en el área experimental es: 11.3

3.1 LABORES CULTURALES

3.1.1 Preparación del suelo y siembra

El área experimental fue sembrada con un cultivo de cobertura (Avena Sativa) en abril del 2005 sin laboreo del suelo. A principios de setiembre se dio inicio al barbecho químico con una aplicación de glifosato (4 L ha^{-1}) sobre el cultivo de cobertura para su muerte y la descomposición de los residuos. La siembra fue realizada en cuatro momentos (Octubre 12, Noviembre 7, Diciembre 14 del 2005, Enero 19 del 2006) en un sistema de labranza cero con una sembradora SEMEATO SH 11 de 5 surcos con una distancia entre hileras de 50 cm. Los dos materiales evaluados fueron Topper 76-6 (Topper) y M81-E con dos densidades de siembra (7 y 14 plantas m^2 para los tratamientos de baja y alta densidad, respectivamente)

3.1.2 Fertilización

El manejo de la fertilización para todos los tratamientos fue la misma siendo ésta una aplicación basal al voleo a la siembra de $200 \text{ kg de } 18-46 \text{ (N-P) ha}^{-1}$ y una refertilización de nitrógeno a el estadio de V7 (7 hojas) del sorgo de 200 kg N ha^{-1} , usándose para este fin urea.

3.1.3 Control de malezas

Luego de realizada la siembra para todas las épocas evaluadas, se aplicó $3,5 \text{ lt}$ glifosato conjuntamente con la aplicación de $1,2 \text{ kg}$ de Atrazina. Al estadio V3-V6,

dependiendo de la época de siembra, se realizó una carpida manual para controlar algunas malezas anuales estivales que no fueron controladas por la atrazina.

3.1.4 Raleo

Luego de la implantación se realizó un raleo manual de 2 metros lineales por parcela, para establecer las densidades de siembra.

3.1.5 Cosecha

La cosecha consistió en el corte manual de 2 m lineales en cada unidad experimental.

El momento de cosecha fue seleccionado cuando el grano se encontraba en lechoso-pastoso. Siendo las fechas de cosecha las siguientes: 13/2, 15/3, 15/4, 26/5, para las épocas 1, 2, 3 y 4, respectivamente en ambas variedades.

Luego, en galpón se precedió al deshojado, despunte (a la altura de la hoja bandera) y pesado de las muestras. Obteniendo así el peso de tallos limpios por muestra, quedando prontas las muestras para su posterior procesamiento y análisis de laboratorio.

3.2 ANALISIS ESTADISTICO

3.2.1 Objetivo

El objetivo fue evaluar el comportamiento de dos variedades, cuatro épocas de siembra y dos densidades de sorgo dulce sobre la producción de etanol, para poder determinar cuál es la mejor combinación variedad-época-densidad, con la cual se obtiene el mejor rendimiento en producción de etanol.

3.2.2 Hipótesis biológicas

Ho: Los promedios de cada tratamiento son iguales

Ha: Existe una (o más) diferencia entre promedios (o entre efectos)

3.2.3 Hipótesis estadísticas

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu$

Ha: $\mu_j \neq \mu_{j'}$ para algún j

3.2.4 Diseño experimental

Se realizó un diseño de parcelas divididas con factorial en bloques completos al azar con 4 repeticiones

3.2.4.1 Tratamientos

Se evaluó un factorial de 4 épocas de siembra, dos variedades y dos densidades de siembra. El diseño experimental corresponde a parcelas divididas con 4 bloques al azar, ubicándose los tratamientos de época de siembra en la parcela mayor (28 x 2.5 m), la variedad en la parcela intermedia (14 x 2.5 m) y la densidad de siembra en la parcela menor (7 x 2.5 m).

3.2.4.2 Modelo estadístico

$$Y_{ijkl} = \mu + \lambda_i + \beta_j + \delta_{ij} + \alpha_k + \nu_l + (\lambda\alpha)_{ik} + (\lambda\nu)_{il} + (\alpha\nu)_{kl} + (\lambda\alpha\nu)_{ikl} + \epsilon_{ijkl}$$

λ_i =Época de siembra (Parcela grande)

β_j =Bloques

δ_{ij} =Error A(Bloque*Parcela grande)

α_k = Variedades(1o factor parcela chica)

ν_l = Densidades (2o factor parcela chica)

$(\lambda\alpha)_{ik}$ = Interacción Época de Siembra*Variedad

$(\lambda\nu)_{il}$ = Interacción Época de Siembra*Densidad

$(\alpha\nu)_{kl}$ = Interacción Variedad*Densidad

$(\lambda\alpha\nu)_{ikl}$ = Interacción Época de Siembra*Variedad*Densidad

ϵ_{ijkl} = Error B (Parcela grande*Parcela chica)

3.2.4.3 Supuestos

Al modelo: - es correcto.

- es aditivo.

Al error: - son variables aleatorias.

- $\delta_{ij} \sim N(0, \sigma^2_e)$ para todo i,j.

- $\epsilon_{ijkl} \sim N(0, \sigma^2_e)$ para todo i,j,k,l.

- Los errores son independientes

3.2.4.4 Variables

Cuadro N° 4. Variables medidas

Medidas en un momento	Medidas repetidas en el tiempo
Diámetro de tallos (mm)	Número de plantas
Tallos limpio (tt/ha)	Tallos/Planta
Jugo (tt/ha)	Altura de planta (cm)
Panoja (tt/ha)	
MS Panoja (%)	
Hoja (tt/ha)	
MS Hoja (%)	
MS Bagazo (%)	
Sólidos totales (°Brix)	
Sacarosa (Pol)	
Pureza (Pol/Brix)	

3.3 MEDIDAS REALIZADAS Y TOMA DE MUESTRAS

3.3.1 Al cultivo

Se contaron las plantas, así como la evolución de los macollos por planta y la altura de las mismas en varios momentos.

A la cosecha se midió número de tallos, diámetro al medio del cuarto entrenudo, peso de jugo extraído de las cañas peladas, peso y porcentaje de materia seca de tallos, hojas, panojas y gabaso.

Se realizó la extracción de jugo con un trapiche de todos los tallos cosechados, se pesó el jugo obtenido para así calcular el % de extracción (kg jugo/kg tallos limpio).

3.4 ANALISIS DE LABORATORIO

Con una submuestra de ese jugo, se determinó en el laboratorio de Azucarlito SA el porcentaje de Brix utilizando un Brixometro (corregido por tablas), POL (sacarosa), pureza (POL/Brix). Para el cálculo de sólidos totales se utilizó el % de Brix por el jugo calculado por ha⁻¹ descrito anteriormente. No fue realizado el % de azúcares reductores (glucosa y fructosa).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Cuadro N° 5. Registros de lluvia para el ejercicio Jun 05/Jul 06

Días	jul-05	ago-05	Sep-05	oct-05	nov-05	Dic-05	ene-06	feb-06	mar-06	abr-06	may-06	jun-06
01_10	2,5	0	103,1	45,8	17,5	94,6	10,3	31,7	22,6	0,3	0	102
11_20	41,6	0,1	3,1	31,7	38,1	0,7	95,9	0	73,9	183	13,5	7,6
21_31	41,5	66,6	62,4	29,7	11	0,7	18,9	126,4	61,4	52,1	56	95,4
Tot.	85,6	66,7	168,6	107,2	66,6	96	125,1	158,1	157,9	235,4	69,5	205

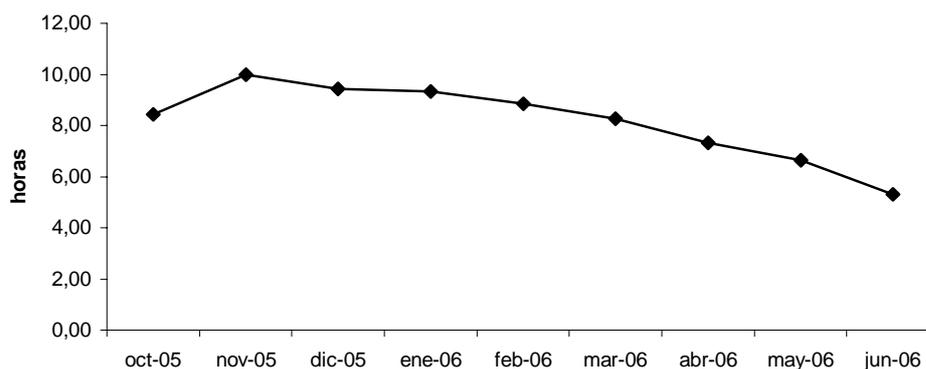


Figura N°1. Heliophanía promedio mensual.

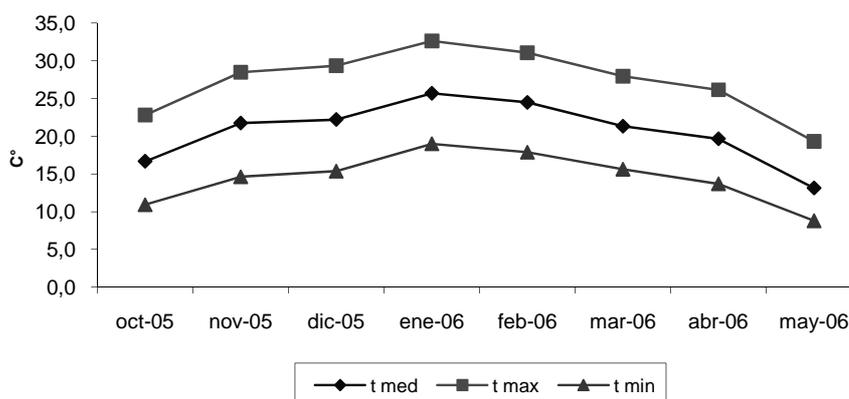


Figura N°2. Temperaturas promedio, mínima y máxima mensual

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cuadro N° 6. Análisis de varianza para las diferentes variables estudiadas en el ensayo de sorgo dulce de la EEMAC, 2006.

Variable	Epoca(E)	Variedad(V)	V x E	Densidad(D)	Dx E	DxV	D x E x V
Tallos	Ns	Xxx	xx	xxx	Ns	ns	Ns
Tallos/planta	Ns	Xx	ns	xxx	Ns	ns	Ns
Tallo limpio BF ha ⁻¹	Xxx	Ns	ns	xxx	Ns	ns	Ns
Tallo limpio BS ha ⁻¹	Xxx	Ns	ns	xxx	Ns	ns	Ns
% MS Tallo	Ns	Xx	ns	ns	Ns	ns	Ns
Peso/planta	Xxx	Ns	ns	xxx	Ns	ns	Ns
Peso/tallo	Xxx	Xxx	xxx	ns	Ns	ns	Ns
Altura de cañas	Xxx	Xxx	xxx	xxx	Xx	ns	Ns
N° de nudos	Xxx	Xxx	xxx	ns	Ns	ns	Ns
Diámetro de cañas	Xxx	Ns	xx	ns	Ns	ns	Ns
Largo de entrenudos	Xxx	Xxx	xx	xxx	Ns	ns	Ns
Altura/Diámetro	Xxx	Xxx	xx	xxx	Ns	ns	Ns
MS hoja	Xxx	Xx	ns	xxx	Ns	ns	Ns
Ms caña/Mhoja (Kg)	Xxx	Xx	xx	ns	Ns	ns	Ns
Panoja BF	Ns	Ns	ns	xxx	Ns	ns	Ns
Panoja BS	Ns	Ns	ns	xxx	Ns	ns	Ns
Rend. Panoja	Ns	Xxx	ns	ns	Ns	ns	Ns
Peso gabaxo BF	Xxx	Ns	ns	xxx	Ns	ns	Ns
Peso gabaxo BS	Xxx	Ns	ns	xxx	Ns	ns	Ns
MS gabaxo	Ns	Xx	xxx	ns	Ns	ns	Ns
Jugo ha ⁻¹	Xxx	Ns	ns	xxx	Ns	ns	Ns
Extracción	Xxx	Ns	xx	xx	Ns	ns	Ns
% Brix	Ns	Xxx	xx	ns	Ns	ns	Ns
% POL	Xxx	Xxx	xxx	ns	Ns	ns	Ns
Pureza POL	Xxx	Xxx	xxx	xx	Ns	ns	Ns
Kg Brix ha ⁻¹	Xxx	Ns	ns	xxx	Ns	ns	Ns

xxx, xx indican diferencias significativas al $p \leq 0.01$ y 0.05 respectivamente.
ns indica no diferencia significativa a $p \leq 0.1$

En el cuadro N° 6 se presenta el análisis de varianza para todas las variables estudiadas. Dentro de los tratamientos evaluados (Época, Variedad, Densidad), vemos que en diferente medida todos tuvieron algún efecto en el resultado. Mientras que si se observan las diferentes interacciones, solo E x V presentó efecto en los resultados obtenidos. Mientras que las demás interacciones (DxE, DxV y DxExV) tuvieron un efecto muy bajo o no tuvieron efecto en los parámetros evaluados.

