

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA ÉPOCA, VARIEDAD Y ARREGLO ESPACIAL
DE PLANTAS EN SORGO AZUCARADO**

por

Luis Ignacio TERZAGHI AGUIRRE

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2008**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. (PhD) Guillermo Siri-Prieto

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Esteban Hoffman

Fecha: 9 de Agosto del 2008.

Autor:

Luis Ignacio Terzaghi Aguirre

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y a mi familia toda, quienes me apoyaron a lo largo de esta carrera, y que me permitieron lograr a partir de mi vocación llegar a esta profesión de Ingeniero Agrónomo apoyándome a lo largo de la misma.

A mi director de tesis Ing. Agr. (PhD) Guillermo Siri, quien supo guiarme en este proceso de aprendizaje, resaltando su completa disposición, sus aportes, su ánimo constante, y su conocimiento brindado con generosidad.

A los Ings. Agrs. Oswaldo Ernst, Esteban Hoffman y Mónica Cadenazzi por sus valiosos aportes brindados en este trabajo, así como a todos los docentes que participaron de mi formación.

A Juan Mosqueira “Juanchi” quien supo ayudarme en el trabajo de campo trasmitiéndome sus conocimientos y experiencia de forma generosa.

A mi compañeros y amigos de facultad, quienes me apoyaron a lo largo de esta tesis.

Al todo el personal de la Facultad de Agronomía que hizo mi formación, en especial al personal de la EEMAC.

A todos aquellos que de alguna u otra forma colaboraron con la realización de éste trabajo y en la formación de mi carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SORGO AZUCARADO.....	3
2.2 POSIBILIDADES DE DESARROLLO EN URUGUAY.....	5
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIEDADES EVALUADAS.....	6
2.3.1 <u>Variedad Topper</u>	6
2.3.2 <u>Variedad M81-E</u>	7
2.4 EFECTO DE LAS PRINCIPALES VARIABLES EVALUADAS SOBRE LOS RENDIMIENTOS CUANTITATIVOS.....	7
2.4.1 <u>Población y distribución</u>	7
2.4.2 <u>Época de siembra</u>	11
2.5 EFECTO DE LAS PRINCIPALES VARIABLES EVALUADAS SOBRE LOS RENDIMIENTOS CUALITATIVOS.....	13
2.5.1 <u>Población y distribución</u>	13
2.5.2 <u>Variedades</u>	14
2.5.3 <u>Momento de cosecha</u>	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	16
3.1 UBICACIÓN.....	16
3.2 TIPO DE SUELO.....	16
3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS.....	16
3.4 LABORES CULTURALES.....	17
3.4.1 <u>Preparación del suelo y siembra</u>	17
3.4.2 <u>Fertilización</u>	17
3.4.3 <u>Control de malezas</u>	17
3.4.4 <u>Raleo</u>	18
3.4.5 <u>Cosecha</u>	18
3.5 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.....	18
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	19

4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	21
4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	21
4.2 EXPERIMENTO 1.....	24
4.3 EXPERIMENTO 2.....	31
4.4 EXPERIMENTO 3.....	37
4.4 EXPERIMENTO 4.....	44
5. <u>CONCLUSIONES</u>	51
6. <u>RESUMEN</u>	52
7. <u>SUMMARY</u>	53
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	54

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Caracterización de los experimentos.....	17
Experimento 1	
2. IAF y CV obtenidos en los estadios V5 y V10 para la variedad M81-E y Topper en el experimento de población variable de la época 1.....	26
3. Altura y nudos obtenidos en función de la distancia entre hileras para cada una de las variedades en el experimento de población variable de la época 1.....	27
4. Porcentaje de extracción y Kg. de jugo obtenido según distancia entre hileras para M81-E y Topper en el experimento de población variable de la época 1.....	30
Experimento 2	
5. IAF y CV obtenidos en los estadios V5 y V10 para la variedad M81-E y Topper en el experimento de población constante de la época 1.....	33
6. Altura y nudos obtenidos en función de la distancia entre hileras para cada una de las variedades en el experimento de población constante de la época 1.....	33
7. Porcentaje de extracción y Kg. de jugo obtenido según distancia entre hileras para M81-E y Topper en el experimento de población constante de la época 1.....	36
Experimento 3	
8. IAF y CV obtenidos en los estadios V5 y V10 para la variedad M81-E y Topper en el experimento de población variable de la época 2.....	39

9. Altura y nudos obtenidos en función de la distancia entre hileras para cada una de las variedades en el experimento de poblacion variable de la época 2.....	40
---	----

10. Porcentaje de extracción, Kg. de jugo y °Brix obtenidos según distancia entre hileras para M81-E y Topper en el experimento de población variable de la época 2.....	43
--	----

Experimento 4

11. IAF y CV obtenidos en los estadios V5 y V10 para la variedad M81-E y Topper en el experimento de población variable de la época 2.....	46
--	----

12. Altura y nudos obtenidos en función de la distancia entre hileras para cada una de las variedades en el experimento de poblacion variable de la época 2.....	47
--	----

13. Porcentaje de extracción, Kg. de jugo y °Brix obtenidos según distancia entre hileras para M81-E y Topper en el experimento de población variable de la época 2.....	49
--	----

Figura No.

1. Precipitaciones (mm) acumuladas por mes según las condiciones de la zafra 06/07 y el promedio de los últimos 70 años (1935-2005).....	21
--	----

2. Precipitaciones (mm) registradas cada 10 días para el verano 06/07, señalando el período de floración para cada época.....	22
---	----

3. Temperatura media (A) y radiación promedio (B) por mes según la zafra 06/07 y la media histórica.....	23
--	----

Experimento 1

4. Relación entre plantas logradas por metro lineal según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de poblacion variable de la época 1.....	24
--	----

5. Relación entre peso por planta según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población variable de la época 1.....	25
6. Plantas logradas por metro y m ² , y la relación de rectangularidad en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de poblacion variable de la época 1.....	26
7. Relación del peso del tallo perincipal, macollo y rendimiento por área en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de poblacion variable de la época 1.....	28

Experimento 2

8. Relación entre plantas logradas por metro lineal según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de poblacion constante de la época 1.....	31
9. Relación entre peso por planta según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población constante de la época 1.....	32
10. Plantas logradas por metro y m ² , y la relación de rectangularidad en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de poblacion constante de la época 1.....	32
11. Relación del peso del tallo perincipal, macollo y rendimiento por área en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de poblacion constante de la época 1.....	35

Experimento 3

12. Relación entre plantas logradas por metro lineal según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de poblacion creciente de la época 2.....	37
13. Relación entre peso por planta según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población variable de la época 2.....	38
14. Plantas logradas por metro y m ² , y la relación de rectangularidad en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de poblacion variable de la época 2.....	39
15. Relación del peso del tallo perincipal, macollo y rendimiento por área en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de poblacion variable de la época 2.....	41

Experimento 4

16. Relación entre plantas logradas por metro lineal según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de poblacion constante de la época 2.....	44
17. Relación entre peso por planta según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población constante de la época 2.....	45
18. Plantas logradas por metro y m ² , y la relación de rectangularidad en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de poblacion constante de la época 2.....	46
19. Relación del peso del tallo perincipal, macollo y rendimiento por área en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de poblacion constante de la época 2.....	48

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha comenzado diversificarse la matriz energética mundial en una transición hacia nuevas energías renovables y limpias.

Esta necesidad de búsqueda de nuevas fuentes de energía se ve impulsada por una serie de crisis energéticas producto de un importante aumento de los precios del crudo en las últimas décadas, y en especial, una marcada acentuación en los últimos años.

La perspectiva histórica de agotamiento tendencial de las fuentes fósiles, las subas de sus precios, la creciente preocupación del cuidado del ambiente, y el desarrollo de innovaciones tecnológicas, han provocado el crecimiento de las fuentes renovables (Souto, 2006).

En particular, Uruguay no dispone de reservas de combustibles fósiles, por lo que es un importador neto de petróleo. En este sentido, la importación de petróleo crudo representa en promedio un 60 a 65 % de la oferta primaria de energía del Uruguay, lo que determina una alta dependencia de las condiciones de abastecimiento externo. Por ende, la solución se tendrá que buscar en otras fuentes de energía diferentes al petróleo. Solo las fuentes renovables de energía podrán asegurar un desarrollo sustentable en el futuro, por lo que resulta imperioso investigar y explotar dichos recursos.

A nivel global se destacan países de Europa y América del Norte, por su temprano interés y promoción de biocombustibles. En la región, Brasil mantuvo un destacado papel con políticas activas de promoción durante largo tiempo, llevando adelante desde mediados de los años setenta el programa Proalcool (Souto, 2006).

En la actualidad, al año 2007, la producción mundial de bioetanol supera los 50 millones de litros cúbicos, distribuyéndose principalmente la producción entre Estados Unidos (49%) y Brasil (38%).

Al presente, la fuente más viable a corto y mediano plazo lo constituye la energía proveniente de la biomasa vegetal. La producción de energía a través de la biomasa, consiste en aprovechar la capacidad de los vegetales de transformar la energía solar en biomasa mediante la fotosíntesis. Entre otras, las ventajas de la agroenergías frente al uso de combustibles fósiles son las ambientales (menos contaminantes), diversificación de las fuentes de energía locales y generación de empleo por mayor demanda de mano de obra (Souto y Methol, 2005).

Existen dos grandes grupos de biocombustibles considerados como substitutos o complementos de los combustibles derivados del petróleo: el biodiesel y el bioetanol.

El biodiesel es producido a partir de cultivos de plantas oleaginosas como la soja, el girasol etc. El bioetanol es obtenido a partir de cultivos energéticos con alta proporción de hidratos de carbono fermentables ya sean azúcares o almidones producidos por cultivos como la caña de azúcar, el sorgo azucarado, la remolacha azucarera y el maíz entre otros (Terra et al., 2006).

Entre los cultivos que se manejan para la producción de bioetanol, 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 nuestra región.

La preferencia del sorgo respecto a otros cultivos energéticos está basada en sus menores requerimientos de agua y nitrógeno 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., Mastroilli, citados por Terra et al., 2006). Por ejemplo, comparado con la caña de azúcar, el sorgo azucarado requiere 1/3 menos agua por kg de biomasa aérea producida, siendo reconocido además según Woods (2000) como uno de los cultivos de mayor eficiencia de uso de la radiación interceptada. De acuerdo con este autor y a otros trabajos locales el cultivo de sorgo azucarado en condiciones de secano tiene un buen 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. 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. Según Terra et al. (2006) el potencial de producción de etanol a partir del cultivo de sorgo azucarado, para nuestras condiciones sin irrigar, ronda los 2000-3000 l/ha.

Como se ha expresado, el sorgo azucarado presenta grandes posibilidades de constituir un importante recurso energético en nuestro país, es por ello que se debe ajustar las tecnologías existentes a nuestras condiciones.

Conocer la densidad y distribución de la plantas es un elemento clave e imprescindible para poder desarrollar este cultivo, así mismo, conocer el comportamiento de las distintas variedades y épocas de siembra permitirá ajustar la tecnología del cultivo a nuestras condiciones, siendo éste, el principal objetivo del trabajo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El sorgo azucarado también denominado dulce, o sacarígeno (*Sorghum bicolor*, L. Moench), es una gramínea perteneciente a la subfamilia de las panicoideas, tribu Andropogónea, género *Sorghum*.

Se piensa que el cultivo de sorgo tuvo su origen en África, ya que en este continente se han encontrado prototipos silvestres (Mazziotto, 1986).

En cuanto a la utilización mundial en principio fue usado especialmente en los EEUU para la producción de jarabe de mesa, luego lo continuó México para la producción de azúcar y alcohol. Del mismo modo, en nuestra región, Brasil destinó área para la realización de este cultivo para el abastecimiento del programa de sustitución de naftas y gasoil (proalcool).

En nuestro país existen posibilidades ciertas de emplearlo como materia prima para la producción de etanol. Éste cultivo presenta ventajas respecto a otros cultivos ya que se adapta a diversas condiciones de suelo y clima, posee rapidez en su ciclo productivo (4 meses), contiene alto contenido en azúcares directamente fermentables en el tallo, permite un aprovechamiento integral de la planta, posee elevado rendimiento en biomasa total y lts. de alcohol/ha entre otros (Gómez da Silva, citado por Russi y Sangenis, 1989).

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SORGO AZUCARADO

La planta de sorgo es perenne en los trópicos, pero muere en invierno en zonas donde ocurren heladas (Freeman et al., 1973). Necesita en promedio un período libre de heladas mayor a 140 días, una temperatura de germinación mayor a 10°C (óptima 18-21), mientras que la temperatura mínima para el crecimiento es de 15,5°C (óptima 28-29) con una temperatura óptima de floración entre 17-24°C (Andonov, citado por Russi y Sangenis, 1989).

En cuanto al largo del ciclo, en nuestro país Bergeret y Fernandez, citados por Russi y Sangenis (1989) trabajando con 18 variedades americanas obtuvieron un valor promedio de 148 días, con valores que oscilaron entre 123 y 154.

Los sorgos son plantas de día corto, o sea que la floración se acelera al acortarse los días y se enlentece en los días más largos.

Según Dolciotti et al. (1996) en ensayos realizados en norte de Italia, la duración del crecimiento en términos de suma térmica a la madurez en estado pastoso suave es del entorno de 1250 GDD.

La planta presenta un tallo principal con altura hasta 5 metros y uno o varios macollos, el número de macollos dependerá de la variedad, esparcimiento entre plantas, humedad del suelo, nutrientes, temperatura, fotoperiodo y vigor de la planta entre otros.

El diámetro del tallo puede oscilar entre 1 a 6 cm. dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales. El interior del tallo está compuesto por una médula tierna que es el tejido que contiene el jugo dulce, este contiene principalmente sacarosa, glucosa y fructosa, siendo éstos azúcares directamente fermentables (Trucillo, citado por Russi y Sangenis, 1989).

Los jugos extraídos de los tallos representan aproximadamente el 50% de su peso. Para evaluar su calidad se mide el total de sólidos disueltos en el jugo (BRIX) y la composición de esos sólidos, particularmente el contenido de sacarosa (POL) y de otros sólidos fermentables (Woods, 2000).

Del tallo principal o de sus macollos nace una hoja en cada nudo, las mismas son alternas y opuestas. El número de hojas está asociado al largo del período vegetativo, variando el número entre 7 y 18 (Mazziotto, 1986).

Respecto a la panoja, la misma presenta gran variación entre los sorgos en cuanto a la forma, el color de grano y gluma, así como presencia o ausencia de aristas (Mazziotto, 2006). La panoja presenta un tallo central y puede tener ramificaciones primarias secundarias y en algunos casos terciarias (Albano y Martinez, 2007).

El sorgo es reconocido además como uno de los cultivos de mayor eficiencia de uso de la radiación interceptada manejándose valores del entorno de 3.6 g de MS/MJ de la radiación fotosintética activa absorbida (Woods, 2000).

Tanto los rendimientos en kilos de tallo, como el contenido de azúcar utilizable de los jugos, se ven afectados por el largo del día y la intensidad de la radiación solar, pudiendo ésta última ser responsable del 75% en la variación de los rendimientos (Mazziotto, 2006).

Es un cultivo fundamentalmente adaptado a condiciones tropicales semiáridas con precipitaciones de 400 a 600 mm (Albano y Martinez, 2007). Requiere un

mínimo de 450mm de lluvia para que el cultivo pueda realizarse sin riego (Mazziotto, 2006).

El sorgo azucarado posee características anatómicas y fisiológicas que lo hacen resistente a condiciones de escasa humedad. Posee un sistema radicular muy extenso, presión osmótica muy alta en sus raíces que le permiten usar agua fuertemente retenida en el suelo, posee además un ritmo de transpiración muy eficaz y características foliares similares a las plantas xerófitas, que retardan la pérdida de agua. Estas características son recubrimiento ceroso, en tallos y hojas, mayor número de estomas y de menor tamaño, enrollamiento foliar en condiciones de déficit hídrico, mantenimiento en estado de latencia en condiciones adversas de humedad, reanudando el crecimiento una vez establecidas las condiciones normales (Emiliani, citado por Russi y Sangenis, 1989).

