

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RESPUESTA A LA POBLACIÓN EN SORGO GRANÍFERO DE SEGUNDA  
ZONA SUR

por

Valeria SCHAFFNER VILA  
Marcos SPRUNCK REGEHR

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

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2009

Tesis aprobada por:

Director: -----  
Ing. Agr. Oswaldo Ernst

-----  
Ing. Agr. (PhD) Guillermo Siri

-----  
Ing. Agr. Juan Diego Cano

Fecha: -----

Autor: -----  
Valeria Carolina Schaffner Vila

-----  
Marcos Sprunck Regehr

## AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer a todas las personas que de alguna forma estuvieron involucradas en este trabajo, pero especialmente:

-Al Director de Tesis Ing. Agr. Oswaldo Ernst por la continua orientación, apoyo y por la colaboración en el análisis estadístico.

-Al Ing. Agr. Juan Diego Cano y al Ing. Agr. (PhD) Guillermo Siri por el apoyo brindado.

-Al Ing. Agr. Franco Malán por poner a disposición su establecimiento para poder realizar el experimento.

-Al Departamento de Documentación y Biblioteca y en especial a la Lic. Sully Toledo, por la corrección del documento.

-A nuestras familias por toda la ayuda y apoyo brindado.

-A los amigos, en especial a los que colaboraron en el trabajo de campo.

## TABLA DE CONTENIDO

|  | Página |
|--|--------|
| PÁGINA DE APROBACIÓN.....  | II     |
| AGRADECIMIENTOS.....   | III    |
| LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....  | VI     |
| <br>   |        |
| 1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....   | 1      |
| <br>   |        |
| 2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....   | 3      |
| 2.1 <u>INTRODUCCIÓN</u> .....  | 3      |
| 2.2 <u>CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO</u> .....   | 3      |
| 2.2.1 <u>Ubicación taxonómica</u> .....  | 3      |
| 2.2.2 <u>Características vegetativas</u> .....   | 3      |
| 2.3 <u>APTITUD CLIMÁTICA DEL URUGUAY</u> .....   | 6      |
| 2.3.1 <u>Agua</u> .....  | 6      |
| 2.3.2 <u>Temperatura</u> .....   | 6      |
| 2.3.3 <u>Radiación</u> .....   | 7      |
| 2.4 <u>IMPLANTACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y POBLACIÓN</u> .....                                | 8      |
| 2.4.1 <u>Implantación</u> .....  | 8      |
| 2.4.2 <u>Distribución</u> .....  | 8      |
| 2.4.2.1 <u>Componentes del rendimiento (distribución)</u> .....                        | 10     |
| 2.4.3 <u>Población</u> .....   | 10     |
| 2.4.3.1 <u>Componentes del rendimiento (población)</u> .....                           | 14     |
| 2.5 <u>HÍBRIDOS</u> .....  | 17     |
| 2.5.1 <u>Componentes del rendimiento (híbridos)</u> .....                              | 19     |
| 2.6 <u>FACTORES QUE INCIDEN EN POBLACIÓN ÓPTIMA</u> .....                              | 21     |
| 2.6.1 <u>Disponibilidad de agua</u> .....  | 21     |
| 2.6.2 <u>Macollaje</u> .....   | 22     |
| 2.6.2.1 <u>Densidad</u> .....  | 22     |
| 2.6.2.2 <u>Temperatura</u> .....   | 22     |
| 2.6.2.3 <u>Material genético</u> .....   | 23     |
| 2.6.3 <u>Esterilidad</u> .....   | 24     |
| 2.7 <u>SIEMBRA DIRECTA</u> .....   | 25     |
| 2.7.1 <u>Almacenaje de agua en suelo y reducción de pérdidas por evaporación</u> ..... | 25     |
| 2.7.2 <u>Efecto sobre la temperatura del suelo</u> .....                               | 26     |
| <br>   |        |
| 3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....   | 27     |
| 3.1 <u>TRATAMIENTOS</u> .....  | 27     |
| 3.2 <u>DETERMINACIONES</u> .....   | 29     |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.2.1   | <u>Parámetros de desarrollo</u> .....                                  | 29 |
| 3.2.2   | <u>Rendimiento y componentes</u> .....                                 | 30 |
| 3.2.3   | <u>Materia seca</u> .....  | 30 |
| 3.2.4   | <u>Agua en suelo</u> .....   | 31 |
| 3.3     | <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u> .....                                      | 32 |
| 4.      | <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....                                    | 33 |
| 4.1     | <u>CARACTERIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO</u> .....             | 33 |
| 4.2     | <u>RESPUESTA AL AGUA DISPONIBLE EN SUELO</u> .....                     | 36 |
| 4.2.1   | <u>Evolución del agua disponible en suelo</u> .....                    | 36 |
| 4.2.2   | <u>Desaparición de agua</u> .....                                      | 40 |
| 4.2.3   | <u>Eficiencia en el uso del agua</u> .....                             | 42 |
| 4.3     | <u>EFFECTOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO</u> ..                   | 43 |
| 4.3.1   | <u>Efectos sobre el crecimiento y desarrollo según población</u> ..... | 43 |
| 4.3.1.1 | Producción y distribución de materia seca (MS).                        | 44 |
| 4.3.1.2 | Parámetros de desarrollo.....  | 49 |
| 4.3.1.3 | Parámetros foliares.....   | 50 |
| 4.3.2   | <u>Efecto híbrido sobre el crecimiento y desarrollo</u> .....          | 53 |
| 4.3.2.1 | Producción y distribución de la materia seca según híbrido.....        | 53 |
| 4.3.2.2 | Parámetros de desarrollo.....  | 56 |
| 4.3.2.3 | Parámetros foliares.....   | 57 |
| 4.4     | <u>RENDIMIENTO Y COMPONENTES</u> .....                                 | 58 |
| 4.4.1   | <u>Rendimiento y componentes según población</u> .....                 | 58 |
| 4.4.1.1 | Rendimiento en grano.....  | 60 |
| 4.4.1.2 | Componentes de rendimiento.....  | 61 |
| 4.4.2   | <u>Rendimiento y componentes según híbrido</u> .....                   | 66 |
| 4.4.2.1 | Rendimiento en grano.....  | 66 |
| 4.4.2.2 | Componentes de rendimiento.....  | 67 |
| 5.      | <u>CONCLUSIONES</u> .....  | 69 |
| 6.      | <u>RESUMEN</u> .....   | 70 |
| 7.      | <u>SUMMARY</u> .....   | 71 |
| 8.      | <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....  | 72 |
| 9.      | <u>APÉNDICES</u> .....   | 78 |

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

| Cuadro No. |   | Página |
|------------|---|--------|
| 1.         | Reducción de rendimiento para diferentes condiciones hídricas .....   | 5      |
| 2.         | Ensayos nacionales sobre población .....  | 12     |
| 3.         | Descripción de los tratamientos .....   | 27     |
| 4.         | Principales características de los híbridos utilizados (MS 102 y MS 109), evaluados en INIA La Estanzuela durante la zafra 2006/2007, para siembra de segunda ..... | 28     |
| 5.         | Comportamiento sanitario de los híbridos MS 102 y MS 109, evaluados en INIA La Estanzuela durante la zafra 2006/2007, para siembra de segunda .....                 | 28     |
| 6.         | Precipitaciones por período y acumulado para cada híbrido ....  | 35     |
| 7.         | Población promedio según híbrido .....  | 37     |
| 8.         | Evolución de la significancia de biomasa/planta según población para el híbrido MS 102 y para el híbrido MS 109 .....   | 46     |
| 9.         | Evolución de la significancia de la biomasa/ha según población para el híbrido MS 102 y para el híbrido MS 109 .....  | 48     |
| 10.        | Evolución de la significancia del área foliar y del IAF según población para el híbrido MS 102 y para el híbrido MS 109 .....                                       | 50     |
| 11.        | Poblaciones tenidas en cuenta para el análisis de respuesta según híbrido .....   | 53     |
| 12.        | Evolución de la producción de biomasa por planta según híbrido .....  | 54     |
| 13.        | Evolución de la producción de biomasa por hectárea según híbrido .....  | 55     |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 14. | Producción de MS a cosecha, rendimiento en grano e índice de cosecha según híbrido.....  | 55 |
| 15. | Altura de planta y excreción de la panoja para los híbridos MS 102 y MS 109 del ensayo y Evaluación de Cultivares de INIA LE 2 <sup>a</sup> 06/07..... | 56 |
| 16. | Evolución del área foliar según híbrido.....   | 57 |
| 17. | Componentes del rendimiento según híbrido.....   | 67 |

#### Figura No.

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1. | Relación entre las distintas etapas de crecimiento del cultivo de sorgo y el consumo diario de agua (Keese, citado por Carrasco, 1989) .....   | 4  |
| 2. | Respuesta a la densidad de siembra en años de diferente régimen hídrico .....  | 13 |
| 3. | Temperaturas mensuales para el período diciembre-abril del 2007/08 y las climatológicas (INIA La Estanzuela, 1971-2000) ..   | 33 |
| 4. | Temperaturas máxima, mínima y promedio zafra 07/08 localidad de Santa Regina según día pos siembra .....   | 34 |
| 5. | Precipitaciones mensuales para el período noviembre-marzo del año 07/08 y del promedio de la serie histórica 1961-1990.....  | 35 |
| 6. | Evolución del agua disponible en el suelo en 60 cm de profundidad, para los híbridos MS 102 (izq.) y MS 109 (der.), para tres niveles de población, y precipitaciones.....                     | 36 |
| 7. | Evolución del agua disponible por profundidad (mm/0-20 cm, mm/20-40 cm, mm/40-60 cm) para los híbridos MS 102 (izq.) y MS 109 (der.), al incrementarse la población (pl/m <sup>2</sup> ) ..... | 39 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 8.  | Desaparición de agua diaria según períodos para los híbridos MS 102 (izq.) y MS 109(der.), al incrementarse la población (planta/m <sup>2</sup> ) ..... | 41 |
| 9.  | Consumo diario de agua potencial (Keese, citado por Siri, 2004) y desaparición para los híbridos MS 102 y MS 109 en el experimento .....                | 42 |
| 10. | Eficiencia en el uso del agua período V6-embuche para los híbridos MS 102 y MS 109, al incrementarse la población (planta/m <sup>2</sup> ) .....        | 43 |
| 11. | Biomasa/planta en madurez fisiológica según población para los híbridos MS 102 y MS 109 .....   | 44 |
| 12. | Biomasa/ha en madurez fisiológica según población para los híbridos MS 102 y MS 109.....  | 44 |
| 13. | Índice de cosecha según población para los híbridos MS 102 y MS 109.....  | 45 |
| 14. | Evolución de biomasa/planta según población e híbrido para el híbrido MS 102 (izq.) y MS 109 (der.) .....   | 46 |
| 15. | Evolución de biomasa/ha según población e híbrido para el híbrido MS 102 (izq.) y para el híbrido MS 109 (der.) .....                                   | 48 |
| 16. | Altura según población (izq.) y excerción según población (der.) para los híbridos MS 102 y MS 109.....   | 49 |
| 17. | Evolución del área foliar según población para el híbrido MS 102 (izq.) y para el híbrido MS 109 (der.) .....   | 51 |
| 18. | Evolución del IAF según población para el híbrido MS 102 (izq.) y para el híbrido MS 109 (der.) .....   | 52 |
| 19. | Ciclo fenológico para cada uno de los híbridos en el experimento.   | 54 |
| 20. | Densidad de tallos según población de plantas para los híbridos MS 102 y MS 109.....  | 58 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 21. | Número de panojas cosechables/planta según población para el híbrido MS 102 y el híbrido MS 109 .....  | 59 |
| 22. | Rendimiento en grano por ha según población para los híbridos MS 102 y MS 109 .....  | 60 |
| 23. | Panojas cosechables/m <sup>2</sup> según población para los híbridos MS 102 y MS 109 .....   | 61 |
| 24. | Porcentaje de esterilidad según población (izq.) y número de tallos por planta según población (der.) para los híbridos MS 102 y MS 109..... | 62 |
| 25. | Rendimiento por panoja según población para los híbridos MS 102 y MS 109 .....   | 63 |
| 26. | Número de granos por panoja según población para los híbridos MS 102 y MS 109 .....  | 64 |
| 27. | Peso de mil granos según población para los híbridos MS 102 y MS 109 .....   | 65 |
| 28. | Rendimiento en grano promedio (Kg/ha) para los dos híbridos evaluados, en poblaciones en torno a las 130.000 plantas/ha .....                | 66 |

## 1. INTRODUCCIÓN

El sorgo constituye uno de los insumos relevantes de diversas cadenas productivas con base en la producción animal (avicultura, lechería, suinicultura, etc.), representando este destino más de 95% del consumo. Y el uso para alcohol tiene poca importancia relativa (5%) (URUGUAY. MGAP. OPYPA, 2005). También se lo utiliza para consumo humano, por ejemplo producción de harina para celíacos ya que no contiene gluten. Pero en los últimos años la demanda por este grano se ha incrementado a consecuencia de la producción de biocombustibles.

A nivel mundial se producen unas 70 millones de toneladas de grano (Siri, 2004) con una tendencia a aumentar su superficie, siendo EUA y Nigeria los principales productores de grano de sorgo con un 34% (Sánchez, citado por Algorta y Carcabelos, 2007).

En Argentina, Entre Ríos, campaña 06/07, la superficie implantada se incrementó un 48%. Éste aumento fue debido a: incremento de rendimiento de los cultivos subsiguientes por mejorar las características estructurales del suelo, sustitución de áreas destinadas a maíz que por falta de lluvias al momento de la siembra fueron sembrados con sorgo, y a un creciente uso como silaje de planta entera, grano húmedo y concentrado para alimentación animal (Díaz et al., s.f.).

Uruguay ha tenido a lo largo de los años una tendencia a la baja en lo que se refiere a el área de producción de sorgo, teniendo su máximo de siembra a mediados de los setenta del siglo XX y en la zafra 06/07 el área fue de 42.800 ha (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2008). Sin embargo el área de cultivos de verano en los últimos años ha aumentado debido principalmente al cultivo de soja, desplazando al sorgo y demás cultivos de verano (Algorta y Carcabelos, 2007).

La producción de nuestro país se destina principalmente a mercado interno, y los principales destinos de la producción son: para la elaboración de raciones de la producción avícola principalmente, y de manera secundaria para el consumo directo de animales. Es un producto que no se exporta directamente (Siri, 2004). En la actualidad hay una presión por la demanda de éste grano con destino a la producción de etanol (García et al., 2008).

El sorgo en nuestro país es uno de los cultivos de verano más promisorios por su rusticidad y potencial de rendimiento. En secano se obtienen rendimientos de aproximadamente la mitad del potencial; la principal limitante

para alcanzarlo es el déficit hídrico en el momento de mayor requerimiento del cultivo (Siri, 2004).

En Uruguay el cultivo se siembra principalmente como cultivo de segunda, siendo el 70% del área de siembra. Para la zafra 2006/2007, el área de siembra fue 42.800 ha (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2008). El 24,5% del área sembrada en la zafra 1997/1998 se hizo bajo cero laboreo (García Préchac, 1998); debido al aumento en la adopción del cero laboreo, se puede suponer que ese porcentaje actualmente es mayor. Para estas condiciones de producción y para los híbridos disponibles en nuestro país no hay estudios sobre el manejo de la población. Sí existe información nacional generada principalmente entre 1980 y 1990, con laboreo convencional, para siembras de primera y con los híbridos disponibles de ese momento.

El cambio en la ubicación del cultivo en el sistema de producción, sembrado después de trigo o cebada como doble cultivo anual (de segunda), modifica una de las condiciones relevantes en el manejo propuesto para el cultivo, como lo es el hecho de que se contará sólo con la humedad del suelo residual del cultivo de invierno, se desarrollará en condiciones de temperatura y fotoperíodo diferenciales a las siembras de inicio de la estación de crecimiento (de primera).

El presente trabajo tiene por objetivo estudiar la repuesta a la población de dos cultivares de sorgo granífero de ciclo y tamaño de planta diferentes, sembrado sin laboreo como cultivo de segunda en una secuencia cebada-sorgo granífero.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. INTRODUCCIÓN

El sorgo es relativamente nuevo en el país como cultivo granífero, presentando buen potencial de desarrollo en nuestras condiciones dada su rusticidad y potencial de rendimiento en seco, poco superior al resto de los cultivos de verano.

El potencial de rendimiento ha ido aumentando en los últimos años debido a la implementación de tecnología: manejo del cultivo (56%), preparación de suelo y material genético (44%); es el cultivo que más responde a la evolución tecnológica (Díaz, citado por Siri, 2004).

### 2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO

#### 2.2.1. Ubicación taxonómica

El sorgo se ubica botánicamente dentro de la familia Gramineae, subfamilia Panicoideae, tribu Andropogoneae, género Sorghum, nombre científico *Sorghum bicolor*.

#### 2.2.2. Características vegetativas

##### Macollaje

La capacidad de macollaje del sorgo depende de factores genéticos o ambientales (población, humedad, fertilidad, fotoperíodo, etc.).

En caso de bajas densidades de siembra, las yemas basales del tallo desarrollan macollas y las superiores ramas.

Cuanto mayor es la temperatura durante los primeros 30 días de crecimiento del cultivo, menos intenso resulta el macollaje. El umbral crítico de temperatura para el macollaje estaría alrededor de los 18°C (Siri, 2004).

##### Altura

Es función directa del número de nudos y éste es función del tiempo de crecimiento y el largo del pedúnculo.

### Hoja

Presenta hojas de largo y ancho variable pero generalmente mas cortas que las de maíz, las hojas jóvenes son erectas mientras que las viejas se curvan. Presentan forma lanceolada o linear lanceolada.

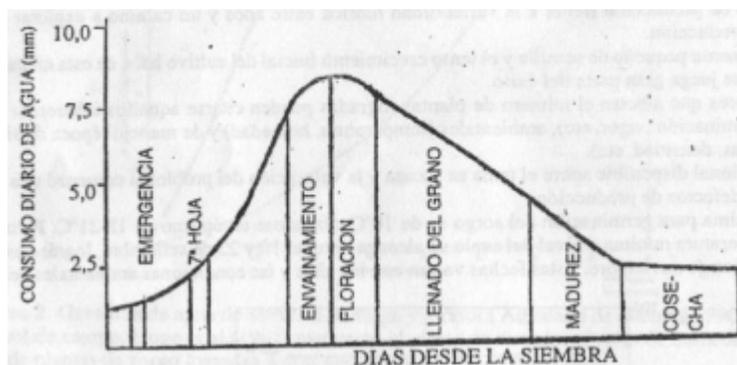
El comportamiento estomático del sorgo es responsable de su rusticidad con respecto al déficit hídrico, ya que aún bajo condiciones de severo estrés, los estomas permanecen abiertos aunque sea levemente durante el día. También células motoras arrollan la hoja en condiciones de estrés hídrico. Además si las condiciones ambientales son desfavorables, el sorgo permanece en estado latente y reanuda el crecimiento cuando las condiciones son favorables (Siri, 2004).

### Raíces

Sistema radicular muy eficiente, debido a que provee el doble de raíces con relación al tamaño de la parte aérea y mayor concentración osmótica en sus raíces, corona y tallos con respecto al maíz. A su vez, su sistema radicular presenta alto grado de ramificación (Carrasco, citado por Siri, 2004).

Las características de la planta le permiten tolerar un déficit de hasta 200 mm en la estación de crecimiento y es afectado por excesos mayores a 100 mm en la maduración (Siri, 2004).

El sorgo se puede sembrar en zonas con precipitaciones anuales tan bajas como 400 mm anuales, lo importante es en el momento que se dan las precipitaciones, entorno a la floración del cultivo (Siri, 2004), y embuche (Herron et al. 1963, Stone et al. 1964). En estos estadios el consumo de agua se hace máximo y determina la producción de grano del mismo.



Fuente: Lazo, citado por Siri (2004).

Figura No.1. Relación entre las distintas etapas de crecimiento del cultivo de sorgo y el consumo diario de agua

Lazo (1980) realizó estudios específicos para la determinación del momento crítico en la producción de grano (Cuadro No.1).

Cuadro No.1. Reducción de rendimiento para diferentes condiciones hídricas

| Tratamiento             | Reducción porcentual |                 |               |
|-------------------------|----------------------|-----------------|---------------|
|                         | Total                | Por día déficit | Rend. (Kg/ha) |
| 1. Sin sequía           | -----                | -----           | 8070          |
| 2. Sequía en vegetativo | 26,6                 | 3,9             |               |
| 3.<<floración           | 29,2                 | 5,8             |               |
| 4.<<maduración          | 32,3                 | 5,4             |               |
| 5.<<2+3                 | 31,2                 | 3,1             |               |
| 6.<<2+4                 | 40,7                 | 3,4             |               |
| 7.<<3+4                 | 44,4                 | 4               |               |
| 8. Pre-floración        | 36                   | 9               |               |
| 9. Post-floración       | 39,2                 | 8,7             |               |
| 10. 2+3+4               | 42,7                 | 2,7             | 3446          |

Fuente: Lazo, citado por Siri (2004).

El autor concluye que los déficit hídricos perjudican la mayoría de los atributos más directamente relacionados a la producción (grano, materia seca total, área foliar). En todos los períodos de sequía el cultivo se vio afectado, pero es en la etapa entre prefloración y comienzos de maduración donde se producirían las mayores pérdidas de rendimiento, asociado a las variaciones producidas en la duración del área foliar (Siri, 2004).

No solo el rendimiento es afectado por la falta de agua. Se ha demostrado experimentalmente el efecto de la sequía sobre la excerción de la panoja y altura de la planta (Lazo, citado por Siri, 2004).

A partir de los 450 mm de agua el rendimiento se hace independiente de la evapo transpiración total, y pasa a tener mayor importancia la eficiencia de uso del agua, por esto, toda el agua debe pasar a través de la planta en forma de transpiración y se debe reducir al mínimo las pérdidas por evaporación. Esto es afectado por la densidad de plantas ya que a mayor IAF más agua se perderá como transpiración (Carrasco, citado por Siri, 2004).

El sorgo tiene metabolismo fotosintético tipo C4, por lo tanto tiene las siguientes características fotosintéticas: alto punto de saturación lumínica, fotosíntesis máxima con temperaturas elevadas (intentar que se dé en este momento el llenado de grano), alta eficiencia en el uso del agua y nitrógeno, bajo punto de compensación por CO<sub>2</sub> y alto punto de compensación por luz (Siri, 2004).

## 2.3. APTITUD CLIMÁTICA DEL URUGUAY

### 2.3.1. Agua

En Uruguay el promedio de precipitaciones es 100 mm. por mes (régimen isohigro) por lo que en todo el ciclo del cultivo se pueden esperar 400mm. de precipitaciones y sumado a un suelo que almacene entre 100 y 150 mm. de agua, da para cubrir los requerimientos del cultivo. Pero debemos considerar la variabilidad anual de las precipitaciones en nuestro país, la cuál tiene un coeficiente de variación de 80% para la serie histórica 1915-1965. Esto dificulta establecer un manejo de acuerdo al valor histórico promedio (Carrasco, citado por Siri, 2004).

En los suelos de la región cerealera de nuestro país es normal que ocurran deficiencias de agua a partir de diciembre, la cuál se va acentuando a medida que avanza la estación estival, alcanzando la máxima intensidad en la segunda quincena de enero. Esto es relativizado debido a la variabilidad anual de las precipitaciones. Pero el comportamiento del sorgo frente a la sequía le da cierta elasticidad como para esperar la lluvia, de forma que evaluado desde el punto de vista del estado hídrico de la planta, la variación entre años se hace menor para el sorgo que para el maíz (Ernst, citado por Siri, 2004).

### 2.3.2. Temperatura

La temperatura mínima para la germinación del sorgo es de 10 °C, citándose un óptimo de 18–21°C. Para los 35° de longitud la temperatura mínima a nivel del suelo se alcanza entre el 10 y el 22 de septiembre, lográndose la óptima recién a principios de noviembre (Ernst, citado por Siri, 2004).

En el país no existen limitantes en cuanto a temperaturas, el rango de temperaturas predominantes en verano se encuentra dentro de la zona de máxima respuesta biológica. Existe diferencias de temperatura entre el norte y el sur del país, lo que provoca un acortamiento del ciclo de mayor magnitud que

la diferencia existente entre ciclo corto y largo. El acortamiento del ciclo debido a mayores temperaturas se da en el período de iniciación floral-emergencia de la panoja. Si la temperatura fuera el único factor que estuviera afectando el rendimiento del cultivo, el litoral norte presenta condiciones más favorables para la producción potencial del cultivo (Carrasco, citado por Siri, 2004).