4.3 DENSIDAD DE PLANTAS

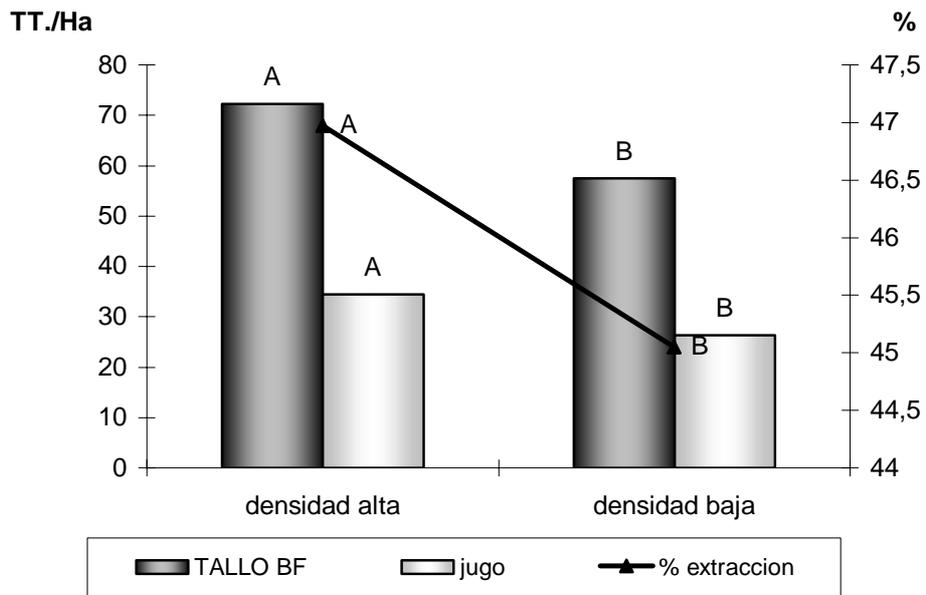


Figura N° 3. Toneladas de tallo/ha en BF, toneladas de jugo/ha en BF y porcentaje de extracción según densidad de siembra.

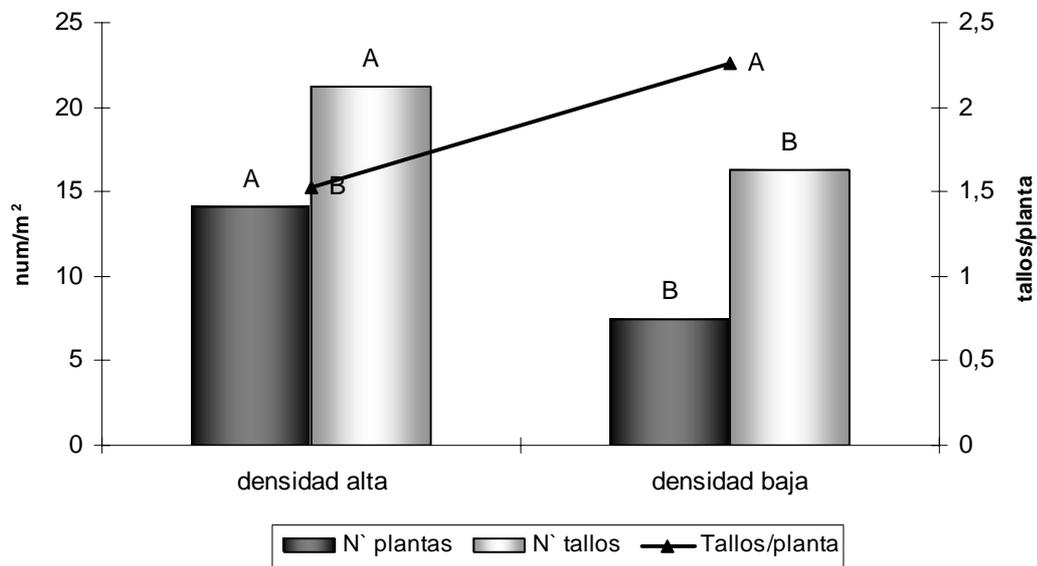


Figura N° 4. Número de plantas/m², número de tallos/m² y relación tallos/planta según densidad de siembra.

El tratamiento de alta densidad de siembra (14 plantas/m²) obtuvo en promedio 21 tallos/m² resultando en un promedio por planta de aproximadamente 1.5 tallos (Figura N°4). Si bien el tratamiento de baja población (7 plantas m²) tuvo un mayor macollaje resultando 2.3 tallos planta⁻¹, su número final de tallos/m² no alcanzó los niveles de alta población (17 vs. 21 tallos m²) (Figura N°4). Por lo tanto el mayor macollaje logrado en la baja densidad no es suficiente para compensar el mayor número de tallos logrado en densidad alta.

En cuanto a peso por tallo no hubo diferencias significativas entre ambas densidades (176 y 173 g/tallo para alta y baja densidad respectivamente) pero si en kg de tallo ha⁻¹ siendo 72,3 y 57,4 tt ha⁻¹ para alta y baja densidad respectivamente. De esta manera podemos ver que el rendimiento está determinado principalmente por el número de tallos ha⁻¹. En cuanto a la producción de jugo, al contrario de Bistolfi Zunini (1981) que no obtuvieron diferencia significativa entre poblaciones de 8,6 y 14 plantas/m², en nuestro caso esta fue significativamente mayor para la densidad alta (34,4 tt ha⁻¹), obteniéndose una diferencia de 8,1 tt ha⁻¹ con relación a la baja densidad. Esto no solo está dado por la mayor producción en kg de tallos, sino que además la alta densidad presentó un mayor porcentaje de extracción. Este, se vio incrementado en el entorno de 2% por el uso de altas poblaciones (14 plantas m²) pasando de 45 a 47%, explicando esto junto con el mayor peso de cañas, la diferencia anteriormente mencionada.

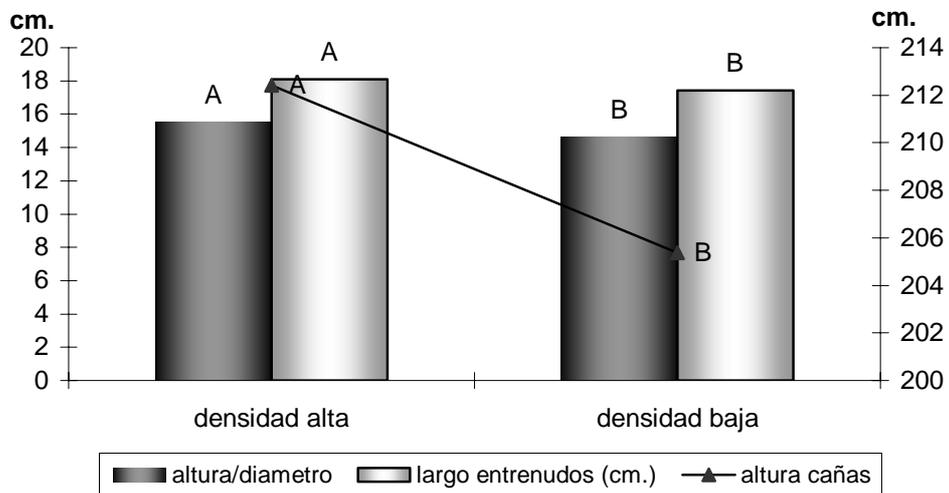


Figura N° 5. Relación altura/diámetro (y1), largo de entrenudos (y1) y altura de cañas (y2) según densidad de siembra

Los tallos en alta densidad son más altos pero de igual diámetro que en baja densidad, por lo que los tallos de alta densidad tendrían que ser más pesados. Como los tallos pesan lo mismo existen otras diferencias en cuanto a forma que no quedan cuantificadas con altura y diámetro.

El número de nudos es el mismo razón por la cual alta densidad tiene mayor largo de entrenudos. La mayor altura no es acompañada con un aumento proporcional en el diámetro, por lo cual podrían ser más susceptibles al vuelco.

Las diferencias entre las densidades están dadas por varias razones. En tallo por mayor altura y mayor número ya que como se dijo anteriormente el diámetro no presenta diferencias significativas. En hoja por un mayor número ya que hay más tallos, pero no por un mayor número de hojas tallo⁻¹ ya que los tallos de ambas densidades presentan el mismo número de nudos y la misma relación peso de caña BS/peso de hoja BS. En cuanto a panoja presenta mayor producción alta densidad, en este aspecto no vale la pena profundizar por su baja proporción y por el importante ataque de pájaros que sufrieron ambas densidades.

Ambas densidades presentan el mismo porcentaje de materia seca de gabazo, esto nos da la pauta de que el trapiche deja la misma humedad en las cañas de ambas densidades.

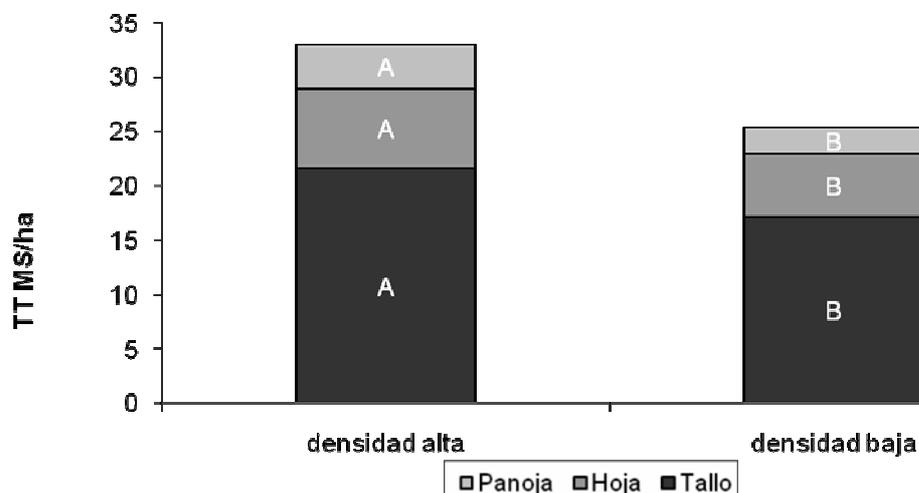


Figura N° 6. Kg de tallo, KG de hoja y Kg de panoja promediado por época, según densidad de siembra

4.4 ÉPOCA DE SIEMBRA

Cuadro N° 7. Fechas y días a siembra implantación floración y cosecha según época de siembra y variedad.

	Epoca 1		Epoca 2		Epoca 3		Epoca 4	
	Topper	M81	Topper	M81	Topper	M81	Topper	M81
Implantación	(23/10) 11	10	(14/11) 7	7	(20/12) 6	6	(25/2) 5	5
Floración	(21/1) 101	106	(24/2) 109	109	(20/3) 91	91	(17/4) 88	88
Cosecha	(13/2) 124	124	(15/3) 128	128	(15/4) 115	115	(12/6) 113	113

Los números entre paréntesis muestra la fecha del año.

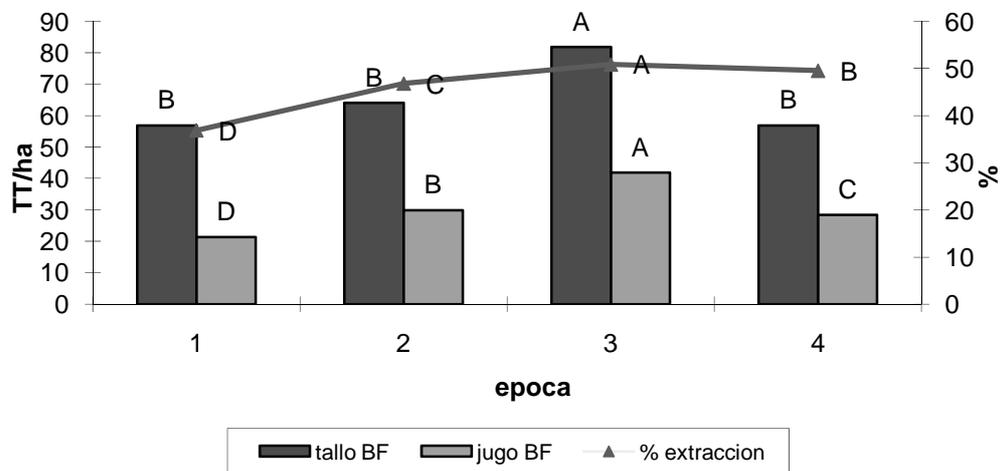


Figura N° 7. TT. de tallo BF (y1), TT. de jugo BF (y1) y % de extracción (y2) promediado por densidad, según época de siembra.

La época que mas tallo produce (época 3), es también la que tiene mayor porcentaje de extracción, por lo tanto es la que mas jugo produce.

La cantidad de tallos producida por sí sola, no es un buen indicador de la cantidad de jugo en las distintas épocas ya que los porcentajes de extracción varían según la época de siembra. Es así, que la mayor producción de jugo de la época 3 se determina por ambas variables.

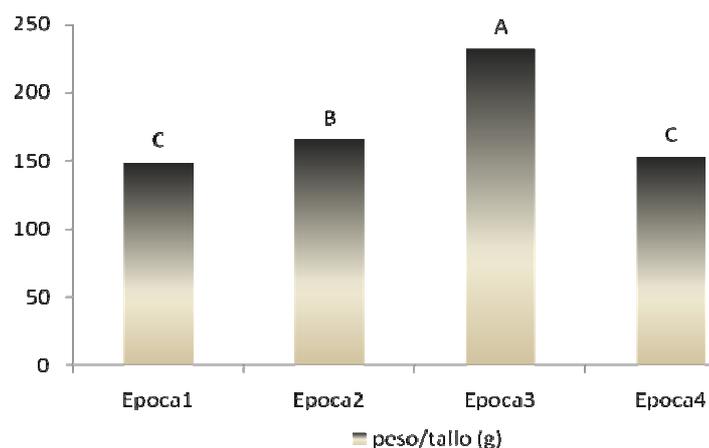


Figura N° 8. Peso por tallo (g) BS promediado por densidad, según época de siembra.

En este caso el rendimiento de tallo limpio ha⁻¹ está determinado por el peso por tallo porque no existen diferencias significativas en número de tallos ha⁻¹.

Estos resultados tienen algunas contradicciones con los datos obtenidos en investigaciones previas en nuestro país. Según los datos obtenidos por Cassou et al. (1983), la producción de tallos en Kg. disminuye a medida que se atrasa la fecha de siembra. Estos datos también coinciden con los encontrados en la bibliografía, según los cuales es posible llegar a tener mermas en producción que varían desde un 22.5% hasta un 53.7%. En el caso de Uruguay, el fotoperíodo no sería un factor limitante, ya que este es mayor de 12 horas entre el 23 de setiembre y el 21 de marzo, valor por encima del cual se estimula el desarrollo vegetativo del sorgo según Keulemans, citado por Wall y Ross (1975).