Raupp et al., citados por Russi y Sangenis (1989) indica que el período crítico en cuanto al requerimiento de agua va desde la emergencia a la floración. Por lo contrario si ocurren excesos hídricos durante el período que transcurre de grano pastoso a maduración total, provoca un deterioro de la calidad del jugo, determinando una disminución del Brix.

El sorgo azucarado puede ser cultivado en un amplio rango de suelos. Se adapta muy bien a los vertisoles pesados que se encuentran en los trópicos, pero también se adapta a suelos arenosos. Tolerancia rangos de pH entre 5 y 8.5. siendo mucho más 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 (Albano y Martínez, 2007).

La información nacional existente indica que se desarrolla mejor en suelos franco, profundos. El campo debe tener un buen drenaje natural, aunque se sostiene que se puede soportar anegamientos no demasiados prolongados (Mazziotto, 2006).

2.2 POSIBILIDADES DE DESARROLLO EN URUGUAY

El sorgo azucarado muestra muy buena adaptación a las condiciones climáticas del país, ya que las características anteriormente mencionadas como son radiación, temperatura, requerimientos hídricos, y período libre de heladas entre otros, se ajustan bien a las condiciones agroclimáticas del Uruguay.

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 (Albano y Martínez, 2007).

La investigación desarrollada por Facultad de Agronomía en tres zonas agroclimáticas contrastantes como son Salto, Montevideo y Cerro Largo, mostró una buena adaptación en las tres regiones agroclimáticas con rendimientos estables en varios años (Mazziotto, 1986).

El sorgo azucarado presenta grandes potenciales debido al creciente interés como recurso renovable para la producción de etanol. Sumado a esto, posee una estación de crecimiento más corta que la caña de azúcar, siendo conveniente para áreas geográficas de clima templado (Dolciotti et al., 1996). Por estas características, entre otras, se piensa que el sorgo azucarado puede presentar grandes posibilidades de desarrollo sustentable en nuestro país.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS VARIEDADES EVALUADAS

Los distintos genotipos juegan un papel importante en la variabilidad de los rendimientos y su manejo. Una buena variedad debe contar con capacidad de producir altos rendimientos por hectárea de tallos; crecimiento erguido y fuerte, que no permita su fácil vuelco durante las tormentas; elevado % de jugo extraíble; este debe poseer excelentes propiedades como para producir un jugo de buena calidad; resistencia a las enfermedades; tolerancia a la sequía y al exceso de agua; semillas que germinen bien y produzcan plántulas vigorosas; adaptación a varias condiciones de clima y suelo entre otros (Bitzer, s.f.).

Una buena variedad para producir alcohol debe de tener, desde el punto de vista de los jugos, elevados tenores de azúcares totales (ART), a la vez que altas tasas de extracción de jugos (Mazziotto, 2006).

2.3.1 Variedad Topper

La variedad Topper alcanza la madurez en aproximadamente 120 días. Produce semillas que son fenotípicamente blancas con un endoesperma córneo. Los glumes de color sirena cubren casi un tercio de la cariósida. La superficie exterior de semilla es manchada con puntos rojos o negros. La semilla es de forma elíptica y no contiene testa pigmentada. El peso de mil semillas ronda los 22 gramos. La panoja es erecta y semicompacta. Topper es altamente resistente a ántrax de la hoja y presenta resistencia a la mancha gris de la hoja, a la mancha áspera, a la roya bacteriana y a la roya de la hoja. Topper fue lanzada por la Universidad de Georgia, por el USDA-ARS, y por el MAFES (Mazziotto, 2006).

2.3.2 Variedad M81-E

La variedad M81-E es una variedad de maduración tardía (90 días). Crece alrededor de 3,60 metros de largo; la panoja es considerada media y generalmente algo erecta y compacta. El peso de mil semillas ronda los 18 gramos (Mazziotto, 2006).

M81-E es resistente a la antracnosis de la hoja y a la putrefacción roja del tallo pero es susceptible al mosaico enano del maíz (Bitzer, s.f.). La producción de jugo de M81-E es generalmente superior al Dale. Se debe asegurar que maduren antes de la helada, si bien parece ser más susceptible a la helada que las otras variedades (Bitzer, s.f.).

Esta variedad está bien adaptada al sureste de los E.U.A. Fue lanzada por el USDA-ARS, MAFES, y por las estaciones experimentales de Alabama, en Florida, en Georgia, en Kentucky y en el sur de Carolina (Mazziotto, 2006).

A nivel nacional en ensayos realizados en el INIA Palo Pique, se evaluaron dos variedades, M81-E y Portela.

Según Terra et al. (2006) el cultivar M81-E produjo 121% mas biomasa de tallos que el cultivar Portela, alcanzando un promedio de 55.21 Mg/ha en el ensayo lo que demuestra su alto potencial productivo de la materia prima utilizada para la producción de etanol. Estos datos de productividad de tallos del cultivar M81-E 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. 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-E alcanzó 2.7-m de altura promedio que mas que compensó el menor número de tallos/ha.

2.4 EFECTO DE LAS PRINCIPALES VARIABLES EVALUADAS SOBRE LOS RENDIMIENTOS CUANTITATIVOS

2.4.1 Población y distribución

La población y distribución, son factores que interaccionan determinando variaciones en la competencia por luz, nutrientes, agua, lo que afecta el rendimiento del cultivo dado que influyen en características tales como altura, macollamiento, diámetro de los tallos y el vuelco de las plantas.

El sorgo azucarado compensa parcialmente la densidad mediante la proliferación de macollos, por lo que variaciones de la densidad generan importantes cambios en el crecimiento de las planta. Altas densidades tienden a generar pobre macollamiento mientras que por lo contrario, con densidades bajas, las plantas

aumentan el macollamiento realizando un mayor aprovechamiento de los recursos, pero si los mismos son en demasía los tallos se afinan (mas fibra y menos jugo) y pueden determinar disminución del rendimiento.

Borges et al., citados por Cassou et al. (1983) encontraron en ensayos realizados en Minas Gerais, que a menor densidad ocurre el mayor porcentaje de fibra. Esto deja en evidencia que un buen ajuste de la población es clave para maximizar los rendimientos de jugo, ya que si se obtienen menores densidades de las optimas se incrementaría la fibra por mayor numero de macollos y más finos, en desmedro de la cantidad de jugo disminuyendo el rendimiento.

Por lo contrario Djanaguiraman et al. (2008) afirma que una baja densidad de cultivos pueden aumentar la tasa de crecimiento relativo en comparación con los cultivos más densos o bien a través de captura de la radiación más eficiente o mediante el mejoramiento de conversión de radiación asimilada o el aumento de la producción de hoja. El aumento de la producción de hoja puede ser el mecanismo mediante el cual una baja densidad de cultivo puede producir condiciones de plena absorción de la radiación y así mantener altos rendimientos. Así mismo Darwinkel, citado por Djanaguiraman et al. (2008) afirma que la reducción de la densidad de plantas puede dar lugar a un aumento en el índice de cosecha.

La bibliografía no es concordante en determinar una población y distribución óptima para el sorgo azucarado, ya que ésta dependerá del fin con que se realice, el cual puede variar entre producción de jarabe, azúcar y alcohol.

Según Pereira et al., citados por Ambrosoni y Ovidio (1983) se recomienda sembrar el sorgo azucarado con un esparcimiento de 0,70 m entre líneas y 7 a 10 plantas por metro lineal, originado una población entre 100 y 140 mil plantas/ha. oscilando la profundidad de siembra entre 2,5 y 4 cm.

A similares conclusiones sobre la distancia entre líneas arriban Hipp et al., citados por Ambrosoni y Ovidio (1983) quienes trabajaron con la variedad Rio plantada a 27 pulgadas entre Hileras (68,6 cm), la cual produjo 52% más de biomasa seca que sembrada a 40 pulgadas entre filas (101,6 cm). Similares resultados son arribados por Pérez y Ayala, citados por Mazziotto (1986) en el cual determinaron como distancia entre hileras de 70 cm como las más adecuadas.

Por lo contrario en estudios más recientes realizados por Fassio (2006) en el litoral SW del Uruguay utilizando dos variedades Topper y M81-E, evaluaron tres épocas de siembra, 5/10, 30/10, 6/12 con 3 densidades y 2 distribuciones, 60 mil

plantas/ha con distribución 70x24cm y 40x40cm, 95 plantas/ha con distribución 70x15cm y 32x32cm, y 130 mil plantas con distribución de 70x11cm y 27x27cm.

En estos ensayos se llegó a la conclusión de que la distribución cuadrada es mejor que aquella con filas a 0.70 mts., para las 3 poblaciones. Así mismo con distribuciones cuadradas no habría diferencia significativa para MV/ha. y sí menor cantidad de jugo/ha. a mayor población.

El sorgo compensa población con macollos, a menor población mayor tasa de macollamiento, y se vio que la distribución cuadrada macolla más que con filas a 0.70 mts.

Cassou (1983) afirma que al disminuir la distancia entre filas y entre plantas aumenta la altura de las mismas. A similares conclusiones arriban Albano y Martínez (2007) los cuales obtienen que los tallos en alta densidad son más altos.

Bitzer (s.f.) recomienda sembrar el sorgo azucarado en Kentucky, de similar latitud que Uruguay, entre 90 y 100 cm. entre filas para facilitar la cosecha. En la fila se debe sembrar para la mayoría de las variedades de 3-4 semillas por metro lineal, para obtener un stand final de 2-3 plantas por metro lineal. Si el sorgo se planta demasiado densamente, los tallos serán finos (menos que 1,9cm. de diámetro) y rendirán menos jugo que el mismo tonelaje de tallos más grandes.

Saheb et al., citados por Tugut (2005) afirma que poblaciones de 120 mil plantas se obtienen las más altas producciones.

Albano y Martínez (2007) obtuvieron un mayor macollaje en poblaciones de 7 plantas por m², si bien su número final de tallos/m² no alcanzó a los niveles de población de 14 plantas por m². Por lo que concluyen que el mayor macollaje logrado en la baja densidad no es suficiente para compensar el mayor número de tallos logrados en la densidad alta. Estos mismos autores no encontraron diferencias significativas en el peso por tallo entre ambas densidades, pero si en kg de tallo ha⁻¹ 72,3 y 57,4 tt ha⁻¹ para alta y baja densidad respectivamente. Concluyendo que el rendimiento está determinado principalmente por el número de tallos por ha⁻¹.

Similares conclusiones son arribadas por Siri et al. (2006)¹ en el cual en ensayos realizados en Paysandú analizando dos densidades distintas obtiene que en las densidades altas (14 plantas/m²) en promedio generaron 22 tallos m² resultando en un promedio por planta de aproximadamente 1.5 tallos. Si bien el tratamiento de baja

¹ SIRI, G.; ERNST, O.; INGOL, J.; MOSQUEIRA, J. 2006. Proyecto de investigación cultivo de sorgo dulce para la producción de etanol. Convenio Facultad de Agronomía/ANCAP. 24 p. (sin publicar)

población (7 plantas m²) obtuvo un mejor macollaje resultando en casi 2.2 tallos planta⁻¹, su número final de tallos m⁻² no alcanzó los niveles de alta población (17 vs. 22 tallos m⁻²). En cuanto a los rendimientos (tallo limpio) obtuvo un efecto positivo a aumentar la población logrando rendimientos en el entorno de los 75.1 y 60 ton para alta y baja respectivamente. El tratamiento de baja población no compensó su menor número de tallos con un incremento importante en peso individual de los mismos como era esperable, obteniéndose 350-g y 360-g para la alta y baja población respectivamente. Sumado a esto, el % de extracción se vio incrementado en el entorno de 5% por el uso de altas poblaciones. Este autor concluye que las poblaciones más altas (140 mil plantas ha⁻¹) produjeron más materia verde como tallos limpios ha⁻¹ como consecuencia de mayor número final de tallos cosechados (unos 250 mil ha⁻¹), independientemente de la variedad y/o época de siembra.

Assis et al., citados por Ambrosini y Ovidio (1983) analizando 4 poblaciones 100, 150, 200 y 250 mil plantas/ha con 3 distancias entre hileras 0,50, 0,70, 0,90 m; obtuvieron que los mayores rendimientos de tallos desojados (40, 38 y 39,2 tt/ha) se lograron con 150 mil plantas a 0,50 y 150 mil plantas a 0,70m entre líneas respectivamente.

Viana, citado por Bistolfi (1981) concluyó que existía un efecto lineal entre población y producción de tallos hasta 178.500 plantas/ha, aunque el rendimiento bajo esta densidad no fue estadísticamente mayor que para 148.500 plantas/ha. Si hubieron comportamientos diferenciales entre cultivares (Roma y Brandes) en el diámetro de los tallos.

En la localidad de Pelotas (Brasil), Giacomini et al., citados por Cassou et al. (1983) señalan una productividad promedio de tallos es de 48 tt/ha. Estos autores encontraron una correlación positiva y alta (0,83) entre rendimiento en tallo deshojado y la producción de alcohol. En la misma localidad Raupp et al., citados por Cassou et al. (1983) obtuvieron rendimientos de 36,1 tt/ha con la variedad Wray y 30,6 tt/ha con la variedad Theis, aunque estos rendimientos estuvieron condicionados por un déficit hídrico importante.

En Weslaco (Texas), Reeves, citado por Cassou et al. (1983) trabajó con 9 variedades obteniendo un promedio de 31,4 tt/ha de tallo limpio.

En nuestro país Bergeret y Fernandez, citados por Cassou et al. (1983) trabajaron con 18 variedades provenientes de U.S.A. y obtuvieron una productividad de tallos deshojados de 54,3 tt/ha, con valores que oscilaron entre 69.9 y 41.6 tt/ha. Los mismos autores llevaron a cabo paralelamente un ensayo en condiciones semi-

industriales donde el rendimiento promedio de tallos deshojados y despanojados fue de 20tt/ha.

2.4.2 Época de siembra

Un buen ajuste de la época de siembra es la determinante para la obtención de buenos rendimientos y calidad del jugo. Con el manejo de ésta variable, se establece en cierta medida, la radiación solar absorbida, la temperatura, y la menor o mayor probabilidad de ocurrencia de heladas entre otros.

La fecha de siembra es uno de los principales factores que determinan la radiación solar recibida en el estado de fructificación, presentando una alta correlación con la producción de azúcar y peso de los tallos (Hipp et al., citados por Ambrosioni y Ovidio 1983). Estos mismos autores afirman que la radiación es responsable del 75% de las variaciones en el rendimiento, alcanzándose un máximo en siembras de mayo en el hemisferio Norte (noviembre para el hemisferio Sur).

En cuanto a la fecha de siembra, trabajos con el cultivar Rio con poblaciones de 143 mil plantas (0,70m entre surco y 10 plantas/m lineal), se determinó que la primera quincena de noviembre es la más óptima Chielle et al., citados por Ambrosioni y Ovidio (1983) concordando estos resultados con los de Assis y Méndez, Hipp et al., citados por Ambrosioni y Ovidio (1983).

A nivel nacional, según Cassou et al. (1983) en ensayos realizados en El Espinillar en el período 80-81, utilizando variedades de ciclo medio se obtuvieron mayores rendimientos en la primera época (17/11), alcanzando un rendimiento promedio de 53.783 tt/ha de tallos limpios y 2.168,5 lt de alcohol/ha; mientras que en la segunda y tercera época los rendimientos fueron 39.761 y 35.145 tt/ha de tallo limpio y 1578,5 y 1.424 lt/ha de alcohol respectivamente.

Así mismo Cassou et al. (1983) en Uruguay concluyen que a medida que se atrasa la época de siembra los rendimientos en alcohol como en tallo deshojado disminuyen, obteniendo en la primera época (28 de octubre) un rendimiento máximo promedio de 53,8 tt/ha de tallo disminuyendo en el entorno de 49% para la tercera época (30 de diciembre).

Del mismo modo la producción de alcohol mostró igual tendencia obteniéndose 2165 lt/ha para la primera época.

En ensayos realizados por Fassio (2006) en el SW del Uruguay mencionados anteriormente, se observó que la MV/ha disminuye de la 1era (5/10) a la 3era (6/12)

época de siembra, mientras que la producción de azúcar se compensa porque el porcentaje de jugo aumenta de la 1era a la 3era siembra

Según Cassou et al. (1983) información proveniente de Tucumán, Argentina, se determinó que los rendimientos obtenidos en las distintas épocas de siembra se incrementan hasta un máximo de 48 tt/ha de tallo y 3800 kg/ha de azúcar en las siembras de la segunda quincena de noviembre, y luego declinan significativamente, siendo los rendimientos de diciembre del orden de 22 tt/ha de tallo y 1200 kg/ de azúcar. En cuanto a la calidad, observaron que ésta decrece significativamente cuando las siembras son realizadas en fechas posteriores. Es así que los valores de Brix pasan de un máximo de 18,5% en siembras del 16/11 a 14,2% en las siembras del 26/12.