### 2.3.3. Radiación

Es de gran importancia la radiación porque el sorgo es una especie C4, y también porque el rendimiento depende de la fotosíntesis durante el llenado de grano (Carrasco, citado por Siri, 2004).

La radiación es un factor bien disponible en el Uruguay teniendo la máxima radiación compatible con la agricultura de secano (Carrasco, 1989).

El Uruguay se encuentra en la zona donde se reportan las mayores respuestas del cultivo al factor población, en esta zona hay una alta eficiencia en el aprovechamiento de la radiación, lo que permite el manejo a altas poblaciones, la adecuada capacidad del sorgo para captar la radiación puede ser explicada porque sus hojas tienen un arreglo opuesto con un bajo ángulo de inserción, características que se asocian a una mayor capacidad de captación de luz (Ayala et al., citados por Algorta y Carcabelos, 2007).

Si se planteara una mejor utilización de la luz por parte del cultivo, el manejo debería tender al uso de altas poblaciones y bajas distribuciones (distancia entre hileras). Por lo contrario si el recurso a optimizar fuera el agua la tendencia sería a aumentar el volumen de suelo a explorar por cada planta con el consiguiente uso de bajas poblaciones. Esto último estaría explicando porque en veranos secos se produce una menor respuesta al factor densidad (Ayala et al., 1988).

Las condiciones climáticas del país llevan a que el momento de llenado del grano, coincidan en general con los períodos de mayor temperatura del aire y mayor probabilidad de ocurrencia de déficit hídricos. Siendo en éstos casos más apropiado una menor área foliar por planta utilizando materiales de ciclo corto y altas poblaciones. Quizás estas condiciones permiten que los niveles de población que se manejan sean los mayores reportados. Asimismo los cultivares de ciclo corto se adaptan muy bien a las condiciones del Uruguay (Alcoz et al., 1988).

## 2.4. IMPLANTACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y POBLACIÓN

### 2.4.1. Implantación

El número de plantas/m<sup>2</sup> obtenida es importante para determinar el rendimiento del cultivo, viéndose afectado por encima o debajo del óptimo. Éste efecto es mas importante en años secos (Carrasco, 1989).

El tamaño relativamente pequeño de semilla y el lento crecimiento inicial del cultivo hace de ésta etapa, un período crítico donde se juega gran parte del éxito (Ernst, citado por Siri, 2004).

Dentro de los factores que afectan el número de plantas logradas pueden citarse aquellos inherentes a la calidad de semilla (germinación, vigor, etc.), ambientales (temperatura, humedad) y de manejo (época de siembra, profundidad, plagas, densidad, etc.) (Ernst, citado por Siri, 2004).

Trabajos de invernáculo demuestran que si el contenido de humedad del suelo al momento de la siembra es de un 40 a 50% de capacidad de campo se logra el máximo % de implantación, siendo más perjudiciales los excesos que los déficit (Ernst, citado por Siri, 2004).

### 2.4.2. Distribución

La población óptima dependerá del arreglo de las plantas en el campo, será importante tanto la distancia entre hileras como la distancia entre plantas dentro de una misma hilera.

Al aumentar la cantidad de plantas en la hilera se produce un aumento marcado de la variabilidad en altura y velocidad de desarrollo. Esto determina que los individuos que por causas ambientales o genéticas tienen un desarrollo inicial más lento vean comprometido su desarrollo y reproducción posterior en forma definitiva (García et al., 2008).

La distancia entre hileras es el factor de mayor incidencia sobre la respuesta a la población. Gran cantidad de ensayos coinciden en que la forma de aumentar la respuesta a la población es mediante el acercamiento entre hileras y no por el aumento de las plantas en el surco (Grimes y Musick 1959, Porter et al. 1960, Stickler y Laude 1960, Stickler et al. 1961, Phillips y Norman 1962, Robinson et al. 1964, Stickler y Anderson 1964, Mann 1965, Stickler y Wearden 1965, Stickler y Younis 1966, Karchi y Rudich 1966, Welch et al. 1966, Berra y Preston 1967, Atkins et al. 1972, Hedge et al. 1976, Wilson y Eastin 1977,

Myers y Foale 1980, Thomas et al. 1981). Esto es debido a que la competencia entre plantas dentro de la hilera se da con anterioridad a aquella impuesta entre plantas de diferentes hileras (Alcoz et al., 1988).

Bajo condiciones no limitantes, las altas poblaciones con cortas distancias entre hileras, permiten una utilización más eficiente de la humedad, nutrientes y energía solar (Porter et al., Witt et al., Myers y Foale, citados por Alcoz et al., 1988).

El óptimo de número de plantas en la hilera varía entre 25 y 35 plantas por metro, encontrándose limitado por la esterilidad. Y bajo diversas condiciones ambientales se sitúa el óptimo según varios autores (Grimes y Musick 1960, Phillips y Norman 1962, Karchi y Rudich 1966, Antelo et al. 1988).

Los resultados de García et al. (2008) no concuerdan con lo obtenido por Algorta y Carcabelos (2007), donde al aumentar la población en el rango donde se esperaría máxima respuesta, no se observó aumento del rendimiento para ninguno de los dos híbridos ni para la variación de población establecida por distancia y plantas/m<sup>2</sup>.

Con respecto a la distancia entre hileras algunos autores encontraron un óptimo a 50 cm (Stickler et al., Mann, Stickler y Wearden, Stickler y Younis, Welch et al., Berra y Preston, Tomeu y Meir, Witt et al., Clegg et al., citados por Alcoz et al., 1988); otros autores encontraron respuestas con hileras aún más próximas (Grimes y Musick 1959, Bond 1964, Robinson et al. 1964, Thomas et al. 1981, Alcoz et al. 1988).

La distancia óptima estuvo entre 50 y 40 cm. En distancias menores el incremento en esterilidad y reducción en el peso de panoja provocó una caída de rendimiento. El rendimiento máximo (7000 Kg.), se obtuvo con 50 plantas/m<sup>2</sup> correspondiente a 20 plantas/m a 0,4 m entre fila, superando en 1300 kg al logrado con igual población a 0,7 m y 35 pl/m). Esta ventaja en rendimiento fue el resultado de una menor competencia en la fila al variar la distancia entre hileras, junto a la capitalización de la respuesta a la población (Alcoz et al., 1988).

En los cultivares de ciclo largo al acercar las hileras aumenta la MS total hasta cierto punto y después cae. En cultivares de ciclo corto el aumento es sostenido, a su vez aumentan las panojas fértiles y el porcentaje de esterilidad (Ghisellini y Holtz, citados por Alcoz et al., 1988).

#### 2.4.2.1. Componentes del rendimiento (distribución)

Atkins (1968), Antelo et al. (1988) al evaluar distancias entre surcos en sorgo obtuvieron rendimientos un 11% mayores a 76 cm que a 102 cm. Así mismo, encontró que para cada distancia la cantidad de granos/panoja y de panojas/pl decrecía a medida que el número de plantas/m en el surco pasaba de 13 a 26. Con menores distancias entre hileras aumentaban las panojas/ha, cayendo las panojas/pl, peso de panoja y peso de 1000 granos.

El IC no mostró variaciones significativas, aunque en las densidades altas el número de plantas infértiles aumentó debido a una mayor competencia intra específica (Fisher y Wilson 1975, Myers y Foale 1981, Ghisellini y Holtz 1985). Army et al. (1964), Ayala et al. (1988), encontraron que bajo condiciones de secano y con una reserva de agua limitada, el aumento de la densidad lleva a una mayor producción de forraje en detrimento de la producción de grano.

Alcoz et al. (1988), encontró un óptimo de 21 plantas/m a 0,7 m entre filas, lo que representa 300.000 pl/ha (laboreo convencional). Incrementos posteriores no modifican el rendimiento como consecuencia del aumento de la esterilidad y la caída del peso por panoja (competencia inter planta) (Ernst, citado por Siri, 2004).

El IAF en macollaje y floración difiere significativamente entre tratamientos. El tratamiento de mayor distancia entre hileras tiene menor IAF (Alcoz et al., 1988).

Al bajar la distancia entre hilera manteniendo 21 pl/m baja el rendimiento/panoja, NGP, aumentan las panojas/ha y el rendimiento/ha aumenta, hasta 40 cm entre hilera, después cae éste y aumenta el IAF. Este incremento en kg/ha se debe a un aumento del número de plantas/ha (Alcoz et al., 1988).

#### 2.4.3. Población

El manejo de la densidad aisladamente topea la posibilidad de alcanzar los mayores rendimientos, por lo tanto se recomienda manejarla conjuntamente con la distribución, de forma tal que el espacio disponible se reparta entre cada planta de la manera mas apropiada, minimizando la competencia entre ellas. De ésta forma se potencia el desarrollo individual de la panoja, que sumado al mayor número de panojas garantiza los mayores rendimientos (Antelo et al., citados por Algorta y Carcabelos, 2007).

El sorgo es un cultivo que responde bien a la población, al aumentar el número de plantas en la hectárea el aumento de rendimiento es significativo, y a su vez al tener mayor población, el IAF se incrementará rápidamente logrando así una mayor eficiencia del uso del agua.

El aumento de rendimiento debido al aumento de población dependerá de los factores que actúan sobre los componentes del rendimiento, modificando la capacidad de compensación existente entre el número de panojas por planta y el peso de cada una.

Hasta determinada densidad de siembra, en que comienzan a incidir problemas de competencia para cada nivel de población, el rendimiento está determinado por el número de panojas que se obtiene en cada planta. Con siembras muy densas o semillas muy juntas esto no se cumple, debido a una mayor competencia por humedad y a un más rápido esparcimiento de enfermedades a la siembra (Porter et al., citados por Alcoz et al., 1988).

Cuadro No.2. Ensayos nacionales sobre población

| Autor                | Año   | Híbrido       | Localidad     | Óptimo (plantas/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|-------|---------------|---------------|----------------------------------|
| Capurro              | 73/73 | Cont. 2201    | Estanzuela    | 34                               |
| Capurro              | 72/73 | Cont. 2201    | Estanzuela    | 48                               |
| Capurro              | 73/73 | Cont. 2201    | Estanzuela    | 36                               |
| Capurro              | 72/73 | Cont. 2201    | Estanzuela    | 42                               |
| Capurro              | 73/73 | Cont. 2201    | Estanzuela    | 49                               |
| Capurro              | 73/73 | Cont. 2201    | Estanzuela    | 38                               |
| Capurro              | 73/73 | Cont. 2201    | Estanzuela    | 49                               |
| Labella              | 73/74 | Morgan 103    | Tacuarembó    | 42                               |
| Lazo                 | 75/76 | Br 64         | Paysandú      | 40                               |
| Lazo                 | 69/70 | Br 64         | Paysandú      | 40                               |
| Lazo                 | 70/71 | Br 64         | Paysandú      | 40                               |
| Lazo                 | 70/71 | Br 64         | Paysandú      | 40                               |
| Ghisellini-Holtz     | 82/83 | Br 64         | Paysandú-seco | 30                               |
| Ghisellini-Holtz     | 82/83 | Nk 180        | Paysandú-seco | 50                               |
| Carrasco-Schevzov    | 80/81 | Br 64         | Tarariras     | 45                               |
| Carrasco-Schevzov    | 80/81 | Br 64         | Dolores       | 25                               |
| Carrasco             | 83/84 | Br 64         | Paysandú      | 30                               |
| Carrasco             | 83/84 | Nk 180        | Paysandú      | 50                               |
| Fructos-Mazoni       | 83/84 | Varios        | Paysandú      | 35                               |
| Alcoz et al.         | 87/88 | IPB 8016      | Paysandú      | 13-44 (sin respuesta)            |
| Alcoz et al.         | 87/88 | Relámpago     | Paysandú      | 18-59 (sin respuesta)            |
| Algorta y Carcabelos | 05/06 | MS 102 y MS 3 | Paysandú      | 5-20 (sin respuesta)             |
| García et al.        | 07/08 | MS 102        | Mercedes      | 18-43 (sin respuesta)            |
| García et al.        | 07/08 | MS 109        | Mercedes      | 17-33 (sin respuesta)            |

Fuente: elaborado a partir de Siri (2004), Algorta y Carcabelos (2007), García et al. (2008).

Fischer y Wilson (1975), comprobaron que usando altas densidades se logran máximos rendimientos, pues obtuvieron resultados superiores basándose en el mayor número posible de panojas por unidad de área, aunque estas fuesen de menor tamaño.

Al aumentar el número de pl/m se aumenta el rendimiento/ha que es más importante que la reducción de la producción por planta individual (Carrasco, 1985).

La mayor respuesta a la densidad se encontró al pasar de una población de 100 a 300 mil pl/ha. De 300 a 500 mil pl/ha es significativa pero de menor magnitud, y hay otros factores interactuando como híbrido, control de malezas y fertilización (Ghisellini y Holtz, citados por Algorta y Carcabelos, 2007).

Resultados obtenidos con laboreo convencional en diferentes zonas del país permiten asegurar que el nivel óptimo de plantas se ubican por encima de las 300.000 plantas/ha. En general se considera que el riesgo de ubicarse en los niveles óptimos de población radicaría en el comportamiento de los años secos (Ernst, citado por Siri, 2004).

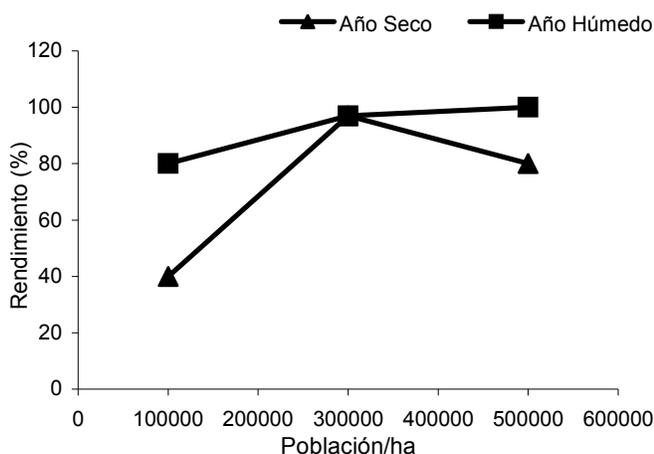


Figura No. 2. Respuesta a la densidad de siembra en años de diferente régimen hídrico (Carrasco, citado por Siri, 2004)

Las características hídricas del año determinan el nivel de variación del rendimiento pero no el óptimo poblacional ya que se limita antes el rendimiento por planta que la respuesta a la población (Ernst, citado por Siri, 2004).

Carrasco (1985) utilizando poblaciones de 300 y 450 mil pl/ha a distancia entre hileras constante de 70 cm., concluyó que la respuesta a la densidad de siembra por encima de las 300 mil pl/ha, sólo se produce en la medida que otros factores que interactúan con ésta así lo permitan.

Las hojas en altas densidades son más angostas y largas, más erguidas y las plantas son más altas. Esto favorece la penetración de la luz por unidad de área foliar (Newton y Blackman 1970, Fischer y Wilson 1975), obteniéndose un mayor tamaño de fosa metabólica, lo que equivale a un mayor rendimiento en grano.

#### 2.4.3.1. Componentes del rendimiento (población)

El rendimiento del sorgo está determinado por el número de panojas, número de granos por panoja y peso de 1000 granos. Los dos primeros componentes varían en sentido inverso e influyen sobre el rendimiento, es por esto que es importante saber que factores los afectan y de qué forma se puede actuar sobre cada uno de ellos para disminuir la competencia y lograr que los componentes alcancen el nivel más alto posible (Langlet y Aldhuy, citados por Alcoz et al., 1988).

La respuesta a la población es consecuencia de lo que se ha dado en llamar “compensación de los componentes del rendimiento”, es decir, la adecuación de los distintos componentes a una mayor competencia provocada por el aumento en la densidad de plantas (Donald, citado por Alcoz et al., 1988).

Las diferentes poblaciones muestran diferencia estadísticamente significativa en: rendimiento, panojas/m, plantas/m, panoja/pl, granos/panoja, peso de 1000 granos, MS total, peso panoja e IC (Ghisellini y Holtz, 1985).

El efecto de la población sobre el rendimiento en grano es debido a un mayor número de panojas cosechadas. De 100 a 300 mil pl/ha hay un descenso del NGP y del peso de los granos, existiendo competencia inter planta. De 300 a 500 mil pl/ha disminuye el NGP y aumenta el peso de grano, generando una competencia intra planta (Blum, Ghisellini y Holtz, citados por Algorta y Carcabelos, 2007).

Algorta y Carcabelos (2007) encontraron que los componentes con mayor influencia en la definición del rendimiento en grano fueron número de granos por panoja, rendimiento por panoja, panojas por m<sup>2</sup>, plantas por m<sup>2</sup>.

Esta comprobado que al aumentar la población la cantidad de panojas por planta disminuye (Alcoz et al., 1988). Esta disminución en la prolificidad tiene dos causantes: en una primera etapa la disminución del macollaje hasta su desaparición inclusive y con aumentos de población sucesivos comienzan los problemas de esterilidad (Alcoz et al., 1988). Como la esterilidad de plantas es el resultado de la competencia dentro de la fila, la reducción de la distancia entre surcos reduce el número de plantas por metro lineal (Algorta y Carcabelos, 2007).

El nivel de población que separa una situación de la otra, puede ubicarse en un rango de 120 a 170 mil plantas/ha (150 mil en promedio) que fue obtenido bajo condiciones ambientales, culturales y genéticas variables, lo cual le otorga validez (Robinson et al., citados por Alcoz et al., 1988).

El aumento en el peso de las panojas es el principal factor en igualar el rendimiento a bajas poblaciones con aquel a mayores poblaciones (Porter et al., 1960).

La variación en el peso de las panojas al aumentar la población es debido a la variación que se da en el número de granos (Langlet y Aldhuy, Clegg y Maranville, citados por Alcoz et al., 1988), no existiendo prácticamente variaciones en el peso de los mismos (Robinson et al. 1964, Goldsworthy y Tayler 1970, Fischer y Wilson 1975). Este fenómeno indicaría que el sorgo responde a la competencia por densidad con una reducción en el número de granos a llenar, sin afectar el grado de llenado de los mismos (Myers et al., citados por Alcoz et al., 1988).

Blum (1970), Ghisellini y Holtz (1985), Ayala et al. (1988) reportan que un aumento inicial de la densidad lleva a un menor número de granos por panoja y peso de mil granos, pero al seguir descendiendo el número de granos por panoja disminuirán los sitios de acumulación de carbohidratos y por lo tanto se producirá un nuevo incremento en el peso de mil granos (Algorta y Carcabelos, 2007).

Cuanto más plantas/m el rendimiento por panoja y NGP cae en ambos híbridos, habiendo diferencias en la magnitud de la caída. Estas diferencias se deben al largo del ciclo y la forma de compensación de los dos híbridos (Alcoz et al., citados por Algorta y Carcabelos, 2007).

La variabilidad en el número de granos por panoja es consecuencia de las diferentes condiciones ambientales en el período inmediato a la iniciación floral, ya que en ese momento se determina el número potencial de granos (Myers, 1978).

Durante el período crítico (entre iniciación floral y emergencia de la panoja o sea cuando el ápice pasa de vegetativo a reproductivo) es muy importante la disponibilidad de agua, y que haya la menor competencia posible, ya que en ese momento se define el número de granos por panoja y sus sub-componentes (anillos/panoja, ramificaciones/anillo, granos/ramificación). Y cuanto más tiempo transcurre entre implantación e iniciación floral, la planta llega al período crítico con mayor tamaño aumentando la competencia entre plantas lo que trae como consecuencia una menor producción de granos por panoja (Algorta y Carcabelos, 2007).

Uno de los componentes más relevantes en determinar el rendimiento indirectamente a través del rendimiento por panoja, fue el número de granos por panoja, el que disminuye significativamente con el aumento de la población (Algorta y Carcabelos, 2007).

A nivel nacional, Carrasco (1985) concuerda con los trabajos internacionales al no evidenciar variaciones en el peso de 1000 granos con el aumento de la densidad. Contrariamente, Ghissellini y Holtz (1985) obtuvieron diferencias significativas en el peso de los granos a medida que incrementaba la población, atribuyéndolo a la competencia inter planta e intra planta registrada.

Donald (1963), Ayala et al. (1988), expresan claramente este concepto estableciendo que a densidades altas la competencia inter planta es muy alta en una etapa temprana de crecimiento y por lo tanto el número de primordios florales es menor que a bajas densidades. Luego la competencia intra planta disminuye lo que lleva a que se produzca un mayor peso de los granos formados (Algorta y Carcabelos, 2007).

El peso de 1000 granos se ve muy afectado por las condiciones ambientales durante la maduración, lo cual es muy difícil de controlar además de ser muy sensible a la deficiencia hídrica sobre todo en las primeras etapas de llenado del grano. Sin embargo el número de granos por panoja es dependiente de las densidades, por lo cual es muy importante tenerlo en cuenta (Algorta y Carcabelos, 2007).

Ayala et al. (1988) realizaron el análisis de regresión utilizando modelos lineal y cuadrático. En ambos casos existe un descenso marcado del peso de mil granos con el aumento de la población (Algorta y Carcabelos, 2007).

Las poblaciones por encima del óptimo generalmente no resultan perjudiciales. El área foliar inicial en zonas templadas no perjudican las

condiciones de producción que se dan en las etapas finales (Grimes y Musick, 1960).

Para lograr aumentar la producción de materia seca, la mejor forma es a través del incremento del número de plantas/m<sup>2</sup>. La producción de MS a macollaje no difiere con las diferentes densidades, pero si a floración en el híbrido de ciclo largo, porque en ésta etapa la competencia tiene efecto con altas densidades reduciendo la producción de MS/planta (Algorta y Carcabelos, 2007).

El rendimiento en grano aumenta por una mayor producción de materia seca total sin variar la proporción de grano (se mantiene el índice de cosecha) (Ghisellini y Holtz 1985, coinciden con Alcoz et al., 1988).

Al aumentar el IAF disminuye el rendimiento/panoja y el NGP (Algorta y Carcabelos, 2007).

A poblaciones bajas el híbrido de ciclo largo y por consiguiente más tamaño logra mayor IAF. A poblaciones altas es mejor el híbrido de ciclo corto porque compete menos tiempo; son plantas con menos requerimientos (Algorta y Carcabelos, 2007).

El menor desarrollo posterior a iniciación floral de cada planta individual debido al aumento de población determinara la reducción del rendimiento por panoja pero permite la máxima acumulación de MS/ha. Y ésta es transformada en grano en nuestras condiciones en una relación de K constante (Ernst, citado por Siri, 2004).

El índice de cosecha (IC) no mostró variaciones significativas entre poblaciones, aunque en las densidades altas el número de plantas infértiles aumentó debido a una mayor competencia intra específica (Fischer y Wilson 1975, Myers y Foale 1981, Ghisellini y Holtz 1985). Según Army et al. (1964), Ayala y Sawchik (1988), bajo condiciones de secano y con una reserva de agua limitada, el aumento de la densidad lleva a una mayor producción de forraje en detrimento de la producción de grano (García et al., 2008).

## 2.5. HÍBRIDOS

En el rango de bajas poblaciones se adaptan más los de ciclo largo, mientras que los de ciclo corto se comportan mejor en poblaciones altas (Hadley et al., Casady, Blum, Goldsworthy y Tayler, Hume y Kebede, citados por Alcoz et al., 1988).

La ventaja de los híbridos de ciclo largo en bajas poblaciones, se da siempre y cuando ese mayor ciclo se deba al período iniciación floral-emergencia de la panoja, pues existe una relación positiva entre la duración de la fase de desarrollo de la panoja y su tamaño (Casady, Hadley et al., citados por Alcoz et al., 1988). Si la etapa que se alarga es aquella anterior a la iniciación floral, no existirá ninguna ventaja, sino por el contrario será perjudicial, debido a la mayor duración de la fase vegetativa que determinará un anticipo en la expresión de la competencia (Alcoz et al., 1988). Esto coincide con Goldsworthy y Tayler (1970) quienes mencionan que la ventaja de los híbridos de ciclo corto, frente a los de ciclo largo se da siempre y cuando el acortamiento del ciclo total se deba a una menor duración de la etapa vegetativa, para así llegar con un menor tamaño de planta y por lo tanto menor competencia al momento de definición de número de granos.

Los híbridos de ciclo largo o de mayor altura, se ven favorecidos en bajas poblaciones frente a los de menor altura, dado que la longitud de sus entrenudos determina un menor sombreado de las hojas inferiores y una mejor distribución de la luz, aumentando así su potencial de producción en forma individual (Stickler y Younis, citados por Alcoz et al., 1988).