Por lo tanto, según Cassou et al. (1983), en el caso de Uruguay, lo que explica la merma en producción es el hecho de que siembras más tardías alcanzan más rápidamente el umbral de largo del día que necesita para florecer, acortándose el período vegetativo y reduciéndose en consecuencia el rendimiento en tallo. Esto coincide con lo expresado por Cowley y Smith (1969) que concluyen que los rendimientos en tallo y azúcar son afectados por la longitud del día y la radiación solar. Por otro lado Hipp (1970) determino que la radiación solar recibida durante el periodo de bota a grano lechoso es responsable en un 75% en la variación en los rendimientos, la cual es menor a medida que se atrasa la fecha de siembra.

En nuestro caso, esta característica es una de las que explica las diferencias existentes entre la época 3 y 4 (2.5tt/ha). Sin embargo las diferencias entre las épocas 1, 2 y 3 se deben en parte al mayor déficit hídrico que sufrieron las 2 primeras, lo cual hizo que exista una merma en su rendimiento. En el trabajo de tesis de Cassou et al. (1983) mencionando anteriormente no existieron déficit hídricos, razón por la cual los resultados que obtuvieron fueron los esperados y mencionados en la bibliografía. Esto da lugar a algunas hipótesis: si no existiera déficit hídrico la época 2 sería la de mejor producción.

Cuadro N° 8. Precipitaciones y déficit hídrico según época de siembra

Época	Precipitaciones (mm)	Balance hídrico
1	380,8	-359.02
2	489,7	-196.22
3	442,8	-97.06
4	585,4	73.42

Cuadro N° 9. Precipitaciones mensuales para cada fecha de siembra

Meses	oct	nov	Dic	Ene	Feb	mar	abril	Mayo
1 fecha 12 oct	61,4	66,6	96 **	125,1	31,7	-----	-----	-----
2 fecha 7 nov	-----	49,1	96	125,1**	158,1	61,4	-----	-----
3 fecha 14 dic	-----	-----	1,4	125,1	158,1 **	157,9	0,3	-----
4 fecha 19 ene	-----	-----	-----	20,5	158,1	157,9	235,4	13,5

** Momento en que se termina la reserva de agua del suelo

Según lo expuesto en la bibliografía la temperatura mínima para la germinación es de 10 grados Celsius (óptima de 18 – 21° C). La temperatura mínima para el crecimiento de la planta es de 15,5°C. (Óptima (28 – 29°C) mientras que el rango óptimo para la floración se encuentra entre 17 – 24°C (Cassou et al., 1983)

Cuadro N° 10. Promedio de temperaturas medias de siembra a implantación, próximo a floración de emergencia a floración y de floración a cosecha según época de siembra.

	Implantación	Próximo a floración	Floración	Cosecha
Epoca 1	18,3	23,5	22,3	24,1
Epoca 2	19,7	26,4	24,2	21,9
Epoca3	22,6	22,1	24,4	21
Epoca 4	23,5	17,3	22,5	14,6

La primer época esta dentro del óptimo para la temperatura media pero la temperatura mínima muchas veces estuvo por debajo de 10 grados (6 días de los primeros 15 estuvo por debajo de 8 y de los siguientes 10 por debajo de 9). La temperatura del suelo es menor aun que la temperatura del aire ya que el suelo se enfría durante el invierno. Aunque no tenemos datos de temperatura de suelo es esperable que esta haya sido limitante para la implantación del cultivo. Las bajas temperaturas afectan la emergencia, el crecimiento de la plántula y por lo tanto las tasas de crecimiento iniciales, esto acompañado a que es la época que presento más déficit hídrico estaría explicando los resultados obtenidos. No hubo temperaturas por debajo del mínimo aceptable para las tres últimas épocas de siembra.

La temperatura media próxima a la floración para todas las épocas excepto para la época dos se encuentran dentro del rango óptimo. Todas las épocas de siembra se encuentran por debajo del rango óptimo para el crecimiento de la planta.

Las menores producciones de jugo de la época 1 podría atribuirse además de al déficit hídrico, a las bajas temperaturas en los estadios iniciales del cultivo. En cambio la época 2 no tuvo problemas por bajas temperaturas a la implantación por lo cual su

menor rendimiento comparado con la época 3 es atribuible al déficit hídrico exclusivamente.

El rendimiento de la época cuatro es atribuible a la temperatura, principalmente de floración a cosecha y al fotoperíodo.

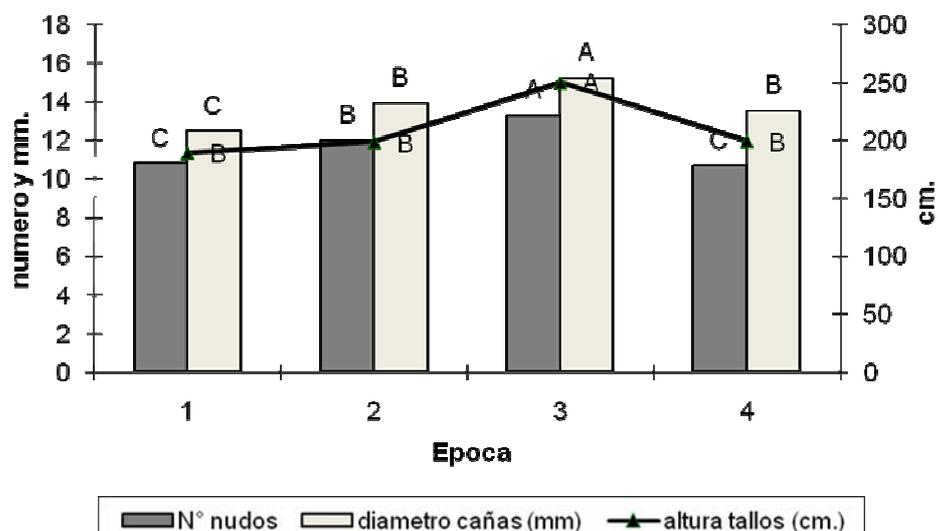


Figura N° 9. Número de nudos(y1), diámetro de cañas(y1) y altura de tallos(y2) según época de siembra.

El peso por caña se encuentra determinado principalmente por el diámetro y altura de las mismas, teniendo en cuenta que para las épocas de siembra el rendimiento está determinado por el peso por caña, cañas de mayor diámetro y mayor altura lograran mayor rendimiento.

La tasa de macollaje no presento diferencias significativas entre las diferentes épocas. Sin embargo, si comparamos los datos de macollaje obtenidos con los encontrados en la bibliografía, vemos que los mismos no coinciden. En la bibliografía se encontró que cuanto menor es la temperatura en los primeros 30 días mayor es el macollaje, existiendo un umbral crítico de 18C°. Siembras tempranas (bajas temperaturas al inicio de la fase de desarrollo) promueven más tallos por planta (Cassou et al., 1983).

Si nos guiamos por estos datos, lo lógico hubiera sido que la época con mayor macollaje fuera la 1. No se tienen explicaciones claras acerca de este tema, pero posiblemente estas diferencias puedan haberse dado por un efecto año o por el mayor déficit hídrico sufrido por las primeras 2 épocas.

Cuadro N° 11. Largo de entrenudos y relación altura/diámetro según fecha de siembra

Época	Largo entrenudos (cm.)	Altura/diámetro
1	17.2 b	15.1 b
2	16.5 c	14.1 c
3	18.8 a	16.2 a
4	18.6 a	14.7 b c

Al igual que en las densidades de siembra el mayor rendimiento se encuentra asociado a una caña más frágil ya que si bien estas tienen mayor diámetro presentan una mayor relación altura/diámetro lo cual significa que el aumento en altura no está acompañado con un aumento en diámetro proporcional a esta.

Observando el cuadro N° 11 existe cierta tendencia al aumento del largo de entrenudos cuanto mayor es la relación altura/diámetro, excepto en la época 4.

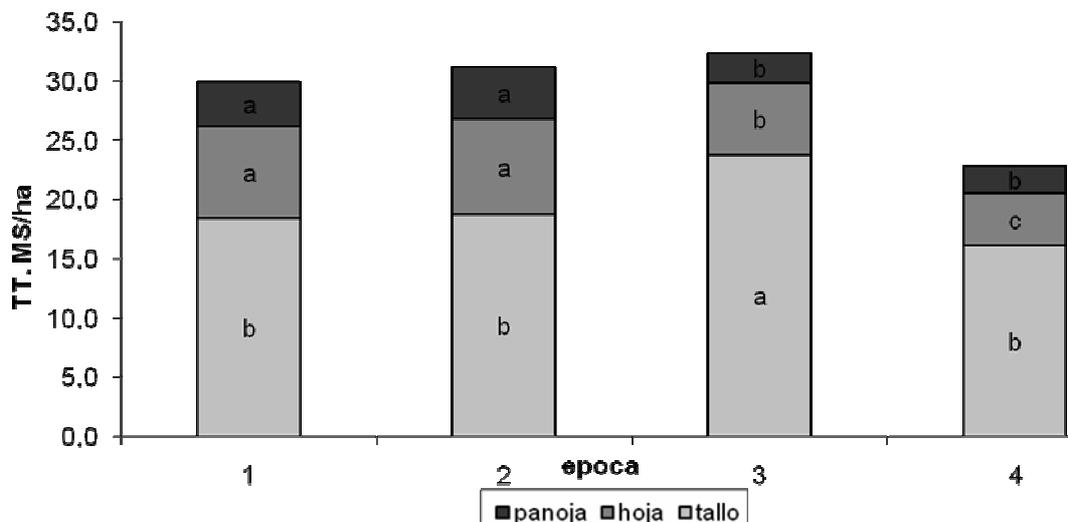


Figura N° 10. TT. MS/Ha de tallo, hoja y panoja según época de siembra.

En producción de tallo expresado tanto en BF como en BS se mantiene la jerarquía entre las épocas.

Cuadro N° 12. Relación caña/hoja y número de nudos por época de siembra

Época	Caña/hoja BS	N° nudos
1	4.1 b	10,8 c
2	3.9 b	12,0 b
3	6.5 a	13,3a
4	7.1 a	10,7 c

Por cada nudo la planta produce una hoja por lo tanto tenemos distintos números de hojas según la época. El peso de la masa foliar en Kg. BS esta dado por el numero, tamaño y porcentaje de materia seca de las hojas.

Cuanto mayor es el área foliar mayor es la superficie fotosintéticamente activa por lo cual la planta produce más carbohidratos y obtendríamos un mayor porcentaje de sólidos solubles totales y kg. de sólidos solubles totales/ha (Woods, 2001). En una situación en la cual no hubieran restricciones las plantas que tengan mayor área foliar serian las más productivas. En cambio esta presenta una estrecha relación con las condiciones ambientales, cuanto mayor es, mayor es el riesgo de sufrir déficit hídrico en momentos de alta demanda y bajo contenido de humedad en el suelo. Las épocas que sufren mayor déficit hídrico son la 1 y 2 las cuales tienen la mayor área foliar, por ello el déficit de ambas épocas es aun mas grande. La relación entre el área foliar, la demanda atmosférica y la disponibilidad de agua en el suelo son las variables que explican la mayor parte de las diferencias entre las épocas 1, 2 y 3.

Es importante aclarar que si bien las pérdidas de grano por ataque de pájaros fueron importantes, 32.3% en promedio, fueron iguales para todas las épocas.

Al igual que para baja y alta densidad el trapiche dejo el gabazo con la misma cantidad de humedad.

4.5 VARIEDADES

En promedio de las cuatro épocas las variedades se comportaron de manera muy similar, no existen diferencias en la producción de tallos ni en el porcentaje de extracción, por lo tanto tampoco hay diferencias en la producción de jugo.

Cuadro N° 13. Relación tallos/planta, peso individual de tallos y altura por variedad.

Variedades	Tallos/Planta	Peso individual de tallo (g) BS	Altura (cm)
M 81	1,7(b)	188,9(a)	226,3(a)
Topper	2,1(a)	160,7(b)	191,5(b)

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 tiene menos cantidad de tallos por planta, por lo tanto menos cantidad de tallos/ha, ya que no existen diferencias en el número de plantas. En cambio Topper, logra el mismo rendimiento que M81 con un mayor número de tallos más bajos y más livianos.

Cuadro N° 14. Número de nudos, tt/ha hoja BS, relación tt. caña BS/tt. de hoja BS, largo de entrenudos(cm) y relación altura (cm.)/diámetro (mm.) por variedad.

Variedades	Número de nudos	MS hoja	MS caña/MS hoja	Largo de entrenudos (cm.)	Altura/Diámetro
M 81	12,2(a)	5,9(a)	5,9(a)	18,5(a)	16,1(a)
Topper	11,1(b)	7,2(b)	4,8(b)	17,0(b)	14,0(b)

M81 tiene mayor número de hojas pero más chicas, al tener un mismo rendimiento la relación caña/hoja es mayor en M81. Ambas variedades no tienen diferencia en diámetro por lo tanto M81 al tener cañas más altas tiene mayor relación altura/diámetro, por lo tanto esta variedad podría llegar a tener mayores problemas de vuelco y esto combinado con la densidad es un factor a considerar a la hora de sembrar.

4.6 INTERACCIÓN VARIEDAD/ ÉPOCA.

Hasta este momento se han analizado cada una de las características (Densidad, Época y Variedad) por separado, a continuación se procederá a analizar las diferentes interacciones que existen entre ellas para posteriormente poder determinar cuál o cuáles son las mejores combinaciones de factores para poder obtener los mejores resultados.

Si hablamos de la interacción variedad/época, tenemos como uno de los datos más relevantes que no existe dicha interacción para la producción de jugo. No se encontró diferencia en los Kg. tallo/ha BF, en cambio si se obtuvieron diferencias en el porcentaje de extracción las cuales no llegan a ser lo suficientemente grandes como para provocar diferencias en los Kg. de jugo/ha.

Cuadro N° 15. Porcentaje de extracción para cada época según variedad.