Para la región de Rio grande do Sul, Amaral y Col, citados por Cassou et al. (1983) recomiendan las siembras desde la última quincena de noviembre a la segunda semana de Diciembre, ya que en ese entorno los rendimientos obtenidos aumentaron de 42,3 a 53,6 tt/ha. En siembras posteriores los rendimientos disminuyen significativamente.

Broadhead, citado por Cassou (1983), en el hemisferio Norte, en Mississippi, encontró que el rendimiento obtenido en las siembras del 15/4 y 15/5 era un 34% superior al obtenido en siembras más tardías (15/6). Los rendimientos disminuyeron de 34,3 tt/ha y 35 tt/ha en la primera y segunda época de siembra respectivamente a 26,5 tt/ha en la tercera. En cuanto a la calidad se observó una disminución de los valores de Brix, mientras que los valores de sacarosa permanecían constantes al tratarse la época de siembra.

Según Bitzer (s.f.) el sorgo azucarado presenta una maduración temprana bajo temperaturas altas y días cortos, tolerando la sequía y el stress al las altas temperaturas mejor que otros cultivos, pero no crece bien bajo bajas temperaturas. Así mismo se afirma que la época óptima de plantar sorgo azucarado en Kentucky, donde las condiciones ambientales son similares a las de Uruguay, van del 1 de mayo al 20 de mayo para las variedades de estación completa, y antes del 1 de junio para las variedades de maduración temprana. La temperatura del suelo a una profundidad de 5 cm. debe de ser de 18°C. presentando las últimas plantaciones crecimiento más rápido que las tempranas; sin embargo cuando están plantadas demasiado tarde, las plantas no pueden madurar antes de la previsión de la primer helada.

Por lo tanto para la optimización de la fecha de siembra, se debe de considerar una siembra suficientemente temprana para que disminuya el riesgo de heladas antes de la cosecha, que se desarrolle en el período de mayor radiación posible, que el cultivo presente una duración normal del ciclo, que el suelo conserve la humedad

necesaria para una buena germinación, pero a su vez debe ser lo suficientemente tardía para lograr una temperatura óptima del suelo y que se cumpla con los requerimientos de temperatura que presenta el cultivo.

2.5 EFECTO DE LAS PRINCIPALES VARIABLES EVALUADAS SOBRE LOS RENDIMIENTOS CUALITATIVOS

La calidad del jugo es de fundamental importancia pues es la determinante de la concentración de azúcares totales, componente éste base para la transformación de alcohol etílico. La calidad del jugo podría estar influenciado por el manejo del cultivo como son la determinación de la población y distribución, la elección de la variedad y el momento a cosecha entre otros.

2.5.1 Población y distribución

Se encontraron resultados en los que la población y el arreglo de plantas no afectaron el porcentaje de pureza ni el porcentaje de sacarosa, ni los valores de Brix como tampoco la producción de jarabe (sirup)/acre (Broadhead et al., citados por Bistolfi, 1981).

Por lo contrario Viana, citado de Bistolfi (1981) concluye que la producción de azúcares totales/ha solo fue afectada por la densidad y no por el esparcimiento; alcanzando la producción óptima con una población de 160.000 plantas/ha.

Djanaguiraman et al. (2008) señala, como es conocido, que la fotosíntesis depende de muchos factores fisiológicos y bioquímicos como son la conducción estomática, PS II fotoquímica y los niveles y actividad de las enzimas en la fijación de de carbono. En ensayos realizados por este autor en los cuales miden el nivel de conductancia estomática obtienen que a mayor esparcimiento se produce una mayor conducción estomática lo que conduce a una mayor tasa fotosintética lo cual dio lugar a una mayor acumulación de azúcar soluble en el tallo. Estos resultados coinciden con los de Turgut et al., citados por Djanaguiraman et al. (2008) en los cuales con menores poblaciones se obtienen cierto aumento de las concentraciones de azúcar soluble en el tallo. De los estudios realizados en dos años por Djanaguiraman concluye que para lograr el máximo rendimiento de caña junto al Brix el sorgo azucarado se debe de plantar a una distancia entre plantas de 30 cm y 45 cm entre filas, en los cuales obtienen valores de brix del entorno de 16,3 como promedio de los dos años.

Fors, citado por Ambrosoni y Ovidio (1983) utilizó poblaciones entre 50 y 70 mil plantas/ha de la variedad Rio y obtuvo valores de 16,67 por ciento de °Brix; 12,2 por ciento de sacarosa y 72,1 por ciento de Pureza.

Cowley y Smith, citados por Ambrosoni y Ovidio (1983) en datos presentados de cinco años de la variedad Rio, obtuvo en el conjunto de las evaluaciones un rango de 15 por ciento para Pol y 70 por ciento para Pureza, y concluyen, que tanto el Pol como la pureza dan como no significativo el efecto del esparcimiento.

2.5.2 Variedades

La diferencia genética entre los materiales es otra variable que afecta claramente la calidad del jugo y por ende los rendimientos cualitativos. Entre los distintos genotipos es lógico suponer que existe variaciones en el contenido de azúcares, la pureza de los jugos, el Brix, los contenidos de fibra, etc.

En una experiencia piloto de producción de sorgo azucarado (Mazziotto, 2006) en Cololó, Soriano, obtuvieron valores de Brix promedio para estado lechoso de 18,8 y 16,9 °Brix para las variedades Topper y M81-E respectivamente, dejando de manifiesto la existencia de diferencias cualitativas entre las variedades.

2.5.3 Momento de cosecha

Otro factor es el momento en que se analizan las variables cualitativas dentro del ciclo del cultivo, o sea el momento de madurez del cultivo en que se realiza el análisis. Ventre y Byall, citados por Bistolfi (1981) hallaron que a medida que avanzaba la madurez (grano lechoso, pastoso y duro respectivamente), se incrementaba el contenido total de azúcar, aumentaban el contenido de azúcar bajo forma de sacarosa y el Brix, disminuyendo el porcentaje de reductores, porcentaje de dextrosa y porcentaje de levulosa.

Según Bitzer y Fox (2000), Livingston (s.f.) la mejor momento para cosechar la mayoría de las variedades es cuando la mayoría de las semillas alcanzar las etapas entre pastoso suave a pastoso duro en madurez. La mayor parte de las variedades producen una calidad más pobre de jugo cuando se cosechan muy maduras, principalmente porque el almidón aumenta.

Pérez y Ayala, citados por Ambrosoni y Ovidio (1983) estudiando la evolución de la calidad del jugo hacia el estado de grano maduro, encontraron que la extracción disminuía, mientras que el Brix, Pol y Pureza aumentaban.

En lo que refiere a la productividad de alcohol, en nuestro país existe como antecedente el trabajo de Bergeret y Fernández, citados por Cassou et al. (1983), quienes trabajaron con 18 variedades y obtuvieron una productividad promedio de 1276 lt/ha, con una producción máxima de 2250 lt/ha, y una mínima de 642 lt/ha.

Un último aspecto que se debe de tener en cuenta es el tiempo tardado desde que se obtienen las muestras en el campo hasta que se procesan a nivel de laboratorio o se la industrializa a nivel de planta. Fros, citado por Bistolfi (1981) en un pormenorizado análisis observa como en el transcurso del tiempo se alteran los valores de Brix, el porcentaje de pureza, el porcentaje de sacarosa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

El presente trabajo se instaló en la Estación Experimental “Mario A. Cassinoni” de la Facultad de Agronomía (32 S, 56 W), ubicada sobre la ruta nacional N° 3 en el kilómetro 363, en el departamento de Paysandú, Uruguay. Los ensayos se llevaron a cabo en el verano agrícola 2006/2007, sobre un Brunosol Éútrico Típico (Typic Argiudoll) de la Unidad San Manuel.

3.2 TIPO DE SUELO

Dicha unidad, San Manuel, 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 rocosidad 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.

Para poder caracterización el nivel de fertilización del suelo se realizaron análisis del mismo en los cuales se obtuvo 18 ppm de Nitratos y 33 ppm de Fósforo.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

Se realizaron 4 experimentos basados en el diseño de Nelder, en los cuales se evaluaron dos materiales Topper y M81-E en cada uno. Dos experimentos fueron sembrados el 15 de noviembre de 2006, mientras que los otros dos fueron sembrados el 29 de diciembre del mismo año, logrando así la evaluación del cultivo en dos fechas de siembra distinta. Dentro de cada fecha de siembra se realizó un experimento en el cual se buscó lograr una población constante de 14 plantas por m² mientras que el otro experimento se buscó lograr una población variable que oscilaba entre 4,8 y 30,6 plantas por m².

Resumen de los experimentos:

Cuadro 1. Caracterización de los experimentos

<i>Experimento</i>	<i>Fecha de siembra</i>	<i>Población</i>	<i>Variedades</i>
1	15/11/06	Variable	Topper y M81-E
2	15/11/06	Constante	Topper y M81-E
3	29/12/06	Variable	Topper y M81-E
4	29/12/06	Constante	Topper y M81-E

3.4 LABORES CULTURALES

3.4.1 Preparación del suelo y siembra

El área experimental tuvo con un cultivo cobertura (Avena Sativa) como antecesor sembrada en abril del 2006 con el propósito de lograr cobertura al suelo. El barbecho químico se dio inicio en setiembre con una aplicación de glifosato (4 litros por hectárea) sobre el cultivo cobertura para lograr la muerte y descomposición de los residuos.

Se realizaron operaciones de laboreo con disco y cincel para preparar el suelo para la siembra de las respectivas épocas, con previo afinado del suelo.

La siembra se realizó en forma manual para poder cumplir con el diseño experimental de Nelder.

3.4.2 Fertilización

El manejo de la fertilización para todos los experimentos fue el mismo realizándose una fertilización basal al voleo a la siembra de 150 kg de 18-46 (N-P) ha⁻¹ y una re-fertilización de nitrógeno a el estadio de V6 con 200 kg de Urea ha⁻¹.

3.4.3 Control de malezas

Luego de realizada la siembra para todas las épocas evaluadas, se aplico 3 litros glifosato por ha⁻¹ aplicando posteriormente 1,2 kg. de Atrazina y 1,4 litros de Dual por ha⁻¹. Al estadio V3, dependiendo de la época de siembra, se realizó una carpida manual para controlar algunas malezas anuales estivales que no fueron controladas por los herbicidas aplicados.

3.4.4 Raleo

Luego de la implantación se realizó un raleo manual, para establecer las densidades de siembra deseadas para cada experimento.

3.4.5 Cosecha

La cosecha consistió en el corte manual completo de cada experimento.

Para el caso de la primera época por condiciones climáticas adversas que causaron vuelco (en un número importante de plantas) la cosecha se realizó antes del momento óptimo deseado. La misma se realizó el 22 de febrero para el experimento 2 (población constante); mientras que para el experimento 1 (población variable) se cosechó el 12 de marzo.

El momento de cosecha seleccionado para la segunda época de siembra se realizó cuando el grano se encontraba en estado pastoso, efectuándose la misma el 25 de abril para el experimento 4 (población constante); mientras que para el experimento 3 (población variable) se realizó el 3 de mayo.

3.5 DETERMINACIONES EN EL TIEMPO

Las mediciones tomadas en el tiempo fueron el IAF (Índice de área foliar; hojas $m^2/suelo\ m^2$) y el CV (porcentaje de cielo visible en base 1). Las mismas fueron tomadas mediante un bastón digital (MODELO LAI-2000-Plant Canopy Analyser). Estas medidas se realizaron entre las filas en forma alterna, para cada tercio del largo de la fila. Éstas fueron hechas en los estadios V5 y V10 para todos los experimentos.

3.6 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

Luego de la cosecha, en laboratorio se precedió al deshojado, despunte (a la altura de la hoja bandera) obteniéndose así el peso de tallo limpio por muestra, quedando pronta para su extracción en el trapiche experimental. También se obtuvo para cada unidad experimental, el peso de hojas y panoja, altura de planta y número de nudos.

Una vez extraído el jugo, se calculó el % de extracción (kg jugo/kg tallo limpio), y se obtuvo submuestras para determinar en laboratorio % de Brix, mediante el cual se puede calcular los sólidos totales (% de Brix por kg. de jugo).

Las muestras enviadas al laboratorio se mantuvieron en el entorno de 10 meses en freezer para su conservación previo al análisis. Dicho manejo no pudo ser el correcto, dado que congelar el jugo por un tiempo prolongado produce que ciertos azúcares se desnaturalicen disminuyendo el valor absoluto del análisis. Si bien el valor

obtenido no es extrapolable para el cálculo de etanol si es útil para comparar los resultados entre las distintas poblaciones y arreglos espaciales de forma de conocer si éstos hacen variar o no el contenido de sólidos solubles totales (°Brix).

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los experimentos sistemáticos de espaciamiento constante o variable fueron descritos por Nelder en 1962 (“ruedas”). Son efectivos para estudios de crecimiento de plantas asociados al área de crecimiento de las mismas. La estructura de sus parcelas es basada en círculos completos o medios círculos, donde varía la distancia entre plantas y el área de crecimiento que le corresponde a cada planta. A este concepto se lo denomina “rectangularidad” de las parcelas y se define como el cociente entre los lados mayor y menor del área de crecimiento de cada planta. Como ejemplo, en el caso en que el área fuera un cuadrado, la rectangularidad sería igual a uno

Siendo localizados en áreas homogéneas, estos experimentos utilizan menos material experimental para describir patrones de crecimiento en relación con áreas de crecimiento diferente para el cultivo bajo estudio, utilizando métodos de regresión en su análisis. La ventaja de esta metodología es el menor uso de material experimental frente a los diseños clásicos utilizados con el mismo objetivo. La desventaja indicada es la falta de independencia entre las observaciones por su asociación al área de crecimiento, que se manifestaría en una interacción efecto del tratamiento por efecto sitio no cuantificable, aumentando el error experimental. Este problema sería levantado según Nelder (1962) entre otros, por un control experimental intenso, donde la homogeneidad del terreno se controla para minimizar el sesgo posible.

En este trabajo fueron usadas dos versiones del experimento sistemático, el espaciamiento es variable entre plantas (cambio de población y rectangularidad) y de espaciamiento similar (solo cambia rectangularidad).

Los experimentos I y III (época 1 y 2, respectivamente) de población creciente y espaciamiento variable fueron la combinación de los círculos y los radios. El objetivo era obtener a cada planta dentro de un círculo como una repetición y la cantidad de rayos como la de repeticiones. Como fue imposible obtener la misma distancia entre plantas (dentro de cada rayo) entre los diferentes rayos y/o repeticiones, los datos fueron analizados por regresión, considerando la distancia entre hileras o el número de plantas por metro lineal como la variable independiente y todas las variables estudiadas como las variables dependientes. Lo mismo ocurrió para el caso de los experimentos II y IV (época 1 y 2, respectivamente) donde el objetivo fue cambiar la

distancia entre hileras y el no. de plantas en el metro linear sin alterar la población por m^2 , por lo tanto se cambió la rectangularidad.

En el caso de igual espaciamiento, la distancia entre plantas dentro de cada rayo varió de 39 a 21-cm, variando la distancia entre radios de y 23 a 78-cm, respectivamente. Este arreglo diferencial mantuvo la población constante en 14 plantas por metro cuadrado.

En el caso de diferente espaciamiento, la distancia entre plantas dentro de cada rayo varió de 34 a 8-cm, variando la distancia entre radios entre 40 y 60-cm, respectivamente. Este arreglo diferencial hizo variar la población entre 5 y 30 plantas por metro cuadrado.

Debido a fallas en la implantación principalmente, hubo un desfase entre la población objetivo y la realmente obtenida que escaparon al rango de estudio del experimento. Por ese motivo se seleccionaron las plantas que cumplían con el objetivo dentro de un rango tolerable de 25% por encima y por debajo del ajuste entre la distancia entre hileras y las plantas por metro linear (Figuras 4, 8, 12 y 16). El criterio de 25% fue debido a haber logrado un menor no. de plantas con respecto al objetivo. Las plantas que estuvieron por fuera de esta banda fueron descartadas a priori en el análisis de los datos.