En poblaciones bajas, los híbridos de ciclo largo producen mayor cantidad de materia seca total que sus similares de ciclo corto. A medida que aumenta la densidad, esta superioridad disminuye adquiriendo importancia el índice de cosecha, favorable a los híbridos de ciclo corto (Blum 1970, Fischer y Wilson 1975, Hume y Kebede 1981).

Al ir aumentando la densidad, el número potencial de granos va decreciendo en un híbrido de ciclo largo, debido a la competencia, mientras que en uno de ciclo corto se mantiene constante. Esta es la razón por la cual los híbridos de ciclo corto presentan una mayor respuesta a la población (Blum, 1970).

En un año con buena condición hídrica, Alcoz et al. (1988) no encontraron diferencia significativa en rendimiento para los distintos ciclos.

Algorta y Carcabelos (2007) en un año que se caracterizó como seco hasta V6 y con precipitaciones adecuadas para un desarrollo normal del cultivo desde V6 en adelante, no encontraron diferencias entre híbridos para rendimiento.

García et al. (2008) en un año que se caracterizó como seco durante todo el ciclo, se registraron diferencias en rendimiento entre híbridos a favor del ciclo corto, atribuibles al escape de estrés hídrico en momentos de concreción y

llenado de granos, lo que determinó una mayor eficiencia en el uso del agua para la producción de granos.

El rendimiento en años con stress hídrico, como en el caso de Ghisellini y Holtz (1985), Ayala y Sawchik (1988), se vio afectado por el híbrido. El material de ciclo largo es quien se ve más afectado, debido a la cantidad de agua que necesita. El híbrido de ciclo corto a altas poblaciones necesita la misma cantidad de agua que el largo a baja densidad debido a la menor duración de la estación de crecimiento. Ayala y Sawchik (1988) encontraron que el rendimiento para el ciclo largo fue mayor para bajas poblaciones, y que el óptimo fue menor que para el ciclo corto, coincidiendo con Ghisellini y Holtz (1985), García et al. (2008).

Kamoshita et al. (1998) en condiciones de año seco, registraron diferencias entre híbridos, atribuidas a un efecto escape, ya que el ciclo largo se enfrentó a una extrema sequía en el momento que se define el tamaño de panoja, provocando la generación de una fosa limitante que no se recompuso con las lluvias posteriores (García et al., 2008).

#### 2.5.1. Componentes del rendimiento (híbridos)

Para dos híbridos evaluados el rendimiento tiene relación con el número de panojas totales, panojas fértiles y no hay relación con panojas estériles (Alcoz et al., 1988).

Los ciclos cortos, por su menor ciclo a iniciación floral, son menos sensibles a la competencia en la hilera y por lo tanto, resienten menos su tamaño potencial de panoja (Carrasco, Ernst, citados por Siri, 2004).

Blum, citado por Ghissellini y Holtz (1985) destacó la importancia de la interacción población con material genético. Obtuvo una respuesta superior en el híbrido de ciclo corto (de pequeño tamaño y baja capacidad de macollaje) debido a la baja capacidad de compensación por macollaje que tenía este tipo de material. Al aumentar la población dejó de tener importancia la capacidad de macollar y pasó a ser trascendente el peso de los granos por panoja, de forma que aquellos híbridos que mostraron la menor reducción del tamaño de panoja al aumentar la población, fueron los precoces y con ello mantuvieron la respuesta hasta valores mayores. Resultados similares fueron obtenidos por Stickler y Younis (1966), Graves et al. (1970), Goldsworthy y Tayler (1970), Hedge et al. (1976), Hume y Kebede (1981), Ghissellini y Holtz (1985), Alcoz et al. (1988).

El híbrido de ciclo largo con mayor período entre emergencia e iniciación floral y mas producción de MS y mayor IAF (mayor grado de competencia), tienen desventajas frente a los de ciclo corto en la expresión de su tamaño potencial de panoja al aumentar la población, esto lleva a que en altas poblaciones los de ciclo largo pongan en juego su mecanismo de compensación con relación a los de ciclo corto (Alcoz et al., citados por Algorta y Carcabelos, 2007).

Ghisellini y Holtz (1985) comprobaron que híbridos de ciclo largo y porte alto con mas capacidad de producción de MS total estarían mas adaptados a la producción de rendimiento en grano que los de porte bajo o ciclo corto (Algorta y Carcabelos, 2007).

Artola (1978) reporto que en lo que refiere a la producción de forraje los materiales de ciclo largo producían un 8,1% más de forraje que de grano. Sucedió lo contrario con los de ciclo corto que rendían un 12,8% más de grano. El comportamiento anterior podría ser explicado por la diferencia de longitud en los períodos vegetativos entre los dos materiales. Los materiales de ciclo corto serían mas eficientes en la producción de grano con un menor índice de área foliar pero logrado mas tardíamente. Esto traería como consecuencia un mayor ahorro del agua del suelo para los momentos de floración y llenado del grano (Algorta y Carcabelos, 2007).

Alcoz et al. (1988) experimentó con dos híbridos, IPB 8016 (ciclo intermedio), con una población de 130.000 a 440.000 pl/ha y Relámpago (ciclo corto) de 180.000 a 590.000 pl/ha. La distancia entre hileras fue de 0,7 m, y la cantidad de plantas/m evaluadas fueron de 17 y 24. El híbrido de ciclo corto rindió un 20% más en grano debido a la escasa sensibilidad del rendimiento por panoja al aumentar la población. Esto coincide con el mejor comportamiento de los híbridos de ciclo corto a altas poblaciones y los de ciclo largo a bajas poblaciones.

Se ha determinado la existencia de interacción población por híbrido, encontrando una mayor respuesta a población en ciclos cortos y un óptimo poblacional bajo en híbridos de ciclo largo (DP 420) por su mayor tamaño de plantas, lo que los hace sensibles a la competencia (Ernst, citado por Siri, 2004).

Algorta y Carcabelos (2007) encontraron que los componentes de rendimiento panojas/planta y PMG fueron significativamente modificados por el híbrido, pero no existió efecto sobre panojas logradas, NGP ni rendimiento por panoja. El híbrido de ciclo corto presentó mayor o igual rendimiento por panoja comparando a igual o diferente distancia entre hileras y población.

García et al. (2008) encontraron diferencias en rendimiento a favor del ciclo corto. Esto fue por diferencias en ciclo que le permitió escapar a un severo estrés hídrico en momentos de concreción de rendimiento y llenado de grano. Los componentes que explican las diferencias entre híbridos son el número de panojas por planta y el peso de los granos.

## 2.6. FACTORES QUE INCIDEN EN POBLACIÓN ÓPTIMA

### 2.6.1. Disponibilidad de agua

El agua limita el número de plantas que el suelo puede sostener (Alcoz et al., 1988).

En zonas templadas, el problema se plantea en términos de eficiencia de uso del agua más que de economía del agua (zonas áridas). La principal medida de eficiencia, es hacer pasar toda el agua a través de la planta como transpiración, tratando de minimizar las pérdidas por evaporación directa a partir del suelo. Plaut et al., citados por Carrasco (1985) encontraron una relación sigmoide entre la evapo transpiración real del cultivo y el rendimiento en grano, en donde a partir de 450mm de consumo de agua, el rendimiento se hace independiente de la evapo transpiración total (Alcoz et al., 1988).

Brun et al. (1972) determinaron que la proporción de la evapo transpiración representada por la transpiración del cultivo se eleva al aumentar el IAF. O sea que al aumentar la población mejora el grado de cobertura y la velocidad para cubrir el surco lo que nos permite mejorar la eficiencia en el uso del agua (Alcoz et al., 1988).

A su vez, el aumento del número de plantas resulta en un incremento de rendimiento como consecuencia de una mayor producción de materia seca total y no de una variación en la proporción de grano; se diferencia de lo que ocurre en la zonas áridas, donde el índice de cosecha es el factor de respuesta mas importante (Fischer y Wilson, citados por Algorta y Carcabelos, 2007).

En estas zonas templadas, cuánto más seca sea la estación de crecimiento, mayor es la respuesta a la población. Esto es debido a que el aumento en el tamaño de las panojas no llega a compensar la menor cantidad de panojas por unidad de área (Grimes y Musick 1960, Karchi y Rudich 1966, Alcoz et al. 1988).

El mayor número de panojas se traducirá en mayores rendimientos compensando la falta de granos en la panoja, únicamente si se establecen posteriormente al período crítico las condiciones hídricas adecuadas que permitan el correcto llenado de los granos. Cuando la deficiencia hídrica ocurre durante el llenado de grano, el peso de los mismos se reduce y si bien el óptimo poblacional no varía, disminuye el peso de grano por planta agregada (Algorta y Carcabelos, 2007).

El óptimo de disponibilidad hídrica ha sido fijado en un rango de 450 a 550mm durante todo su desarrollo (Carrasco, citado por Alcoz et al., 1988).

Hanks (1974) realizó un modelo que relaciona el rendimiento relativo de materia seca con respecto al potencial, con la evapo transpiración que se da durante el ciclo del cultivo. Según el modelo, la producción de materia seca/ha responde hasta 400 mm de evapo transpiración, luego se independiza dejando de existir respuesta (García et al., 2008).

Para las condiciones hídricas del país es recomendable sembrar un número elevado de plantas y disminuir la distancia entre líneas (mejor distribución). Si la disponibilidad de agua resulta escasa, ello no resiente el rendimiento y si llega a darse buenas condiciones hídricas se maximiza el potencial del cultivo porque esa recomendación de manejo supone la mejor combinación de los factores de producción (Antelo et al., citados por Algorta y Carcabelos, 2007).

### 2.6.2. Macollaje

El macollaje es función de la densidad, temperatura y material genético (Alcoz et al., 1988).

#### 2.6.2.1. Densidad

Está inversamente asociado al número de plantas por hectárea (Porter et al., 1960), corroborado por Mann (1965), Atkins et al. (1968), Minor (1971), Alcoz et al. (1988).

#### 2.6.2.2. Temperatura

La temperatura durante la fase inicial del cultivo presenta relación inversa con el macollaje (Escalada y Plucknett, Myers y Foale, citados por Alcoz et al., 1988).

La temperatura influye sobre la producción de macollos a través de mecanismos fisiológicos y también sobre la sobrevivencia de los macollos producidos mediante un fenómeno de competencia. Cuando las condiciones ambientales y dentro de éstas la temperatura favorecen una mayor velocidad de crecimiento inicial, la competencia entre el tallo principal y los macollos se hace más severa (Fischer y Wilson, 1975), sobre todo considerando que los macollos se desarrollan con un retraso en el ciclo de 7 a 10 días respecto del macollo principal (Carrasco, citado por Alcoz et al., 1988).

A través del efecto de la temperatura, la época de siembra interactúa con la respuesta a la población habiendo mejores condiciones de macollaje en siembras tempranas y con ello menores respuestas al aumento de población (Stickler, citado por Alcoz et. al., 1988).

En cuanto a la interacción población y época de siembra, esta última tiene por base la modificación del ciclo impuesto por la temperatura en la etapa juvenil. El acortamiento de esta etapa provocado por las mayores temperaturas que enfrenta el cultivo en siembras tardías, permitiría un mayor número de plantas en la hilera, sin incrementar la competencia entre plantas al momento de definición del tamaño potencial de la panoja (Ernst, citado por Siri, 2004).

El macollaje se daría en Uruguay en baja proporción o se vería inhibido por las condiciones de temperatura del país y a su vez si las temperaturas fueran favorables éste se vería inhibido debido a la elevada población óptima que no lo permite (Escalada y Plucknett, 1975).

#### 2.6.2.3. Material genético

Blum, citado por Ghissellini y Holtz (1985) destacó la importancia de la interacción población con material genético. Obtuvo una respuesta superior en el híbrido de ciclo corto (de pequeño tamaño y baja capacidad de macollaje) debido a la baja capacidad de compensación por macollaje que tenía este tipo de material. Al aumentar la población dejó de tener importancia la capacidad de macollar y pasó a ser trascendente el peso de los granos por panoja, de forma que aquellos híbridos que mostraron la menor reducción del tamaño de panoja al aumentar la población, fueron los precoces y con ello mantuvieron la respuesta hasta valores mayores. Resultados similares fueron obtenidos por Stickler y Younis, Graves et al., Goldsworthy y Tayler, Hedge et al., Hume y Kebede, Ghissellini y Holtz, citados por Alcoz et al. (1988).

Motivos por los cuales es aconsejable basarse en el uso de mayores poblaciones y no del macollaje:

1) Los macollos rinden sólo un 25 a 80% del correspondiente al tallo principal, dependiendo del híbrido (Goldsworthy y Tayler, 1970).

2) Los macollos presentan un retraso en el ciclo de por lo menos 7 días, por lo cual son frecuentes los problemas de cosecha debido a las diferencias de humedad del grano y forraje (Langlet y Aldhuy, citados por Alcoz et al., 1988).

3) La búsqueda de un número de panojas por hectárea a través del número de macollos en lugar del número de plantas introduce un elemento de riesgo innecesario, en la medida que, mientras el macollaje de la población baja presenta interacciones con el año (Porter et al., 1960), el número de panojas que surge de poblaciones mayores permanece in-cambiado en años muy diferentes (Karchi y Rudich, 1966).

4) Un mayor macollaje inicial puede ser una desventaja al perderse materia seca del sistema productor de granos a través de subsecuentes supresiones por competencia que terminan en la muerte de los macollos (Alcoz et al., 1988).

### 2.6.3. Esterilidad

A altas poblaciones se da una disminución en la prolificidad a consecuencia de la esterilidad (Alcoz et al., 1988).

La esterilidad depende en primer lugar de la competencia que se establece entre plantas de una misma hilera y en menor grado de aquella que se da entre plantas de distintas hileras. Una mayor cantidad de plantas en la hilera produce un aumento concomitante de la variabilidad en altura y velocidad de desarrollo. Esto determina que los individuos que por causas ambientales o genéticas tienen un desarrollo inicial más lento vean comprometido su desarrollo y reproducción posterior en forma definitiva. Si se controlan los factores que afectan la esterilidad (ej. distancia entre hilera para disminuir competencia entre plantas dentro de la hilera), los niveles óptimos de población alcanzados serán mayores con el consiguiente aumento del rendimiento (Alcoz et al., 1988).

Todo cuidado que contribuya a una implantación y emergencia homogénea tenderá a disminuir el grado de esterilidad (Alcoz et al., 1988).

En general, a partir de cierto nivel poblacional que oscila en las 300 mil plantas por hectárea puede decirse que el grado de esterilidad aumenta con el incremento de la densidad (Grimes y Musick, Robinson et al., Mann, Stickler y Wearden, Fischer y Wilson, citados por Alcoz et al., 1988).

Karchi y Rudich (1966), observaron este tipo de problema en poblaciones de 130 mil plantas por hectárea y Hume y Kebede (1981) no lo encontraron en densidades tan altas como 450 mil plantas por hectárea (Alcoz et al., 1988).

La disponibilidad de luz no es una limitante para la obtención de altas poblaciones de acuerdo a los niveles de radiación regionales, comparables a las zonas más productivas del mundo en este cultivo (Cooper, citado por Alcoz et al., 1988). Pero al trabajar con altas densidades se evidencia una mayor competencia por luz que por nutrientes (Carrasco, citado por Alcoz et al., 1988).

O sea que en el país no existen limitantes drásticas de agua, ni nutrientes, y con un adecuado manejo de la población y distribución debería lograrse un aprovechamiento máximo de la luz, de manera de obtener rendimientos más elevados.

## 2.7. SIEMBRA DIRECTA

### 2.7.1. Almacenaje de agua en suelo y reducción de pérdidas por evaporación

En los cultivos “de segunda”, el cultivo de invierno consume el agua y opera como cobertura del suelo. Las precipitaciones posteriores a la madurez fisiológica del cultivo recargan el suelo, pero si estas no se producen, solo se dispondrá del residuo hídrico del crecimiento anterior. Lo mismo sucede cuando el cultivo de verano sigue a un verdeo invernal o existe crecimiento de malezas (Ernst, 1999).

La presencia de residuos en superficie reducen las pérdidas por evaporación y aumenta la infiltración de agua cuando ocurren lluvias (García Préchac, 1998).

El movimiento de agua del suelo a través del mulch, para llegar a su superficie y desde allí evaporarse es bajísimo por la baja conductividad hídrica de éste (García Préchac, 1998).

Hay una mayor infiltración en SD (siembra directa) que en LC (laboreo convencional) que es explicada por Onstad y Voorhees (1987). Ellos dicen que hay un menor encostramiento superficial debido a que los residuos en superficie protegen al suelo de las gotas de lluvia (García Préchac, 1998).

Los residuos cuanto más anclados se encuentren mayor será su efecto porque hay conductos a través de los que el agua puede entrar más rápido al suelo y porque los residuos ofrecen resistencia al escurrimiento superficial, dando más oportunidad a la infiltración (García Préchac, 1998).

### 2.7.2. Efecto sobre la temperatura del suelo

Durante el día el suelo bajo SD levanta menos temperatura que el suelo bajo LC. Durante la noche al enfriarse la superficie, el calor es conducido desde las capas profundas hacia la superficie. Al poseer más conductividad el suelo bajo SD, la superficie recibe más fácilmente el calor almacenado debajo; pero también la cobertura por rastrojo actúa como aislante para la pérdida de calor hacia la atmósfera, por la misma razón que lo hace a su ingreso al suelo durante el día. Ello determina que el suelo bajo SD se enfríe menos durante la noche y que el aire sobre el cobertura por rastrojo reciba menos calor del suelo, agravando el efecto de las heladas en las plantas que en el crecen. O sea que el suelo bajo SD se encuentra aislado térmicamente por la cobertura por rastrojo de residuos, determinándole menor temperatura máxima y mayor mínima que el suelo bajo LC (menor amplitud térmica) (García Préchac, 1998).

Las plantas tienen una temperatura mínima para germinar y emerger. Mientras el meristemo apical se encuentra cerca del suelo es la temperatura del suelo y no la del aire la que es fisiológicamente censada (Russell, citado por García Préchac, 1998), generando la acumulación térmica que gobierna el crecimiento y desarrollo. Por lo tanto, bajo SD se retarda la emergencia y crecimiento de los cultivos que se inician en la primavera, con mayor efecto sobre las especies y cultivares más sensibles a las bajas temperaturas. En las condiciones de Uruguay se han observado fallas en cultivos de sorgo plantados con SD a mediados de octubre no ocurriendo lo mismo al realizarse la siembra un mes más tarde (Amarante et al., citados por García Préchac, 1998).

Una vez superada la etapa en que el punto de crecimiento se encuentra por debajo del suelo (V6), la temperatura de referencia es la del aire, por lo que no son de esperar efectos posteriores. Las diferencias acumuladas hasta V6 se diluyen en el ciclo total del cultivo por lo que la diferencia en el ciclo a floración es igual a la establecida en los primeros días de crecimiento (García et al., 2008).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el establecimiento del Ing. Agr. Franco Malán, situado en el balneario Santa Regina cercano a Colonia Valdense, departamento de Colonia, en el año agrícola 2007-2008. El suelo es un Brunosol perteneciente a la Unidad de Suelos Kiyú.

La siembra se realizó el día 06/12/07 sobre rastrojo de cebada con una sembradora de precisión. La distancia entre hileras fue de 70 cm y a una profundidad de siembra de 5 cm.

La fertilización se hizo inmediatamente luego de la siembra con 170 kg de 25-33/33-0 (42,5 Kg de N y 56,1 Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y no se refertilizó.

El 08/12/07 se aplicó pre-emergente, glifosato + 2,4D.

Entorno al estadio V9 el cultivo sufrió un ataque de *Spodoptera frugiperda* (lagarta cogollera) con una severidad del 20% en promedio. No se hizo aplicación de plaguicida.

#### 3.1. TRATAMIENTOS

Los tratamientos consistieron en un factorial completo de 2 híbridos de sorgo granífero (MS 102 y MS 109) por 3 densidades de siembra objetivos (9, 14, 20 plantas/metro) dispuestas en tres bloques al azar. El área de cada parcela fue de 336 m<sup>2</sup> (80 m de largo con 6 hileras a 0,7 m).

En el cuadro siguiente se describen los tratamientos de densidad efectivamente logrados en el campo. Las plantas/m determinan la población por hectárea objetivo ya que la distancia entre hileras fue constante.

Cuadro No. 3. Descripción de los tratamientos

| Trat. | Híbrido | Población objetivo (pl/ha) | Plantas/m lineal objetivo | Población lograda (pl/ha) | Plantas/m lineal logradas | Población desp. Raleo (pl/ha) | Plantas/m lineal desp. raleo |
|-------|---------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1     | MS 102  | 200000                     | 14                        | 230000                    | 16,1                      | 160000                        | 11,2                         |
| 2     | MS 109  | 200000                     | 14                        | 120000                    | 8,4                       | 120000                        | 8,4                          |
| 3     | MS 109  | 285700                     | 20                        | 140000                    | 9,8                       | 80000                         | 5,4                          |
| 4     | MS 102  | 285700                     | 20                        | 263000                    | 18,4                      | 130000                        | 9,1                          |
| 5     | MS 102  | 128570                     | 9                         | 260000                    | 18,2                      | 260000                        | 18,2                         |
| 6     | MS 109  | 128570                     | 9                         | 157000                    | 11                        | 157000                        | 11                           |

En el Cuadro No. 4 se presentan las características principales de los dos híbridos utilizados.

Cuadro No. 4. Principales características de los híbridos utilizados (MS 102 y MS 109), evaluados en INIA La Estanzuela durante la zafra 2006/2007, para siembra de segunda

| Híbrido | Rend (Kg/ha) | Características agronómicas |                                    |                                | Contenido taninos en grano (%) <sup>3</sup> | Tipo de panoja <sup>4</sup> | Color grano <sup>5</sup> | Ciclo a floración <sup>6</sup> |
|---------|--------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|
|         |              | Largo panoja (cm)           | Excerción panoja (cm) <sup>1</sup> | Altura planta (m) <sup>2</sup> |   |                             |                          |                                |
| MS 102  | 6286         | 28                          | 16                                 | 1,35                           | 0,1   | SC                          | MR                       | 61                             |
| MS 109  | 4524         | 30                          | 16                                 | 1,6                            | 2,6   | C                           | M                        | 64                             |

<sup>1</sup>: Excerción de panoja: medida desde la hoja bandera hasta la base de la panoja.

<sup>2</sup>: Altura de planta: medida desde el suelo a la punta de la panoja.

<sup>3</sup>: Contenido de taninos: técnica vainillina-HCL, con catequina como estándar, expresado en base seca, media de dos repeticiones. Análisis realizados en el laboratorio de calidad de granos de INIA La Estanzuela.

<sup>4</sup>: Tipo de panoja: SC=semicompacta; C=compacta; SL=semilaxa; L=laxa.

<sup>5</sup>: Color de grano: M=marrón; MC=marrón claro; BR=bronce; MR=marrón rojizo; MO=marrón oscuro; B=blanco.

<sup>6</sup>: Ciclo a floración: ciclo en días desde la emergencia a 50% de floración.

Cuadro No. 5. Comportamiento sanitario de los híbridos MS 102 y MS 109, evaluados en INIA La Estanzuela durante la zafra 2006/2007, para siembra de segunda

| Híbrido | ER <sup>1</sup> | %EB <sup>2</sup> | %RH <sup>3</sup> |
|---------|-----------------|------------------|------------------|
| MS 102  | PD              | 0,5              | 2,0              |
| MS 109  | PD              | 0,0              | 50,0             |

<sup>1</sup>: Estado reproductivo. LP= lechoso pastoso; PB= pasta blanda; P= pasta; PD= pasta dura.

<sup>2</sup>: % área foliar afectada por estría bacteriana, causada por *Pseudomona andropogonis*.

<sup>3</sup>: % área foliar afectada por roya, causada por *Puccinia purpurea*.

## 3.2. DETERMINACIONES

### 3.2.1. Parámetros de desarrollo

Durante el desarrollo del cultivo se tomaron las siguientes medidas:

-Densidad de plantas: a los 15 días pos siembra se marcó unos 10 metros lineales representativos en la parcela y se contaron allí por dos surcos el número de plantas emergidas. El sitio permaneció marcado para volver a contar en el mismo lugar. A los 21 días pos siembra se contaron nuevamente las plantas en los 10 m. lineales en los dos surcos para conocer la densidad de plantas implantadas.