Variedad	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4
Topper	32,8% (d)	45,3(b)	50,4% (a)	50,8% (a)
M81	40,9% (c)	48,3% (ab)	51,4% (a)	48,4% (ab)

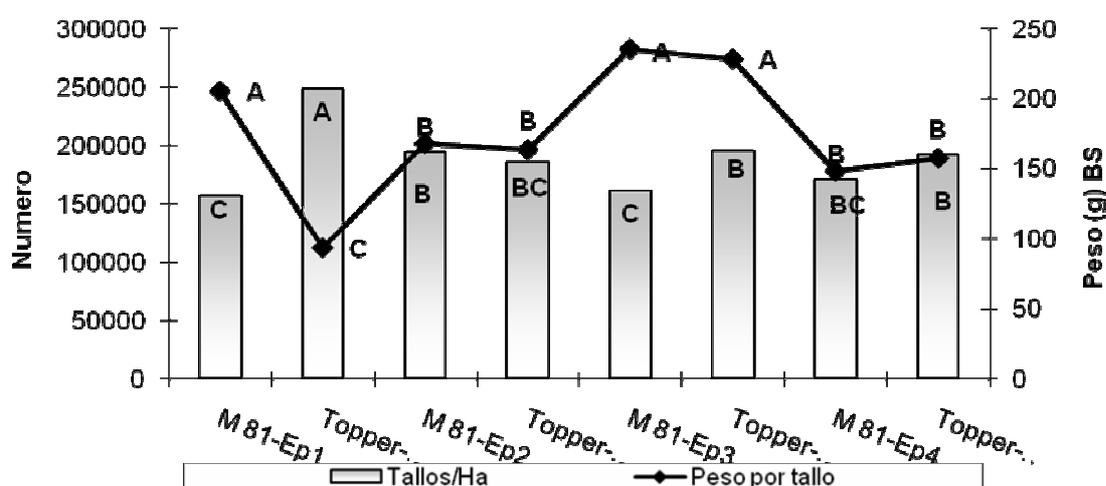


Figura N° 11. N° tallos/ha (y1) y peso/tallo (y2) por época y variedad.

El rendimiento de jugo/ha está conformado por el número de tallos/ha, peso/tallo y el porcentaje de extracción.

Para obtener la misma cantidad de jugo para ambas variedades dentro de cada época la variedad que tiene mayor número de tallos presentan un menor peso por tallo y menor porcentaje de extracción y viceversa. Las épocas en las cuales se dan diferencias significativas son la 1 y la 3.

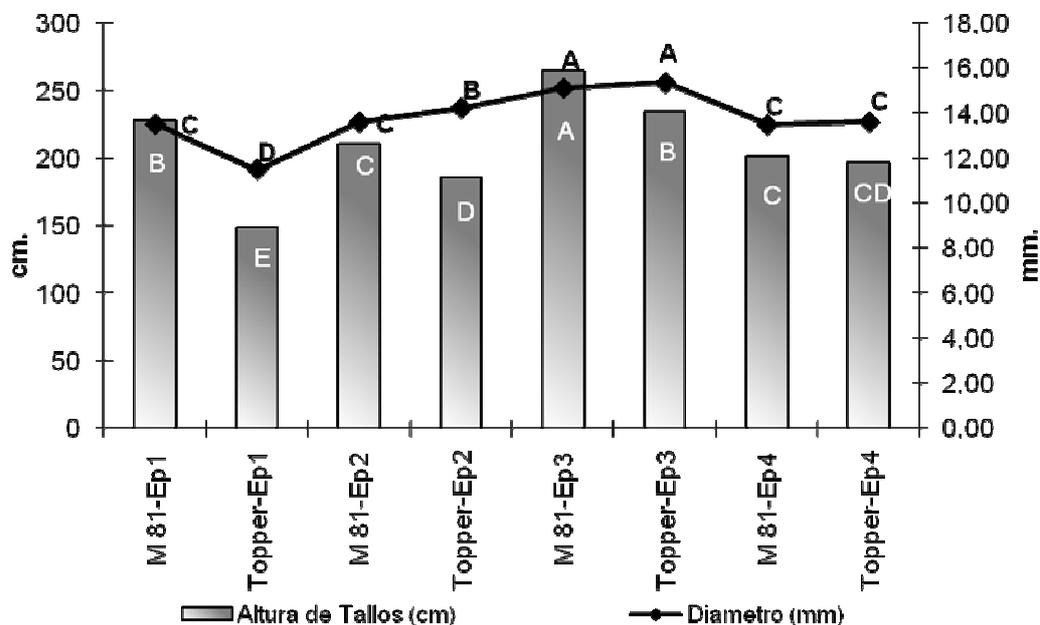


Figura N° 12. Altura de tallos (y1) y diámetro de tallos (y2) por variedad dentro de cada época.

Cuadro N° 16. Relación altura/diámetro por época según variedades.

Variedad	Época 1	Época 2	Época 3	Época 4
Topper	13,13 (c)	13,3 (c)	15,25 (b)	14,5 (b)
M81	17,13 (a)	15,17 (b)	17,25 (a)	15,0 (b)

Como vemos en la figura N°12 se mantiene la relación que a mayor altura de tallos estos tienen un mayor diámetro, si observamos el cuadro N°16 vemos que la tendencia de que tallos más altos también tengan una mayor relación altura/diámetro se mantiene. Para ambas variedades la época de mayor producción de jugo (época 3) está asociada con la época en la que las cañas presentan mayor altura y mayor relación altura/diámetro.

Comparando ambas variedades dentro de cada época, M81 tiene una tendencia a presentar tallos más altos, aunque esto va en detrimento del macollaje por lo que presenta un menor número de tallos/ha. Los tallos de M81 tienen una mayor relación altura/diámetro en todas las épocas. M81 siempre va a presentar cañas más frágiles y susceptibles al vuelco.

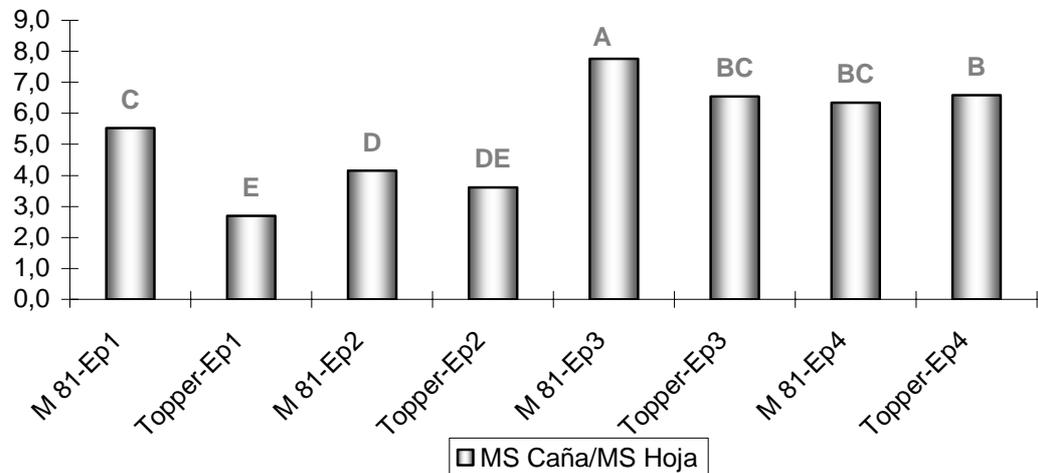


Figura N° 13. Relación MS caña/MS hoja según variedad/época de siembra.

Una menor producción de hoja (mayor relación) está asociado a un mayor porcentaje de extracción. Topper tiene una tendencia a producir mayor cantidad de hojas que M81. Esto es un dato importante a tener en cuenta para el desarrollo inicial del cultivo, ya que si las condiciones son favorables en esta etapa, pero si se da déficit hídrico al momento de alargamiento de entrenudos, como en la época 1, puede pasar que el cultivo desarrolle una cantidad excesiva de área foliar, lo cual provoca una mayor evapotranspiración, acentuando más aún el stress hídrico, limitando el desarrollo de los tallos y el potencial de producción de jugo.

4.7 CALIDAD DE JUGO

Brix está conformado de sacarosa, azúcares reductores y otros sólidos disueltos mientras que POL mide solo el contenido de sacarosa.

Por razones ajenas al trabajo no se pudo conocer en detalle el contenido de azúcares totales, esta parte del análisis quedó incompleto, ya que dentro de brix lo único que se pudo diferenciar por medio de los análisis fue sacarosa. La incógnita está en si el resto de los sólidos solubles medidos en el jugo pertenecen a azúcares reductores o no. Si no lo fueran, los otros sólidos disueltos no aportan al proceso químico de la fermentación y por consiguiente a la formación de etanol.

Cuadro N° 17. Porcentaje de sólidos solubles totales y porcentaje de sacarosa según variedades

Variedades	% sólidos solubles totales	% sacarosa
M 81	16,4 (b)	6,1 (a)
Topper	17,9 (a)	4,7 (b)

Como se menciona no podemos inferir demasiado sobre la calidad de los sólidos del jugo, si es esperable que a mayor porcentaje de Brix exista mayor cantidad de azúcares reductores. Por lo tanto el jugo de mejor calidad sería el de Topper.

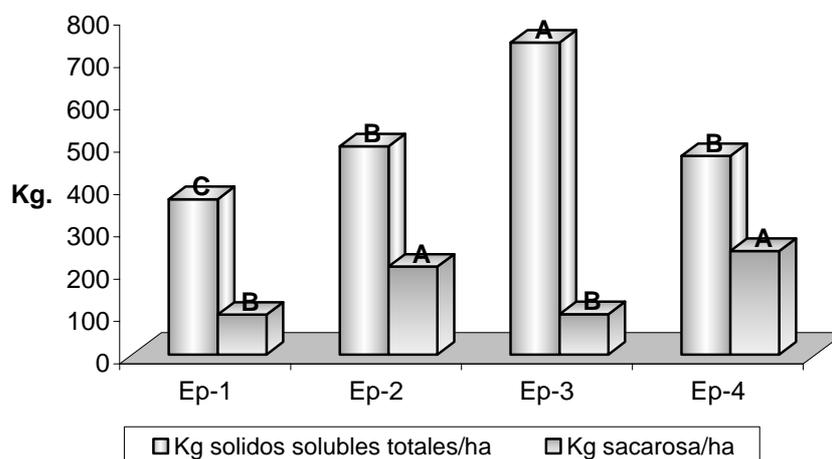


Figura N° 14. Kg de sólidos solubles totales/ha. y kg de sacarosa/ha, según época de siembra.

Al no existir diferencias significativas en el porcentaje de sólidos solubles totales dentro de cada época (17% sólidos solubles totales), los Kg de sólidos solubles totales son directamente proporcionales a la producción de jugo, por lo tanto la época que tiene mayor contenido de sólidos es la 3. La importancia de la época de siembra, radica fundamentalmente en tratar de obtener la mayor producción de jugo posible, ya que la calidad del mismo (% sólidos solubles totales) no se ve afectada.

Ambas variedades logran los mismos resultados dentro de cada época, ya que a pesar de existir diferencias significativas en los % de sólidos solubles totales, estas no son lo suficientemente grandes como para provocar diferencias en los kg. de sólidos solubles

totales ha⁻¹. Por lo tanto dentro de una misma época sería indiferente sembrar cualquiera de ellas.

Cuadro N° 18. Porcentaje de POL según época

Época	%Sacarosa
1	3,8 (c)
2	6,8 (b)
3	2,2 (d)
4	8,8 (a)

A diferencia de sólidos solubles totales, la sacarosa si varía de acuerdo a la época.

Cuadro N° 19. Kg de sólidos solubles totales/ha. y kg de sacarosa/ha según densidad.

Densidad	Kg sólidos solubles totales/ha	Kg sacarosa/ha
Alta	585.7 (a)	190.4 (a)
Baja	446.2 (b)	130.3 (b)

Al ser directamente proporcional la producción de jugo con los kg de sólidos solubles totales la densidad que mas jugo produce es la que más sólidos aporta.

5. CONCLUSIONES

La densidad alta (14 plantas/m²) logro mayor producción de tallos por ha⁻¹. Al no existir diferencia en peso por tallo entre ambas, la que logro mayor cantidad de tallos (alta densidad) fue la que logro mayor cantidad de tt de tallo por ha. (72,3 y 57,4 tt ha⁻¹ para alta y baja densidad respectivamente). Esto acompañado con el hecho que la alta densidad también obtuvo un mayor porcentaje de extracción (2% superior) trajo aparejado una mayor producción de jugo, independiente de la época de siembra y variedad.

Por otro lado, la alta densidad presento cañas más altas pero de igual diámetro que la baja densidad, lo que implica que la primera podría ser mas susceptible al vuelco (presenta mayor relación altura/diámetro)

En cuanto a % de sólidos solubles totales y % de sacarosa no hay diferencia entre densidades, por lo tanto la que más jugo produce es la que da más kg de sólidos solubles y sacarosa.

La época 3 (diciembre) fue la que obtuvo mayor rendimiento con 81.8 tt. de tallo limpio por ha⁻¹. En la siembra más tardía (Época 4; enero) el ciclo se acorto un 11.7%, este menor desarrollo vegetativo trajo aparejado una menor producción comparado con la época 3 (30.5% y 32.1% menor rendimiento de tallo limpio y jugo, respectivamente)

Los menores rendimientos en las épocas tempranas (21,3 y 30 tt. ha⁻¹ de jugo, 56.9 y 64.0 tt. de tallo limpio ha⁻¹ para las épocas de octubre y noviembre respectivamente) estuvieron explicadas fundamentalmente por mayores déficit hídricos.

En cuanto a calidad de jugo, las distintas épocas no presentaron diferencias en % de sólidos solubles, por lo tanto a mayor producción de jugo se obtuvo más kg de sólidos solubles totales.

Es importante destacar que a pesar de las diferencias encontradas entre las distintas épocas de siembra, todas obtuvieron producciones aceptables, lo cual puede ser de gran interés para la industria debido a que le da la posibilidad de obtener un mayor rango de producción en tiempo a lo largo de todo el año.