Debido a la gran dispersión de las variables dependientes medidas (rendimiento, componentes de rendimiento, etc.), el análisis de los datos se hizo usando un modelo lineal, siendo la DH y/o las plantas por metro linear la variable independiente. En el caso de la DH, se agrupó en tres partes iguales según haya sido el experimento (población creciente o constante) y el material genético utilizado y todos las plantas que pertenecían a cada grupo (DH) fueron tomadas como las repeticiones.

Los análisis fueron realizados por ajustes de modelos lineales, utilizando el paquete estadístico SAS v. 9.0.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

En la figura 1 se observa el comportamiento de lluvias acumulado en cada mes durante el período del ensayo, mostrando para este caso valores mayores al promedio de los últimos 70 años.

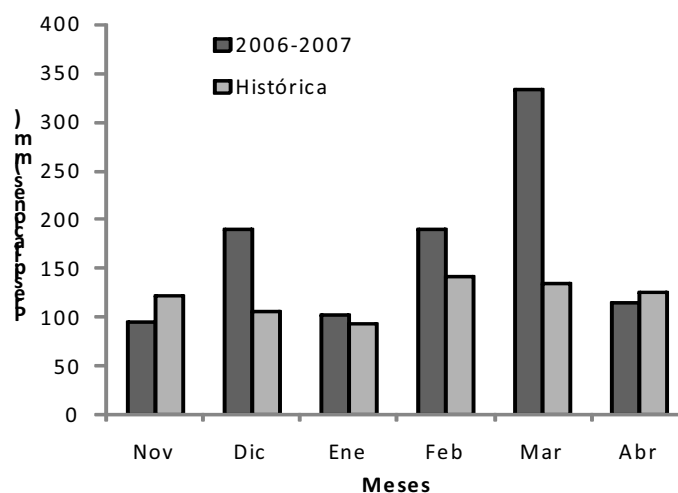


Figura 1. Precipitaciones (mm) acumuladas por mes según las condiciones de la zafra 06/07 y el promedio de los últimos 70 años (1935-2005)

Las precipitaciones superaron un 30% a la media histórica (1935-2005), siendo el volumen de precipitaciones superior en 303-mm con respecto a la media histórica.

Sin considerar los meses de noviembre, enero y abril donde las precipitaciones fueron similares a los valores históricos, en el resto de los meses fue donde se dieron los mayores registros pluviométricos. Registrándose en marzo el mes de mayores lluvias, llegando a los 334-mm acumulados en dicho mes. Esto nos define que el año se debe considerar muy beneficioso para los cultivos de verano, especialmente un cultivo C_4 como es el sorgo dulce; el cual requiere un mínimo de 450-mm de lluvia para que el cultivo pueda realizarse sin riego (Mazziotto, 2006).

Si bien las precipitaciones ocurridas fueron en promedio mayores que la histórica consideramos importante conocer como se comportó el régimen hídrico en aquellos momentos que consideramos más críticos para el cultivo como son la floración, los cuales se muestran a través de la figura 2.

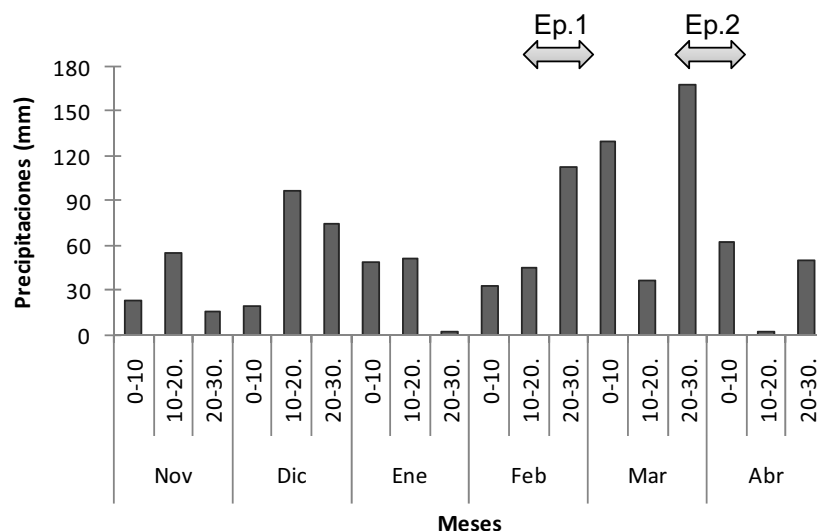


Figura 2. Precipitaciones (mm) registradas cada 10 días para el verano 06/07, señalando el período de floración para cada época

En la figura 2 se marca para cada una de las épocas el período de floración el cual consideramos el período crítico del cultivo, y por ende el momento donde las limitantes hídricas deben ser escasas. Para la primera época de siembra, por las razones ya mencionadas el momento de cosecha coincidió con el período de floración o post-floración, por lo cual su importancia no será evaluada para esta situación. Por lo contrario para la segunda fecha de siembra las precipitaciones registradas fueron relevantes. Para este caso en el entorno a floración se registraron 230-mm de precipitaciones, los cuales mas que compensaron las necesidades del cultivo, no siendo limitante para la concreción del rendimiento. En desmedro de esto, Raupp et al., citados por Russi y Sangenis (1989) indican que si ocurren excesos hídricos durante el período que transcurre de grano pastoso a maduración total, provoca un deterioro de la calidad del jugo, determinando una disminución del Brix.

Además se caracterizó el ambiente con respecto a la temperatura y radiación en el período de desarrollo del cultivo, el cual se muestra en la figura 3, de forma de poder conocer la existencia o no de limitantes y su comportamiento frente a un año promedio.

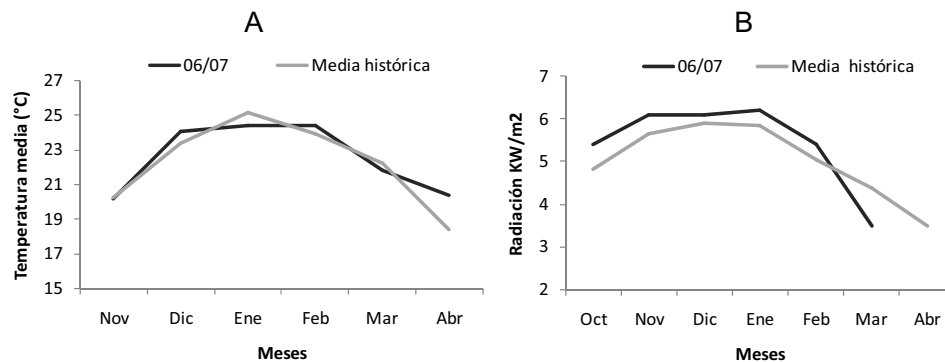


Figura 3. Temperatura media (A) y radiación promedio (B) por mes según la zafra 06/07 y la media histórica

En lo que refiere a la temperatura media no hubo grandes diferencias con la media histórica como se muestra en la figura 3-A, salvo para el mes de abril donde se registro una disminución con respecto a la media. Dicha disminución si bien se encuentra en el entorno a floración para la segunda época de siembra, no afectaría en forma significativa al cultivo dado que se encuentra dentro de la temperatura óptima a floración (17-24°C) según Andonov, citado por Russi y Sangenis (1989).

La radiación (KW/m^2) como se observa en la figura 3-B registró un 8% más en promedio que la media histórica, a excepción del mes de marzo donde hubo una caída del 20% con respecto a la media, afectando en forma directa a la segunda época de siembra. Como se menciona en la revisión bibliográfica, esta caída puede ser una limitante importante en la producción de azúcar y peso de tallo dado que esta caída se produce cerca del entorno de fructificación.

4.2 EXPERIMENTO 1

Para el caso del experimento 1 de población creciente se presentan los datos obtenidos en el ensayo a través de la figura 4.

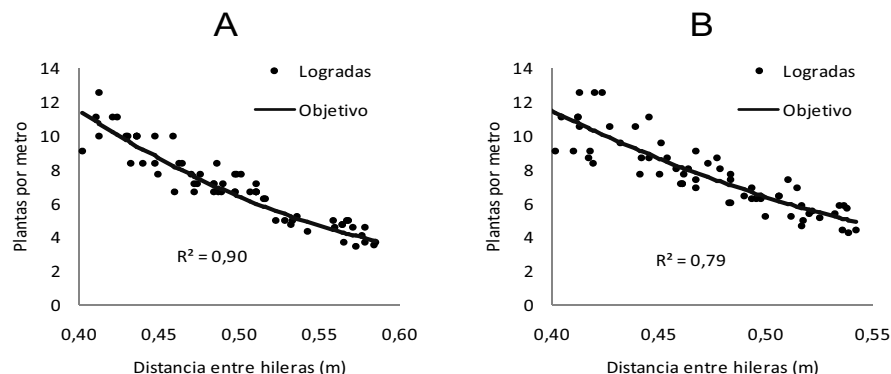


Figura 4. Relación entre plantas logradas por metro lineal según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población variable de la época 1

En la figura 4 se muestra la variación de las plantas logradas por metro en cada variedad en función de la distancia entre hileras, mostrando la distribución de las mismas en comparación con el objetivo luego de haber sido seleccionadas las plantas para el análisis posterior de los datos como fuera explicado en materiales y métodos. En dicha figura queda claramente demostrado que los valores logrados presentan poca dispersión ($R^2=0.90$ y 0.79 , para M81-E y Topper, respectivamente) mostrando un buen ajuste con el objetivo.

En la figura 5 A-B se grafica el peso por planta en función de la distancia entre hileras, mostrándose para las mismas una gran variación de la variable dependiente. Esta gran variación en peso individual por planta llevo a que las mismas fueran agrupadas en tercios iguales según la DH tomando todas las plantas que pertenecían a cada grupo (DH) como repeticiones, para poder lograr el análisis como se muestra más adelante.

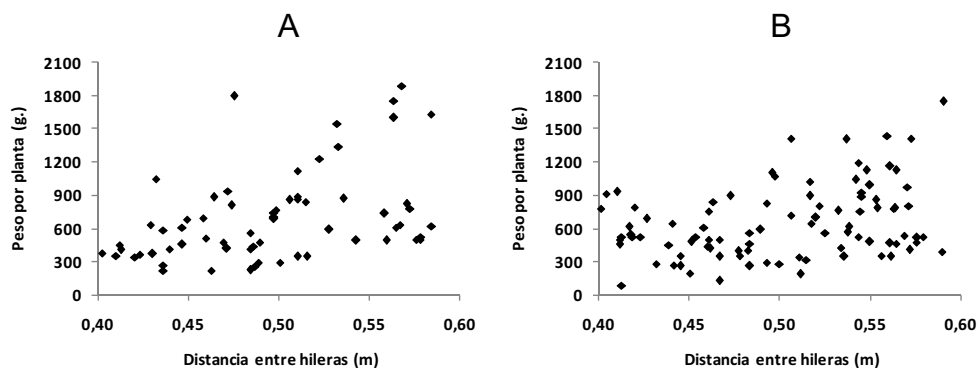


Figura 5. Relación entre peso por planta según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población variable de la época 1

Para poder analizar la información obtenida en el diseño de Nelder se agruparon las distancias entre hileras (DH) en tres rangos para poder visualizar el resultado obtenido en el número de plantas por m^2 y las diferentes respuestas del sorgo dulce al aumento de la población y el arreglo espacial diferencial (rectangularidad).

En el figura 6 se busca caracterizar la población lograda en cada tercio anteriormente descrito. La misma fue alcanzada buscando que a medida que disminuye la distancia entre hileras las plantas por metro en la fila se van incrementando, logrando así una mayor población por metro cuadrado hacia el centro de la rueda.

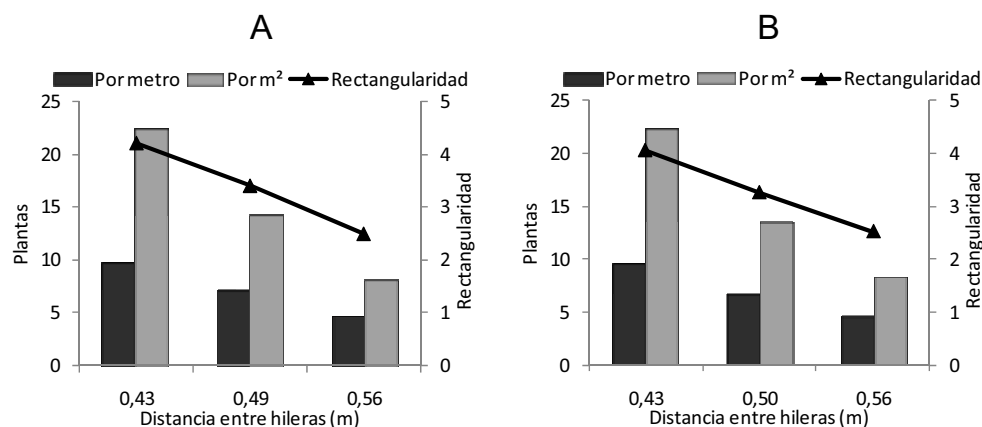


Figura 6. Plantas logradas por metro y m², y la relación de rectangularidad en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de población variable de la época 1

La figura 6 A-B muestra notoriamente para las dos variedades evaluadas, que a medida que aumenta la población (explicado por un aumento en el n° de plantas en el metro lineal y en el acortamiento de la DH) la rectangularidad se incrementó, por lo que en la mayor población, la competencia entre plantas es mayor en la línea que entre las filas.

Una forma de conocer el comportamiento de la población frente a cambios en la distribución y densidad es medir el índice de área foliar (IAF), y el porcentaje de cielo visible (CV).

Cuadro 2. IAF y CV obtenidos en los estadios V5 y V10 para la variedad M81-E y Topper en el experimento de población variable de la época 1

DH (m)	M81-E				TOPPER			
	Estadio V5		Estadio V10		Estadio V5		Estadio V10	
	IAF	CV	IAF	CV	IAF	CV	IAF	CV
0,43	3,4	0,059	4,6	0,024	2,9	0,099	3,5	0,051
0,50	3,6	0,051	4,4	0,024	2,9	0,108	3,6	0,046
0,56	2,9	0,080	3,8	0,036	1,8	0,211	3,3	0,057
MDS_(0,10)	ns	ns	0,3	0,006	0,4	0,043	ns	ns

Para la variedad M81-E, no se encontraron diferencias significativas en IAF y cielo visible para el estadio V5. Sin embargo para el estadio V10, si se encontraron diferencias significativas presentando menor IAF y por ende mas suelo descubierto, en

aquellas poblaciones con distancia entre hileras mayores (0,56m). Dichas diferencias serían consecuencia de que a menor distancia entre hileras, la población va en aumento, registrando mayor área foliar y menor suelo desnudo. Quedando demostrado que poblaciones menos densas con plantas mas grandes y mas macolladoras no logran compensar el IAF de las que se encuentran a mayor densidad para el estadio V10 en M81-E.

En el caso de Topper a diferencia de M81-E, si se observaron diferencias significativas para IAF y suelo descubierto a V5, no existiendo diferencias significativas entre distancias entre hileras de 0,43 y 0,50. Esto afirma lo anteriormente mencionado en M81-E, en el cual las plantas con distancias entre hileras de promedio 0,56, que poseen menor densidad, no llegan a compensar en área foliar a aquellas que se encuentran con mayor densidad, ya en el temprano estadio de V5.

Para el caso de las mediciones de IAF y suelo descubierto a V10 no se registraron diferencias significativas entre los distintos DH promedios evaluados, por lo que se demuestra que las plantas con distancia entre hileras de 0,56 que a V5 si poseían diferencias, al estadio de V10 logran incrementar su área foliar equiparando las diferencias registradas previamente para el caso de la variedad Topper.