-Excerción de la panoja: en la etapa de madurez fisiológica se midió en 20 plantas consecutivas la distancia entre la base de la hoja bandera y la base de la panoja.

-Altura de planta: en madurez fisiológica, en las mismas 20 plantas en que se midió excerción se midió la distancia entre la base del tallo y el ápice de la panoja.

-Área foliar: se midió el largo y ancho máximo de todas las hojas de 10 plantas consecutivas por parcela en V3, V6, embuche, floración, medio grano y madurez fisiológica. Luego el producto de largo por ancho se lo multiplicó por el

factor 0.75 (Stickler et al., 1961). A partir del área foliar, y de la población se estimó el índice de área foliar (IAF).

### 3.2.2. Rendimiento y componentes

-Rendimiento a cosecha: el rendimiento en grano se estimó a partir del grano trillado. En cada una de las parcelas se recolectaron manualmente las panojas de 10 metros lineales, y luego en la EEMAC de la Facultad de Agronomía se realizó la trilla de éstas mediante una cosechadora estática con cilindro de lastras girando a una velocidad de 1000 rpm.

-No. tallos/metro: a floración, en los mismos surcos donde se midió implantación se contó el número de tallos.

-Nº panojas/metro: a cosecha, en los mismos surcos donde se midió implantación y tallos por metro se contó el número de panojas.

-Peso de 1000 granos a cosecha: del grano trillado por parcela se sacaron tres submuestras, cada una de 100 granos, determinando en base a éstas el peso de 1000 granos.

-Rendimiento por panoja: se obtuvo utilizando el número de panojas/metro y el rendimiento total de los 10 metros lineales trillados.

-Nº granos por panoja: se calculó en base al peso promedio de grano, y el rendimiento por panoja.

### 3.2.3. Materia seca

Se realizó el cálculo del % de MS a partir de sub-muestras de aproximadamente 0.3 Kg. de 10 plantas consecutivas de cada parcela a las que se le midió área foliar. Las muestras se realizaron en V3, V6, embuche, floración, medio grano y madurez fisiológica, cortando las plantas al ras del suelo.

En la cosecha se cortaron al ras del suelo las plantas contenidas en 10m lineales en cada parcela. Se determinó su peso fresco de la planta y su panoja por separado y el peso seco en base a una sub-muestra secada a estufa hasta peso constante. Esto permite la obtención del índice de cosecha (IC).

### 3.2.4. Agua en suelo

A la siembra, V3, V6, embuche, floración, medio grano y madurez fisiológica se hicieron muestreos de suelo de 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm de profundidad con el fin de determinar la humedad gravimétrica (HG). A la siembra y V3 los muestreos fueron representativos para todo el ensayo, ya que no había diferencias significativas entre tratamientos. Para el resto de las etapas mencionadas se tomaron tres muestras al azar de cada parcela para cada profundidad.

Se pesaron las muestras frescas y se secaron en estufa a 105°C hasta llegar a peso constante. A partir de estos datos se calculó el % de HG para cada estrato de 0.2 m.

Con el valor de HG se estimó el agua disponible por estrato utilizando las siguientes ecuaciones de Molfino y Califra (2001):

$$. CC(\%) = 2,62 + (0,48 * \% \text{ arcilla}) + (0,162 * \% \text{ limo}) + (0,023 * \% \text{ arena})$$

$$. PMP(\%) = (0,302 * \% \text{ arcilla}) + (0,102 * \% \text{ limo}) + (0,0147 * \% \text{ arena})$$

$$. AD \text{ (mm)} = ((\%HG - \%PMP) * DAP * \text{profundidad})$$

Sumando el agua disponible por estrato se obtuvo el agua disponible del perfil (0-60 cm de profundidad).

La desaparición de agua del cultivo en los periodos V3-V6, V6-embuche, embuche-floración, floración-medio grano y medio grano-madurez fisiológica se estimó como :

$$\text{Desaparición diaria (mm/día)} = (AD \text{ inicio} - AD \text{ final} + \text{lluvias}) / \text{días}.$$

$$\text{Desaparición por período (mm)} = \text{desaparición diaria} * \text{días período}.$$

$$\text{Eficiencia (Kg MS/mm)} = \text{Kg MS producidas por período} / \text{desaparición agua por período}.$$

$$\text{Tasa de crecimiento (Kg MS/ha/día)} = \text{Kg MS producidas por período} / \text{días período}.$$

### 3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cada variable de respuesta fue analizada utilizando el procedimiento MIXED del sistema Statistical Analysis Systems (Ver. 6.11 1996). Los efectos fijos fueron híbrido, población y sus interacciones y las repeticiones fueron consideradas como efectos aleatorios. Se realizaron comparaciones de media de mínimos cuadrados utilizando el test LSD con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$  establecido a priori.

Los tratamientos se agruparon de diversas formas para realizar el análisis estadístico dependiendo de lo que se buscaba comparar.

Para el análisis de agua disponible en suelo, y desaparición de agua del cultivo se agruparon las poblaciones logradas en cada híbrido en tres clases, población baja, media y alta. Los rangos fueron para el híbrido MS 102: 10,5 – 12,02 pl/m<sup>2</sup> (baja), 15,86 – 17,36 pl/m<sup>2</sup> (media) y 22,29 – 25,5 pl/m<sup>2</sup> (alta), y para el híbrido MS 109: 7,21 – 7,86 pl/m<sup>2</sup> (baja), 8,79 – 11,57 pl/m<sup>2</sup> (media) y 13,29 – 14,86 pl/m<sup>2</sup> (alta). La comparación se hizo mediante análisis de varianza.

Para comparar la respuesta a la población, el análisis se hizo para cada híbrido por separado, y no se estudió la interacción población\*híbrido debido a que las poblaciones logradas para cada uno de ellos fueron muy diferentes. La evolución de MS/planta y MS/ha, área foliar por planta, índice de área foliar, componentes del rendimiento, rendimiento, índice de cosecha, altura de planta y excerción se analizaron por análisis de regresión contra la población lograda en cada parcela.

Para la comparación de híbridos, se consideraron sólo los tratamientos que lograron un rango de poblaciones comparables (110.000 a 158.600 pl/ha). La comparación se hizo mediante análisis de varianza para las variables rendimiento, componentes de rendimiento, AF/planta, IAF, MS/planta, MS/ha, altura de planta, excerción, agua disponible en suelo, consumo de agua.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CRECIMIENTO

No existieron diferencias importantes en temperatura entre las promedio históricas y las del año del experimento, por lo tanto se puede considerar al año como normal en cuanto a este factor.

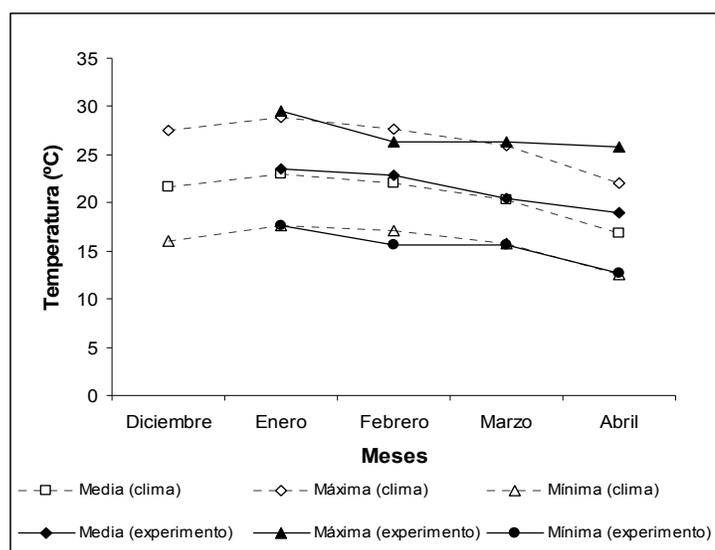


Figura No. 3. Temperaturas mensuales para el período diciembre-abril del 2007/08 y las climatológicas (1971-2000)

Es importante considerar que las temperaturas de abril fueron más altas que las climatológicas, ya que fueron calculados sólo para los 10 primeros días del mes.

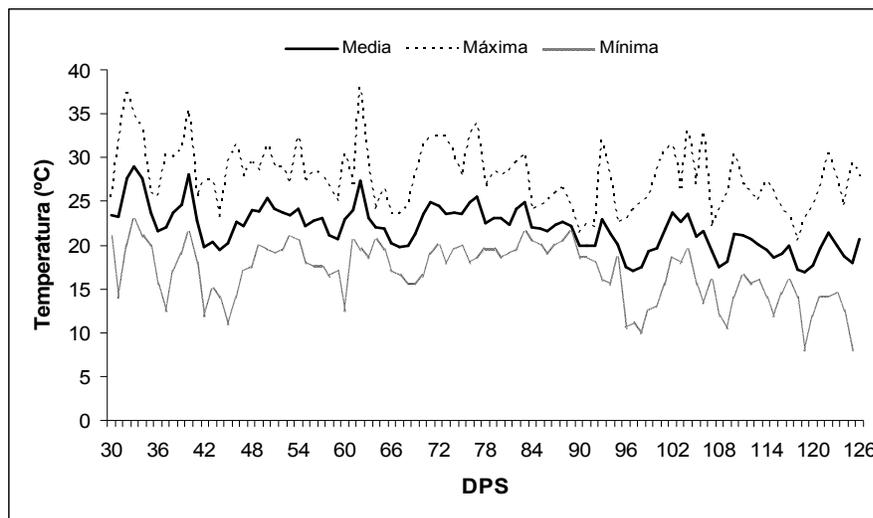


Figura No. 4. Temperaturas máxima, mínima y promedio zafra 07/08 localidad de Santa Regina según día pos siembra

Las temperaturas fueron adecuadas para el crecimiento y desarrollo del cultivo ya que al ser siembra de segunda la temperatura mínima del suelo estuvo por encima de los 10°C, pudiendo así germinar sin problemas en cuanto a éste factor. Según Amarante et al., citados por García Préchac (1998) en las condiciones de Uruguay se han observado fallas en cultivos de sorgo sembrados sin laboreo a mediados de octubre, no ocurriendo lo mismo al realizarse la siembra un mes más tarde.

El ciclo de los híbridos utilizados fue mayor que el ciclo reportado en la evaluación nacional de cultivares para siembras de segunda (fecha de siembra: 30/11/06). El ciclo a 50% de floración para el híbrido MS 102 es de 61 días en la evaluación de cultivares y en el experimento fue de 77 días, y para el híbrido MS 109 el ciclo es de 64 días y en el experimento fue de 82 días. Éste comportamiento es debido al déficit hídrico que hubo previo a floración que hizo alargar la fase vegetativa.

Las precipitaciones que ocurrieron desde 30 días previo a la siembra hasta la cosecha fueron inferiores al promedio de la serie histórica 1961–1990 en un 30% (368 mm vs. 528 mm); lo que nos permite caracterizar a la estación de crecimiento como “seca”. En el siguiente gráfico se puede apreciar que las deficiencias hídricas se venían acumulando previo a la siembra del cultivo, ya que solo enero se puede caracterizar como un “año promedio”.

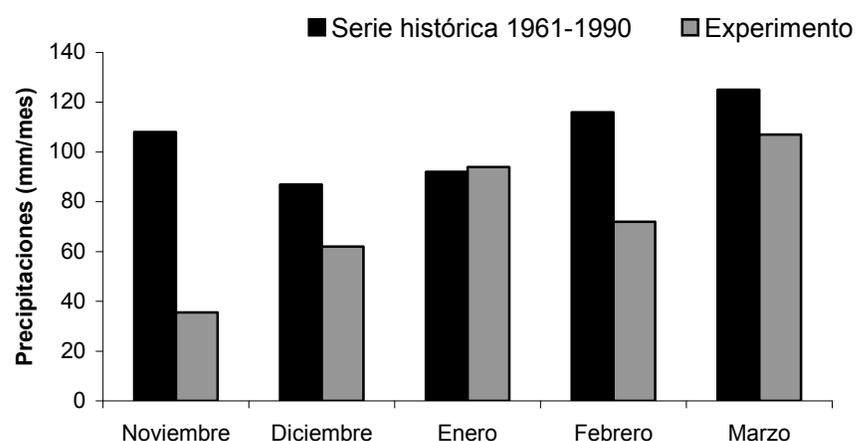


Figura No. 5. Precipitaciones mensuales para el período noviembre-marzo del año 07/08 y del promedio de la serie histórica 1961-1990

Cuadro No. 6. Precipitaciones por período y acumulado para cada híbrido

| Precipitaciones (mm)  |        |                  |        |                  |
|-----------------------|--------|------------------|--------|------------------|
|                       | MS 102 | Acumulado MS 102 | MS 109 | Acumulado MS 109 |
| -30 - -15             | 30,4   | 30,4             | 30,4   | 30,4             |
| -15 - 0               | 21     | 51               | 21     | 51               |
| 0 - V3                | 16     | 67               | 16     | 67               |
| V3 -V6                | 62     | 129              | 62     | 129              |
| V6 - embuche          | 102    | 231              | 102    | 231              |
| Embuche-floración     | 0      | 231              | 25     | 256              |
| Floración-medio grano | 112    | 343              | 95     | 351              |
| Medio grano-mad. Fis. | 25     | 368              | 17     | 368              |

La implantación del cultivo se dio sin problemas ya que previo a la siembra (2 días antes) llovieron 18 mm. Pero en la etapa vegetativa se dieron deficiencias de agua lo que provocó que el ciclo del cultivo se extendiera, la duración del período siembra-embuche fue mayor a la registrada en la evaluación de cultivares de INIA La Estanzuela. El cultivo inició su etapa reproductiva luego de 32 mm que llovieron 2 días previos a embuche. Debido a las diferencias de ciclo entre híbridos, el híbrido MS 109 tuvo más agua

disponible en embuche y floración, difiriendo significativamente (Apéndice No.1), disminuyendo así la competencia en el período crítico por este factor con respecto al híbrido MS 102. Lo importante es el momento en que ocurrieron las precipitaciones, entorno a la floración del cultivo (Siri, 1994) y embuche (Herron et al. 1963, Stone et al. 1964).

## 4.2. RESPUESTA AL AGUA DISPONIBLE EN SUELO

### 4.2.1. Evolución del agua disponible en suelo

En las siguientes gráficas se muestra la evolución de agua disponible en suelo para ambos híbridos y las precipitaciones ocurridas durante la estación de crecimiento.

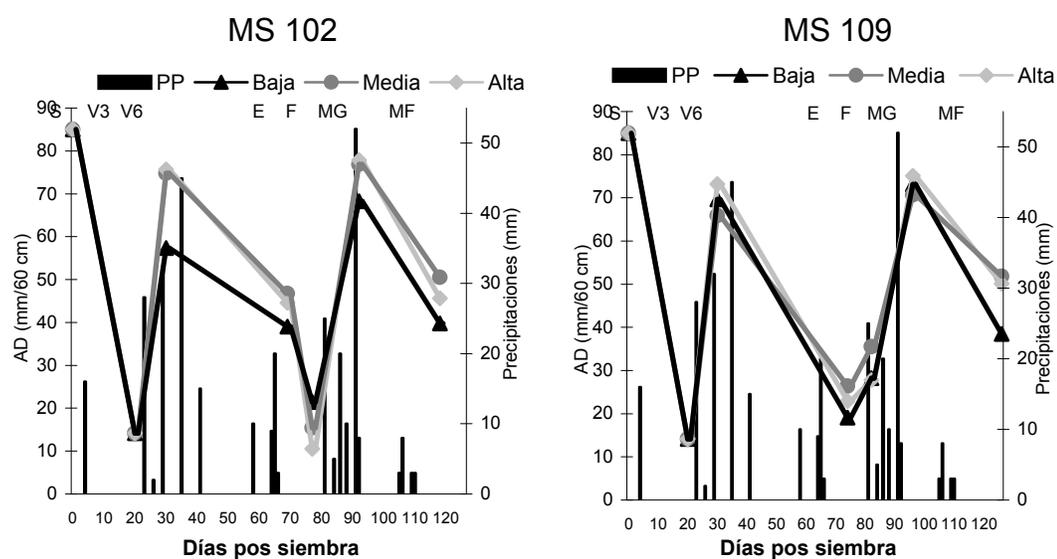


Figura No.6. Evolución del agua disponible en el suelo en 60 cm de profundidad, para los híbridos MS 102 (izq.) y MS 109 (der.), para tres niveles de población, y precipitaciones.

Cuadro No.7. Población promedio según híbrido

| <b>Población</b> | <b>MS 102</b> | <b>MS 109</b> |
|------------------|---------------|---------------|
| Baja             | 11,19         | 7,62          |
| Media            | 16,62         | 9,98          |
| Alta             | 24,4          | 14,24         |

La capacidad de almacenaje de agua disponible del suelo en el que se realizó el experimento es de 112 mm. La disponibilidad de agua para el período fue menor a 85 mm (máximo medido de agua disponible a la siembra) o sea que el suelo no llegó a estar a capacidad de campo en ningún momento del período (Figura No.6).

Al ser un cultivo de segunda, el cultivo de invierno anterior consumió el agua del suelo, y las precipitaciones que se dieron entre madurez fisiológica del cultivo de invierno y siembra de sorgo no fueron suficientes para recargarlo. La reserva de agua en suelo a la siembra de sorgo fue de un 76% del agua potencialmente disponible. Resultados obtenidos por Sawchik (2004), muestran que el agua disponible a la siembra de los cultivos de segunda en años secos se ubica entorno al 50%.

Igualmente, si el suelo hubiera estado a capacidad de campo, el agua reservada no sería suficiente para todo el ciclo del cultivo, pero daría mayor autonomía en el uso de agua sin comprometer el rendimiento del cultivo, permitiendo esperar algunos días más las precipitaciones.

La fecha de muestreo modificó significativamente la cantidad de agua disponible en el suelo en 0-60 cm. (Apéndice No.2), pero las poblaciones evaluadas no determinaron diferencias significativas excepto a V6 ( $Pr > F$  0,09) (Apéndice No.1).

La disponibilidad de agua a la siembra y V3 fue la misma para ambos híbridos y para los tres niveles de población, ya que se midió a partir de una sola muestra de toda la chacra.

Luego en V6 no hubieron diferencias significativas en la disponibilidad de agua entre híbridos, pero sí hubo una tendencia para población y la interacción híbrido\*población (Apéndice No.4). Se cuantificó una tendencia a mayor

disponibilidad de agua en la población alta con relación a la población baja (Apéndice No.5).

El híbrido MS 109 llegó a embuche (día 74 y 69 para el híbrido MS 109 y MS 102 respectivamente) con menos agua disponible en suelo que el MS 102 (47% menos). Esto se explica por las precipitaciones ocurridas a los 65 días pos siembra que permitieron recargar el suelo. El híbrido MS 102 alcanzó el estadio de embuche 5 días antes que el MS 109. El consumo de agua diferido en el tiempo es la explicación para diferente cantidad de agua en el suelo a estadio constante pero fecha variable por ciclo. A partir de este estadio y hasta fin del ciclo del cultivo no hubo diferencias significativas en cantidad de agua disponible en suelo para las diferentes poblaciones de ambos híbridos.

Durante el período embuche-floración el agua del suelo continuó bajando por el consumo del cultivo. La menor disponibilidad de agua a floración ocurrió en el híbrido MS 102 ya que el día previo a la medición de agua disponible a floración del híbrido MS 109, llovieron 25 mm, lo que permitió que tuviera mayor disponibilidad de agua (48%) en su momento crítico (Apéndice No.3).

Resumiendo, el híbrido MS 102 tuvo menos agua disponible cuando estuvo en su momento crítico de definición de rendimiento (embuche-floración). El híbrido MS 109, por ser de ciclo más largo, estaba aun en etapa vegetativa, iniciando la etapa reproductiva. Las lluvias permitieron que este híbrido tuviera mayor disponibilidad de agua durante parte del período crítico. El resultado se explica por diferencias de ciclo y no por consumo diferencial de agua entre híbridos (escape).

En la figura No. 7 se presenta la evolución del agua disponible en suelo para ambos híbridos a diferentes profundidades de suelo.

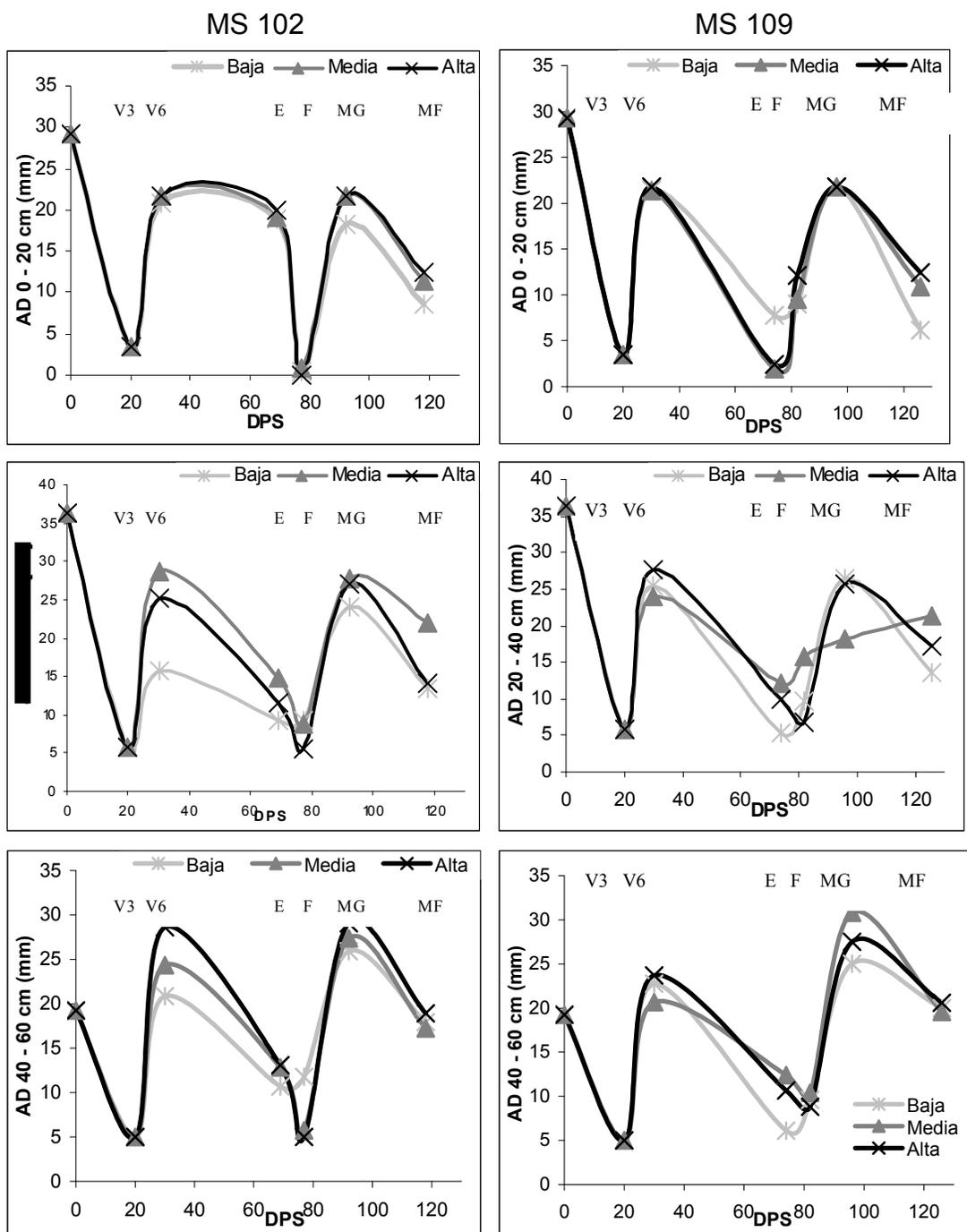


Figura No.7. Evolución del agua disponible por profundidad (mm/0-20 cm, mm/20-40 cm, mm/40-60 cm) para los híbridos MS 102 (izq.) y MS 109 (der.), al incrementarse la población ( $pl/m^2$ )

El agua disponible a fecha fija para ambos híbridos a 3 niveles de profundidad, 0 a 20 cm, 20 a 40 cm y 40 a 60 cm, no difirieron significativamente entre poblaciones, o sea que el sorgo absorbió el agua hasta 60 cm de profundidad independientemente de la población. Esto se puede deber a la poca diferencia entre las poblaciones evaluadas, y también a la baja disponibilidad de agua en el perfil, consumiéndose toda el agua disponible (Apéndice No.4 y No.5). Los resultados no son coincidentes con lo encontrado por García et al. (2008), en otra localidad, lo que puede explicarse porque lograron un mayor diferencia en el rango de poblaciones evaluadas con respecto al obtenido en el presente experimento (híbrido MS 102 207.000, 345.000 y 398.000 pl/ha, híbrido MS 109 176.000, 236.000, 321.000 pl/ha contra híbrido MS 102 130.000, 160.000 y 260.000 pl/ha, híbrido MS 109 80.000, 120.000, 157.000 pl/ha respectivamente).