Las variedades utilizadas no presentaron diferencias significativas entre ellas en rendimiento ni en el porcentaje de extracción, por ello tampoco fueron encontradas diferencias en tt de jugo ha⁻¹. Topper tuvo una mayor concentración de sólidos solubles totales. A pesar de esto no se encontraron diferencias significativas en los kg. de sólidos solubles totales ha⁻¹ dentro de cada época para cada variedad. Estas diferencias en concentración no son lo suficientemente grandes como para provocar diferencias en los

kg. ha⁻¹. Por lo tanto dentro de una misma época sería indiferente sembrar cualquiera de ellas.

Topper presenta una caña más fuerte (menor relación altura/diámetro), por lo que podría ser menos susceptible al vuelco.

6. RESUMEN

En este trabajo se estudio el efecto de la densidad de plantas, fecha de siembra y variedad para la productividad del sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L. Moench) para la producción de etanol. Las densidades utilizadas fueron de 14 pl./m². y 7 pl./ m²., las fechas de siembra fueron Octubre 12, Noviembre 7, Diciembre 14 del 2005, Enero 19 del 2006 y las variedades fueron Topper y M81. Se evaluó un factorial de 4 épocas de siembra, dos variedades y dos densidades de siembra. Utilizando un diseño de parcelas divididas con 4 repeticiones. Se evaluó rendimiento por planta, numero de tallos cosechados por área, altura, diámetro de los tallos, peso fresco y seco de los tallos, hojas, grano. Para el % de extracción, rendimiento en jugo y peso de bagazo se utilizó un trapiche mecánico, analizando el contenido de sólidos solubles totales, sacarosa y pureza del jugo. Usando la densidad más alta (14 plantas/m²) se obtuvo un 21% y 24% más producción que la densidad baja en tallos limpios y jugo respectivamente, sin que existieran diferencias en % de sólidos solubles totales y sacarosa. Este mejor comportamiento estuvo explicado por un mayor aumento en el n° de tallos cosechados que por una disminución de peso individual de tallo. En cuanto a época de siembra, diciembre logró mas producción en tallo limpio y jugo ha⁻¹ (26% y 38% más que la media, respectivamente), debido principalmente a las mejores condiciones hídricas. Tampoco hubo diferencias entre épocas en cuanto al % de sólidos solubles. No hubo diferencias entre las variedades, tanto en producción como en calidad de jugo. El presente trabajo mostró claramente el excelente potencial que presenta este cultivo bajo las nuevas tecnologías disponibles para la producción de sólidos solubles para la producción de etanol bajo condiciones de secano en el oeste Uruguayo.

Palabras clave: Sorgo dulce; Etanol; Variedades; Época de siembra; Densidad de siembra; °BRIX; POL;

7. SUMMARY

Plant density, sowing date and cultivar effect in sweet sorghum (*sorghum bicolor* L. Moench) ethanol production productivity was evaluated in this trial. The tested densities were 14 pt/m² and 7 pt/ m², sowing dates were October 12, November 7, December 14 2005, January 19 2006. The cultivars used were Topper and M81. A factorial of four sowing dates, two cultivars and two sowing densities was used for evaluation. The experiment was run in a split plot design with four random blocks. Evaluations were made over plant production, number of stalks harvested, height, stalks diameter and stalks, leaves and grain weight. A mechanic press was used to obtain extraction %, juice production and chaff weight, total soluble solids content (°BRIX), sugar content (POL) and juice pureness were determinates. Using the highest density (14 pl/m²) a 21% more of clean stalks and a 24% more of juice were achieved, without registering differences in soluble solids and saccharose %. The differences registered were mainly explained by a highest amount of harvested stalks rather than individual stalks weight. In sowing dates, December achieved the best results with 26% higher clean stalk production and a 38 % higher juice production than the average. This differences were mainly achieved because of the better hydric conditions on this sowing date. Differences in soluble solids were not found for the different sowing dates. For both varieties, neither production nor juice quality presented any differences. The present essay clearly showed the excellent potential that, under new available technologies, sweet sorghum presents for soluble solids production for ethanol production under dry conditions on the west area of Uruguay.

Keywords: Sweet Sorghum; Ethanol; Cultivar; Sowing date; Sowing density; °BRIX; POL.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AMBROSINI, 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. AYALA, H.; PÈREZ, F. R. 1980. Sorgo Sacarígeno; posibilidades industriales, experiencias de campo. Estación Experimental Agro-Industrial “Obispo-Colombres”. Tucumán. Publicación Miscelánea no. 66. 42 p.
3. BISTOLFI ZUNINI, G. Efecto de la densidad de siembra de sorgo azucarado en la producción de alcohol. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 47 p.
4. BENTANCOUR, M.O. 1945. El sorgo azucarado. Revista de la Facultad de Agronomía (Uruguay). no. 41 : 92-105.
5. BERGERET, P.W.; FERNANDEZ PAOLILLO, W. 1956. Estudio de diversas variedades de sorgo azucarado y sus posibilidades alcoholígenas. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay. 25(99): 17-36.
6. BROADHEAD, D.M. 1965. Sugar production for sweet sorghum as affected by planting date after-ripe harvesting and storage. Agronomy Journal. 61(5): 811-812.
7. _____. 1972. Effect of planting day and maturity of juicy quality of Rio swet sorghum. Agronomy Journal. 64(3): 389-390.
8. BUDICH, M.; BRUNNER, G. 2003. Supercritical fluid extraction of ethanol from aqueous solutions. The Journal of Supercritical Fluids. 25: 45-55.
9. BUXTON, D. R.; ANDERSON, I. C.; HALLAM, A. 1999. Performance of sweet and forage sorghum grown continuously, doble-copped with winter rye, or in rotation with soybean and maize. (en línea). Tillage and Cropping Systems. 91: 93-101. Consultado 25 dic. 2006. Disponible en <http://agron.scijournals.org/cgi/reprint/91/1/93.pdf>
10. CASSOU, S.; VALDENEGRO, J. S.; VERDE, R. 1983. Efecto de tres factores de producción en sorgo sacarígeno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 158 p.

11. 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. Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 52: 741-755.
12. COOMBS, J. 1996. Bioconversion assessment study. In: Science, Research and Development. Bruselas, Bélgica, European Community, DG XII. s.p.
13. CORSI, W. C. 1983. Regionalización agroclimática de Uruguay para cultivos. Colonia, Estación Experimental Agropecuaria La Estanzuela. (C.I.I.A.B). s.p.
14. COWLEY, W.R.; SMITH, B.A. 1972. Sweet sorghum as a potential shugar crop in South Texas. In: Congress of the International Society of Shugar Cane Technology (14th., 1971, Weslaco, Texas). Proceedings. Weslaco, Texas, s.e. pp. 628-633.
15. CHIANESE, A.; ZINNAMOSCA, F. 1990. Ethanol desidratation by azetotropic distillation with a mixed-solvent entrainer. *Chemical Engineering Journal*. 43: 59-65.
16. DOELLE, M.B.; DOELLE, W. 1989. Ethanol production from sugar cane syrup using *Zymomonas mobilis*. *Journal of Biotechnology*. 11 : 25-36.
17. DOGGET, H. 1970. Sorghum. London, Longmans. 403 p.
18. ECHEGARAY, O.; CARVALHO, J.; FERNANDES, A.; SATO, S.; AQUARONE, E.; VITOLO, M. 2000. Fed-batch culture of *Saccharomyces cerevisiae* in sugarcane blackstrap molasses: invertase activity of intact cells in ethanol fermentation. *Biomass and Bioenergy*. 19: 39-50.
19. FARIELLO, R.J. 1979. Producción de jugo azucarado a partir de cultivares de sorgo. In: Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía (2^a, 1979, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía. p.irr.
20. _____. 1980. Producción de alcohol en base a biomasa. *Agronoticias (Uruguay)* 2(3): 43-44.
21. _____. 1981. El sorgo azucarado como cultivo energético. *Agronoticias (Uruguay)* 3(4): 11-13.
22. FREEMAN, K.C.; BROADHEAD, D.M.; ZUMO, N. 1973. Culture of sweet sorghum for sirup production. USDA. Agricultural Handbook no. 441. 17 p.

23. GNANSOUNOU, E. A.; DAURIAT, C.E.; WYMAN, J. 2005. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar; economic trade-offs in the context of North China. *Bioresource Technology*. 96: 985-1002.
24. GROTE, W.; ROGERS, P.L. 1985. Ethanol production from sucrose-based raw materials using immobilized cells of *Zymomonas mobilis*. *Biomass*. 8: 169-184.
25. 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.
26. HIPPEL, B.W. 1970. Influence of solar radiation and date of planting on yield of sweet sorghum. *Crop Science*. 10: 91-92.
27. ICRISAT. s.f. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. (en línea). s.n.t. 1 p. Consultado 19 nov. 2006. Disponible en <http://www.icrisat.org/Text/coolstuff/crops/gcrops2.html>
28. KOSARIC, N.; KOSARIC, N.; VELIKONJA, J. 1995. Liquid and gaseous fuels from biotechnology; challenge and opportunities. *FEMS Microbiology Reviews*. 8 (2): 111-142.
29. KUMAR, N.V.; PRABHA, D.; ANANDUJIT, G.; SAMMER M. 2006. Liquid biofuels in South Asia; resources and technologies. *Asian Biotechnology and Development Review*. 8 (2): 31-49
30. LITTEL, R.C.; MILLIDEN, G. A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R.D. 1996. SAS system for mixed models. Cary, NC, SAS Institute. 840 p.
31. MADSON, P.W. ; MONCEAUX, D.A. 1995. Fuel ethanol production. In: Lyons T.P. ; Kelsall D.R.; Murtagh J.E. eds. *The alcohol textbook*. Nottingham, UK, University Press. pp. 257-268.
32. MASSANTINI, F.; MASONI, A. 1983 Problemi agronomici inerenti la produzione di alcohol de sorgo zuccherino. *Rivista di Agronomia*. 1: 232-237.
33. MILLER, E.C. 1916. Comparative study of root systems of agricultural plants. *Argonomy Journal*. 8: 129-154.
34. NAKAYAMA, F.S.; VAN BAVEL, C.H.M. 1963. Root activity distribution patterns of sorghum and soil moisture conditions. *Agronomy Journal*. 55: 271-274.

35. PANDEY, K.; AGARWAL, P.K. 1993. Effect of EDTA, potassium ferrocyanide, and sodium potassium tartarate on the production of ethanol from molasses by *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme and Microbial Technology*. 15: 887-898.
36. RICAUD, R. 1971. Sweet sorghum for shugar production in Louisiana. *Louisiana Agriculture*. 14(2): 4-7.
37. SÁNCHEZ, O.J.; CARDONA, C.A. 2005. Producción biotecnológicas de alcohol carburante; II. Integración de procesos. *Interciencia*. 30: 679-686.
38. SIRI, G. comp. 2004. *Sorgo*. Montevideo, Facultad de Agronomía. 96 p.
39. SMITH, G.A; BAGBY, B. O.; LEWELLEN, R. T.; DONEY, D. L.; MOORE, P. H.; HILLS, F. J.; CAMPBELL, L. G.; HOGABOAM, G. J.; COE, G. E.; FREEMAN, K. 1987. Evaluation of sweet sorghum for fermentable sugar production potential. *Crop Science*. 27:788-793.
40. _____; BUXTON, D. R. 1993. Temperate zone sweet sorghum ethanol production potential. *Bioresource Technology*. 43 (1): 71-75.
41. TERRA, J. A.; ROEL, A.; MACEDO, R.; CORREA. J. M. Cultivos de verano; resultados experimentales 2005-2006. (en línea). Montevideo, INIA. 39 p. (Actividades de Difusión no. 416). Agosto 2006. Consultado 19 de nov. 2006. Disponible en http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_461.pdf#search=%22sorghum%20bicolor%20L%20Moench%22
42. VANDERLIP, R. L. 1993. How a sorghum plant develops. Kansas, Kansas State University. Agricultural Experiment Station and Cooperation Extensión Service. 20 p.
43. 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 Reserch*. 76(5/6): 146-151.
44. WALL, J. S.; ROSS, W. M. 1975. *Producción y usos del sorgo*. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 399 p.