Cuadro 3. Altura y nudos obtenidos en función de la distancia entre hileras para cada una de las variedades en el experimento de población variable de la época 1

DH (m)	M81-E		TOPPER	
	Altura	Nudos	Altura	Nudos
0,43	242	12,6	233	12,5
0,50	245	13,2	238	12,7
0,56	266	15,2	245	13,6
MDS_(0.10)	ns	0,9	ns	0,5

En el Cuadro 3 se observa, que si bien no hubieron diferencias significativas para M81-E en la altura, existió una tendencia ($P \leq 0,21$) a ser mas altas a menor población, encontrándose diferencias significativas para el número de nudos (hojas). La variación de altura puede ser un componente clave en el aumento o disminución del rendimiento, mientras que el número de nudos, el cual se traduce en número de hojas, puede estar influyendo en la calidad del jugo como afirma Djanaguiram et al. (2008). Esto significaría que frente a un mismo nivel de significancia en altura, las poblaciones de 0,56m de distancia entre hileras produjeron mayor número de hojas, consecuencia de un mayor espaciado de cada planta.

En Topper, se observa que no existieron diferencias significativas en altura entre los distintas DH evaluadas, pero si existe al igual que en la variedad M81-E mayor cantidad de nudos y por ende mayor número de hojas en las poblaciones menos densas, probablemente por mayor disponibilidad de recursos para cada planta.

En la Figura 7 se muestran los resultados del rendimiento del sorgo dulce medido como peso tallo limpio, tanto del tallo principal y de los macollos (si es que existen) en los distintas densidades y arreglo espacial evaluados en el experimento de poblacion creciente de la época 1.

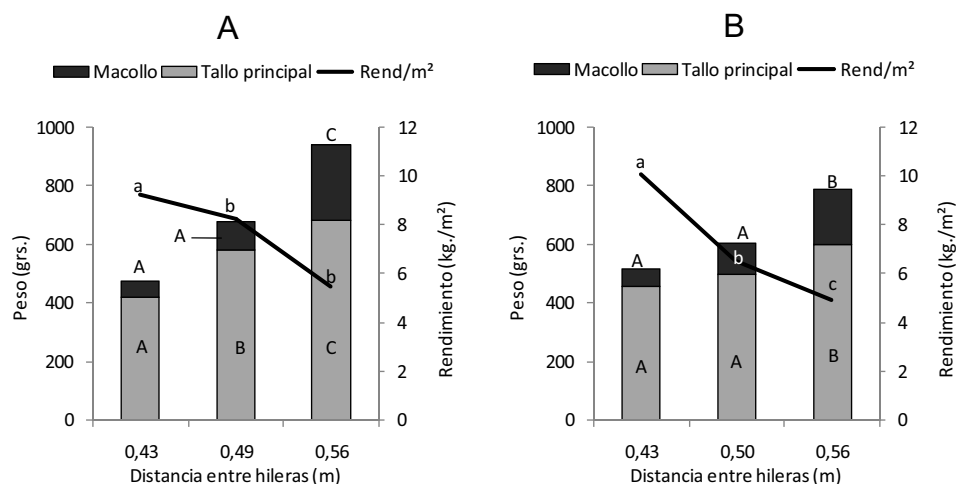


Figura 7. Relación del peso del tallo principal, macollo y rendimiento por área en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de poblacion variable de la época 1

En lo que refiere a la variedad M81-E (Figura A) existió una clara diferencia significativa en el peso por planta entre las poblaciones evaluadas. A medida que se incrementa la DH y por lo tanto se disminuye la población, el peso del tallo principal al igual que el de los macollos se incrementó, consecuencia de una mayor área de crecimiento. Al igual que como se muestra en la revisión bibliográfica el sorgo azucarado compensa parcialmente la densidad mediante la proliferación de macollos generando importantes cambios en el crecimiento de la planta.

Por lo contrario, si tomamos el rendimiento por unidad de superficie, se muestra que los mayores valores se obtienen con poblaciones mas altas, no existiendo diferencias entre poblaciones de 14 y 22 plantas por m². Por lo tanto, si bien con poblaciones bajas (8 plantas por m²), las plantas son mas grandes, estas no logran

compensar en rendimiento medido como peso de tallo limpio por m² a aquellas donde la densidad es mayor. A similares conclusiones son llegadas por Siri et al. (2006)¹, Albano y Martínez (2007) los cuales también concluyen que el mayor macollaje logrado en las bajas densidades no es suficiente para compensar el mayor número de tallos logrados en densidades altas.

En la variedad Topper, el peso de tallo principal que se muestra en la figura 6-B, en el mismo se registraron mayores pesos de tallos para el tratamiento de menor población, siendo significativamente diferente ($P \leq 0.0044$) con los restantes. Del mismo modo sucede con la producción de macollos, ya que los mismos se incrementaron a menores densidades. Estas diferencias son esperables dado que a menores densidades, los recursos por planta son mayores, incrementando el peso del tallo principal y del número de macollos. Sin embargo, los valores de rendimiento por área fueron mayores con las mayores densidades al igual de lo que sucedió en la variedad M81-E. Por lo tanto mayores densidades de plantas rendirían más que las bajas, quedando demostrado que mayor número de tallos (si bien son menos pesados individualmente; $P \leq 0.0011$) generan más rendimiento por superficie, que aquellos que se encuentran en menor densidad con tallos más grandes para el rango de población que fue evaluado en este experimento. Lo que explicaría que menor número de tallos pero más pesado no compensarían el rendimiento de tallos más finos pero con mayor número de éstos. Arribando de esta manera a similares resultados obtenidos por Albano y Martínez (2007), los cuales obtienen mayores rendimientos por superficie a mayores densidades, estando determinado el rendimiento por el número de tallos por ha⁻¹.

Los valores de tallo limpio por hectárea obtenidos en promedio como se observa en la gráfica 7 A-B superan ampliamente a los valores obtenidos en los ensayos realizados en El Espinillar, los cuales alcanzaron en promedio 53,8 toneladas para igual fecha de siembra según Cassou et al. (1983).

La obtención del jugo producido por estos tallos por unidad de superficie, depende de la cantidad de tallo limpio producido y del porcentaje de extracción del mismo. El cuadro 4 muestra los % de extracción y el jugo obtenido, observando que en la variedad M81-E, hubo una tendencia ($P \leq 0,105$) a que los mayores litros de jugo obtenidos por superficie fueran obtenidos en las poblaciones más altas, coincidiendo con los resultados de Siri et al. (2006)¹.

Cuadro 4. Porcentaje de extracción y Kg. de jugo obtenido según distancia entre hileras para M81-E y Topper en el experimento de población variable de la época 1.

DH (m)	% Extracción	Jugo (kg)	
		Por planta	Por m ²
M81-E			
0,43	49,5	0,218	4,837
0,49	47,6	0,302	4,197
0,56	46,3	0,435	3,538
MDS _(0.10)	1,4	0,059	ns
Topper			
0,43	47,9	0,247	5,488
0,50	48,2	0,276	3,600
0,56	48,3	0,367	3,080
MDS _(0.10)	ns	0,041	0,620

Las tres variables que construyen el rendimiento de jugo por superficie son el peso de jugo por planta, el número de éstas y el porcentaje de extracción. Si bien el peso de jugo por planta es significativamente menor (50% menor comparando DH 0.43 vs. 0.56 en M81-E), el mayor rendimiento en jugo por superficie se logró por un mayor porcentaje de extracción y un mayor número de tallos. Si bien, el jugo de cada planta es menor, el mayor número de tallos por área hace que el rendimiento por superficie presente la tendencia a ser mayor a mayor densidad, sumado a un mayor porcentaje de extracción.

Esta diferencia de mayor extracción a mayores densidades, puede estar explicada porque a menores densidades ocurre el mayor porcentaje de fibra, por un mayor número de macollos y más finos (dentro de un rango considerado no excesivo para población), en desmedro de la cantidad de jugo, como lo afirma Borges, citado por Cassou et al. (1983).

En la variedad Topper si bien se mantuvo la tendencia de mayor rendimiento de jugo a mayor densidad, no se registraron diferencias en el porcentaje de extracción. El mismo presenta valores del entorno al 50%, coincidiendo con los datos obtenidos por Woods (2000).

Para el experimento 1 (población creciente, época de siembra de noviembre), si bien existieron diferencias o tendencias entre estas últimas como se ha detallado anteriormente, se ha obtenido en conjunto un mayor crecimiento de las plantas ya sea de su tallo principal o de sus macollos, en poblaciones bajas (del entorno a 8 plantas por m², logradas con distancia entre hileras de 0,56m). Por lo contrario, si tomamos el rendimiento (medido como peso de los tallos) por superficie, los mejores resultados

fueron con poblaciones altas (22pl/m²). Con estos resultados, obtenidos podemos concluir que aquellos tallos más grandes (logrados a menor densidad) no compensaron al logrado en las densidades más altas en la cual se obtienen un mayor número de tallos. Igual tendencia presentan los datos recabados en jugo por planta y por superficie, donde ése último es mayor a mayores densidades. En lo que refiere a extracción, los valores estuvieron cercanos al 50% no presentando grandes diferencias entre la combinación de población y arreglo espacial de las plantas.

4.3 EXPERIMENTO 2

En busca de poder determinar el mejor arreglo espacial de las plantas frente a una población constante, se realizaron los experimentos (2 y 4).

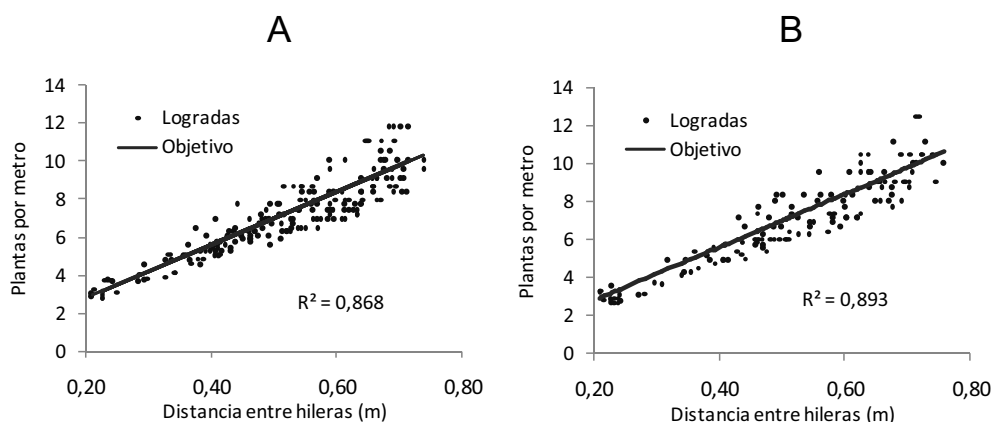


Figura 8. Relación entre plantas logradas por metro lineal según distancia entre hileras de pendiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de poblacion constante de la época 1

En la figura 8 se muestra la variación de las plantas logradas por metro lineal en cada variedad en función de la distancia entre hileras, exponiendo la distribución de las mismas en comparación con el objetivo luego de haber sido seleccionadas las plantas para el análisis posterior de los datos como fuera explicado en materiales y métodos. En dicha figura queda claramente demostrado que los valores logrados presentan poca dispersión ($R^2=0,87$ y $0,89$, para M81-E y Topper, respectivamente) mostrando el buen ajuste con el objetivo.

En la figura 9 muestra a continuación el peso por planta en función de la distancia entre hileras, mostrándose para las mismas una gran variación de la variable

del peso por planta. Esta gran variación en peso individual llevo a que las mismas fueran agrupadas en tercios iguales, tomando todas las plantas que pertenecían a cada grupo como repeticiones.

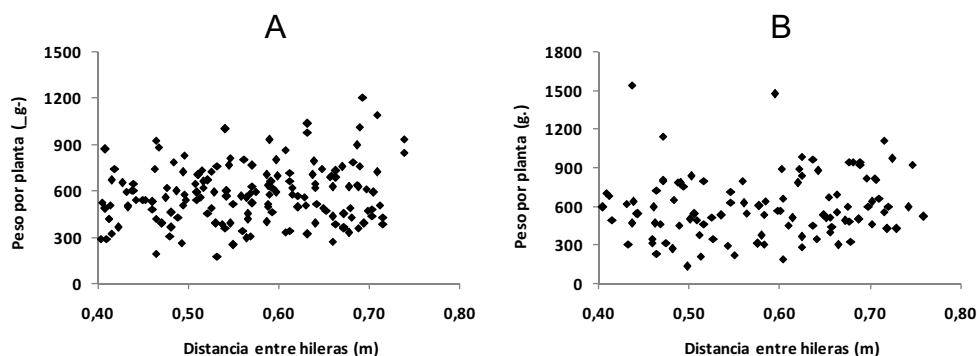


Figura 9. Relación entre peso por planta según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población constante de la época 1

En la figura 11 se muestra que para las dos variedades la población lograda estuvo en el entorno de las 14 plantas por m^2 , la misma presentó diferente distribución, la cual fue lograda variando la distancia entre hileras y las plantas dentro de la hilera. Para mantener la población constante, como se observa en el figura 11, a medida que la distancia entre hileras aumenta el número de plantas dentro de la hilera se incrementa, logrando así una población constante con distintos arreglos espaciales de las plantas.

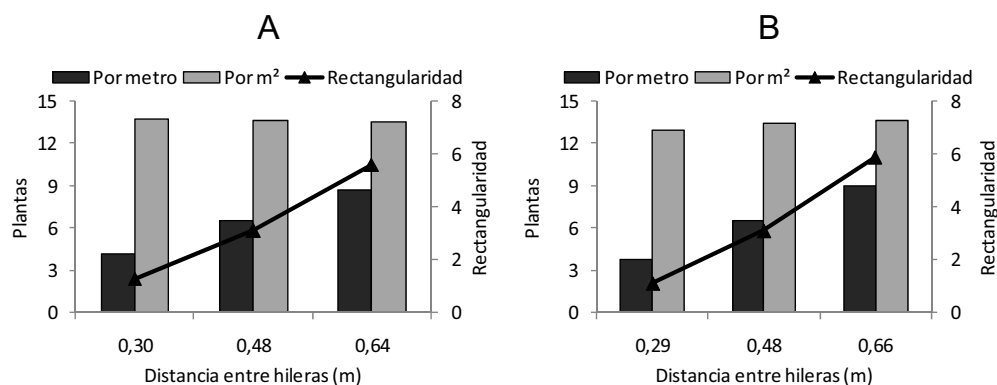


Figura 10. Plantas logradas por metro y m^2 , y la relación de rectangularidad en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de población constante de la época 1

Así mismo se puede ver como a medida que se aumenta la distancia entre hileras el espacio de crecimiento de la planta se hace más rectangular siendo mayor la competencia dentro de la fila que entre las filas. Por lo contrario, con distancia entre hileras del entorno de 0,30m. el espacio de crecimiento de la planta se hace mas cuadrado siendo más equidistante la competencia dentro y entre las filas.

Cuadro 5. IAF y CV obtenidos en los estadios V5 y V10 para la variedad M81-E y Topper en el experimento de poblacion constante de la época 1

DH (m)	M81-E				TOPPER			
	Estadio V5		Estadio V10		Estadio V5		Estadio V10	
	IAF	CV	IAF	CV	IAF	CV	IAF	CV
0,30	3,4	0,092	4,4	0,022	3,5	0,066	4,5	0,022
0,48	3,2	0,071	4,6	0,021	3,1	0,084	4,7	0,021
0,65	2,9	0,092	3,2	0,068	2,8	0,012	4,1	0,032
MDS_(0.10)	ns	ns	0,35	0,035	ns	ns	0,2	ns

Para el caso de las 2 variedades no se registraron diferencias en el IAF y cielo descubierto a V5, presentando valores similares entre las variedades. Sin embargo a V10 en ambas si se observaron diferencias, presentando menor IAF aquellas plantas que se encontraban en el entorno de la mayor distancia entre hileras. La falta de diferencias de IAF en V5 podrían estar explicadas por que el cultivo en este estadio todavía no generaba mucha competencia entre las plantas y por ende no se registraron diferencias.

En lo que refiere a la caracterización a cosecha en el cuadro 6 se muestran los resultados de éste experimento.

Cuadro 6. Altura y nudos obtenidos en función de la distancia entre hileras para cada una de las variedades en el experimento de poblacion constante de la época 1

DH (m)	M81-E		TOPPER	
	Altura	Nudos	Altura	Nudos
0,30	288	13,4	244	12,0
0,48	266	13,3	246	12,7
0,65	239	13,1	236	12,9
MDS_(0.10)	6,9	Ns	ns	ns

En lo que refiere a la altura a cosecha si hubo diferencias entre las variedades, registrándose en promedio para M81-E más altura y más nudos que la variedad Topper.