El agua disponible por estrato de suelo se modificó significativamente en función del momento de determinación (Apéndice No.4 y No.5).

Para el híbrido MS 102, a V6 y medio grano la disponibilidad de agua fue mayor que a embuche y madurez fisiológica, y en éstas etapas fue mayor que a V3 y floración. Y para el híbrido MS 109, la disponibilidad a V6 y medio grano fue mayor que a madurez fisiológica, embuche y floración, y en éstas fue mayor que a V3.

#### 4.2.2. Desaparición de agua

No hubo diferencias en desaparición de agua entre híbridos ni entre poblaciones dentro de híbridos, en el ciclo total (Apéndice No.6).

La desaparición de agua total estimado fue entorno a los 334 mm para ambos híbridos. Según Carrasco, citado por Siri (2004) a partir de los 450 mm de agua el índice de cosecha se hace independiente de la evapo transpiración total. O sea, con precipitaciones menores a 450mm se pierde la relación materia seca-rendimiento, modificándose el índice de cosecha, pasando a tener mayor importancia la eficiencia en el uso del agua. A partir de esta información se infiere que el rendimiento en grano estuvo afectado por la evapo transpiración total en éste experimento. En base a esto, debió modificarse la producción de biomasa y el índice de cosecha en función de, al menos, los extremos de población evaluados. Sin embargo, el índice de cosecha, se mantuvo constante entre poblaciones (Apéndice No. 20).

La desaparición de agua durante cada uno de los estadios de desarrollo fue diferente. Hasta V6 el consumo fue similar para ambos híbridos, pero a partir de

éste estadio, comienzan a diferenciarse en largo de ciclo, lo que determinó que la desaparición de agua por período sea diferente.

Desde el estadio V6 hasta embuche en el híbrido MS 109 desapareció un 15% más de agua que el MS 102 ( $Pr > F$  0,01, Apéndice No. 6) debido a un mayor IAF (V6  $Pr > F$  0,0432, embuche  $Pr > F$  0,0176). Debe tenerse en cuenta además, que la población lograda para el híbrido MS 109 fue menor (Cuadro No. 3), por lo tanto la diferencia en desaparición de agua por planta individual es aún mayor para el híbrido MS 109. Durante el período embuche-floración, en el híbrido MS 102 desapareció un 40% más de agua con respecto al MS 109, éste es el período donde se dieron las mayores diferencias en desaparición de agua ( $Pr > F$  0,048, Apéndice No. 6). Pero el híbrido MS 102 definió igual número de granos/panoja que el MS 109 (no hay diferencias significativas), y presentó un menor PMG ( $Pr > F$  0.001) (Cuadro No.7) consecuencia de la mayor fosa definida (no significativa) y población del híbrido MS 102. Durante el período floración-medio grano no hubo diferencias en desaparición de agua entre híbridos. Después en el período medio grano-madurez fisiológica hay tendencia haber diferencias significativas entre híbridos ( $Pr > F$  0,1), desapareciendo un 20% más de agua en el híbrido MS 102 (Apéndice No.6).

En las gráficas siguientes se muestra la desaparición diaria de agua para cada uno de los híbridos a tres poblaciones diferentes, las que no coinciden entre híbridos.

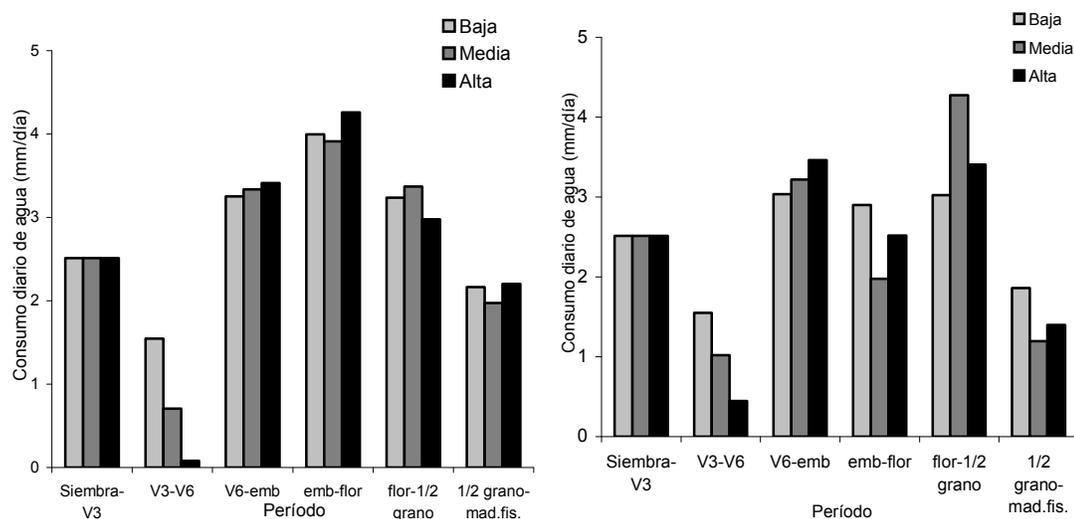


Figura No.8. Desaparición de agua diaria según períodos para los híbridos MS 102 (izq.) y MS 109(der.), al incrementarse la población (planta/m<sup>2</sup>)

La desaparición de agua diaria para ambos híbridos no difirieron significativamente entre poblaciones.

En el período medio grano-madurez fisiológica los híbridos difieren significativamente ( $Pr > F$  0,0153, Apéndice No.7), desapareciendo en el híbrido MS 102 un 42% más de agua por día que el híbrido MS 109.

Comparando las desapariciones máximas del experimento con los consumos potenciales citados por Keese, citado por Siri (2004), éstas no llegaron al 50% del potencial, explicado por la deficiencia hídrica durante el ciclo del cultivo (Figura No.9).

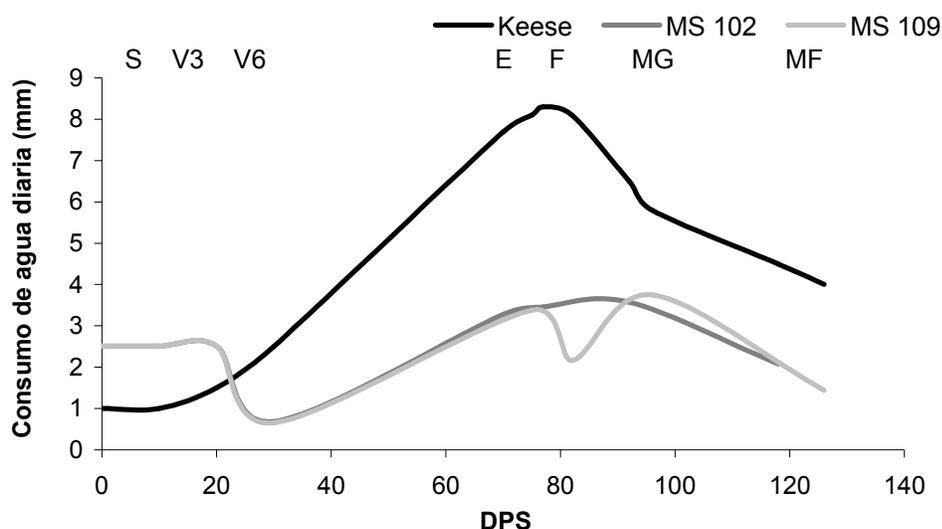


Figura No.9. Consumo diario de agua potencial (Keese, citado por Siri, 2004) y desaparición de agua para los híbridos MS 102 y MS 109 en el experimento

#### 4.2.3. Eficiencia en el uso del agua

Tampoco hubo diferencias significativas en eficiencia en el uso del agua entre híbridos, población e interacción híbrido\*población. Sólo hubo durante el período V6-embuche, cuando para el efecto híbrido sólo se vio tendencias ( $Pr > F$  0,07), para el efecto población sí hubo diferencias significativas ( $Pr > F$  0,01), y para el efecto de la interacción también hubo diferencias ( $Pr > F$  0,048) (Apéndice No.8). Para el efecto población se vio diferencias significativas entre la población baja con respecto a la media y alta. O sea que las poblaciones altas fueron más eficientes en la producción de biomasa por milímetro de agua desaparecido, con respecto a las bajas poblaciones (Figura No.10), esto se

debe a lo dicho por Carrasco, citado por Siri (2004) con consumos de agua menores a 450 mm el rendimiento se hace dependiente de la evapotranspiración total, modificándose el índice de cosecha, pasando a ser más importante la eficiencia en el uso del agua. Las bajas poblaciones tienen baja eficiencia en el uso del agua debido a que parte de ésta se evapora directamente del suelo sin ser evapotranspirada por las plantas, produciendo menos biomasa por hectárea.

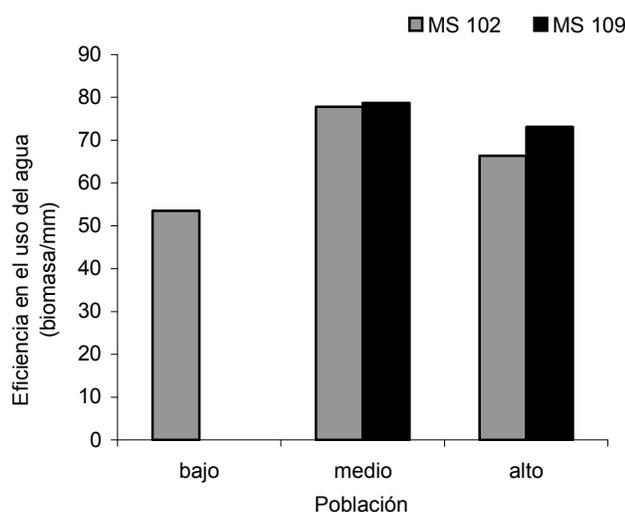


Figura No.10. Eficiencia en el uso del agua período V6-embuche para los híbridos MS 102 y MS 109, al incrementarse la población (planta/m<sup>2</sup>)

### 4.3. EFECTOS SOBRE EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO

#### 4.3.1. Efectos sobre el crecimiento y desarrollo según población

El rango de poblaciones efectivamente logradas estuvo entre 72-250 mil plantas/ha. El menor rango correspondió al híbrido MS 109 (72-149 mil plantas/ha) y el más alto al híbrido MS 102 (105-255 mil plantas /ha). En promedio se lograron 106 y 174 mil plantas/ha (para los híbridos MS 109 y MS 102 respectivamente).

La distribución de plantas en la hilera fue heterogénea debido a fallas a la siembra, y no fue posible homogeneizarla, por lo tanto, es conveniente tener presente este factor al momento de la interpretación de los resultados. La distancia entre hileras fue de 70 cm, por lo que la competencia inter planta en la hilera ocurrió con anterioridad a aquella impuesta entre plantas de diferentes hileras.

#### 4.3.1.1. Producción y distribución de materia seca (MS)

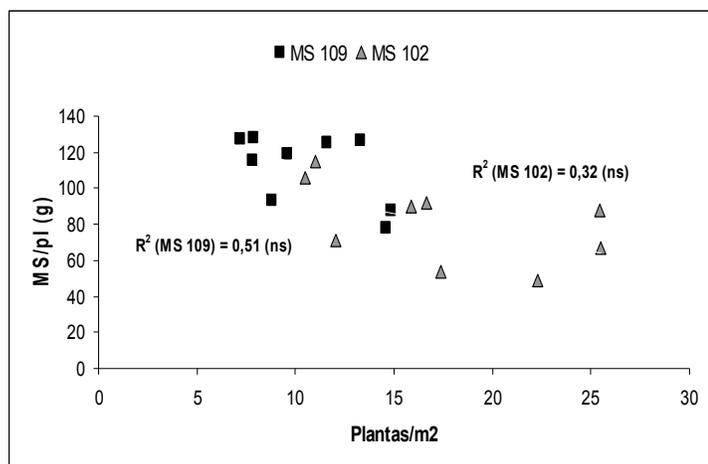


Figura No. 11. Biomasa/planta en madurez fisiológica según población para los híbridos MS 102 y MS 109

Debido a diferencias genéticas hay diferencias en biomasa/planta para cada híbrido, con una leve tendencia a disminuir (no significativa, MS 102  $Pr>F$  0,246 y MS 109  $Pr>F$  0,1769) la biomasa/planta en madurez fisiológica frente al incremento poblacional.

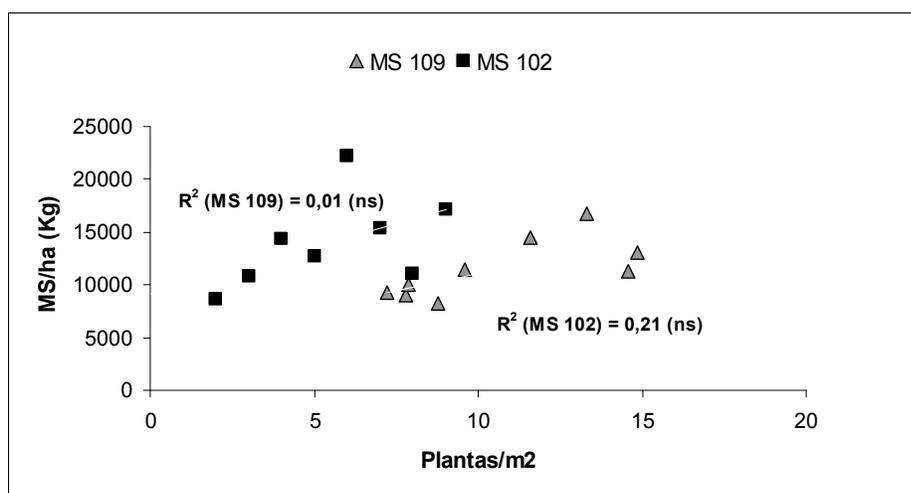


Figura No.12. Biomasa/ha en madurez fisiológica según población para los híbridos MS 102 y MS 109

Para ambos híbridos se presentó una tendencia de evolución de la biomasa/ha junto al aumento de población (Figura No.15. y Cuadro No.9.),

coincidiendo con los resultados obtenidos por Ghisellini y Holtz (1985), Alcoz et al. (1988), Ayala y Sawchik (1988), García et al. (2008).

Al no presentar la biomasa/ha en madurez fisiológica para ambos híbridos un aumento significativo frente al incremento poblacional (Apéndice No.16), y el rendimiento en grano permaneció prácticamente invariable (Apéndice No.20), el índice de cosecha no presentó una tendencia significativa (Figura No.13).

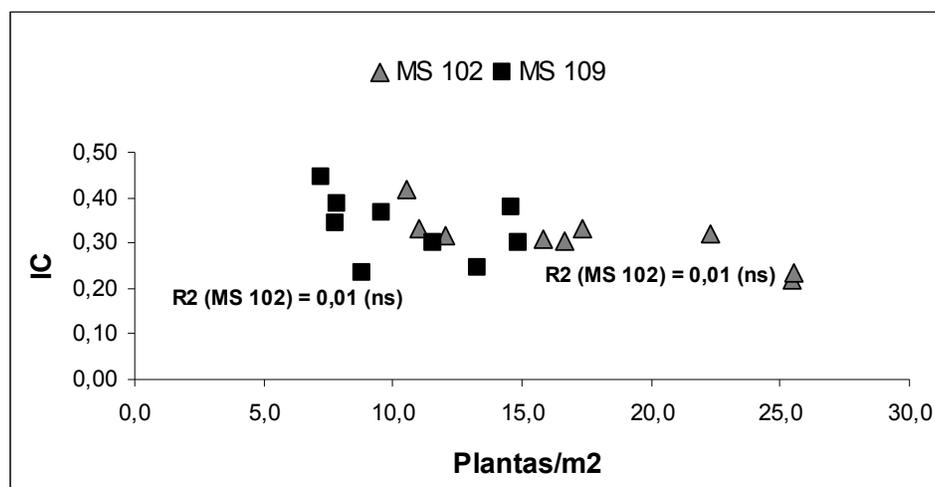


Figura No.13. Índice de cosecha según población para los híbridos MS 102 y MS 109

En el caso del ensayo no hubieron diferencias significativas en el índice de cosecha frente al aumento poblacional para los dos híbridos (Apéndice No. 20), no presentando una tendencia negativa como lo muestran los resultados de García et al. (2008).

Se hizo un estudio de la evolución de la biomasa a lo largo de las distintas etapas fisiológicas (V3, V6, embuche, floración, medio grano y madurez fisiológica) para las diferentes poblaciones en ambos híbridos (MS 102 y MS 109).

Cuadro No.8. Evolución de la significancia de biomasa/planta según población para el híbrido MS 102 y para el híbrido MS 109

| Híbrido          | V6   | Embuche | Floración | Medio grano | Madurez fisiológica |
|------------------|------|---------|-----------|-------------|---------------------|
| MS 102<br>(Pr>F) | 0,36 | 0,81    | 0,1       | 0,72        | 0,25                |
| MS 109<br>(Pr>F) | 0,75 | 0,88    | 0,23      | -           | 0,18                |

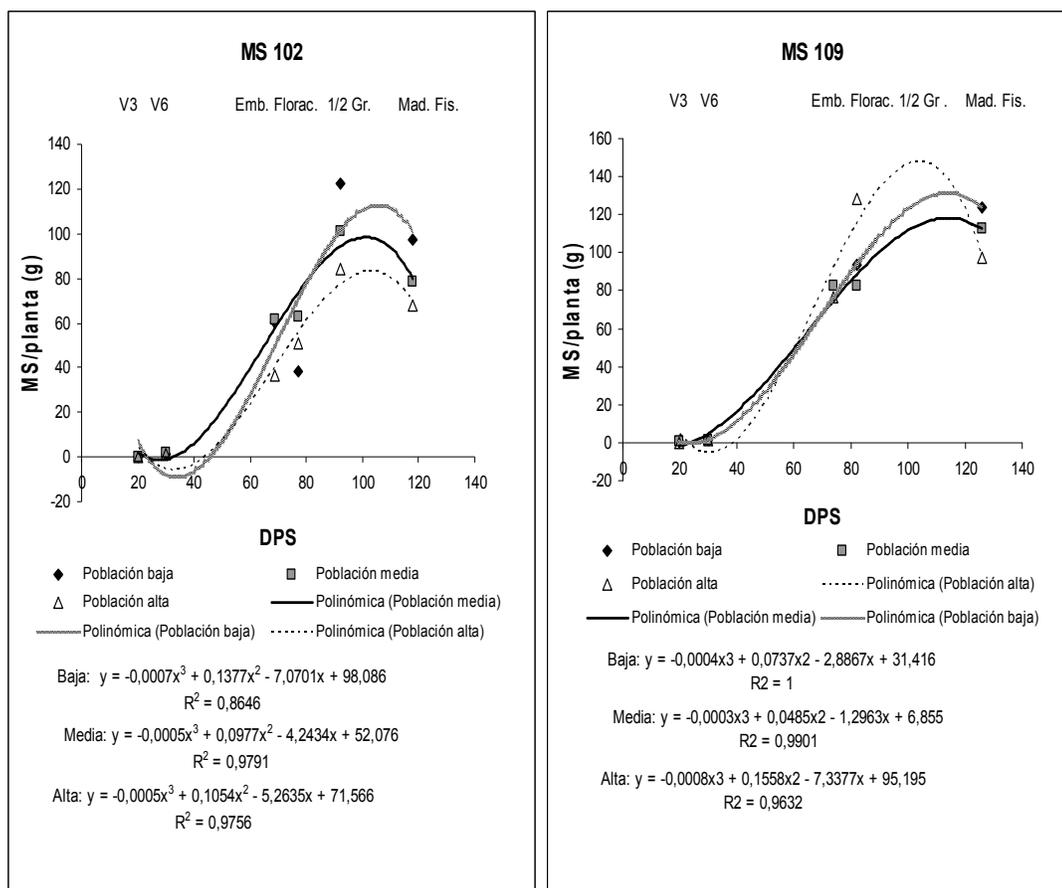


Figura No. 14. Evolución de biomasa/planta según población e híbrido para el híbrido MS 102 (izq.) y MS 109 (der.)

En todas las etapas fisiológicas el híbrido MS 102 y el híbrido MS 109 no presentan diferencias significativas en la biomasa/planta frente al incremento poblacional (Apéndice No.13 y No.14), lo que probablemente se debió a las bajas poblaciones utilizadas en el presente trabajo, ya que los resultados obtenidos por García et al. (2008) con poblaciones más altas (17-43 plantas/m<sup>2</sup>) muestran para ambos híbridos diferencias significativas. Al no haber diferencias significativas en V3 y V6 hubo coincidencia con los resultados obtenidos por Alcoz et al. (1988), García et al. (2008), ya que el aumento de población en estas etapas fisiológicas no afectó la competencia en la hilera.

En floración el híbrido MS 102 presentó una tendencia a la disminución de biomasa/planta ( $p < 0.098$ ) al incrementar la población, mientras que el híbrido MS 109 no la mostró (Cuadro No.8). Aunque en esa etapa fisiológica, que es el momento de concreción del tamaño de panoja (en floración), hubo tendencia a competencia inter planta en las poblaciones más altas del híbrido MS 102, el número de granos/panoja frente al incremento poblacional no mostró diferencias significativas (Apéndice No.18). La mayor competencia inter planta en floración frente al incremento poblacional en el híbrido MS 102 se debieron a que las poblaciones utilizadas para este híbrido fueron más altas a las del híbrido MS 109, aunque las características de este último fueron favorables para la competencia (mayor tamaño de planta y ciclo más largo) (Apéndice No.13, MS 102 y No.14, MS 109; Cuadro No. 8). En madurez fisiológica ambos híbridos mostraron una leve tendencia (no significativa) de disminución de la biomasa/planta frente al aumento poblacional, consecuencia de una leve competencia acumulada durante todo el tiempo del ciclo (Apéndice No.13, MS 102 y No.14, MS 109; Cuadro No.8).

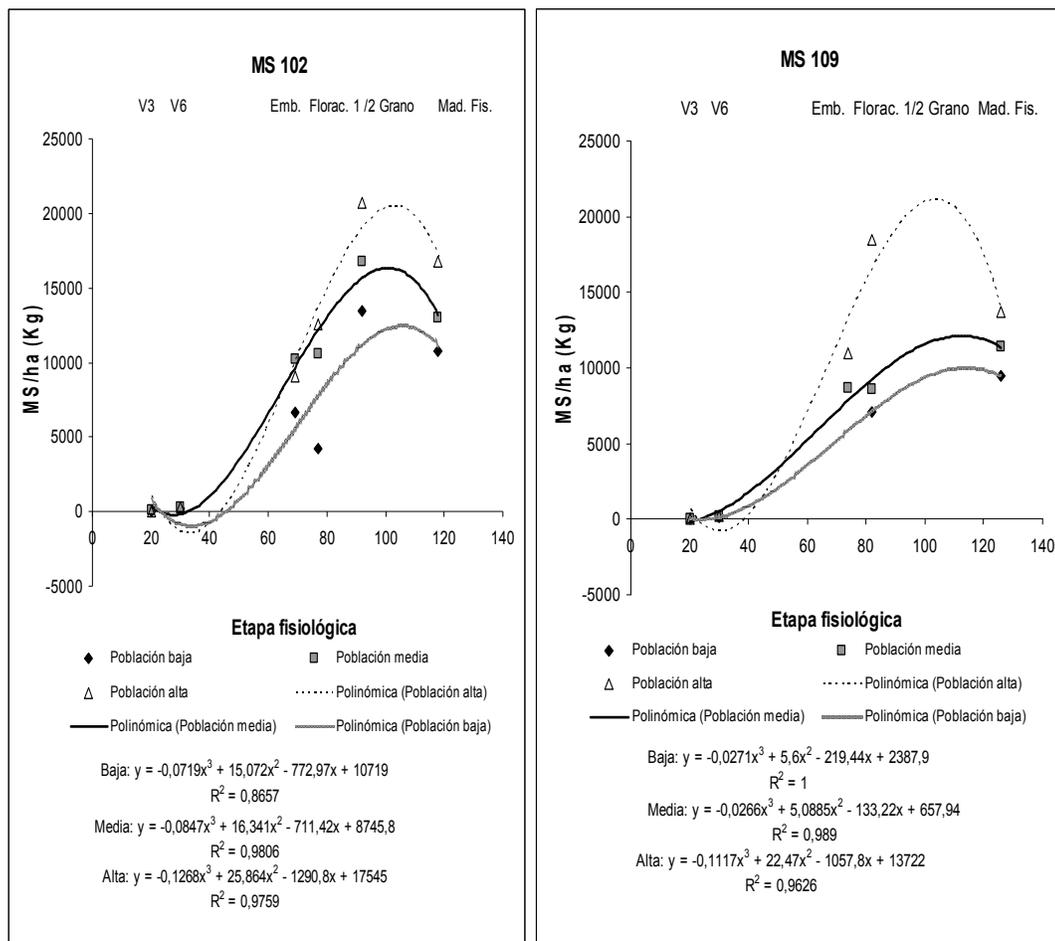


Figura No.15. Evolución de biomasa/ha según población e híbrido para el híbrido MS 102 (izq.) y para el híbrido MS 109 (der.)