45. WOODS, J. 2000. Integrating sweet sorghum and sugarcane for bioenergy; modelling the potential for electricity and ethanol production in SE Zimbabwe. PhD Thesis. London, United Kingdom. King's College London. s.p.
46. 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

MEDICIONES DE CAMPO

TOPPER E 1

todo en 2m	N° de plantas		N° de tallos		Peso de tallos
	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
lineales					
Bloque 1	6	16	15	24	3,73
Bloque 2	8	17	18	35	3,1
Bloque 3	9	15	25	32	5,5
Bloque 4	5	17	18	31	5,45
promedio	7	16,25	19	30,5	4,45

10000

promedio	N° de plantas/ha		N° de tallos /ha		Peso de tallos
	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
	70000	162500	190000	305000	44450

(Kg BF)	Peso jugo (Kg)		Peso hoja (Kg MS)		Rend. Jugo	% Alta densidad
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad
4,87	1,25	1,425	0,48	0,64	33,51	29,26
6,95	0,925	2,375	0,52	0,97	29,84	34,17
6,85	2,025	2,275	0,74	1,34	36,82	33,21
7,45	1,775	2,375	1,27	0,98	32,57	31,88
6,53	1,49	2,11	0,75	0,98	33,18	32,13

(KgBF/ha)	Peso jugo	(Kg/ha)	Peso hoja	(kgMS/ha)
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad
65300	14937,5	21125	7536,21	9818,76

M 81E1

todo en 2m	N° de plantas		N° de tallos		Peso de tallos
	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
lineales					
Bloque 1	6	14	9	16	2,95
Bloque 2	8	16	11	23	4,5
Bloque 3	10	15	14	17	5,9
Bloque 4	7	13	16	19	6,5

promedio	7,75	14,5	12,50	18,75	4,9625
10000					

	N° de plantas/ha		N° de tallos /ha		Peso de tallos
	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
promedio	77500	145000	125000	187500	49625

(Kg BF)	Peso jugo	(Kg)	Peso hoja	(Kg MS)	Rend. Jugo	% Alta densidad
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	
5,65	1,13	2,20	0,40	0,26	38,14	38,85
8,2	1,55	3,975	0,46	0,80	34,44	48,48
6,435	2,125	2,525	0,67	1,42	36,02	39,24
6,94	3,025	3,175	0,66	0,81	46,54	45,75
6,80625	1,95625	2,9675	0,55	0,82	38,78	43,08

(KgBF/ha)	Peso jugo	(Kg/ha)	Peso hoja	(kgMS/ha)
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad
68062,5	19562,5	29675	5453,41571	8202,53346

TOPPER E2

todo en 2m	N° de plantas		N° de tallos		Peso de tallos
lineales	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
Bloque 1	6	15	18	19	6,92
Bloque 2	7	14	21	24	7,35
Bloque 3	7	15	12	14	5,25
Bloque 4	7	13	19	21	5,75
promedio	6,75	14,25	17,50	19,50	6,3175
10000					

	N° de plantas/ha		N° de tallos /ha		Peso de tallos
	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
promedio	67500	142500	175000	195000	63175

(Kg BF)	Peso jugo	(Kg)	Peso hoja	(Kg MS)	Rend. Jugo	% Alta densidad
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	
5,77	3,05	2,65	0,92	0,89	44,08	45,93
7,08	3,3	3,5	0,90	0,75	44,90	49,44
4,45	2,25	2	0,70	0,48	42,86	44,94
7,65	2,4	3,65	1,01	1,14	41,74	47,71

6,2375	2,75	2,95	0,88	0,81	43,39	47,00
--------	------	------	------	------	-------	-------

(KgBF/ha)	Peso jugo	(Kg/ha)	Peso hoja	(kgMS/ha)
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad
62375	27500	29500	8826,87383	8128,87842

M81 E2					
todo en 2m	N° de plantas		N° de tallos		Peso de tallos
lineales	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
Bloque 1	9	18	10	26	3,25
Bloque 2	SD	SD	SD	SD	SD
Bloque 3	8	15	27	19	8,45
Bloque 4	8	15	12	20	4,75
promedio	8,33333333	16	16,33	21,67	5,48333333
10000					
	N° de plantas/ha		N° de tallos /ha		Peso de tallos
	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
promedio	83333,3333	160000	163333,333	216666,667	54833,3333

(Kg BF)	Peso jugo		(Kg)	Peso hoja		(Kg MS)	Rend. Jugo	% Alta densidad
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Baja densidad		
10,4	1,55	5,05	0,44	82,51	47,69	48,56		
SD								
6,61	3,85	3	1,07	0,78	45,56	45,39		
5,65	2,05	3,33	0,59	0,87	43,16	58,94		
7,55333333	2,48333333	3,79333333	0,70	28,05	45,47	50,96		

(KgBF/ha)	Peso jugo	(Kg/ha)	Peso hoja	(kgMS/ha)
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad

75533,3333 24833,3333 37933,3333 7017,61995 280514,266

**TOPPER
E3**

todo en 2m	N° de plantas		N° de tallos		Peso de tallos
lineales	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
Bloque 1	6	13	12	17	7,035
Bloque 2	8	12	23	26	7,89
Bloque 3	8	11	19	20	6,88
Bloque 4	9	18	18	21	8,38
promedio	7,75	13,5	18,00	21,00	7,545
10000					
	N° de plantas/ha		N° de tallos /ha		Peso de tallos
	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
promedio	77500,00	135000,00	180000,00	210000,00	75450,00

(Kg BF)	Peso jugo		(Kg)	Peso hoja		(Kg MS)	Rend. Jugo	% Alta densidad
Alta densidad	Baja densidad							
8,85	3,394	4,732	0,41	0,87	48,24	53,47		
9,97	4,05	4,65	0,73	0,72	51,36	46,69		
8,24	3,33	4,11	0,47	0,67	48,46	49,83		
11,82	4,32	6,36	0,63	0,94	51,56	53,78		
9,71875	3,77475	4,962	0,56	0,80	49,91	50,94		

(KgBF/ha)	Peso jugo	(Kg/ha)	Peso hoja	(kgMS/ha)
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad
97187,50	37747,50	49620,00	5596,05	8013,82

M81

todo en 2m	N° de plantas		N° de tallos		Peso de tallos
lineales	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
Bloque 1	9	12	11	18	5,17
Bloque 2	7	9	20	19	9,79
Bloque 3	7	7	17	13	8,81
Bloque 4	10	12	13	18	5,13
promedio	8,25	10	15,25	17,00	7,22375
10000					
	N° de		N° de tallos /ha		Peso de tallos

plantas/ha						
	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	
promedio	82500,00	100000,00	152500,00	170000,00	72237,50	

(Kg BF)	Peso jugo	(Kg)	Peso hoja	(Kg MS)	Rend. Jugo	% Alta densidad
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	
9,68	2,48	5,287	0,32	0,60	47,97	54,62
8,75	5,12	4,63	0,65	0,92	52,32	52,91
5,61	4,33	2,67	0,47	0,29	49,18	47,63
8,81	2,60	4,83	0,31	0,60	50,74	54,87
8,2125	3,634	4,35575	0,44	0,60	50,05	52,51

(KgBF/ha)	Peso jugo	(Kg/ha)	Peso hoja	(kgMS/ha)
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad
82125,00	36340,00	43557,50	4391,14	6017,50

TOPPER E4

todo en 2m	N° de plantas		N° de tallos		Peso de tallos
lineales	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
Bloque 1	6	13	14	24	5,56
Bloque 2	7	13	16	23	4,55
Bloque 3	8	20	20	20	6,69
Bloque 4	8	15	17	19	4,90
promedio	7,25	15,25	16,75	21,50	5,425
10000					

N° de plantas/ha						
	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	
promedio	72500,00	152500,00	167500,00	215000,00	54250,00	

(Kg BF)	Peso jugo	(Kg)	Peso hoja	(Kg MS)	Rend. Jugo	% Alta densidad
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	
8,2	3,05	4,31	0,00	0,00	54,86	52,56
7,05	2,29	3,43	0,00	0,00	50,33	48,65

6,65	3,57	3,72	0,00	0,00	53,36	55,94
5,18	2,18	2,36	0,00	0,00	44,49	45,56
6,77	2,7725	3,455	0,00	0,00	50,76	50,68

(KgBF/ha)	Peso jugo	(Kg/ha)	Peso hoja	(kgMS/ha)
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad
67700,00	27725,00	34550,00	0,00	0,00

M81 E4					
todo en 2m	N° de plantas		N° de tallos		Peso de tallos
lineales	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
Bloque 1	5	11	22	16	6,4
Bloque 2	6	15	12	19	5,10
Bloque 3	8	13	16	17	3,55
Bloque 4	8	14	10	24	3,10
promedio	6,75	13,25	15,00	19,00	4,5375
10000					
	N° de plantas/ha		N° de tallos /ha		Peso de tallos
	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad
promedio	67500,00	132500,00	150000,00	190000,00	45375,00

(Kg BF)	Peso jugo	(Kg)	Peso hoja	(Kg MS)	Rend. Jugo	% Alta densidad
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	
3,9	2,77	1,58	0,00	0,00	43,28	40,51
8,20	2,75	4,25	0,00	0,00	53,92	51,83
5,10	1,67	2,41	0,00	0,00	47,04	47,25
6,70	1,58	3,48	0,00	0,00	50,97	51,94
5,975	2,1925	2,93	0,00	0,00	48,80	47,88

(KgBF/ha)	Peso jugo	(Kg/ha)	Peso hoja	(kgMS/ha)
Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad	Baja densidad	Alta densidad
59750,00	21925,00	29300,00	0,00	0,00

DATOS DE EPOCA DE SIEMBRA

epoca	siembra	N plantas	Dias	N macollos y N plantas	Dias	N macollos y N plantas	Dias
epoca 1	12-oct		54,00	05-dic	54,0	28-dic	77,00

29	0,3			29,4		Traz					1	45	
30	Traz				0,7	Traz	Traz	Traz				10,4	
31							Traz			Traz			
suma	351,1	85,6	66,7	168,6	107,2	66,6	96	125,1	158,1	157,9	235,4	69,5	205

TEMPERATURAMINIMA

Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
138	160	148	59	80	88	122	165	200	150	150	72	90
198	215	190	68	106	110	89	180	204	180	171	69	120
153	152	135	35	187	148	146	200	196	200	190	78	128
150	70	186	70	94	135	158	146	180	157	200	66	71
182	31	92	53	46	84	170	170	214	136	172	90	54
161	10	53	47	66	112	112	190	160	170	170	74	80
190	26	60	90	92	88	99	222	150	158	160	106	122
137	78	16	69	102	83	158	265	170	200	177	100	204
118	68	22	113	103	102	150	140	140	162	179	60	128
170	82	60	106	122	124	133	166	142	112	133	90	70
114	126	50	44	123	140	106	182	142	113	120	64	5
80	122	70	16	142	138	148	237	154	149	226	409	30
111	138	64	14	143	171	150	200	150	168	140	40	90
58	140	110	68	110	178	170	229	159	190	147	80	127
113	123	85	52	75	169	184	247	200	178	100	76	86
135	81	120	37	80	164	208	194	210	202	63	108	75
150	35	119	43	130	180	153	120	188	192	30	96	79
128	30	42	88	110	160	155	132	210	152	77	110	114
86	6	56	126	132	162	146	169	209	138	132	89	158
50	16	79	140	130	163	130	209	220	171	184	19	133
29	46	158	140	166	158	150	210	210	172	114	21	117
55	80	138	137	158	194	186	169	200	170	70	28	50
40	16	98	158	90	216	212	208	180	190	118	27	60
41	62	80	140	110	137	126	200	160	181	110	16	134
124	79	36	107	122	112	121	200	178	148	180	90	100
117	30	66	56	110	152	152	167	165	94	114	130	90
159	52	90	76	119	170	159	216	154	152	126	165	49
130	51	96	102	124	188	180	194	160	147	140	62	70
130	100	88	139	84	182	190	210		80	146	110	58
139	190	47	110	70	178	190	218		92	70	110	88
	161	39		58		210	134		140		72	
promedio	83,1	86,9	83,4	109,2	146,2	153,6	190,0	178,8	156,3	137,0	88,0	92,7
	8,3	8,7	8,3	10,9	14,6	15,4	19,0	17,9	15,6	13,7	8,8	9,3

TEMPERATURA MEDIA

Meses	jun-05	jul-05	ago-05	sep-05	oct-05	nov-05	dic-05	ene-06	feb-06	mar-06	abr-06	may-06	jun-06
Dia													
1	184	195	186	110	143	167	189	244	266	200	224	110	134
2	228	242	213	122	177	205	178	277	245	223	213	117	126
3	199	194	203	117	213	214	214	273	228	231	226	128	144
4	169	123	220	138	148	197	182	225	244	205	261	138	124
5	190	70	211	140	110	149	224	250	250	201	237	140	131
6	160	59	93	131	136	180	191	285	252	218	229	137	140
7	223	93	82	174	150	152	185	315	220	235	231	141	188
8	192	133	71	178	160	154	211	331	239	227	237	136	233
9	150	124	82	166	164	176	167	328	218	238	227	132	178
10	198	151	108	143	179	188	189	308	206	195	188	150	106
11	167	171	120	91	190	200	169	242	220	192	192	141	78
12	115	171	126	93	211	210	208	258	229	216	217	147	95
13	144	200	138	95	181	241	238	214	253	253	226	119	128
14	107	187	152	109	148	252	233	251	248	244	179	140	167
15	133	180	132	110	135	230	245	300	275	222	148	147	139
16	151	102	159	122	152	224	242	227	270	233	125	171	103
17	156	76	150	135	171	233	228	195	271	217	122	181	110
18	145	76	102	177	174	214	237	197	300	200	147	169	175
19	112	64	112	187	200	234	185	235	285	203	204	117	169
20	85	89	140	193	213	249	215	260	281	229	226	79	173
21	76	77	172	213	239	244	248	262	283	220	164	73	145
22	86	93	178	233	226	275	269	240	303	228	167	75	118
23	91	63	174	187	147	248	265	244	184	245	191	93	126
24	102	73	101	168	123	219	223	252	213	242	191	88	151
25	143	109	100	150	152	200	214	243	221	196	222	135	148
26	150	89	121	149	166	251	228	216	231	167	169	162	103
27	172	106	142	197	186	265	237	235	224	201	193	195	95
28	165	111	140	185	168	269	268	240	190	198	204	133	105
29	163	155	122	164	141	266	270	266		153	188	130	85
30	161	228	94	164	128	211	273	272		169	144	122	120
31		211	77		135		258	272		203		122	
promedio	150,6	129,5	136,2	151,4	166,6	217,2	222,0	256,7	244,6	213,0	196,4	131,2	
	15,1	13,0	13,6	15,1	16,7	21,7	22,2	25,7	24,5	21,3	19,6	13,1	

TEMPERATURA MAXIMA

Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
260	277	270	140	229	252	262	330	352	282	292	152	178
262	266	284	140	270	280	270	353	356	281	290	178	131
186	213	284	170	230	300	340	337	262	280	264	202	153
200	132	280	183	187	236	242	300	300	246	328	210	170
192	120	259	186	176	220	276	342	316	270	312	210	196
230	122	145	200	204	230	240	381	290	290	298	200	192
277	157	111	228	227	212	258	402	276	322	299	190	269
192	161	153	216	232	236	258	403	291	292	294	192	285
227	192	170	207	250	242	216	407	282	299	278	206	160
252	214	179	178	245	255	234	366	276	270	250	223	140