Para el caso de la variedad M81-E en ensayos realizados por el INIA, esta variedad alcanzó en promedio 270 cm de altura, valores coincidentes con los obtenidos en promedio de éste experimento los cuales se ubican en 264 cm.

Para ésta misma variedad la altura en los distintos tratamientos varió al variar la rectangularidad del área de crecimiento. Esto puede estar explicado porque a medida que se incrementa la rectangularidad la distancia entre hileras es mayor que la distancia entre las plantas de la línea, por lo cual, al tratarse de una gramínea de hojas opuestas y alternas (Maziotto, 1989), las mismas se ordenan paralelas a la fila captando mayor luz que aquellas con áreas de crecimiento por planta mas cuadradas. Por este motivo cuando la distancia entre hileras es del entorno de 0,30m la rectangularidad de crecimiento se encuentra próximo a 1 (ver figura 8), por lo que la misma se asemeja a un cuadrado dificultando la obtención de luz, promoviendo a la planta a incrementar la altura en busca de más radiación (Cuadro 6). Sin embargo en lo que refiere a número de nudos, no se registraron diferencias significativas por lo que el comportamiento de la planta frente a una distribución más cuadrada es la de incrementar la altura y no el numero de hojas.

Por lo contrario en la variedad Topper no se registran diferencias significativas en la altura ni en el número de nudos al variar la distribución, por lo que diferente arreglo espacial no afectarían a dichas variables medidas.

Si analizamos el comportamiento de las variedades en función del rendimiento, como se observa en la figura 11, vemos que existieron diferentes comportamientos al arreglo espacial según el manejo varietal.

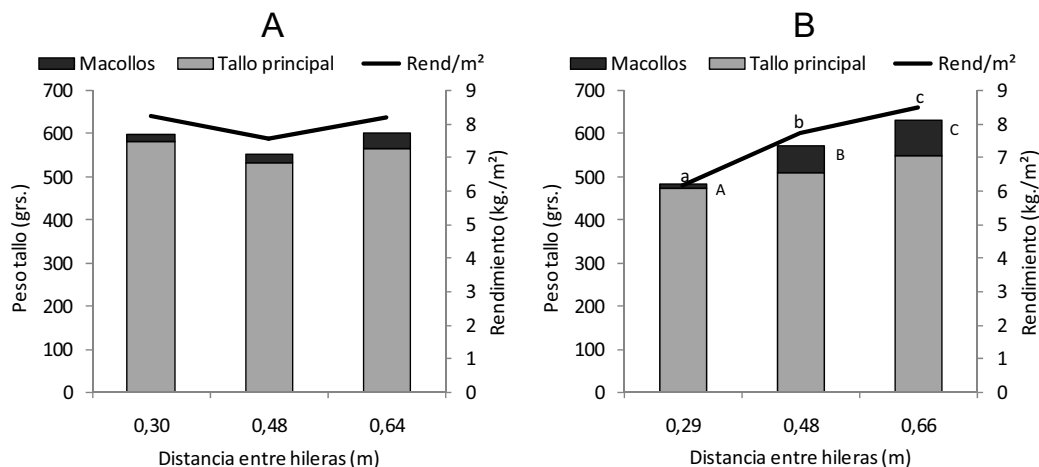


Figura 11. Relación del peso del tallo principal, macollo y rendimiento por área en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de población constante de la época 1

Para M81-E (Figura 11 A) no se registraron diferencias significativas ni en rendimiento, ni en los componentes que componen al mismo (tallo principal y macollos), por lo tanto la diferencia en altura mostrada anteriormente fue compensada por un menor diámetro de estos (datos no mostrados), no resultando ser la altura en este caso un componente que determinara diferencias en el rendimiento.

Por lo contrario en Topper si se registraron diferencias significativas para los distintos tratamientos en el rendimiento. El mismo se incrementó al aumentar la distancia entre hileras y el número de plantas por metro; siendo el principal componente que determina este aumento el aporte realizado por los macollos. Una posible explicación del incremento del rendimiento hacia mayores distancias entre hileras puede estar explicada por el incremento de la rectangularidad del área de crecimiento. Frente a condiciones no limitantes como la fertilización y el agua (por tratarse de un año sin limitantes hídricas) el principal limitante se encuentra en la disponibilidad lumínica. Al aumentar la rectangularidad la competencia entre las plantas en la fila es muy alta pero al no tener grandes limitantes a nivel del suelo, la limitante sería el arreglo de las hojas para la captación de luz. Al incrementar la rectangularidad obliga a las plantas a disponer las hojas en forma perpendicular a la fila permitiendo un buen arreglo espacial de las hojas obteniendo un buen aprovechamiento de la luz, además de esta manera incrementa el nº de macollos por mayor disponibilidad de luz.

Los valores óptimos de distancia obtenidos en este experimento para la variedad Topper son coincidentes con los planteados por Pereira Porto et al., citados por Ambrosioni y Ovidio (1983) en los cuales para poblaciones del entorno de 130 plantas por/ha⁻¹ (similares a las obtenidas en este ensayo de población constante) el mejor arreglo espacial es logrado con una DH de 0,70m y 7 a 10 plantas por metro lineal. A similares conclusiones sobre la DH arriba Hipp et al., citados por Ambrosioni y Oviedo (1983).

Si comparamos el promedio de rendimiento por hectárea obtenido en este experimento el cual ronda en el entorno de 77 tt de tallo limpio por hectárea, vemos que los valores obtenidos son significativamente superiores a los logrados por Cassou et al. (1983) el cual alcanzan valores de 54,3 tt/ha en promedio para ensayos realizados en nuestro país.

En el cuadro 7 se representa los porcentajes de extracción y kg de jugo obtenidos por planta y por superficie, de forma de conocer si la tendencia presentada a nivel de “campo” se mantiene luego de extraer el jugo, el cual constituye la materia prima para la producción de etanol.

Cuadro 7: Porcentaje de extracción y Kg. de jugo obtenido según distancia entre hileras para M81-E y Topper en el experimento de población constante de la época 1

DH (m)	% Extracción	Jugo (kg)	
		Por planta	Por m ²
M81-E			
0,30	57,2	0,343	4,715
0,48	58,2	0,321	4,396
0,64	61,7	0,370	5,057
MDS _(0.10)	ns	0,023	0,350
Topper			
0,29	49,4	0,238	3,044
0,48	53,4	0,288	3,913
0,66	52,3	0,322	4,373
MDS _(0.10)	ns	0,027	0,386

Para el caso de población constante parece existir que para las dos variedades las mejores resultados por superficie se logran a mayor distancia entre hileras, o sea a mayor rectangularidad, manteniendo la tendencia presentada en el rendimiento de tallo limpio. Este mayor incremento de jugo a mayor distancia entre hileras es producto de un mayor peso de jugo por planta, lo cual indicaría que dicha distribución más rectangular sería más ventajosa. En lo que refiere al porcentaje de extracción, no se

registraron diferencias significativas para las dos variedades, por lo que este parámetro no sería relevante frente a variaciones en el arreglo espacial.

Para el experimento 2 según los resultados obtenidos para las dos variedades, la tendencia general es a presentar más altura frente a distribuciones más equidistantes, y de esta manera lograr mejor IAF en momentos de mayor crecimiento del cultivo (estadio V10). Las mismas revelan que plantas más grandes son obtenidas a mayor distancia entre hileras, por lo tanto, si se logra un arreglo espacial de mayor rectangularidad, se lograrían los mejores rendimientos por superficie. Esto podría estar explicado porque frente a la ausencia de limitantes a nivel de suelo (agua, fertilización, etc.), la restricción estaría en la disponibilidad lumínica, la cual es superada cuando las plantas presentan mayor distancia entre hileras permitiendo un mejor arreglo de las hojas.

Igual tendencia es mantenida una vez extraído el jugo donde los mayores valores del mismo son obtenidos a mayor distancia entre hileras, o sea a mayor rectangularidad.

4.4 EXPERIMENTO 3

Al igual que en la primer época de siembra, en la figura 12 se muestra la dispersión de las plantas logradas por metro en comparación con el objetivo planteado. Como se puede observar en las dos variedades existe una correlación alta y positiva, mostrando la poca dispersión de las plantas logradas en relación a las objetivo.

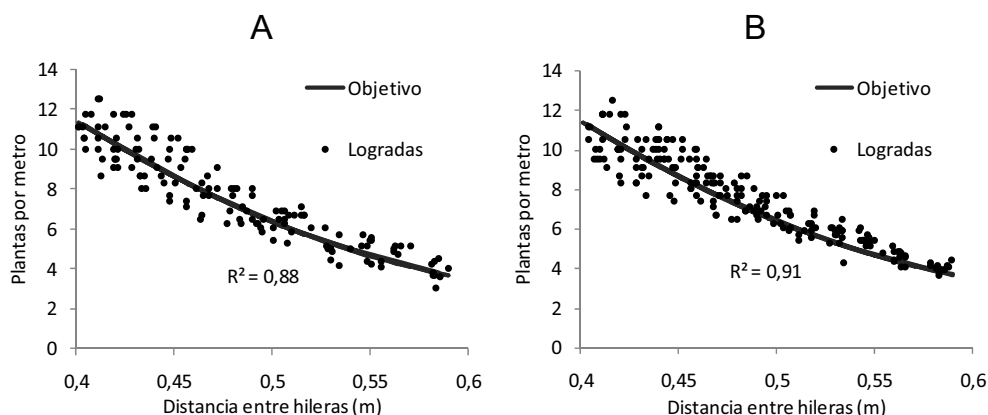


Figura 12: Relación entre plantas logradas por metro lineal según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población variable de la época 2

En la figura 13, se muestra la relación entre el peso de cada planta y la distancia entre hileras; al no encontrarse un ajuste de las mismas, se dividió la distancia entre hileras en tres partes iguales tomando los valores de cada planta dentro de cada tercio como repeticiones, pudiendo de esta manera realizar un ajuste lineal de las variables dependientes.

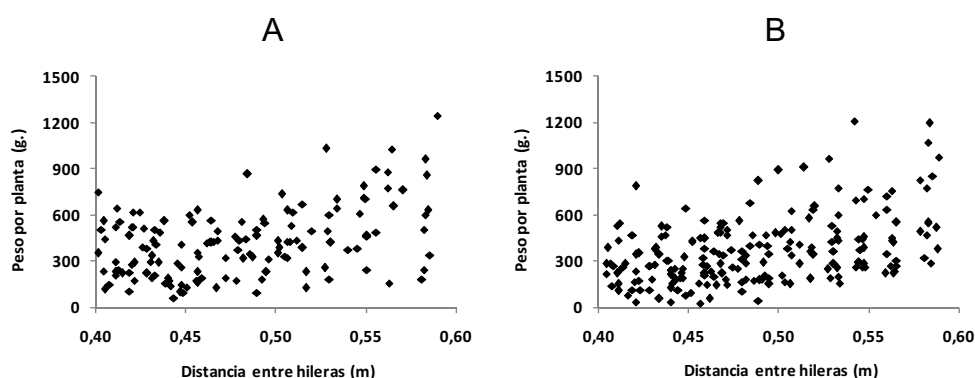


Figura 13. Relación entre peso por planta según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población variable de la época 2

En la figura 14 se muestra como fue obtenida la población creciente, en la cual se observa que a medida que disminuye la distancia entre hileras las plantas por metro se incrementan de forma de ir aumentando la población en promedio para las dos variedades en el entorno de 8, 14, 22 plantas por m^2 para cada DH promedio.

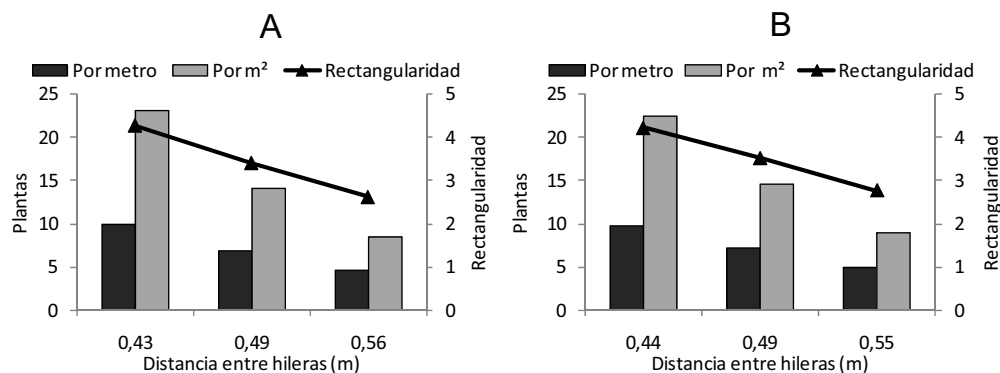


Figura 14. Plantas logradas por metro y m², y la relación de rectangularidad en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de población variable de la época 2

A medida que se incrementa la población se observa que la rectangularidad del espacio de crecimiento de la planta se hace mayor; por lo cual la competencia entre las plantas de la línea es mayor que el de la entre fila.

La caracterización de la población en el experimento 3 como se muestra en el cuadro 8 para la segunda época de siembra no se registraron diferencias significativas para las mediciones de IAF y CV para ninguno de los dos estadios y ninguna de las dos variedades.

Cuadro 8: IAF y CV obtenidos en los estadios V5 y V10 para la variedad M81-E Topper en el experimento de población variable de la época 2

DH (m)	M81-E				TOPPER			
	Estadio V5		Estadio V10		Estadio V5		Estadio V10	
	IAF	CV	IAF	CV	IAF	CV	IAF	CV
0,43	2,55	0,127	3,47	0,054	2,19	0,179	3,60	0,056
0,49	2,08	0,166	3,85	0,037	2,46	0,151	3,74	0,054
0,56	1,67	0,257	3,60	0,049	2,12	0,203	3,43	0,064
MDS _(0.10)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

La falta de diferencia significativa para las dos variedades en IAF y CV nos sugiere que aquellas poblaciones menos densas (distancia entre hileras 0,56m) donde esperamos plantas más grandes por mayor disponibilidad de recursos y por menos competencia, compensarían con mayor crecimiento en relación a aquellas donde la densidad era mayor.

La similitud en el comportamiento de la población en IAF frente a distintas densidades, si bien permanece hasta V10 según los datos obtenidos, a cosecha se registraron diferencias significativas en cuanto altura y número de nudos para las dos variedades como se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Altura y nudos obtenidos en función de la distancia entre hileras para cada una de las variedades en el experimento de población variable de la época 2

DH (m)	M81		TOPPER	
	Altura	Nudos	Altura	Nudos
0,44	267	12,7	201	10,5
0,49	281	13,6	224	11,5
0,55	287	14,0	238	12,4
MDS_(0.10)	9	0,4	10	0,5

Dichas diferencia significativas registradas a cosecha reflejan la compensación explicada anteriormente, donde las poblaciones que en promedio son menos densas (8 plantas/m²) registran para las dos variedades mayor crecimiento en altura y mayor número de nudos. Por lo que la falta de diferencia en IAF entre las poblaciones más y menos densas mostradas anteriormente, estarían explicadas por que las menos densas compensan con mayor altura y mas número de hojas el IAF, en relación a las que presentan más población confirmando lo sugerido inicialmente.

En la variedad Topper las diferencias registradas a cosecha entre las distintas densidades son más notorias que para M81-E; registrándose en Topper un 20 % más de crecimiento en altura y hojas entre las densidades más contrastantes. Esta información registrada a cosecha confirma la tendencia que se venía marcando ya en los estadios tempranos a través de los registros de IAF, donde se afirma que existe un mayor crecimiento por planta en las siembras menos densas.

A través de la figura 15 se busca mostrar los distintos componentes del rendimiento y sus variaciones frente a las diferentes poblaciones.