Cuadro No.9. Evolución de la significancia de la biomasa/ha según población para el híbrido MS 102 y para el híbrido MS 109

| Híbrido        | V3    | V6    | Embuche | Floración | Medio grano | Madurez fisiológica |
|----------------|-------|-------|---------|-----------|-------------|---------------------|
| MS 102 (Pr> F) | 0.014 | 0.056 | 0.281   | 0.021     | 0.291       | 0.366               |
| MS 109 (Pr> F) | 0.435 | 0.254 | 0.54    | 0.077     | -           | 0.859               |

Para ambos híbridos se presentó una tendencia de evolución de la biomasa/ha junto al aumento de población (Figura No.15 y Cuadro No.9), coincidiendo con los resultados obtenidos por García et al. (2008). Hubo una tendencia general de que la biomasa/ha en el híbrido MS 102 es dependiente de la población desde las etapas fisiológicas iniciales hasta floración inclusive,

con excepción a embuche (Apéndice No.15 y No.16; Cuadro No.9). En el caso del híbrido MS 109 la biomasa/ha en ninguna etapa fisiológica presentó diferencias significativas frente al incremento poblacional (Cuadro No.9), sólo en floración hubo una tendencia muy marcada ( $p < 0.077$ ) de un crecimiento de la biomasa/ha al aumentar la población. Al presentar una mayor biomasa/ha el híbrido MS 102 frente al incremento poblacional en floración (consecuencia de una tendencia a menor biomasa/planta al aumentar la población pero mayor número de plantas) (Cuadro No.8), el consumo de agua en el período floración-medio grano también presentó diferencias significativas (Apéndice No.6 y No.7) pero fue lo contrario, a pesar de la mayor demanda de agua por una mayor biomasa/ha, el consumo a bajas poblaciones fue mayor que las de las altas. Desde floración hasta el final del ciclo para ambos híbridos no aumentó significativamente la biomasa/ha frente al aumento de población, explicado por la tendencia a la disminución de la biomasa/planta, causada por la mayor competencia inter planta al incrementarse la población (Apéndice No.16; Cuadro No.9).

#### 4.3.1.2. Parámetros de desarrollo

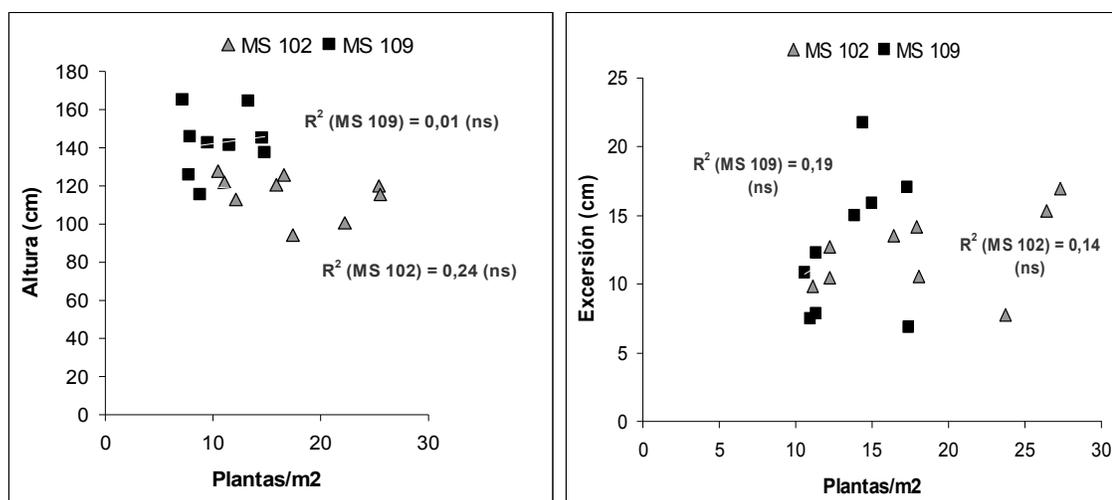


Figura No.16. Altura según población (izq.) y excisión según población (der.) para los híbridos MS 102 y MS 109

No se encontró relación significativa entre altura de planta y población (Apéndice No.17). Probablemente esto es el resultado de utilizar poblaciones consideradas bajas, en las que no hubo tanta competencia frente al incremento poblacional, y por lo tanto la altura de planta no fue afectada. En la tesis de García et al. (2008), con poblaciones más altas que en el presente trabajo, la altura de planta respondió en forma negativa frente al aumento de población.

La excerción de panoja tampoco mostró respuesta al aumentar la población (no hay diferencias significativas; Apéndice No.17), coincidiendo con la evaluación de cultivares de INIA La Estanzuela, zafra 06/07 y con los resultados de García et al. (2008).

#### 4.3.1.3. Parámetros foliares

Se hizo un estudio de la evolución del área foliar/planta (AF) y del IAF a lo largo de las distintas etapas fisiológicas (V3, V6, embuche, floración, medio grano y madurez fisiológica) para las diferentes poblaciones en ambos híbridos (MS 102 y MS 109).

Cuadro No.10. Evolución de la significancia del área foliar y del IAF según población para el híbrido MS 102 y para el híbrido MS 109

| Híbrido          | Variable | V3   | V6   | Embuche | Floración | Medio grano | Madurez fisiológica |
|------------------|----------|------|------|---------|-----------|-------------|---------------------|
| MS 102<br>(Pr>F) | AF       | 0,42 | 0,12 | 0,37    | 0,76      | 0,47        | 0,23                |
|                  | IAF      | -    | 0,56 | 0,06    | 0,17      | 0,17        | 0,14                |
| MS 109<br>(Pr>F) | AF       | 0,12 | 0,76 | 0,99    | 0,68      | 0,06        | 0,32                |
|                  | IAF      | -    | 0,14 | 0,31    | 0,45      | 1           | 0,15                |

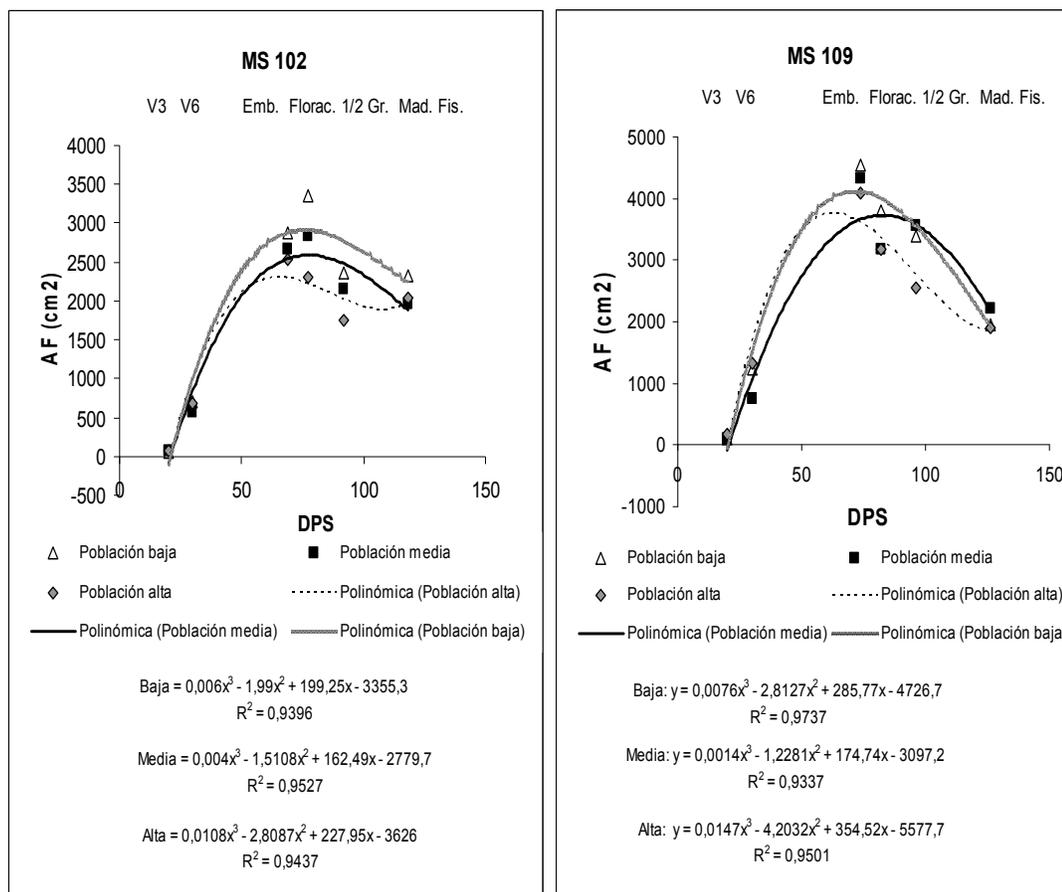


Figura No. 17. Evolución del área foliar según población para el híbrido MS 102 (izq.) y para el híbrido MS 109 (der.)

El área foliar prácticamente no muestra significancia frente al aumento poblacional para las distintas etapas fenológicas en ambos híbridos (Apéndice No.9 y No.10; Cuadro No.10). En el caso del híbrido MS 109 en medio grano es el único momento dónde el área foliar/planta fue afectado negativamente al aumentar la población ( $p < 0.056$ ), lo que no ocurrió para el híbrido MS 102, consecuencia del mayor tamaño de planta en la misma etapa fenológica del híbrido MS 109, llevando a una mayor competencia inter planta. El híbrido MS 102 no presentó diferencias significativas frente al aumento poblacional en todo el ciclo, coincidiendo con los resultados de García et al. (2008) (ensayo con poblaciones más altas). Probablemente la no respuesta a la población fue consecuencia del menor tamaño de planta del híbrido MS 102, que permitió un menor sombreado y una menor competencia inter planta. Ambos híbridos del presente trabajo prácticamente no fueron afectados en su área foliar al variar la población, habiendo obtenido una respuesta muy parecida en la biomasa/planta, ya que hay una relación estrecha entre biomasa/planta y área

foliar (Cuadro No.8 y Cuadro No.10). Se puede deducir que esta no respuesta a la población es consecuencia de una baja competencia inter planta, resultado de las bajas poblaciones del ensayo, aunque alrededor de floración hubo poca agua disponible (Figura No.6. y Figura No.7.).

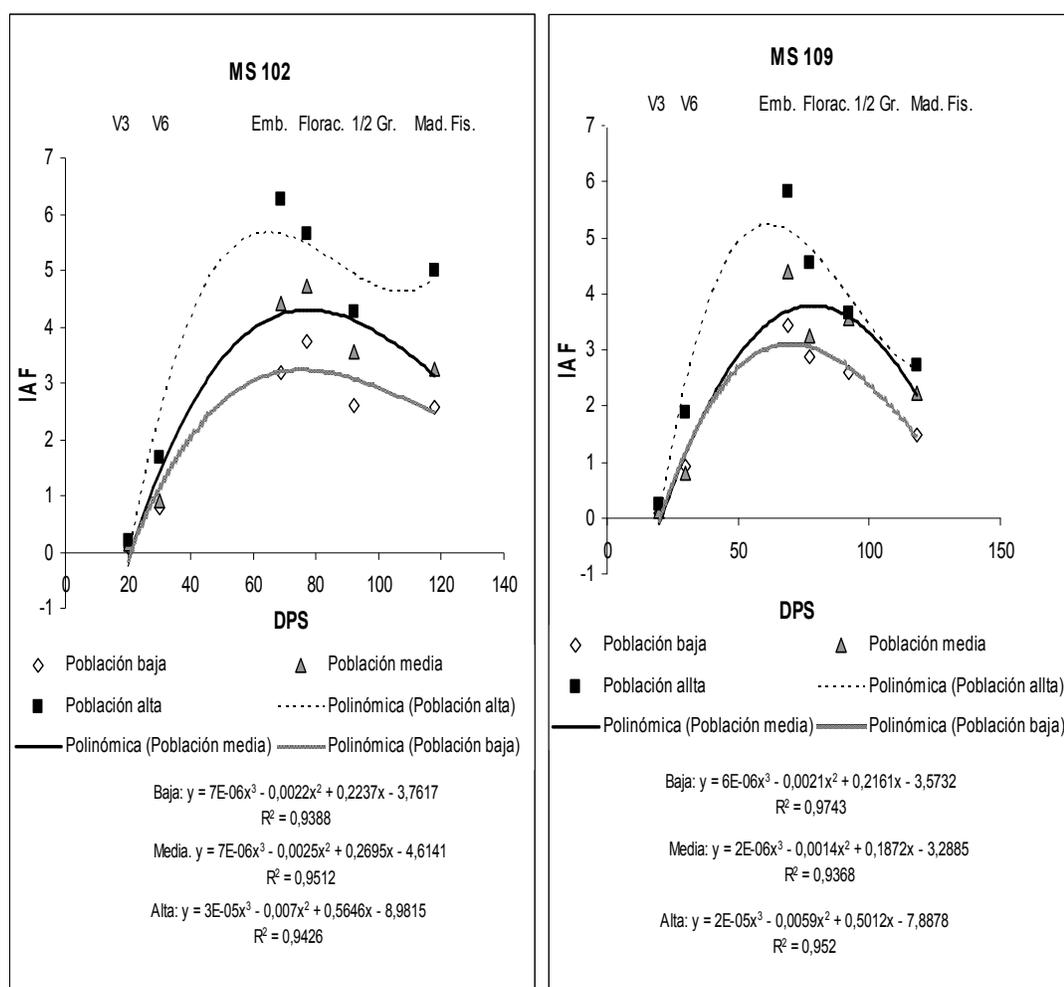


Figura No.18. Evolución del IAF según población para el híbrido MS 102 (izq.) y para el híbrido MS 109 (der.)

No hubo diferencias en IAF al variar la población (Cuadro No.10), excepto para el híbrido MS 102 en la etapa de embuche, donde sí al aumentar la población aumentó el IAF.

#### 4.3.2. Efecto híbrido sobre el crecimiento y desarrollo

##### 4.3.2.1. Producción y distribución de la materia seca según híbrido

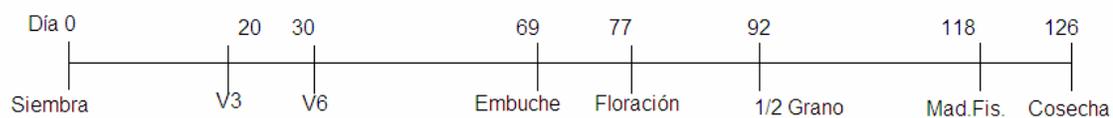
Los híbridos utilizados difieren tanto en ciclo como en porte; esto determina la diferencia en comportamiento entre ellos.

La respuesta al híbrido se analizará para poblaciones entorno a las 130.000 plantas/ha, pudiendo así comparar los híbridos a iguales poblaciones. En el siguiente cuadro se muestra las poblaciones que se tuvieron en cuenta para la comparación y en la figura No. 18 el ciclo fenológico para cada uno de los híbridos.

Cuadro No.11. Poblaciones tenidas en cuenta para el análisis de respuesta al híbrido

| Híbrido | Población (pl/ha) |
|---------|-------------------|
| MS 102  | 110.000           |
| MS 102  | 120.714           |
| MS 102  | 158.571           |
| MS 109  | 115.714           |
| MS 109  | 132.857           |
| MS 109  | 145.714           |
| MS 109  | 148.571           |

## MS 102



## MS 109

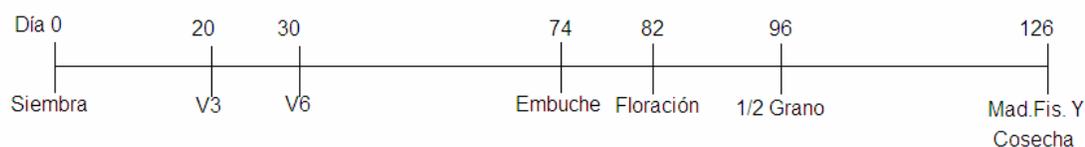


Figura No.19. Ciclo fenológico para cada uno de los híbridos en el experimento

El híbrido de ciclo corto tiene un acortamiento en el ciclo en su fase vegetativa, esto según Goldsworthy y Talyer (1970) le permitirá llegar a la etapa de definición de número de granos con un menor tamaño de planta, lo que disminuye la competencia entre plantas en ese momento.

La producción de materia seca entre híbridos no tuvieron diferencias significativas.

Cuadro No.12. Evolución de la producción de biomasa por planta según híbrido.

| Biomasa/planta (gramos) |     |      |         |         |
|-------------------------|-----|------|---------|---------|
|                         | V3  | V6   | Embuche | Cosecha |
| MS 109                  | 2,7 | 14,9 | 907,7   | 1043,5  |
| MS 102                  | 3,3 | 16,8 | 607,6   | 920,2   |
| Pr> F                   | ns  | ns   | ns      | ns      |

Valores seguidos por diferentes letras dentro de columnas difieren entre sí

Cuadro No.13. Evolución de la producción de biomasa por hectárea según híbrido.

| Biomasa/ha (Kg/ha) |       |        |         |         |
|--------------------|-------|--------|---------|---------|
|                    | V3    | V6     | Embuche | Cosecha |
| MS 109             | 36,75 | 201,25 | 12103   | 13920   |
| MS 102             | 43,33 | 215,33 | 8210    | 11836   |
| Pr> F              | ns    | ns     | ns      | ns      |

Valores seguidos por diferentes letras dentro de columnas difieren entre sí.

A cosecha ambos híbridos llegaron con la misma producción de biomasa por planta y por hectárea, y a su vez tampoco se vieron diferencias significativas en rendimiento en grano ni en el índice de cosecha (Cuadro No.12, No.13 y No.14).

Lo obtenido en el experimento no coincide con lo mencionado por Blum (1970), Fischer y Wilson (1975), Hume y Kebede (1981), quienes obtuvieron que a poblaciones bajas, los híbridos de ciclo largo producen mayor cantidad de materia seca total que sus similares de ciclo corto.

Tampoco coincide con Artola, citado por Algorta y Carcabelos (2007) quien reporto que los materiales de ciclo largo producen un 8,1% más de forraje que de grano, y que los de ciclo corto rinden un 12,8% más de grano, siendo esto explicado por la diferencia de longitud en los períodos vegetativos entre los dos materiales.

Cuadro No.14. Producción de MS a cosecha, rendimiento en grano e índice de cosecha según híbrido.

|        | MS cosecha (Kg/ha) | Rend. Grano (Kg/ha) | IC   |
|--------|--------------------|---------------------|------|
| MS 102 | 11836              | 4386                | 0,32 |
| MS 109 | 13920              | 5009                | 0,31 |
| Pr>F   | ns                 | ns                  | ns   |

Valores seguidos por diferentes letras dentro de columnas difieren entre sí

## 4.3.2.2. Parámetros de desarrollo

Cuadro No.15. Altura de planta y excerción de la panoja para los híbridos MS102 y MS 109 del ensayo y evaluación de cultivares de INIA LE 2ª 06/07.

|        | Altura |                  | Excerción |                  |
|--------|--------|------------------|-----------|------------------|
|        | Tesis  | INIA LE 2ª 06/07 | Tesis     | INIA LE 2ª 06/07 |
| MS 102 | 118 A  | 135              | 11        | 16               |
| MS 109 | 147 B  | 160              | 15        | 16               |
| Pr>F   | 0,01   |                  | ns        |                  |

Valores seguidos por diferentes letras dentro de columnas difieren entre sí

En el ensayo se vieron diferencias significativas para altura de planta, el híbrido MS 109 supero en 29 cm al MS 102. Pero comparando éstas alturas con la evaluación de cultivares para siembras de segunda en INIA La Estanzuela, las alturas logradas son inferiores en 16 y 13 cm para el híbrido MS 102 y MS 109 respectivamente.

Pero la diferencia en altura de planta en el experimento no afectó la producción de biomasa a cosecha, en la cuál no se vieron diferencias significativas entre híbridos (Cuadro No. 12 y No. 13).

Para excerción de panoja no se vieron diferencias significativas entre híbridos, aunque ésta es mayor en 4 cm para el híbrido MS 109 (Cuadro No.15). Pero esto coincide con la evaluación de cultivares en que no se dan diferencias entre híbridos para esta característica.

O sea que podemos decir que no se dio déficit hídrico severo entorno a embuche, ya que si se hubieran dado se hubiera afectado la excerción de la panoja según lo dicho por Carrasco, citado por Siri (2004).

## 4.3.2.3. Parámetros foliares

Cuadro No.16. Evolución del área foliar según híbrido

|        | V3       | V6       | Embuche  | Floración | Mad. fisiológica |
|--------|----------|----------|----------|-----------|------------------|
| MS 102 | 57,72 A  | 730,9 A  | 2717,3 A | 2776,1    | 1935,8           |
| MS 109 | 157,21 B | 1242,1 B | 4372,6 B | 3334,8    | 2023,3           |
| Pr>F   | 0,02     | 0,02     | 0,03     | ns        | ns               |

Valores seguidos por diferentes letras dentro de columnas difieren entre sí

El área foliar aumenta diferencialmente para cada uno de los híbridos, llegando al máximo en embuche para el híbrido MS 109 y a floración para el MS 102. A partir de floración el área foliar de los híbridos se igualan, no habiendo diferencias significativas (Cuadro No. 16).

El híbrido MS 102, de ciclo más corto logra el área foliar más tardíamente, lo que permitiría según Artola, citado por Algorta y Carcabelos (2007) un mayor ahorro del agua del suelo para los momentos de floración y llenado del grano. Pero en éste trabajo no se dio así, el híbrido MS 109 tuvo más agua disponible en el perfil del suelo debido a que luego de la floración del MS 102 (día 77 post siembra) y previo a la floración del MS 109 (día 82 post siembra) llovieron 25 mm que permitieron recargar el perfil (Figura No. 6). Pero en embuche el agua disponible para el híbrido MS 109 sí era menor que para el MS 102, aunque también estaban desfasados en fechas (5 días) pero no cayeron precipitaciones.

#### 4.4. RENDIMIENTO Y COMPONENTES

##### 4.4.1. Rendimiento y componentes según población

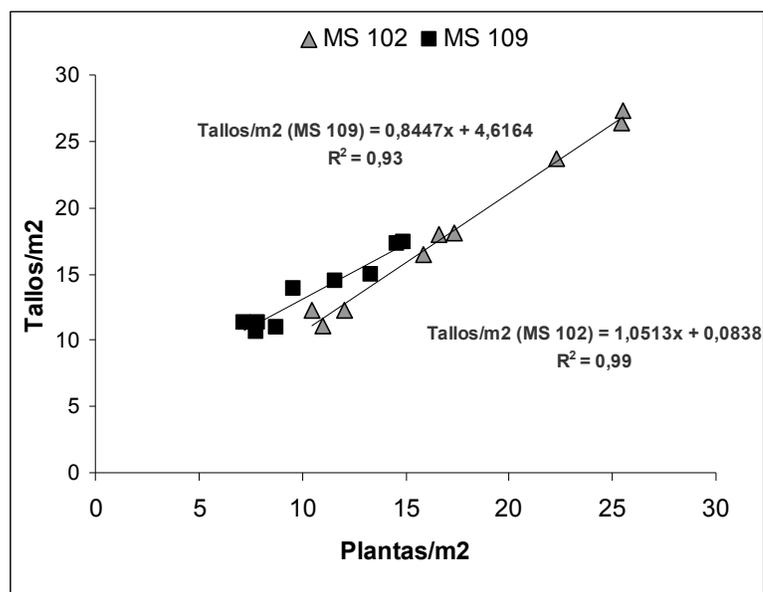


Figura No. 20. Densidad de tallos según población de plantas para los híbridos MS 102 y MS 109

A medida que aumentó la población, el número de tallos/m<sup>2</sup> se incrementó en ambos híbridos. Para el híbrido MS 109 el incremento fue un poco menos marcado, ya que hubo disminución del macollaje (Figura No.24-der.). El número de panojas/m<sup>2</sup> (Figura No.23) no mostró relación significativa con incremento de población en ambos híbridos (Apéndice No.18, MS 102 y No.19, MS 109), debido a que disminuyó la prolificidad (Figura No.21), consecuencia de que entran en acción mecanismos compensatorios como lo son la esterilidad y el macollaje.