152	212	197	120	270	270	262	317	294	268	282	216	144
170	230	209	136	300	300	285	390	300	314	266	194	161
132	245	200	142	218	311	292	240	305	350	308	204	162
140	236	250	94	200	320	295	354	330	250	176	219	207
173	188	162	126	210	267	324	360	352	304	200	238	180
176	102	260	160	200	271	262	230	350	320	196	262	131
173	120	180	186	222	290	290	256	360	230	209	264	153
144	120	145	145	260	273	324	270	381	269	238	188	240
116	123	200	208	263	310	250	296	350	291	282	147	264
123	150	220	204	292	322	300	330	354	298	254	132	188
129	106	174	230	306	329	340	307	360	288	220	140	185
152	100	251	264	260	355	340	262	350	290	270	153	212
163	78	190	280	190	260	320	310	270	306	261	162	280
180	98	144	206	152	258	282	320	230	300	296	168	186
202	146	170	210	200	300	297	294	270	224	260	216	190
200	160	184	191	235	336	320	292	290	248	240	210	120
207	165	230	206	260	347	340	320	290	290	280	242	150
182	200	168	262	204	350	342	350	260	240	275	194	158
230	250	140	222	183	332	355	366		227	248	149	172
182	299	147	194	180	277	351	310		264	178	139	199
	268	126		215		323	314		259		189	
promedio	175,8	196,2	187,8	228,1	284,7	293,2	326,1	310,6	279,4	261,5	193,2	185,2
	17,6	19,6	18,8	22,8	28,5	29,3	32,6	31,1	27,9	26,1	19,3	18,5

HELIOFANÍA

Meses	jun-05	jul-05	ago-05	sep-05	oct-05	nov-05	dic-05	ene-06	feb-06	mar-06	abr-06	may-06	jun-06
Dia													
1	60	42	73	18	111	114	124	111	86	48	77	46	57
2	92,0	63	56	26	99	116	113	124	92	7	44	68	0
3	0	48	87	73	17	117	76	110	0	50	4	86	0
4	0	34	58	70	1	11	5	86	9	105	96	94	79
5	0	73	23	68	107	103	93	112	101	107	97	40	85
6	1	86	96	97	103	114	124	116	118	110	66	56	78
7	81	86	27	97	95	115	109	124	90	112	83	34	76
8	90	83	84	93	87	109	57	100	106	78	2	27	58
9	46	75	87	22	86	120	4	119	114	110	95	62	0
10	63	80	86	0	112	118	127	47	115	110	44	97	82
11	0	66	96	89	114	118	129	17	113	51	90	91	92
12	23	63	101	96	111	104	127	63	112	109	97	93	90
13	0	63	37	72	0	72	125	7	113	108	93	96	1
14	71	52	41	1	114	118	70	72	109	17	2	96	45
15	0	0	49	59	66	79	124	89	111	59	100	96	82
16	0	0	53	82	94	100	26	27	111	56	99	93	54
17	2	95	36	69	84	118	110	118	102	0	95	84	23
18	0	95	79	6	113	68	86	125	106	101	93	0	71
19	36	94	87	13	112	120	92	110	115	95	65	53	62
20	93	89	49	12	117	124	125	97	105	105	12	91	17
21	83	20	0	99	105	117	120	79	99	101	98	83	76
22	88	17	60	94	105	125	107	40	102	72	99	89	93

23	60	31	6	57	1	3	94	97	6	101	96	87	92
24	79	0	82	39	0	120	123	121	1	100	97	74	0
25	18	19	82	108	90	124	127	102	96	101	51	97	4
26	30	69	84	107	114	124	106	120	116	75	73	2	8
27	10	89	63	110	100	113	110	121	112	98	98	73	84
28	30	96	3	109	43	122	16	121	17	87	95	90	22
29	56	50	35	33	112	90	126	123		98	34	4	92
30	0	92	94	84	86	3	58	96		104	98	0	67
31		67	67		114		87	96		84		58	
promedio	37,1	59,3	60,7	63,4	84,3	100,0	94,2	93,2	88,5	82,5	73,1	66,5	53,0

ACLARACION---->
Día 1 junio = 6 horas
Día 2 junio = 9 horas 12 minutos

HUMEDAD

Meses	jun-05	jul-05	ago-05	sep-05	oct-05	nov-05	dic-05	ene-06	feb-06	mar-06	abr-06	may-06	jun-06
Día													
1	91	88	85	81	58	60	60	63	61	85	67	70	78
2	83	83	75	87	62	56	47	47	55	79	79	78	75
3	92	82	76	83	82	54	48	48	77	85	68	78	98
4	97	83	71	75	90	81	86	52	85	74	71	75	82
5	99	85	72	73	72	70	75	41	85	68	76	71	74
6	96	81	83	71	63	58	44	40	63	68	78	76	77
7	84	82	75	62	72	70	48	37	63	59	68	21	84
8	88	79	77	62	76	64	54	47	61	65	69	84	73
9	85	81	81	80	77	57	82	48	62	67	71	82	83
10	87	80	68	95	73	61	63	58	64	55	77	74	80
11	94	81	74	73	72	67	49	71	61	56	74	71	70
12	93	80	75	71	68	67	56	76	59	71	59	73	71
13	96	88	79	70	86	61	56	86	53	56	61	70	80
14	82	78	80	75	74	63	58	74	49	70	76	63	85
15	90	88	83	84	61	69	55	63	53	84	78	67	81
16	95	96	80	78	66	60	61	88	54	79	68	63	75
17	97	83	85	71	76	58	72	60	65	98	61	63	75
18	94	80	86	83	76	66	50	58	58	83	57	77	85
19	82	80	87	90	58	61	61	63	52	72	58	82	78
20	86	80	85	85	62	57	52	70	61	74	56	67	70
21	78	88	92	77	61	57	49	68	57	73	75	63	62
22	78	94	80	81	75	51	45	73	55	65	55	63	65
23	87	82	94	76	76	63	63	70	67	77	53	51	66
24	90	92	75	86	92	51	55	64	87	78	46	75	83
25	86	94	80	75	80	48	52	70	78	66	81	76	94
26	92	85	71	66	68	46	41	62	75	54	84	79	83
27	92	87	73	63	67	45	45	53	63	58	80	78	81
28	84	79	70	71	63	48	46	49	82	70	68	65	78
29	78	79	72	76	65	55	50	54		69	75	78	75
30	85	76	79	72	71	70	50	57		59	68	94	82
31		80	79		62		52	64		56		85	
promedio	89	84	79	76	71	60	56	60	64	70	69	71	78

TANQUE A

Meses	jun-05	jul-05	ago-05	sep-05	oct-05	nov-05	dic-05	ene-06	feb-06	mar-06	abr-06	may-06	jun-06
Dia													
1	18	24	55	13	53	64	14	123	102	62	67	20	33
2	53	32	32	20	75	64	125	120	108	29	45	22	4
3	30	30	40	34	72	93	Derr	91	21	57	34	27	2
4	Derr	12	46	35	10	31	Derr	84	46	69	50	30	22
5	6	40	48	32	46	68	106	140	88	62	49	20	28
6	9	21	30	38	47	82	121	124	89	86	73	28	17
7	27	27	17	48	44	58	89	166	86	77	56	26	31
8	23	23	31	61	46	91	61	138	72	35	38	19	Derr
9	7	20	30	18	46	70	18	132	82	88	72	25	47
10	39	14	46	57	59	97	101	67	83	69	14	22	14
11	20	23	20	33	62	67	88	40	85	40	63	38	38
12	Derr	33	51	44	66	78	105	96	108	84	63	33	36
13	11	35	12	30	Derr	77	113	30	67	60	84	24	7
14	34	6	35	6	58	Derr	92	70	90	29	23	40	24
15	7	27	16	37	62	54	83	Derr	89	35	83	53	29
16	7	5	34	42	41	55	24	58	95	37	58	29	35
17	5	4	19	23	51	85	81	105	95	22	38	33	10
18	16	11	30	3	54	61	103	92	115	61	51	25	15
19	16	26	11	40	76	79	79	88	112	38	87	44	16
20	30	12	42	9	61	118	87	40	101	62	40	6	36
21	7	20	55	51	62	79	108	82	96	89	63	25	27
22	19	50	Derr	43	65	115	91	47	98	39	55	20	22
23	10	10	40	119	25	18	98	56	76	53	63	23	34
24	12	1	28	30	86	108	121	107	20	107	89	34	Derr
25	11	6	31	58	59	83	98	85	80	70	49	32	19
26	23	1	36	56	69	22	135	93	65	58	78	12	18
27	13	16	31	55	56	131	118	82	77	59	32	40	19
28	21	11	34	77	47	146	94	85	7	61	52	37	29
29	18	29	37	23	69	87	116	107		58	36	11	16
30	12	44	50	57	40	32	108	89		53	36	15	13
31		37	20		48		84	99		67		22	
prom	18	21	34	40	55	76	92	91	80	59	55	27	23
					1150	2289,3	2752,8	2827,2	1641	1874,58	1696	861,94	663,9

ANÁLISIS DE BALANCE HIDRICO

		desde 12			hasta 205			hasta 17		
		oct	nov	Dic	ene	feb	mar	abril	mayo	
1 fecha 12 oct	evap	115	229	275	283	140	187	170	86	
	tanque a	0,7	0,81	0,81	0,77	0,76	0,65	0,68	0,6	
	kc	0,3	0,75	1,2	1,2	1,125				
	etc	24,2	139,1	267,3	261,5	119,7				
									811,8	

	pp	61,4	66,6	96	125,1	31,7	380,8		761,6
	etc/dia	1,27	4,64	8,91	8,44	7,04			
	ppef	36,48	49,92	91,83	114,62	23,90			316,74
	ppef-etc	12,33	-89,20	175,47	-146,87	-95,80			-495,0
	momento en que se termina la reserva de h2o del suelo			***					
	ef. de la lluvia	59,4	75,0	95,7	91,6	75,4			
					altura 18/01				
			desde 7			hasta			
			nov		150	19			
2 fecha 7 nov		oct	nov	Dic	ene	feb	mar	abril	mayo
	evap tanque a		199,2	275	283	164	104	170	86
	kt		0,81	0,81	0,77	0,76	0,65	0,68	0,6
	kc		0,3	0,75	1,2	1,2	1,125		
	etc		48,4	167,1	261,5	149,6	76,1		702,6
	pp		49,1	96	125,1	158,1	61,4	489,7	979,4
	etc/dia		2,10	5,57	8,44	5,34	4,00		
	ppef		31,29	74,09	114,62	109,89	40,46		370,36
	ppef-etc		-17,11	-92,97	-146,87	-39,68	-35,59		-332,2
	momento en que se termina la reserva de h2o del suelo				***				
	ef. de la lluvia		63,7	77,2	91,6	69,5	65,9		
					altura 18/01				
				desde 14	40	hasta 12			
		oct	nov	Dic	ene	feb	mar	abril	mayo
3 fecha 14 dic	evap tanque a			172	283	164	187	62,4	86
	kt			0,81	0,77	0,76	0,65	0,68	0,6
	kc			0,3	0,75	1,2	1,2	1,125	
	etc			41,8	163,4	149,6	146,2	47,7	548,7
	pp			1,4	125,1	158,1	157,9	0,3	442,8
	etc/dia			2,61	5,27	5,34	4,72	3,98	885,6
	ppef			2,39	92,91	109,89	108,92	1,57	315,69
	ppef-etc			-39,41	-70,52	-39,68	-37,30	-46,16	-233,1
	momento en que se termina la reserva de h2o del suelo					**			
	ef. de la lluvia			170,8	74,3	69,5	69,0	524,1	
					desde 19		hasta 26		
		oct	nov	Dic	ene	feb	mar	abril	mayo
4 fecha 19 ene	evap tanque a				106	164	187	169,57	51,8
	kt				0,77	0,76	0,65	0,68	0,6
	kc				0,3	0,75	1,2	1,2	1,125
	etc				24,5	93,5	146,2	138,4	35,0
	pp				20,5	158,1	157,9	235,4	13,5
	etc/dia				2,04	3,34	4,72	4,61	1,34
	ppef				14,07	95,97	108,92	146,04	9,95
	ppef-etc				-10,42	2,49	-37,30	7,67	25,02
	momento en que se termina la reserva de h2o del suelo								-62,58
	ef. de la lluvia				68,6	60,7	69,0	62,0	73,7

TRATAMIENTOS Y VARIABLES MEDIDAS

							1	2	3	4	5	6	7
trat	Ep	Bl	Dens	pl	tallos	Tall/pl	tallo		peso tallo	%	peso/planta		
							BF	BS	MS				
1	1	1	1	6	15	2,5	3730	1113	29,8	186			
1	1	2	1	8	18	2,3	3100	1325	42,7	166			
1	1	3	1	9	25	2,8	5500	2601	47,3	289			
1	1	4	1	5	18	3,6	5450	2519	46,2	504			
1	1	1	2	16	24	1,5	4870	2265	46,5	142			
1	1	2	2	17	35	2,1	6950	2112	30,4	124			
1	1	3	2	15	32	2,1	6850	2957	43,2	197			
1	1	4	2	17	31	1,8	7450	3333	44,7	196			
2	1	1	1	6	9	1,5	2950	1714	58,1	286			
2	1	2	1	8	11	1,4	4500	2296	51,0	287			
2	1	3	1	10	14	1,4	5900	2902	49,2	290			
2	1	4	1	7	16	2,3	6500	3805	58,5	544			
2	1	1	2	14	16	1,1	5650	3088	54,7	221			
2	1	2	2	16	23	1,4	8200	4569	55,7	286			
2	1	3	2	15	17	1,1	6435	3468	53,9	231			
2	1	4	2	13	19	1,5	6940	3794	54,7	292			
1	2	1	1	6	18	3,0	6920	3131	45,3	522			
1	2	2	1	7	21	3,0	7350	3620	49,3	517			
1	2	3	1	7	12	1,7	5250	2385	45,4	341			
1	2	4	1	7	19	2,7	5750	2598	45,2	371			
1	2	1	2	15	19	1,3	5770	2716	47,1	181			
1	2	2	2	14	24	1,7	7080	3620	51,1	259			
1	2	3	2	15	14	0,9	4450	2029	45,6	135			
1	2	4	2	13	21	1,6	7650	3911	51,1	301			
2	2	1	1	9	10	1,1	3250	1571	48,3	175			
2	2	3	1	8	27	3,4	8450	4328	51,2	541			
2	2	4	1	8	12	1,5	4750	2220	46,7	278			
2	2	1	2	18	26	1,4	10400	5025	48,3	279			
2	2	3	2	15	19	1,3	6610	3174	48,0	212			
2	2	4	2	15	20	1,3	5650	2861	50,6	191			
1	3	1	1	6	12	2,0	7035	2945	41,9	491			
1	3	2	1	8	23	2,9	7885	4784	60,7	598			
1	3	3	1	8	19	2,4	6880	3305	48,0	413			
1	3	4	1	9	18	2,0	8380	4109	49,0	457			
1	3	1	2	13	17	1,3	8890	4556	51,3	350			
1	3	2	2	12	26	2,2	9965	5027	50,4	419			
1	3	3	2	11	20	1,8	8240	4040	49,0	367			
1	3	4	2	18	21	1,2	11820	6514	55,1	362			
2	3	1	1	9	11	1,2	5170	2359	45,6	262			
2	3	2	1	7	20	2,9	9785	4912	50,2	702			
2	3	3	1	7	17	2,4	8810	4219	47,9	603			
2	3	4	1	10	13	1,3	5130	2501	48,8	250			
2	3	1	2	12	18	1,5	9680	5281	54,6	440			
2	3	2	2	9	19	2,1	8750	4368	49,9	485			