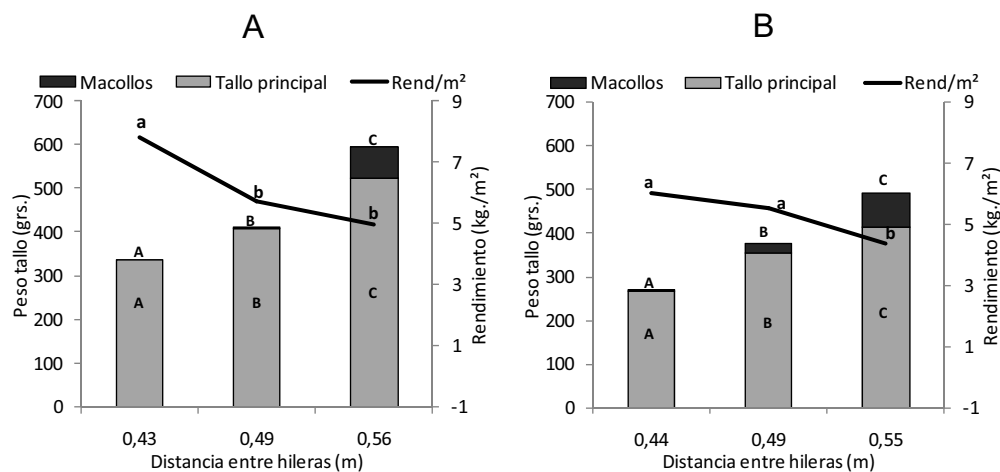


Figura 15. Relación del peso del tallo principal, macollo y rendimiento por área en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de población variable de la época 2

Para las dos variedades se registraron diferencias significativas ya sea tanto para el peso del tallo principal como para el de los macollos.

Para las dos variedades se visualiza un mayor impacto de los macollos hacia poblaciones menos densas, acentuada aún más en la variedad M81-E donde el incremento de los mismos es mayor al pasar de DH de 0,49 a 0,55, en comparación con la variedad Topper. Estos resultados obtenidos son coincidentes con los citados en la bibliografía, en los cuales se afirma que en las densidades bajas las plantas aumentan el macollamiento para realizar un mayor aprovechamiento de los recursos.

Si bien aquellas plantas que se encuentran a menores densidades (8 plantas/m²) registran para M81-E un 56% más de peso del tallo principal y en Topper un 57% más de peso que las poblaciones más densas (22 plantas por m²), estas diferencias no se mantienen para el rendimiento medido por superficie.

En lo que refiere al rendimiento por superficie, para la variedad M81-E los mayores valores se obtienen a mayores densidades por m², registrándose un 59% más de rendimiento entre las densidades más altas en comparación con las más bajas, siendo estas diferentes significativas. Igual tendencia presenta Topper donde los mayores rendimientos se obtienen a mayores densidades, no existiendo diferencias significativas entre DH de 0,44 y 0,49 m. Para el caso de Topper el incremento de

rendimiento por superficie entre la baja y alta densidad es del entorno del 36% a favor de la última.

Djanaguiraman et al. (2008) afirma como es presentado en la revisión, que una baja densidad de cultivos pueden aumentar la tasa de crecimiento relativo en comparación con otros cultivos más densos o bien a través de la captura de la radiación más eficiente o mediante el aumento de la producción de hoja. Este autor también afirma que el aumento de la producción de hojas puede ser el mecanismo mediante el cual una baja densidad de cultivo pueda producir condiciones de plena absorción de la radiación y así mantener altos rendimientos. Si bien como afirma Djanaguiraman las bajas densidades del cultivo permiten aumentar la tasa de crecimiento relativa y aumentar la producción de hojas como ha sucedido en los datos obtenidos en este experimento; los mismos mantienen altos rendimientos por planta, pero según los datos obtenidos no logran compensar los obtenidos por el mayor número de tallos cosechados en las densidades más altas.

Si tomamos el rendimiento por hectárea, los logrados con densidades de 22 plantas por m^2 (78 tt ha^{-1}) en la variedad M81-E superan ampliamente a los citados por Terra et al. (2006) los cuales alcanzaron en promedio 55 tt ha^{-1} . Para las densidades de 8 y 14 plantas por m^2 los valores son muy similares a los obtenidos por Terra et al. (2006) en los ensayos de INIA Palo Apique.

Como se puede ver, para el caso de la segunda época la tendencia del rendimiento por superficie tiende a ser similar al de la primera época de siembra, siendo en ambos casos mayor en aquellas con mayor rectangularidad y mayor densidad, las cuales por su mayor número de tallos por m^2 compensan el mayor crecimiento en por planta que se encontraban en las densidades más bajas.

Siguiendo el análisis del rendimiento, en el cuadro 10 se presenta los resultados obtenidos en la extracción del jugo de los tallos, y la calidad del mismo para la segunda época de siembra, en esta población variable de segunda época de siembra.

Cuadro 10. Porcentaje de extracción, Kg. de jugo y °Brix obtenidos según distancia entre hileras para M81-E y Topper en el experimento de población variable de la época 2

DH (m)	% Extracción	Jugo (kg)		°Brix
		Por planta	Por m ²	
M81-E				
0,43	49,9	0,167	3,904	10,8
0,49	52,7	0,217	3,016	10,6
0,56	54,6	0,314	2,661	11,8
MDS _(0.10)	ns	0,025	0,432	ns
Topper				
0,44	56,3	0,148	3,279	7,6
0,49	57,7	0,203	2,981	7,3
0,55	59,8	0,267	2,412	7,4
MDS _(0.10)	1,5	0,19	0,304	ns

En el mismo se muestra que para el caso de M81-E no existen diferencias significativas en la extracción, mientras que en Topper si las hay, siendo mayor la extracción donde la densidad de plantas es menor, no coincidiendo estos datos con los presentados por Siri et al. (2006)¹ en el cual obtuvo mejores % de extracción en las densidades mas altas. Si bien en el caso de Topper hay significancia, estas diferencias no son grandes, registrándose tan solo un 3,5% de diferencia entre los valores más extremos. Si tomamos el valor de extracción más alto y lo transformamos a base 100 solo un 6,2% es la diferencia en comparación con el peor tratamiento, por lo que consideramos que a la extracción no sería tan relevante frente a los cambios en la distribución.

Para ambas variedades los valores de jugo por planta más altos son obtenidos a menor densidad (plantas más grandes) y los más bajos a mayor densidad, presentando diferencias significativas entre todos los tratamientos como se muestra en el cuadro 10. Por lo contrario si analizamos el jugo por superficie vemos que ocurre lo opuesto, los mayores valores son obtenidos donde la densidades eran mayores. Si bien el peso por planta a mayor densidad es menor, por tratarse plantas más chicas, el mayor número de éstas hace que el rendimiento por superficie más que compense el menor peso individual por planta.

En cuanto a la calidad del jugo obtenido vemos que el mismo no varía en forma significativa al variar la población, por lo que no sería una variable dependiente de la población. A iguales conclusiones son las que arriba Broadhead et al., citados por Bistolfi (1981), en el cual no encontraron resultados en los que la población afectaran los valores de Brix.

En este experimento 3 de población variable se pudo observar que en épocas de siembra de fines de diciembre ocurrieron similitudes a las obtenidas en el experimento de siembras de noviembre. Para este caso los valores de altura y nudos presentan igual tendencia que en el experimento 1, donde los mejores valores por planta se obtienen a menores densidades, producto de tratarse de plantas más grandes por mayor espacio de crecimiento. Esto lleva a que los rendimientos por planta sean mayores a menores densidades, pero si analizamos el rendimiento por superficie vemos que los mejores valores son obtenidos a mayor densidad de plantas. Al igual que lo que sucedió en la primera época de siembra, esto está explicado por un mayor número de tallos cosechados por superficie.

Igual tendencia presenta la cantidad de jugo obtenido, no registrándose diferencias significativas en la calidad del jugo al variar la población.

4.5 EXPERIMENTO 4

Al igual que en la primer época se buscó conocer cuál era el mejor arreglo espacial, para lo cual se estudió una serie de distribuciones de plantas con el fin de lograr optimizar el mejor arreglo espacial de las mismas.

En la figura 16 se muestra la distribución de las plantas logradas en comparación a las objetivo, registrándose para ambas variedades una correlación alta y positiva para las plantas logradas, por lo que las mismas representarían bien al objetivo planteado.

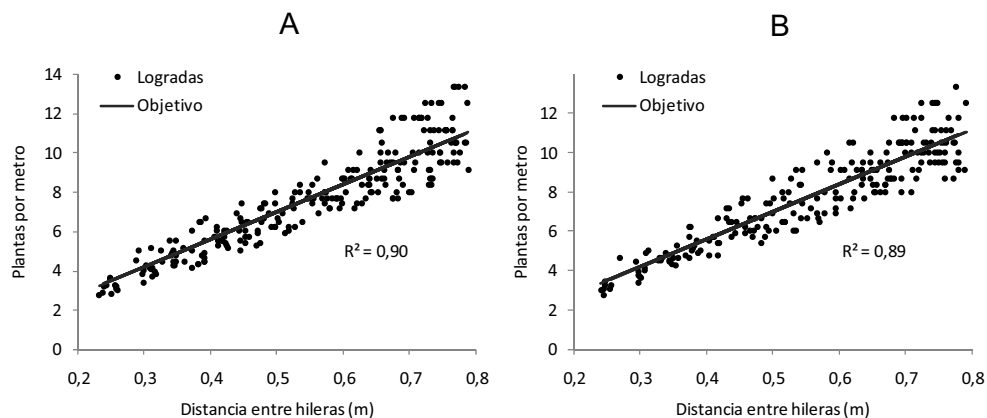


Figura 16. Relación entre plantas logradas por metro lineal según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población constante de época 2

En la figura 17 se muestra para la población constante de segunda época la relación del peso de cada planta en función de la distancia entre hileras. Para este experimento al igual que en los restantes, no existe un ajuste entre estas variables dependientes por lo que se dividió la DH en tres partes iguales de manera de que las plantas dentro de cada tercio fueran tomadas como repeticiones. Logrando de esta manera contar con un ajuste lineal de las variables dependientes para poder realizar el análisis de las mismas al variar la distribución en el espacio.

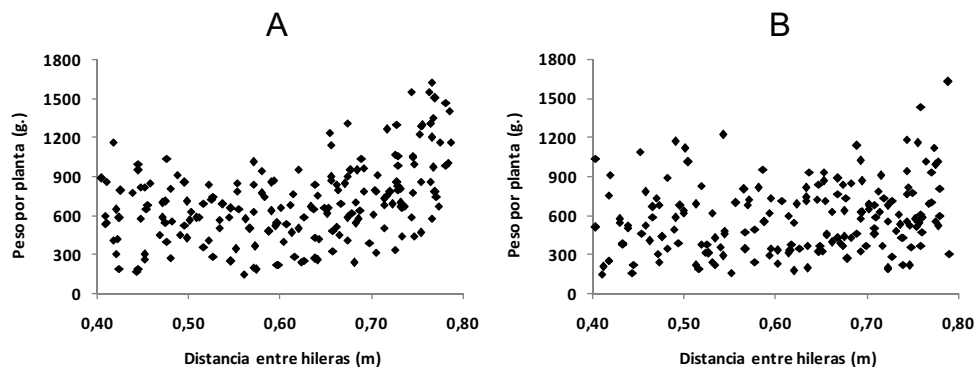


Figura 17. Relación entre peso por planta según distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A), Topper (B) en el experimento de población constante de la época 2

Para lograr la población constante en el experimento 4 al igual que en el 2, se busco lograr que a medida que la DH aumentaba, el número de plantas por metro lineal también se incrementara, de forma de conseguir la población constante como se muestra en la figura 18.

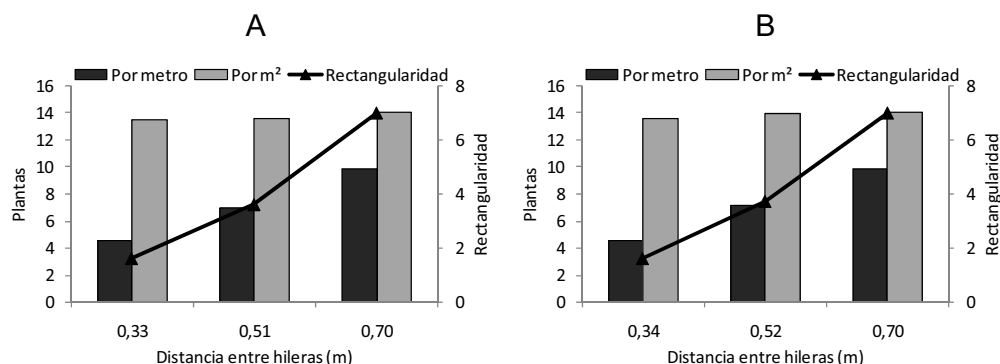


Figura 18. Plantas logradas por metro y m^2 , y la relación de rectangularidad en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de población constante de época 2

Para las dos variedades, el promedio de la población lograda por m^2 ronda el entorno de las 14 plantas. En lo que refiere a la rectangularidad del espacio de crecimiento de cada planta la misma fue mayor a mayor DH, pasando de una distancia más equidistante (1) frente a distancias entre hileras de 0,33m, hasta valores de rectangularidad del entorno a 7 para DH de 0,70m de promedio.

Como se muestra en el cuadro 11 al igual que lo que sucedió en el experimento 3 no se encontraron diferencias significativas en IAF y CV para los distintos estadios, salvo para el estadio V10 en M81-E donde se registraron mayores valores a mayores densidades.

Cuadro 11: IAF y CV obtenidos en los estadios V5 y V10 para la variedad M81-E y Topper en el experimento de población constante de época 2

DH (m)	M81-E				TOPPER			
	Estadio V5		Estadio V10		Estadio V5		Estadio V10	
	IAF	CV	IAF	CV	IAF	CV	IAF	CV
0,33	2,58	0,11	5,18	0,01	3,02	0,07	4,24	0,03
0,51	2,35	0,13	4,53	0,02	2,96	0,08	4,17	0,03
0,70	2,39	0,14	3,71	0,04	2,51	0,12	3,88	0,04
MDS_(0.10)	ns	ns	0,69	ns	ns	ns	ns	ns

A cosecha, como se muestra en el cuadro 12 en la variedad M81-E se presentaron diferencias significativas en altura y número de nudos. Vemos que en esta variedad a medida que la rectangularidad se acrecienta, la altura se incremento un

7,2% por pasar de 0,34 y 0,70-m de DH. Igual comportamiento presento el número de nudos, donde se incremento un 7,4%. Esto podría estar explicado al igual que lo que sucedió en la primera época de siembra, por la mayor rectangularidad , lo que permitió un mejor arreglo espacial de las hojas, permitiendo así una posible mayor captación de luz. Si bien la competencia entre plantas de la fila es mayor, ésta no sería de gran relevancia por no existir recursos limitantes a nivel de suelo (como son el agua, nutrientes, etc); pasando a ser la limitante la captación de luz. Por lo que la optimización de la captación de la luz se ve favorecida con distribuciones que tiendan a la mayor rectangularidad.

Cuadro 12: Altura y nudos obtenidos en función de la distancia entre hileras para cada una de las variedades en el experimento de población constante de la época 2

DH (m)	M81-E		TOPPER	
	Altura	Nudos	Altura	Nudos
0,34	289	13,4	258	12,1
0,52	299	13,7	271	12,6
0,70	310	14,4	273	13,2
MDS_(0,10)	8	0,3	ns	0,4

En Topper si bien no hubo diferencias significativas en altura, si existió una clara tendencia ($P \leq 0,23$) al aumento de la misma hacia mayor rectangularidad. En lo referente al número de nudos si existieron diferencias claras entre las distintas DH, registrándose el mayor número de hojas a mayor rectangularidad.

Dicho comportamiento en las dos variedades, deja en evidencia que a mayor rectangularidad mayor es la producción de hojas y altura, lo cual podría estar influyendo directamente en la cantidad y calidad de producción.