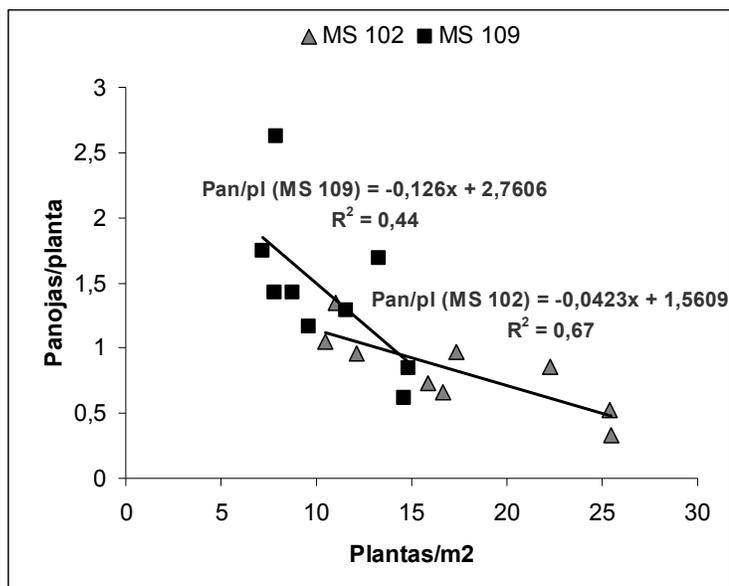


Figura No.21. Número de panojas cosechables/planta según población para los híbridos MS 102 y el híbrido MS 109

En ambos híbridos se redujo el número de panojas cosechables/planta al aumentar la población. Ésta reducción fue más importante que la observada por García et al. (2008) para los mismos híbridos. Esta diferencia se debe a las distintas distancias entre filas; en el experimento de García et al. (2008) la distancia fue de 42 cm, y en el presente fue de 70 cm. Esto provocó una mayor competencia entre plantas dentro de la hilera causando esa mayor reducción.

Comparando las panojas/m<sup>2</sup> logradas en rangos de población semejantes el híbrido MS 102 macolló más en García et al. (2008) (14 contra 22 panojas/m<sup>2</sup>).

Para ambos híbridos, dentro de los rangos de poblaciones manejadas, el número de panojas/planta se redujo prácticamente a la mitad (Figura No.21.), dejando casi invariable y no significativo el número de panojas cosechables/m<sup>2</sup> (Apéndice No.18, MS 102 y No.19, MS 109; Figura No.23). Esto se debe a la competencia inter planta en la hilera que afecta negativamente al macollaje y a la fertilidad, cómo se puede observar en la Figura No.24.

El efecto de la esterilidad con el incremento poblacional tuvo mayor poder "autorregulador de la población" que el macollaje al disminuir la población, coincidiendo con los resultados de García et al. (2008).

El macollaje es función de la densidad, temperatura y material genético (Alcoz et al., 1988). Su disminución por aumento en la densidad de plantas se

evidenció en el híbrido MS 109 y no fue tan clara en el híbrido MS 102 (Figura No.24 der.), coincidiendo para el híbrido MS 109 con Porter et al. (1960), que el macollaje está inversamente asociado al número de plantas por hectárea (corroborado también por Mann, Atkins et al., Minor, citados por Alcoz et al., 1988). Y a su vez las diferencias en macollaje entre híbridos al aumentar la población es debido a las poblaciones logradas, las que fueron superiores para el híbrido MS 102, provocando una mayor competencia entre plantas y afectando así el macollaje en mayor grado que en el híbrido MS 109.

La temperatura elevada, consecuencia de la fecha de siembra tardía, podría explicar el relativamente bajo macollaje cuantificado aun en las poblaciones menores. Esta durante la fase inicial del cultivo presenta relación inversa con el macollaje cómo lo dice Stickler, Escalada y Plucknett, Myers y Foale, citados por Alcoz et al. (1988). Alcoz et al. (1988) afirma que: "a través del efecto de la temperatura, la época de siembra interactúa con la respuesta a la población habiendo mejores condiciones de macollaje en siembras tempranas y con ello menores respuestas al aumento de población". En el caso del presente experimento, aunque la fecha de siembra tardía no fue favorable para el macollaje, no se nota respuesta a la población.

#### 4.4.1.1. Rendimiento en grano

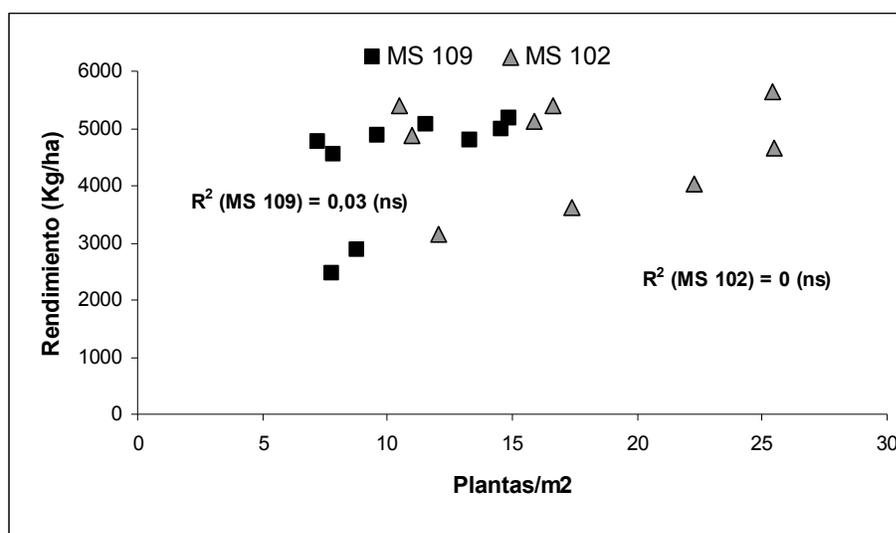


Figura No.22. Rendimiento en grano por hectárea según población para los híbridos MS 102 y MS 109

Al aumentar el número de plantas/m<sup>2</sup> no se presentaron diferencias significativas en el rendimiento/ha, no coincidiendo con los resultados de Carrasco (1985), García et al. (2008) (Apéndice No.20).

El rendimiento promedio para el híbrido MS 102 fue de 4655 kg/ha (105-255 mil plantas/ha) y para el híbrido MS 109 fue de 4399 kg/ha (72-149 mil plantas/ha). En comparación con los más recientes trabajos son valores medios, ya que Algorta y Carcabelos (2007), obtuvieron un rendimiento promedio de 6983 kg/ha (población entre 5 y 20 plantas/m<sup>2</sup>) y García et al. (2008) el rendimiento fue de 3958 kg/ha (población entre 17 y 43 plantas/m<sup>2</sup>).

Aunque el presente trabajo presentó poblaciones mucho menores al del trabajo de García et al. (2008), este tuvo rendimientos bastante más elevados seguramente por el mayor consumo promedio de agua de los híbridos (234 mm en el trabajo de García et al. (2008) contra 334 mm en el presente trabajo).

Las poblaciones mayores logradas en el ensayo (18 plantas/m) estarían por debajo del mínimo de densidad óptima citado por varios autores (Grimes y Musick 1960, Philips y Norman 1962, Karchi y Rudich 1966, Antelo et al. 1988). Estos trabajos indican que el óptimo de plantas dentro de una misma hilera varía entre 25 y 35 plantas por metro lineal, encontrándose limitado por el aumento en la esterilidad de plantas.

#### 4.4.1.2. Componentes de rendimiento

El rendimiento/ha está compuesto por el número de panojas cosechables/ha y el rendimiento por panoja. El número de panojas/ha fue independiente de la población lograda, por lo que existió compensación (Apéndice No.18, MS 102 y Apéndice No.19, MS 109).

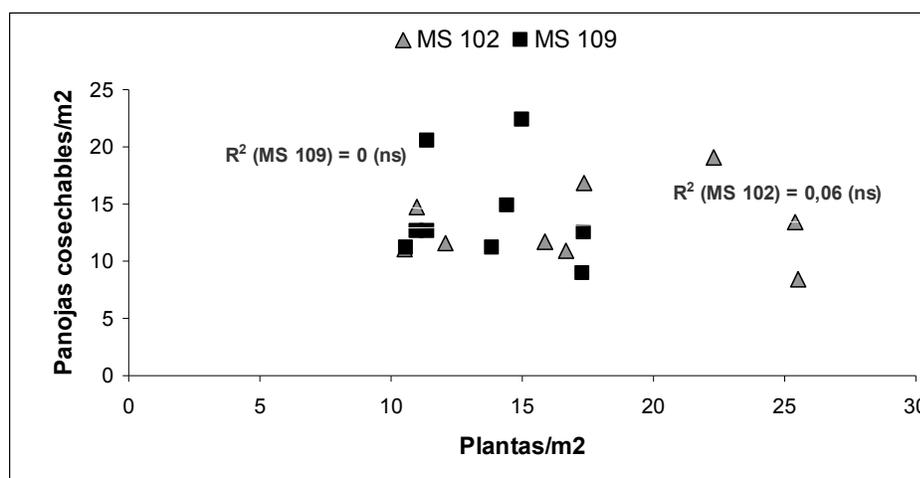


Figura No.23. Panojas cosechables/m<sup>2</sup> según población para los híbridos MS 102 y MS 109

En el caso del híbrido MS 102 el no incremento significativo (Apéndice No.18) de panojas/m<sup>2</sup> frente al aumento de la densidad es consecuencia del incremento de la esterilidad y no de la disminución del macollaje. Para el híbrido MS 109 ambas variables (la disminución del macollaje y la esterilidad) fueron determinantes de la respuesta no significativa (Apéndice No.19; Figura No.24). Al aumentar la población el número de panojas/planta para el híbrido MS 102 y el híbrido MS 109 se redujo prácticamente a la mitad (Figura No.20.), explicando la no significancia del número de panojas/m<sup>2</sup> frente al aumento de población (Apéndice No.18, MS 102 y No.19, MS 109).

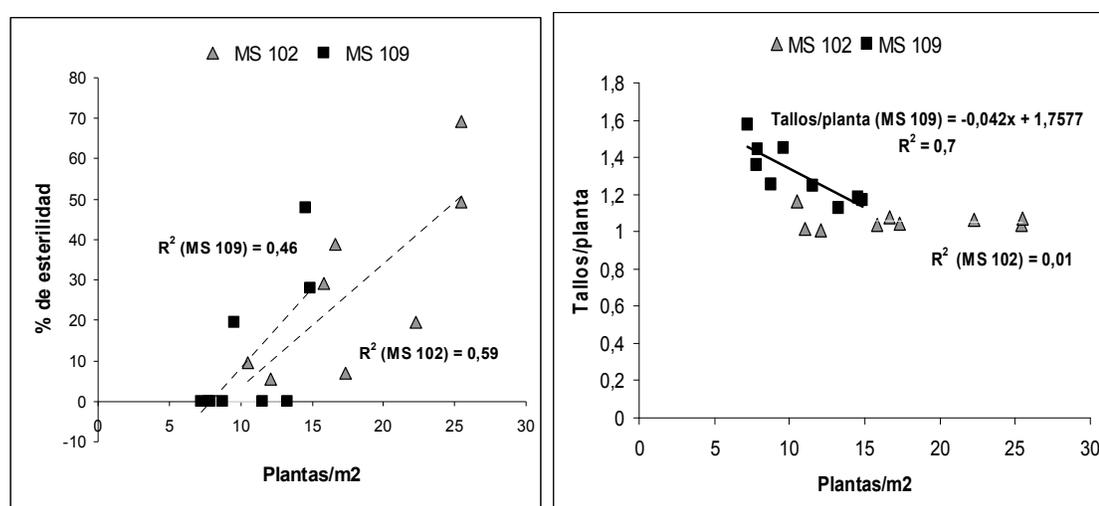


Figura No.24. Porcentaje de esterilidad según población (izq.) y número de tallos por planta según población (der.) para los híbridos MS 102 y MS 109

La implantación no muy homogénea contribuyó en el presente trabajo a la esterilidad, coincidiendo con Alcoz et al. (1988), que afirma que todo cuidado que contribuya a una implantación y emergencia homogénea tenderá a disminuir el grado de esterilidad.

Ambos híbridos mostraron una disminución de la prolificidad frente al incremento poblacional (Figura No.21). Esta disminución en la prolificidad tiene dos causantes: en una primera etapa la disminución del macollaje hasta su desaparición inclusive y con aumentos de población sucesivos comienzan los problemas de esterilidad (Alcoz et al., 1988). En el híbrido MS 109 que presenta las más bajas poblaciones (de 72.000 a 149.000 plantas/ha) actuó claramente el macollaje y la esterilidad; a diferencia con el híbrido MS 102 (de 105.000 a 255.000 plantas/ha) en donde únicamente fue notable el efecto de la esterilidad (Figura No.24). Coincidiendo respecto al macollaje con la afirmación de

Robinson et al., citados por Alcoz et al. (1988) que afirma que el nivel de población que separa una situación de la otra, puede ubicarse en un rango de 120 a 170 mil plantas/ha que fue obtenido bajo condiciones ambientales, culturales y genéticas variables, lo cual le otorga validez.

Por cada planta más en el metro cuadrado el macollaje en el híbrido MS 109 decrece un 4% según la función de regresión lineal (Figura No.24). Este híbrido, el cuál tuvo macollaje presentó una población promedio de 106 mil plantas por hectárea, coincidiendo prácticamente con las poblaciones de los autores Karchi y Rudich (1966), que observaron este tipo de “problema” en poblaciones de 130 mil plantas por hectárea, y Hume y Kebede (1981) no lo encontraron en densidades tan altas como 450 mil plantas por hectárea (Alcoz et al., 1988).

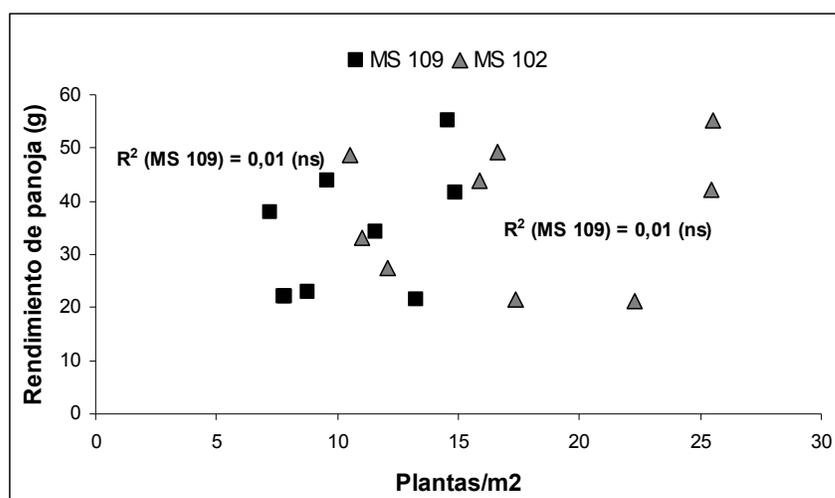


Figura No.25. Rendimiento por panoja según población para los híbridos MS 102 y MS 109

El rendimiento por panoja está compuesto por el número de granos/panoja y el peso de grano. El rendimiento por panoja en el presente ensayo fue mayor al doble del obtenido por García et al. (2008) en poblaciones comparables (21 contra 38 gramos/panoja en el híbrido MS 102 y 23 contra 48 gramos/panoja en el híbrido MS 109), superando de esta forma el rendimiento/ha promedio de García et al. (2008), con poblaciones mucho menores (4.527 contra 3.958 kg/ha promedio).

El rendimiento/panoja no varió significativamente con el incremento poblacional (Apéndice No.18, MS 102 y No.19, MS 109), lo que fue consecuencia de haber tenido recursos suficientes para dar más de una panoja grande. Esto no coincide con los resultados de varios autores (Porter et al. 1960, Langlet y Aldhuy 1971, Clegg y Maranville 1972, Alcoz et al. 1988, Algorta

y Carcabelos 2007, García et al. 2008), que dicen que a bajas poblaciones aumenta el rendimiento/panoja.

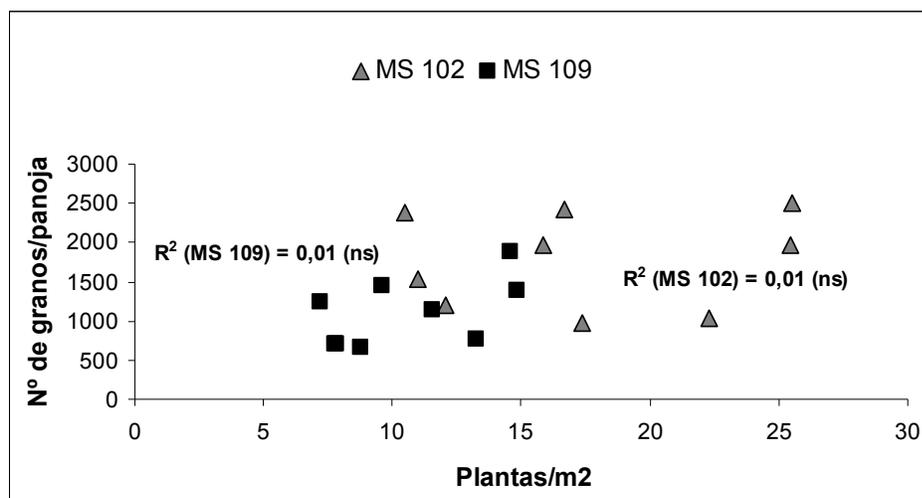


Figura No.26. Número de granos por panoja según población para los híbridos MS 102 y MS 109

El número de granos por planta presenta una tendencia decreciente respecto al incremento de población (ver Figura No.21 junto a Figura No.26), mientras el número de granos por panoja no muestra significancia (Apéndice No.18, MS 102 y No.19, MS 109; Figura No.26), por lo que también se puede deducir que la prolificidad disminuye como lo muestra la Figura No.21.

No hubo diferencias significativas del consumo de agua por unidad de área en el momento crítico (definición del tamaño de panoja) al aumentar la población, y el número de panojas/m<sup>2</sup> no presentó diferencias significativas (Apéndice No.18, MS 102 y No.19, MS 109), por lo que el número de granos/panoja tampoco las mostró (Figura No.26). El número de granos/panoja del presente trabajo fue en poblaciones comparables mucho mayor al obtenido por García et al. (2008) (840 contra 1783 granos/panoja en el híbrido MS 102 y 1143 contra 1596 granos/panoja en el híbrido MS 109). Aunque el consumo hídrico en poblaciones comparables (poblaciones altas del presente trabajo con poblaciones bajas del trabajo de García et al., 2008) durante el período embuche-floración fueron similares. En el presente experimento el consumo fue de 4,26 mm/día contra 4,3 mm/día en el experimento de García et al. (2008) para el híbrido MS 102 y 2,52 contra 2,5 mm/día para el híbrido MS 109. Aunque el trabajo de García et al. (2008) tuvo poblaciones mucho más altas en promedio a los del presente trabajo, este no presentó mayores rendimientos/ha, sino inferiores (3.958 contra 4527 kg/ha promedio), consecuencia del menor rendimiento/panoja.

Al no presentar tendencia, ni diferencias significativas el número de granos/panoja frente al aumento de población (Apéndice No.18, MS 102 y No.19, MS 109), no coincide con lo que afirman varios autores. Estos autores (Atkins 1968, Langlet y Aldhuy 1971, Clegg y Maranville 1972, Antelo et al. 1988, García et al. 2008) afirman que hay una disminución del número de granos/panoja frente al aumento de población. Una causa de esto puede ser que el muy bajo rango de población del presente trabajo hizo que la definición del número de granos/panoja no fuera afectado tanto por la competencia inter planta, al incrementarse la densidad de plantas.

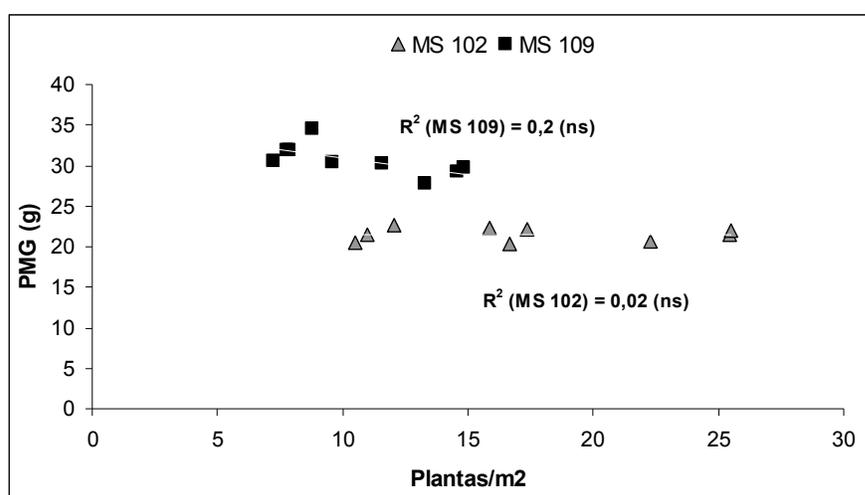


Figura No.27. Peso de mil granos según población para los híbridos MS 102 y MS 109

El peso de mil granos de ambos híbridos no mostraron significancia frente al aumento poblacional, ya que la variación en el número de granos/panoja y la variación en el número de granos/m<sup>2</sup> no es significativa (Apéndice No.18, MS 102 y No.19, MS 109).

Varios autores (Robinson et al. 1960, Goldsworthy y Tayler 1970, Fischer y Wilson 1975, García et al. 2008) afirman que el peso de grano en función de la población permanece invariable, coincidiendo entonces con los resultados del presente ensayo.

Todos los componentes de rendimiento para el híbrido MS 102 y el híbrido MS 109 no mostraron diferencias significativas frente el aumento de población, por lo que se puede concluir que para las mismas condiciones del ensayo no es necesario sembrar altas densidades.

#### 4.4.2. Rendimiento y componentes según híbrido

##### 4.4.2.1. Rendimiento de grano

Para las poblaciones estudiadas el híbrido MS 109 tuvo un rendimiento promedio superior al MS 102 en un 12 %, pero éstas diferencias no fueron significativas (Cuadro No. 14 y Figura No.28).

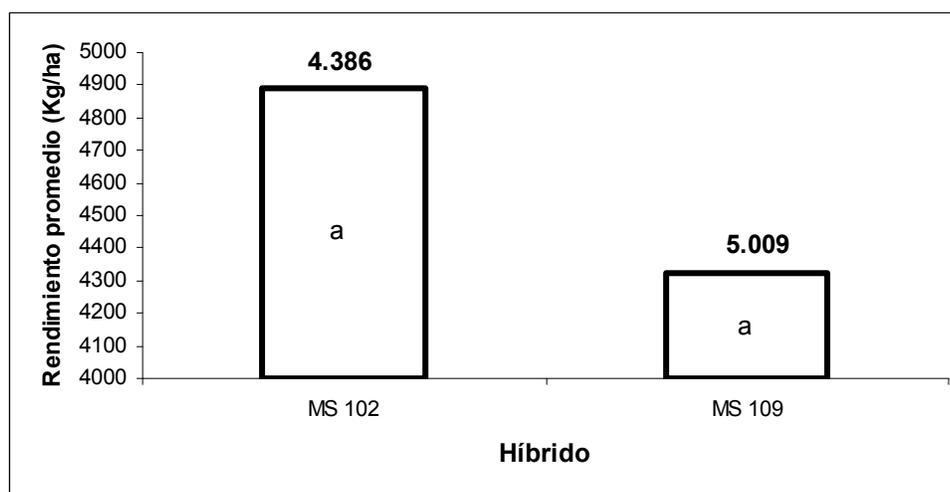


Figura No.28. Rendimiento en grano promedio (Kg/ha) para los dos híbridos evaluados, en poblaciones en torno a las 130.000 plantas/ha

Éstos resultados no coinciden con lo mencionado por Hadley et al., Casady, Blum, Goldsworthy y Tayler, Hume y Kebede, citados por Algorta y Carcabelos (2007), quienes mencionan que los híbridos de ciclo largo se adaptan mejor a bajas poblaciones, mientras que los de ciclo corto se comportan mejor en poblaciones altas. Tampoco lo hace con el trabajo de García et al. (2008), quienes encontraron diferencias significativas al 7% entre híbridos, superando en 1450 Kg/ha el híbrido MS 102 al MS 109; aunque ellos trabajaron con poblaciones un poco superiores, el rango de población va de 18,5 pl/m<sup>2</sup> a 34,5 pl/m<sup>2</sup>. Y tampoco coinciden con los trabajos realizados por Artola (1978), Ghisellini y Holtz (1985), Alcoz et al. (1988), Ayala y Sawchik (1988) quienes obtuvieron mayores rendimientos con híbridos de ciclo corto.