2	3	3	2	7	13	1,9	5610	2751	49,0	393
2	3	4	2	12	18	1,5	8810	4407	50,0	367
1	4	1	1	6	14	2,3	5560	2458	44,2	410
1	4	2	1	7	16	2,3	4550	2270	49,9	324
1	4	3	1	8	20	2,5	6690	3125	46,7	391
1	4	4	1	8	17	2,1	4900	2323	47,4	290
1	4	1	2	13	24	1,8	8200	3705	45,2	285
1	4	2	2	13	23	1,8	7050	3488	49,5	268
1	4	3	2	20	20	1,0	6650	3215	48,3	161
1	4	4	2	15	19	1,3	5180	3467	66,9	231
2	4	1	1	5	22	4,4	6400	3079	48,1	616
2	4	2	1	6	12	2,0	5100	2395	47,0	399
2	4	3	1	8	16	2,0	3550	1739	49,0	217
2	4	4	1	8	10	1,3	3100	1443	46,6	180
2	4	1	2	11	16	1,5	3900	1755	45,0	160
2	4	2	2	15	19	1,3	8200	4128	50,3	275
2	4	3	2	13	17	1,3	5100	2317	45,4	178
2	4	4	2	14	24	1,7	6700	3084	46,0	220

8	9	10	11	12	13	14	15	16
	altura	numero	diametro	largo de	altura/	numero/	MS	
peso/tallo	cañas	nudos	cañas	nudos	diametro	diametro	hoja	MS caña/MS hoja
74	160	10	13	16	13	0,8	484,3	2,3
74	145	10	10	14	15	1,0	523,7	2,5
104	143	9	12	16	12	0,7	736,9	3,5
140	163	10	12	16	13	0,8	1269,6	2,0
94	154	9	11	17	14	0,8	642,1	3,5
60	132	9	12	14	11	0,8	965,8	2,2
92	143	11	11	13	13	1,0	1341,6	2,2
108	155	10	11	16	14	0,9	978,1	3,4
190	204	11	14	18	15	0,8	396,0	4,3
209	238	12	13	19	18	0,9	456,0	5,0
207	216	12	13	19	17	0,9	665,1	4,4
238	247	12	14	20	18	0,9	664,3	5,7
193	226	12	14	19	17	0,9	257,2	12,0
199	230	12	13	19	17	0,9	797,6	5,7
204	216	12	14	18	16	0,8	1419,7	2,4
200	247	12	13	21	19	0,9	806,5	4,7
174	179	11	16	16	11	0,7	920,1	3,4
172	183	12	14	15	13	0,9	900,2	4,0
199	199	12	16	16	12	0,8	696,3	3,4
137	180	11	14	16	13	0,8	1014,1	2,6
143	175	11	13	17	13	0,8	885,1	3,1
151	182	10	13	17	14	0,8	748,7	4,8
145	209	13	13	17	17	1,0	481,3	4,2
186	179	11	15	17	12	0,7	1136,4	3,4
157	209	13	13	17	16	1,0	442,0	3,6
160	190	11	13	17	14	0,8	1072,3	4,0
185	204	13	15	15	14	0,9	591,0	3,8
193	216	13	14	17	15	0,9	825,1	#¡VALOR!

167	216	13	13	17	16	1,0	780,0	4,1
143	227	13	14	17	16	0,9	867,8	3,3
245	232	13	18	17	13	0,7	407,9	7,2
208	226	13	13	17	17	1,0	734,4	6,5
174	214	12	15	18	15	0,8	471,1	7,0
228	225	12	16	19	14	0,7	625,0	6,6
268	260	13	15	20	17	0,8	870,9	5,2
193	221	12	15	19	15	0,8	723,8	6,9
202	236	13	14	19	16	0,9	672,6	6,0
310	260	13	17	19	15	0,8	938,3	6,9
214	250	14	16	18	15	0,9	321,6	7,3
246	247	14	16	18	15	0,9	653,6	7,5
248	276	14	15	19	18	0,9	468,8	9,0
192	251	12	15	20	16	0,8	312,6	8,0
293	271	15	16	19	17	0,9	600,2	8,8
230	276	15	14	19	19	1,0	920,1	4,7
212	258	14	14	19	18	1,0	291,5	9,4
245	293	14	15	21	20	1,0	595,2	7,4
176	222	12	15	18	15	0,8	320,9	7,7
142	193	11	14	17	14	0,8	345,7	6,6
156	192	11	14	18	14	0,8	548,7	5,7
137	177	10	14	17	13	0,7	383,4	6,1
154	213	11	13	20	16	0,8	606,1	6,1
152	192	11	13	18	15	0,8	691,7	5,0
161	207	11	14	19	15	0,8	415,1	7,7
182	176	10	12	17	14	0,8	443,5	7,8
140	177	10	14	18	13	0,7	571,7	5,4
200	246	12	15	21	17	0,8	357,6	6,7
109	168	10	12	17	14	0,8	399,6	4,4
144	215	11	13	20	17	0,9	161,6	8,9
110	181	10	12	19	15	0,8	342,0	5,1
217	242	11	15	21	16	0,8	506,2	8,2
136	186	10	13	18	14	0,8	453,9	5,1
128	198	10	14	19	14	0,7	443,0	7,0

17	18	19	20	21	22
panoja	MS	rend			
BF	panoja	panoja	peso gabaso BF	peso gabaso BS	% MS gabaso
200	93,3	0,55	2480	576	23,2
350	181,0	0,5	2175	805	37,0
400	194,9	0,6	3475	1411	40,6
600	294,1	0,6	3675	1463	39,8
450	231,7	0,5	3445	1392	40,4
800	340,9	0,6	4575	1079	23,6
900	369,1	0,75	4575	1703	37,2
900	468,7	0,4	5075	1952	38,5
200	100,7	0,7	1825	939	51,5
525	260,5	0,9	2950	1344	45,6
250	126,6	0,7	3775	1671	44,3
900	454,9	0,9	3475	1777	51,1
625	333,9	0,9	3455	1667	48,2
1200	1686,2	0,95	4225	2047	48,4

700	347,9	0,7	3910	1859	47,5
1050	621,0	0,9	3765	1786	47,4
700	344,4	0,4	3870	1454	37,6
700	213,0	0,75	4050	1706	42,1
600	296,5	0,4	3000	1139	38,0
600	338,2	0,5	3350	1299	38,8
600	356,9	0,4	3120	1219	39,1
950	508,8	0,4	3580	1529	42,7
550	300,6	0,8	2450	945	38,6
1150	618,7	0,5	4000	1711	42,8
450	227,2	0,8	1700	693	40,8
1100	635,6	0,8	4600	1966	42,7
350	116,7	0,6	2700	1071	39,7
1650	1033,1	0,85	5350	2203	41,2
1000	517,4	0,9	3610	1489	41,3
1100	613,0	0,8	2320	959	41,3
489	145,8	0,8	3641	1194	32,8
510	192,8	0,7	3835	1951	50,9
394	173,2	0,55	3546	1372	38,7
591	223,4	0,8	4059	1643	40,5
328	143,3	0,3	4158	1713	41,2
477	209,7	0,5	5312	2196	41,3
403	198,5	0,6	4134	1632	39,5
575	250,6	0,55	5463	2464	45,1
480	220,7	0,95	2690	1007	37,4
1038	406,8	0,95	4665	1963	42,1
837	258,0	0,95	4477	1813	40,5
535	224,0	0,9	2527	1028	40,7
1153	352,6	0,95	4393	1994	45,4
884	357,5	0,9	4120	1669	40,5
542	334,9	0,95	2938	1186	40,4
893	404,2	0,97	3976	1644	41,3
778	279,2	0,95	2510	901	35,9
142	73,2	0,2	2260	927	41,0
807	374,4	0,8	3120	1218	39,0
209	81,6	0,4	2720	1060	39,0
1124	476,6	0,95	3890	1457	37,5
336	139,8	0,3	3620	1474	40,7
1044	398,6	0,9	2930	1151	39,3
313	136,3	0,6	2820	1661	58,9
436	159,5	0,55	3630	1434	39,5
740	312,8	0,75	2350	910	38,7
262	107,8	0,6	1880	754	40,1
392	161,7	0,9	1520	595	39,1
211	85,8	0,5	2320	865	37,3
951	434,7	0,8	3950	1671	42,3
210	105,0	0,3	2690	991	36,8
919	380,4	0,95	3220	1231	38,2

23	24	25	26	27	28	29
jugo	%Ext	bx	pol	kg bx	kg pol	pur
1250	0,34	19,8	1,5	247,5	18,8	7,7
925	0,30	19,2		177,6		
2025	0,37	18,1		366,5		
1775	0,33	19,7		349,7		
1425	0,29	20,9		297,8		
2375	0,34	19,9		472,6		
2275	0,33	17,9		407,2		
2375	0,32	19,7		467,9		
1125	0,38	17,4	7,1	195,8	79,9	40,6
1550	0,34	15,8	6,9	244,9	107,0	43,5
2125	0,36	13,7	4,9	291,1	104,1	36,1
3025	0,47	15,9	7,1	481,0	214,8	44,8
2195	0,39	16,5	8,4	362,2	184,4	50,7
3975	0,48	15	8,6	596,3	341,9	57,2
2525	0,39	16,2	9,3	409,1	234,8	57,4
3175	0,46	15,8	6,9	501,7	219,1	43,8
3050	0,44	17,4	8,23	530,7	251,0	47,5
3300	0,45	15,9	6,7	524,7	221,1	42,2
2250	0,43	17,4	7	391,5	157,5	40
2400	0,42	15,4	6	369,6	144,0	39,2
2650	0,46	17,4	8,2	461,1	217,3	47,2
3500	0,49	17	8,4	595,0	294,0	49,1
2000	0,45	15,6	5,2	312,0	104,0	33,3
3650	0,48	17,5	8,3	638,8	303,0	47,7
1550	0,48	15,9	6,7	246,5	103,9	42,2
3850	0,46	18,6	8	716,1	308,0	42,9
2050	0,43	16,4	4,8	336,2	98,4	29,2
5050	0,49	14,7	6,3	742,4	318,2	43
3000	0,45	14,9	6,6	447,0	198,0	44
3330	0,59	15,8	5	526,1	166,5	31,9
3394	0,48	18,8	2,0	638,1	66,9	10,5
4050	0,51	19,1	3,1	773,6	123,9	16,0
3334	0,48	19,3	4,2	643,5	139,4	21,7
4321	0,52	16,6	0,0	717,3	0,0	0,0
4732	0,53	18,9	6,4	894,3	304,7	34,1
4653	0,47	19,5	5,4	907,3	252,2	27,8
4106	0,50	19,2	0,0	788,4	0,0	0,0
6357	0,54	18,6	0,0	1182,4	0,0	0,0
2480	0,48	17,1	2,1	424,1	51,3	12,1
5120	0,52	15,5	1,2	793,6	63,0	7,9
4333	0,49	15,0	0,0	650,0	0,0	0,0
2603	0,51	15,9	0,0	413,9	0,0	0,0
5287	0,55	16,8	3,9	888,2	206,2	23,2
4630	0,53	17,8	2,2	824,1	100,0	12,1
2672	0,48	18,2	1,1	486,3	29,4	6,0
4834	0,55	15,8	3,9	763,8	187,6	24,6
3050	0,55	15,2	7,5	463,6	228,1	49,2
2290	0,50	17,6	8,5	403,0	194,9	48,4

3570	0,53	14,4	6,4	514,1	229,6	44,7
2180	0,44	19,0	11,1	414,2	242,2	58,5
4310	0,53	14,7	7,1	633,6	304,3	48,0
3430	0,49	18,0	9,3	617,4	318,0	51,5
3720	0,56	16,2	8,9	602,6	331,1	54,9
2360	0,46	17,6	9,8	415,4	232,0	55,9
2770	0,43	19,9	12,1	551,2	334,6	60,7
2750	0,54	15,3	7,8	420,8	215,6	51,2
1670	0,47	18,8	10,6	314,0	176,7	56,3
1580	0,51	14,6	6,6	230,7	104,9	45,5
1580	0,41	19,0	10,4	300,2	163,7	54,5
4250	0,52	15,5	8,2	658,8	346,8	52,6
2410	0,47	18,2	10,4	438,6	251,6	57,4
3480	0,52	15,0	6,8	522,0	237,7	45,5