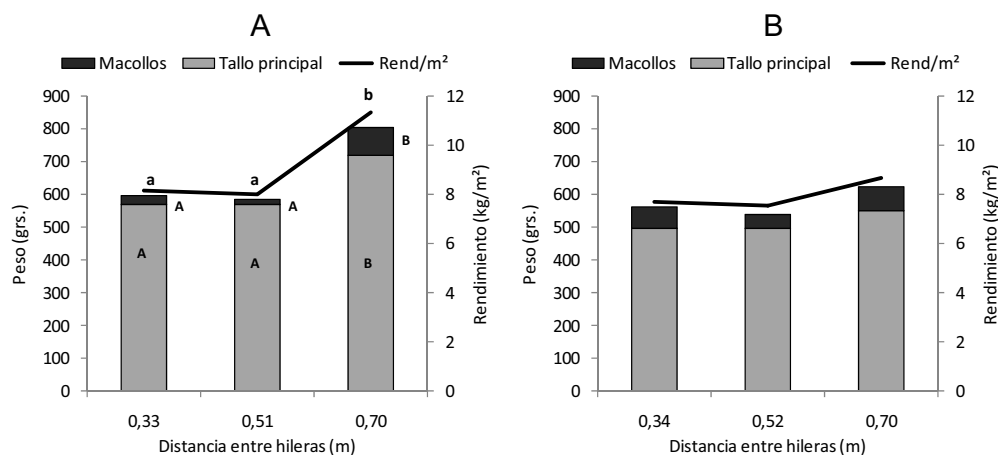


Figura 19. Relación del peso del tallo perincipal, macollo y rendimiento por área en función de la distancia entre hileras dependiendo de la variedad, M81-E (A) y Topper (B) en el experimento de población variable de época 2

En la figura 19-A se aprecia claramente que la variedad M81-E presento diferencias significativas al manejo de la DH, incrementándose un 27% tanto el peso del tallo principal, al pasar de 0,33m a 0,70m en la DH. Este aumento del peso por planta hacia distancia entre filas de 0,70m puede estar explicado en parte por la mayor altura y mayor rectangularidad, la cual podría permitir una mejor captación de luz como se ha explicado anteriormente, incrementando el tamaño de la planta. Coincidiendo de esta manera con Assis et al., citados por Ambrosioni Oviedo (1983) en el cual los mayores rendimientos de tallos desojados son logrados con distancia entre hileras de 0,50 a 0,70m. Esta información es corroborada por Pérez y Ayala citados por Mazziotto (1986) los cuales determinaron como distancia entre filas más óptimo 70 cm.

Esta serie de datos obtenidos en el experimento, los cuales reflejan que a mayor rectangularidad se registraron mayores rendimientos, no son coincidentes con los presentados por INIA, donde Fassio (2006) afirma que la distribución cuadrada macolla más que con filas de 0,70m.

En lo que refiere al rendimiento por superficie en la variedad M81-E, los mayores valores se obtuvieron cuando las plantas eran más grandes (más altura, más peso por tallo principal y más peso de macollos) la cual se logro con la mayor rectangularidad, siendo este arreglo mejor que el equidistante. Por lo contrario en la variedad Topper no se registraron diferencias significativas para el rendimiento por

superficie, producto de la falta de diferencia significativas en los componentes medidos que forman el rendimiento.

En lo que refiere a extracción, jugo y calidad en el cuadro 13 se presentan las distintas variaciones de las mismas en función de la variedad y distancia entre hileras.

Cuadro 13. Porcentaje de extracción, Kg. de jugo Y °Brix obtenidos según distancia entre hileras para M81-E y Topper en el experimento de población constante de época 2

DH (m)	% Extracción	Jugo (kg)		°Brix
		Por planta	Por m ²	
M81-E				
0,33	54,8	0,320	4,337	3,7
0,51	52,4	0,307	4,178	5,0
0,70	51,4	0,412	5,823	6,8
MDS _(0.10)	ns	0,050	0,404	0,6
Topper				
0,34	53,7	0,290	3,904	7,9
0,52	55,5	0,298	4,177	8,0
0,70	56,1	0,339	4,754	9,3
MDS _(0.10)	ns	0,029	0,253	ns

Para ambas variedades no se registraron diferencias significativas en el porcentaje de extracción como ha sucedido en la mayoría de los experimentos, registrándose valores en el entorno del 50%, valores coincidentes con los planteados por Woods (2000).

En lo que refiere al jugo obtenido ya sea por planta o por superficie, se observa que para ambas variedades los mejores resultados se obtienen a mayor distancia entre hileras. Dando una muestra clara que la mayor rectangularidad permite obtener los mejores valores de jugo ya sea por planta y por superficie.

En lo que refiere al brix, observamos que para esta época de siembra donde la luz fue más limitante, en relación a la media histórica, los valores de brix varían de acuerdo al arreglo para la variedad M81-E. En esta variedad si existen diferencias significativas en el °brix, donde los mejores valores se obtienen a mayor distancia entre hileras. La obtención de este aumento de brix a mayor DH es atribuible probablemente a una mejor captación de la radiación solar, la cual hace variar la calidad del jugo. Esta variación hace coincidir con lo planteado por Djanaguiraman et al. (2008) el cual señala que frente a una mayor tasa fotosintética (en este caso esperable por un mejor arreglo, el cual produce una mayor captación de luz) se produciría una mayor acumulación de azúcares en tallo. Para el caso de Topper si bien no hay diferencias significativas,

presenta cierta tendencia ($P \leq 0,28$) a obtener mayores valores de °brix a mayor distancia entre hileras.

Para el experimento de población constante de época de siembra de fines de diciembre se registró similares conclusiones a las arribadas en la primera época de siembra. En la cual las plantas más grandes (más altura y más número de nudos) son registrados para las dos variedades a mayor distancia entre hileras. Si bien para el caso de Topper no se registraron diferencias significativas en cuanto al rendimiento, en M81-E si las hubo, siendo estas más favorables a mayor distancia entre hileras, donde se produce una mayor rectangularidad, el cual genera una mayor captación de la radiación solar.

En lo referente a la cantidad de jugo obtenido, este sigue la misma tendencia, obteniéndose más cantidad a mayor DH. La calidad del jugo si bien en Topper no hubieron diferencias significativas, en M81-E si se registraron a favor de mayor distancia entre hileras. Esto es explicado porque a mayor DH, la radiación interceptada es mayor por un mejor arreglo de las hojas, lo cual hace que la tasa fotosintética posiblemente sea mayor mejorando la cantidad de sólidos totales (Brix).

5. CONCLUSIONES

En los ensayos realizados de población variable en primera época de siembra, con condiciones climáticas favorables (más precipitaciones), las densidades altas (22 plantas/m²) obtuvieron los mejores rendimientos por área, lográndose en promedio para las dos variedades 96,5; 73,8; 52 tt ha⁻¹ para 22, 14 y 8 plantas por m², respectivamente. Si bien las densidades más bajas fueron las que presentaron mayor peso por planta (0,94 y 0,79-kg para M81-E y Topper respectivamente) en relación a las más altas (0,47 y 0,52-kg. para M81-E y Topper, respectivamente), el mayor peso obtenido en las densidades bajas no compensó al logrado en las densidades altas, en el cual, si bien el peso era menor, el mayor número de plantas (tallos) permitió obtener mayores rendimientos por superficie.

En la segunda época de siembra, el comportamiento fue similar al obtenido en la primera época; donde los rendimientos por planta fueron mayores a menores densidades. Sin embargo si analizamos el rendimiento por superficie vemos que los mejores resultados nuevamente son obtenidos a mayores densidades, obteniéndose en promedio 69,2, 56,2 y 46,6 para 22, 14 y 8 plantas/m² respectivamente.

Con respecto a jugo, los resultados fueron similares, presentando las poblaciones mas densas mas jugo por ha, pero con menos jugo por planta. Otra vez, fue más importante la cantidad de plantas que el peso de los mismos. Tampoco fueron registradas diferencias significativas en la calidad del jugo frente a variaciones en la población para la segunda época de siembra.

En la población constante (14 plantas/m²) considerando ambas épocas y variedades, las plantas más grandes fueron obtenidas a mayor distancia entre hileras (0,66 vs. 0,56 kg como promedio para DH de 0,70 y 0,30m respectivamente). Por lo tanto, si se logra un arreglo espacial de mayor rectangularidad, se lograrían los mejores rendimientos por superficie. Explicado esto porque frente a la ausencia de limitantes a nivel de suelo (agua, fertilización, etc.), la restricción estaría en la disponibilidad lumínica. Igual tendencia es mantenida una vez extraído el jugo donde los mayores valores del mismo son obtenidos a mayor distancia entre hileras, o sea a mayor rectangularidad.

En lo referente a la calidad del jugo (para la segunda época), si bien en Topper no hubieron diferencias significativas, en M81-E si se registró mayor °Brix a mayor distancia entre hileras. Esto estaría explicado porque a mayor DH, la radiación interceptada sería mayor por un mejor arreglo de las hojas, lo cual podría hacer que la tasa fotosintética sea mayor, mejorando la cantidad de sólidos totales (Brix).

6. RESUMEN

En el presente trabajo se estudió el efecto de la densidad y distribución de plantas para dos fechas de siembras (15 de noviembre y 29 de diciembre) y dos variedades (Topper y M81-E) para la productividad del sorgo azucarado (*Sorghum bicolor* L. Moench) para la producción de etanol. Para el mismo se utilizó el diseño de Nelder, logrando experimentos sistemáticos de espaciamiento constante (14 plantas/m²) y variable (5 a 30 plantas/m²) con diferentes distancias entre hileras (DH). Debido a la gran dispersión de las variables dependientes medidas, el análisis de los datos se hizo utilizando un modelo lineal, siendo la DH la variable independiente. Agrupándose la DH en tres partes iguales (según el experimento), logrando así para el diseño de población variable densidades promedio de 7, 14 y 21 plantas/m² para cada tercio. Se evaluó IAF y % de cielo cubierto para los estadios V5 y V10; altura y número de nudos de los tallos a cosecha, rendimiento por planta y por área, % de extracción, jugo y el contenido de sólidos solubles totales (°Brix). En los experimentos de población variable de primera época en promedio para las dos variedades, las bajas densidades (7 plantas/m²) lograron mayor n° de hojas y una tendencia ($P \leq 0,30$) a ser más altas, obteniendo mayores pesos de tallo limpio por planta. Por lo contrario si el rendimiento de tallo limpio es medido por superficie los mayores valores son logrados a mayor densidades (46% más de tallo limpio a 21 vs. 7 plantas/m²); producto de un mayor número de tallos cosechados por área en las densidades más altas. Iguaes comportamientos en altura y n° de hojas fueron alcanzados en la segunda época de siembra, obteniéndose un 33% más de tallo limpio por superficie en las densidades de 21 en relación a las 7 plantas/m². Para los experimentos de población constante de primera época se vio que en las distribuciones más equidistantes lograban más altura y más IAF (V10), mientras que en la segunda época las mayores alturas fueron logradas a mayor DH; logrando que para ambas épocas las plantas más grandes fueran obtenidas a mayor DH (0,70m), o sea con un arreglo espacial de mayor rectangularidad. Otra de las variables medidas en todos los experimentos fue los kg de jugo obtenidos por área, los cuales siguen la misma tendencia del rendimiento por tallo, extrayéndose aproximadamente en promedio un 50% del peso de los tallos. En cuanto a la calidad del jugo (°Brix), no hubieron grandes diferencias entre las registradas a distintas densidades y distribuciones, no siendo una variable dependiente de las mismas.

Palabras clave: sorgo dulce; variedades; época de siembra; densidad de siembra; distribución de plantas.

7. SUMMARY

We studied the effect of the density and distribution of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) plants for two planting dates (Nov. 15 and Dec. 29) and two varieties (Topper and M81-E) for the productivity and ethanol theoretical production. The design used was Nelder, achieving systematic experiments constant spacing (14 plants / m²) and variable (5 to 30 plants / m²) with different row distances (RD). Due to the wide dispersal of the dependent variables measured, the data analysis was done using a linear model, being the RD as the independent variable. Row distance grouping into three equal parts (7, 14 and 21 plants / m²), depending on the experiment. We evaluate LAI and % of sky for stadiums V5 and V10; height and number of nodes at harvest, yield per plant and per area, extraction %, juice and soluble solid content (° Brix). In the variable population experiment, averaged over the varieties in the first planting date, low densities (7 plants / m²) achieved greater node numbers and a tendency to be higher, giving greater stem weight. On the other hand, if the yield of stem is measure by area, the higher values were achieved at higher densities (46%; compared 21 vs. 7 plants / m²). This could be by greater number of stems harvested in the area by higher densities. Same behavior in height and number leaf were made in the second plating date, obtaining a 33% more stem by area in highest densities (21 vs. 7 plants / m²). On RD variable, in the first planting date that the distributions more equidistant achieved more height and more LAI (V10), while the second planting date, the higher plants were achieved at a higher RD, making averaged over planting date, better results with greater spatial arrangement (rectangularity). The juice extraction obtained by area, which follow the same trend in the yield per stem, averaged approximately 50% of the weight of the stems. As for the quality of the juice (° Brix), there were no significant differences between those variables measured at different densities and distributions.

Keywords: sweet sorghum; variety; planting date; plant density; distribution.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALBANO, S.; MARTÍNEZ, M. 2007. Efecto de la época de siembra, densidad y cultivar sobre la productividad del sorgo dulce. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 90 p.
2. AMBROSONI, J.M.; BRITOS, O.S. 1983. Efecto de la población de plantas en sorgo azucarado para la productividad de alcohol etílico. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 103 p.
3. BISTOLFI ZUNINI, G. 1981. Efecto de la densidad de siembra de sorgo azucarado en la producción de alcohol. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 72 p.
4. BITZER, M.J. s.f. Production of sweet sorghum for syrup in Kentucky. (en línea). Lincoln, Kentucky. University of Kentucky. College of Agriculture. Cooperative Extension Service. s.p. Consultado 22 feb. 2008. Disponible en <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/agr/agr122/agr122.htm>
5. _____; FOX, J. 2000. Processing sweet sorghum for syrup. (en línea). Lincoln, University of Kentucky. College of Agriculture. Cooperative Extension Service. s.p. Consultado 14 mar. 2008. Disponible en <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/agr/agr123/agr123.htm>
6. CASSOU, S.; VALDENEGRO, J.G.; VERDE, R. 1983. Efecto de tres factores de producción en sorgo sacarígeno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 158 p.
7. DJANAGUIRAMAN, M.; ANNIE SHEEBA, J.; SATHEESH KUMA, K.; CHINNUSAMY, C.; SUBBIAN, P. 2008. Increasing the millable cane yield of sweet sorghum by optimizing plant population, nitrogen level, plant growth regulators and chemical hybridizing agents spray. Coimbatore, India, Tamil Nadu Agricultural University. s.p.

8. DOLCIOTTI, I.; GRANDI, S.; MAMBELLI, S.; VENTURI, G. 1996. Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crops and Products*. 7: 265-272.
9. FASSIO, A. 2006. Cultivo de sorgo azucarado para la producción de alcohol etílico para el litoral SW del país INIA-ANCAP. In: *Jornada de Cultivos de Verano (2006, Colonia)*. Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 1-4. (Actividades de Difusión no. 472).
10. LIVINGSTON, S.; COFFMAN, C. s.f. *Syrup Sorghums for Texas*. (en línea). Texas, Texas Agricultural Extension Service. The Texas A&M University System. s.p. Consultado 11mar. 2008. Disponible en <http://sorghum.tamu.edu/publications/787576-747466-l5146.pdf>
11. MAZZIOTTO, J. 1986. *Sorgo azucarado*. Paysandú, Facultad de Agronomía. 40 p.
12. _____. 2006. *Agroecología y biocombustibles, herramientas para el desarrollo*. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 246 p.
13. NELDER, J. A. 1962. New kinds of systematic designs for spacing experiments. *Biometrics*. 18: 283-309.
14. RUSSI, F.; SANGENIS, M. 1989. *Fertilización nitrogenada en sorgo azucarado*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 104 p.
15. SOUTO, G.; METHOL, M. 2005. *Agroenergía y sector agropecuario*. Anuario OPYPA 2005: 253-258.
16. _____. 2006. *Agroenergía; avanza el diseño de la política nacional de biocombustibles*. Anuario OPYPA 2006: 263-276

17. TERRA, J.; MACEDO, R.; CORREA, J. 2006. Evaluación preliminar de materiales de sorgo azucarado bajo distintas alternativas de manejo de suelos en un argisol del este. In: Jornada de Cultivos de Verano (2006, Treinta y Tres). Resultados experimentales 2005-2006. pp. 3-17 (Actividades de Difusión no. 461).
18. TURGUT, I.; BILGILIA, U.; DUMAN, A.; ACIKGOZ, E. 2005. Production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) increases with increased plant densities and nitrogen fertilizer levels. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant*. 55: 236-240.
19. WOODS, J. 2000. Integrating sweet shorgum and sugarcane for bioenergy; modelling the potential for electricity and etanol production in SE Zimbabwe. PhD Thesis. London, United Kingdom. Kings's College London. s.p.