A su vez los rendimientos obtenidos fueron un 29% y 4% superiores para los híbridos MS 109 y MS 102 respectivamente con respecto a los obtenidos en el trabajo de García et al. (2008). Estas diferencias son en parte debido a la más acentuada deficiencia hídrica que se dio en la zona de Mercedes con respecto a Santa Regina.

Comparando los rendimientos obtenidos con respecto a los de la evaluación de cultivares de INIA La Estanzuela 06/07 para siembras de segunda, el híbrido MS 109 rindió un 97% y el MS 102 un 74% con respecto a los de la evaluación.

Para poder comprender porqué no se dieron diferencias en rendimiento entre híbridos se estudiarán los componentes que lo afectan, ya que teóricamente deberían de haber diferencias a consecuencia de diferentes largos de ciclo, porte, comportamiento.

#### 4.4.2.2. Componentes del rendimiento

Aunque la población lograda fue baja las plantas no macollaron, el promedio de macollos por planta fue de 0,01 y 0,1 para el MS 102 y MS 109 respectivamente, o sea que se los puede considerar despreciables. Éste resultado era esperable, debido a que temperaturas elevadas en etapas iniciales del cultivo (siembras de segunda) disminuyen el macollaje.

Cuadro No.17. Componentes del rendimiento según híbrido

|        | Panojas/m <sup>2</sup> | Rend/panoja | Granos/panoja | Granos/m <sup>2</sup> | PMG    |
|--------|------------------------|-------------|---------------|-----------------------|--------|
| MS 102 | 13                     | 35          | 1.570         | 19.552                | 22     |
| MS 109 | 15                     | 38          | 1.235         | 16.703                | 29     |
| Pr>F   | ns                     | ns          | ns            | ns                    | 0,0001 |

Valores seguidos por diferentes letras dentro de columnas difieren entre sí

Debido al macollaje y a la esterilidad es que las panojas/m<sup>2</sup> no tuvieron diferencias significativas entre híbridos (Figura No.24). Tampoco difirieron en el rendimiento/panoja, granos por panoja y granos/m<sup>2</sup>; solamente hubo diferencias significativas en peso de mil granos, siendo superior la variedad MS 109 en 7,12 gramos. Esto último no coincide con la tesis de García et al. (2008), quienes obtuvieron granos más livianos para el híbrido MS 109 que en el presente trabajo, y los granos de la variedad MS 102 fueron semejantes (23,7 y 17,7 para los híbridos MS 102 y MS 109 respectivamente); en el trabajo de García et al. (2008) el PMG de la variedad MS 102 es superior a los de la MS 109.

Aunque las diferencias no fueron significativas, el número de granos por panoja fue mayor para el híbrido MS 102 ya que en el momento de definición

del número de granos para éste híbrido había más agua disponible en suelo que en el momento en que se definió para el híbrido MS 109 (Figura No. 6). Esto provocó que haya más fosa en el híbrido MS 102, y considerando a su vez que la biomasa a cosecha fue igual para ambos híbridos y el índice de cosecha es constante, es lógico que el peso de mil granos para el híbrido MS 102 fuera menor que para el MS 109.

## 5. CONCLUSIONES

Se evaluó diferentes poblaciones bajas para el híbrido MS 102 y el híbrido MS 109, no obteniendo respuesta significativa del rendimiento frente a la variación poblacional, causado por la compensación del número de panojas por planta.

Todos los componentes de rendimiento para ambos híbridos no mostraron diferencias significativas al aumentar la población.

Entre híbridos no hubo diferencias significativas en rendimiento y en sus componentes, excepto en el (mayor) peso medio de mil granos para el híbrido MS 109, compensado por el número de granos por panoja (no significativo).

No hubo diferencias significativas en desaparición de agua entre híbridos, ni entre poblaciones durante el ciclo total, consecuencia de haber usado poblaciones bajas con rangos de poca variación.

El híbrido MS 102 no presentó diferencias significativas en rendimiento a pesar de tener un ciclo más corto y menor tamaño de planta, lo que produciría una menor competencia con respecto al híbrido MS 109, permitiéndole obtener mayores rendimientos.

Al no presentar diferencias significativas el número de panojas/m<sup>2</sup> frente al incremento poblacional, no era necesario sembrar dosis elevadas, ya que el número de panojas/planta compensó.

## 6. RESUMEN

El experimento fue realizado en el verano 2007-2008 en el establecimiento de Franco Malán, próximo a la ciudad de Valdense perteneciente al departamento de Colonia. Se evaluaron distintas poblaciones de sorgo granífero (72-249 mil plantas/ha) manteniendo la distancia entre hilera constante (70 cm) para dos híbridos, uno de ciclo intermedio (MS 109) y otro de ciclo corto (MS 102). La siembra fue de segunda sobre rastrojo de cebada y sin laboreo. Se determinó el IAF, la biomasa y el agua disponible en el suelo a V3, V6, embuche, floración, medio grano y madurez fisiológica. En el momento de la cosecha se cuantificó el número de panojas/m<sup>2</sup>, el número de panojas/planta, el número de granos/panoja, el PMG y el rendimiento en grano. Frente al incremento poblacional no hubo diferencias significativas en rendimiento ni en los componentes, explicado por el aumento de la prolificidad. La única diferencia significativa entre híbridos fue en el PMG mayor para el híbrido MS 109. No hubo diferencias significativas en desaparición de agua por fecha.

Palabras clave: Población; Híbrido; Sorgo granífero.

## 7. SUMMARY

The experiment was realized in the summer 2007-2008 in the establishment from Franco Malán, next to Valdense city placed in the department of Colonia. We evaluated different populations of grain sorghum (72-249 thousand plants/hectare) with the distance between row constant (70 cm), for two hybrids, one with cycle intermediate (MS 109) and other with short cycle (MS 102). It was a cultivation of second and seeding in no-till systems after barley stubble. It was determined LAI, biomass and water in the soil in V3, V6, sausage, flowering, half grain and physiological maturity. In the crop moment was registered cob/m<sup>2</sup>, cob per plant, number of grains for cob, the weight of 1000 grains and the yield in grain. There was not significant answer in yield and components when the population increase, explained by the increase in prolificacy. The only significant difference between hybrids in the weight of 1000 grains was high for the MS 109. There was not significant answer in disappearance of water per date.

Key words: Population; Hybrids; Grain sorghum.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. ALCOZ, M.M.; SHABILCO, D.B.; SOBRAL, L.M. 1988. Factores de manejo que afectan la productividad potencial del sorgo granífero en Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 92 p.
2. ALGORTA, E. J.; CARCABELOS, J. 2007. Efecto de distintas distancias entre hileras, población e híbrido de sorgo granífero en siembra directa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 49 p.
3. ANTELO, J. F.; MERMOT, C.A. 1988. Efecto de la densidad y la distribución en el cultivo de sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. s.p.
4. ARMY, T.J.; BOND, J.J.; LEHMAN, O.R. 1964. Row spacings, plant population and moisture supply as factors in dryland grain sorghum production. *Agronomy Journal*. 56: 3-6.
5. ATKINS, R.E.; REICH, V.H.; KERN, J.J. 1968. Performance of short stature grain sorghum hybrids and different row and plant spacings. *Agronomy Journal*. 60: 515-516.
6. AYALA, W.; SAWCHIK, J. 1988. Densidad de siembra en cultivares de sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 110 p.
7. BLUM, A. 1970. Effect of plant density and growth duration on grain sorghum yield under limited water supply. *Agronomy Journal*. 62: 333-336.
8. BRUN, L.J.; KANEMASU, E.T.; POWERS W.L. 1972. Evapotranspiration from soybean and sorghum fields. *Agronomy Journal*. 64: 145-148
9. CARRASCO, P. 1985. Bases ecofisiológicas para el manejo del sorgo en el Uruguay. In: Seminario Técnico (1º, 1985, Paysandú). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.

10. \_\_\_\_\_. 1989. Potencial de producción de sorgo granífero en el litoral norte. Manejo de la densidad y distribución en sorgo granífero para la obtención de altos rendimientos. Facultad de Agronomía. Serie Documentos no.1. s.p.
11. DÍAZ M.G.; LOPEZ R.; BLANZACO E.; VALENTINUZ O.; ISHIGAKI A; PICOTTI R. s.f. Manejo del cultivo de sorgo de granífero: prácticas para mejorar el rendimiento de cultivares comerciales. (en línea). Actualización técnica; maíz, girasol y sorgo. INTA-EEA Paraná. 8 p. (Serie extensión no. 44). Consultado 15 feb. 2008. Disponible en [http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion\\_vegetal/maiz/otros\\_documentos/Serie\\_Ext\\_44\\_04.PDF](http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/otros_documentos/Serie_Ext_44_04.PDF)
12. DONALD, C.M. 1963. Competition among crop and pasture plant. *Advise of Agronomy*. 12: 4-118.
13. ERNST, O. 1999. Siembra sin laboreo de cultivos de verano. Paysandú, Uruguay. Facultad de Agronomía. 17 p.
14. ESCALADA, R.G.; PLUCKNETT, O.L. 1975. Ratoon cropping of sorghum. Effect of daylength and temperature on tillering and plant development *Agronomy Journal*. 67 (4): 473-478.
15. FISCHER, K.S.; WILSON, G.L. 1975. Studies of grain production in sorghum bicolor (L) Moench effect of planting density on growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research*. 26: 31-41.
16. GARCÍA, J.; NARBAIZ, J. M.; RUBIO, I. 2008. Respuesta a la población de sorgo granífero de segunda en la zona centro-oeste. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 54 p.
17. GARCÍA PRÉCHAC, F. 1998. Fundamentos de la siembra directa y su utilización en Uruguay. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 14 p.
18. GHISELLINI, N.; HOLTZ, I. 1985 Alternativas de manejo en sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 109 p.

19. GOLDSWORTHY, P.R.; TAYLER, R.S. 1970. The effect of plant spacing on grain yields of tall and short sorghum in Nigeria. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*. 74: 1-10.
20. GRIMES, D.W.; MUSICK, J.T. 1960. Effect of plant spacing, fertility and irrigation management on grain sorghum production. *Agronomy Journal*. 52: 647-650.
21. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; HERRON, G.M. 1963a. Effects of soil moisture and nitrogen fertilization of irrigated grain sorghum on dry matter production and nitrogen uptake at selected stages of plant development. *Agronomy Journal*. 55: 393-396.
22. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 1963b. Irrigation water management and nitrogen fertilization of grain sorghums. *Agronomy Journal*. 55: 295-298.
23. HANKS, R.J. 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agronomy Journal*. 66: 660-665.
24. HERRON, G.M.; GRIMES, D.W.; MUSICK, J.T. 1963. Irrigation and water management nitrogen fertilization of grain sorghum. *Agronomy Journal*. 55: 295-298.
25. HUME, D.J.; KEBEDE, Y. 1981. Responses to planting date and population density by early-maturing sorghum hybrids in Ontario. *Canadian Journal of Plant Science*. 61: 265-273.
26. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA). 2008. Evaluación para el registro nacional de cultivares. (en línea). Montevideo. 3 p. Consultado nov. 2008. Disponible en [http://www.inia.org.uy/convenio\\_inase\\_inia/resultados/sg/rend06.htm](http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/sg/rend06.htm)
27. KAMOSHITA, A.; FUKAI, S.; MUCHOW, R.C.; COOPER, M. 1998. Genotypic variation for grain yield and grain nitrogen concentration among sorghum hybrids under different levels of nitrogen fertilizer and water supply. *Australian Journal of Agricultural Research*. 49: 737-747.
28. KARCHI, Z.; RUDICH, Y. 1966. Effects of row width and seedling spacing on yield and its components in grain sorghum grown under dryland conditions. *Agronomy Journal*. 58: 602-605.

29. MANN, H.O. 1965. Effects of rates of seeding and row widths on grain sorghum grown under dryland conditions. *Agronomy Journal*. 57: 173-176.
30. MOLFINO, J. H.; CALIFRA, A. 2001. Agua disponible de la tierras del Uruguay. Montevideo, MGAP. DSA. s.p.
31. MYERS, R.J.K. 1978. Nitrogen and phosphorus nutrition in dryland grain sorghum at Katherine, Northern Territory; effect of rate of nitrogen fertilizer. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 18: 554-572.
32. \_\_\_\_\_; FOALE, M.A. 1980. Row spacing and population density in Australian grain sorghum productions. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. 46(4): 214-220.
33. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 1981. Row spacing and population density in grain sorghum, a simple analisis. *Field Crops Research*. 4(2): 147-154.
34. NEWTON, N.L.; BLACKMAN, G.E. 1970. The penetration of solar radiation through leaf canopies of different structure. *Annals of Botany (London)*. 34: 329-347.
35. PHILLIPS, L.J.; NORMAN, M.J.T. 1962. The influence of intrarow spacing and interrow cultivation on the yield of grain sorghum at Katherine, Northern Territory. *Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 27: 204-208.
36. PLAUT, Z.; BLUM, A.; ARNON, I. 1960. Effect of soil moisture regime and row spacing on grain sorghum production. *Agronomy Journal*. 61: 344-434.
37. PORTER, K.B.; JENSEN, M.E.; SLETTEN, W.H. 1960. The effect of row spacing, fertilizer and planting rate on the yield and water use of irrigated grain sorghum. *Agronomy Journal*. 52(8): 431-434.
38. POWERS, W.L. 1972. Evapotranspiration from soybean and sorghum fields. *Agronomy Journal*. 64: 145-148.
39. ROBINSON, R.G. 1964. Row spacing and plant population for grain sorghum in the humid north. *Agronomy Journal*. 56: 189-191.

40. SIRI, G. 2004. Sorgo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 96 p.
41. STICKLER, F.C.; LAUDE, H.H. 1960. Effect of row spacing and plant population on performance of corn, grain sorghum and forage sorghum. *Agronomy Journal*. 52: 275-277.
42. \_\_\_\_\_; PAULI, A.W. 1961. Row width and plant population studies with grain sorghum at Manhattan, Kansas. *Crop Science*. 1: 297-300.
43. \_\_\_\_\_; ANDERSON, P. 1964. Comparative response to herbicides of grain sorghum grown at different row spacing. *Crop Science*. 4: 497-500.
44. \_\_\_\_\_; WEARDEN, S. 1965. Yield and yield components of grain sorghum as affected by row width and stand density. *Agronomy Journal*. 57: 564-567.
45. \_\_\_\_\_; YOUNIS, M.A. 1966. Plant height as a factor affecting responses of sorghum to row width and stand density. *Agronomy Journal*. 58(4): 371-373.
46. STONE, J.F. SKIDMORE, E.L.; 1964. Physiological role in regulating transpiration rate of the cotton plant. *Agronomy Journal*. 56: 405-410.
47. THOMAS, G.A. 1981. Evaluation of row spacing and population density effects on grain sorghum over a range of northern Australian environments. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 21: 210-217
48. TOMEU, A.; MEIR, T. 1969. Comparación en rendimiento de 6 híbridos y una variedad local de sorgo de grano sembrado a dos distancias entre surcos. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*. 3: 251-256.
49. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS AGROPECUARIAS. 2008. Anuario estadístico agropecuario 2008. (en línea). Montevideo. 1:80 . Consultado 20 may. 2009. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario2008Anuario2008/pages/DIEA-Anuario-2008-cd\\_080.html](http://www.mgap.gub.uy/Diea/Anuario2008Anuario2008/pages/DIEA-Anuario-2008-cd_080.html)

50. \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_ . OFICINA DE PROGRAMACIÓN Y POLÍTICA AGROPECUARIA. 2005. Maíz y sorgo; situación y perspectivas. (en línea). Montevideo. 6 p. Consultado 15 ene. 2009. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/Anuario05/CadenasProductivas/maiz%20y%20sorgo.pdf>
51. WELCH, N.H.; BURNETT, E.; ECK, H.V. 1966. Effect of row spacing, plant population, and nitrogen fertilization on dryland grain sorghum production. Agronomy Journal. 58: 160-163.

## 9. APÉNDICES

### Apéndice No.1. Relación agua disponible y población e híbrido.

| Source       | DF | V6    | Embuche   | Floración | Medio grano | Madurez fisiológica |
|--------------|----|-------|-----------|-----------|-------------|---------------------|
| Bloque       | 2  | 3,26* | 3.07 *    | 6.61**    | 9,24***     | 9,35***             |
| Híbrido      | 1  | 0,02  | 18.76 *** | 8.41**    | 0,92        | 0,09                |
| Pobl         | 2  | 3,08* | 0.68      | 1.07      | 2,59        | 1,40                |
| Híbrido*Pobl | 2  | 3,34* | 0.08      | 0.92      | 2,75        | 0,07                |

\* p<0,1; \*\*=p<0,05; \*\*\*=p<0,01

### Apéndice No.2. Efecto de la población y fecha de medición sobre el agua disponible.

#### MS 102, Prof 1

##### Type 3 Tests of Fixed Effects

| Effect     | Num |     | F Value | Pr > F |
|------------|-----|-----|---------|--------|
|            | DF  | Den |         |        |
| pobl       | 2   | 6   | 1.51    | 0.2938 |
| Fecha      | 5   | 30  | 120.18  | <.0001 |
| pobl*Fecha | 10  | 30  | 0.48    | 0.8922 |

#### MS 109, Prof 1

##### Type 3 Tests of Fixed Effects

| Effect | Num |     | F Value | Pr > F |
|--------|-----|-----|---------|--------|
|        | DF  | Den |         |        |
| pobl   | 2   | 4   | 0.11    | 0.8987 |
| Fecha  | 5   | 32  | 37.09   | <.0001 |

Apéndice No.3. Aqua disponible floración.

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 10  
 Error Mean Square 138.1152  
 Critical Value of t 2.22814  
 Least Significant Difference 12.344

Means with the same letter are not significantly different.

| t Grouping | Mean   | N | Hibrido |
|------------|--------|---|---------|
| A          | 30.511 | 9 | MS109   |
| B          | 15.789 | 9 | MS102   |

Apéndice No.4. Híbrido = MS102

| Effect     | Num<br>DF | Den<br>DF | F Value | Pr > F |
|------------|-----------|-----------|---------|--------|
| pobl       | 2         | 6         | 1.51    | 0.2938 |
| Fecha      | 5         | 30        | 120.18  | <.0001 |
| pobl*Fecha | 10        | 30        | 0.48    | 0.8922 |

Apéndice No.5. Híbrido = MS109

| Effect | Num<br>DF | Den<br>DF | F Value | Pr > F |
|--------|-----------|-----------|---------|--------|
| pobl   | 2         | 4         | 0.11    | 0.8987 |
| Fecha  | 5         | 32        | 37.09   | <.0001 |

Apéndice No.6. Consumo de agua por período.

| Source                         | DF | Consumo agua total | V6-embuche | Embuche-floración | Floración-medio grano | Medio grano-madurez fisiológica |
|--------------------------------|----|--------------------|------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Bloque                         | 2  | 3,04*              | 0.93       | 0,83              | 3,02*                 | 3,04*                           |
| Híbrido                        | 1  | 0.1                | 9.88***    | 5,04**            | 0,13                  | 3,25*                           |
| Pobl                           | 2  | 0.44               | 0.2        | 1,39              | 3,66*                 | 0,99                            |
| Híbrido*Pobl                   | 2  | 1.19               | 0.83       | 0,92              | 3,68*                 | 0,65                            |
| * p<0,1; **=p<0,05; ***=p<0,01 |    |                    |            |                   |                       |                                 |

Apéndice No.7. Consumo de agua diario.

| Source                         | DF | V6-embuche | Embuche-floración | Floración-medio grano | Medio grano-madurez fisiológica |
|--------------------------------|----|------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Bloque                         | 2  | 1,03       | 0.83              | 3,10*                 | 3,13*                           |
| Híbrido                        | 1  | 0.36       | 5.04**            | 1,3                   | 8,53***                         |
| Pobl                           | 2  | 0.21       | 1.39              | 3,91**                | 0,98                            |
| Híbrido*Pobl                   | 2  | 0.84       | 0.93              | 3,92**                | 0,61                            |
| * p<0,1; **=p<0,05; ***=p<0,01 |    |            |                   |                       |                                 |

Apéndice No.8. Eficiencia en el uso del agua, período V6-embuche

| Source       | DF | Type III SS | Mean Square | F Value | Pr > F |
|--------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| Bloque       | 2  | 609.100788  | 304.550394  | 0.65    | 0.5466 |
| Hibrido      | 1  | 1981.055645 | 1981.055645 | 4.20    | 0.0706 |
| Pobl         | 2  | 7518.623336 | 3759.311668 | 7.98    | 0.0102 |
| Hibrido*Pobl | 2  | 4097.433598 | 2048.716799 | 4.35    | 0.0477 |

Apéndice No.9. Relación AF en cada etapa fisiológica y población, híbrido MS 102.

| Source    | DF | V3   | V6      | Embuche | Floración | Medio grano | Madurez fisiológica |
|-----------|----|------|---------|---------|-----------|-------------|---------------------|
| Intercept | 1  | 0,58 | 4,67*** | 4,8***  | 3,24**    | 2,91**      | 4,2***              |
| Pobl      | 1  | 0,91 | 0,12    | -1,01   | -1        | -0,8        | -1,41               |

\* p<0,1; \*\*=p<0,05; \*\*\*=p<0,01

Apéndice No.10. Relación AF en cada etapa fisiológica y población, híbrido MS 109.

| Source    | DF | V3    | V6   | Embuche | Floración | Medio grano | Madurez fisiológica |
|-----------|----|-------|------|---------|-----------|-------------|---------------------|
| Intercept | 1  | -0,74 | 1,43 | 1,41    | 1,75      | 5,71***     | 4,22**              |
| Pobl      | 1  | 2,15  | 0,34 | -0,01   | -0,45     | -3,05**     | -1,21               |

\* p<0,1; \*\*=p<0,05; \*\*\*=p<0,01

Apéndice No.11. Relación IAF en cada etapa fisiológica y población, híbrido MS 102.

| Source    | DF | V6   | Embuche | Floración | Medio grano | Madurez fisiológica |
|-----------|----|------|---------|-----------|-------------|---------------------|
| Intercept | 1  | 1,73 | 0,84    | 0,94      | 0,80        | 1,37                |
| Pobl      | 1  | 0,63 | 2,67**  | 1,65      | 1,67        | 1,86                |

\* p<0,1; \*\*=p<0,05; \*\*\*=p<0,01

Apéndice No.12. Relación IAF en cada etapa fisiológica y población, híbrido MS 109.

| Source    | DF | V6    | Embuche | Floración | Medio grano | Madurez fisiológica |
|-----------|----|-------|---------|-----------|-------------|---------------------|
| Intercept | 1  | -0,33 | 0,14    | 0,33      | 2,64*       | 1,02                |
| Pobl      | 1  | 2,03  | 1,24    | 0,87      | 0           | 1,95                |

\* p<0,1; \*\*=p<0,05; \*\*\*=p<0,01

Apéndice No.13. Relación biomasa/planta en cada etapa fisiológica y población, híbrido MS 102.

| Source                         | DF | V6   | Embuche | Floración | Medio grano | Madurez fisiológica |
|--------------------------------|----|------|---------|-----------|-------------|---------------------|
| Intercept                      | 1  | 0,74 | 1,71    | -0,37     | 1,93        | 3,35**              |
| Pobl                           | 1  | 1,03 | -0,26   | 2,15*     | -0,38       | -1,36               |
| * p<0,1; **=p<0,05; ***=p<0,01 |    |      |         |           |             |                     |

Apéndice No.14. Relación biomasa/planta en cada etapa fisiológica y población, híbrido MS 109.

| Source                         | DF | V6    | Embuche | Floración | Madurez fisiológica |
|--------------------------------|----|-------|---------|-----------|---------------------|
| Intercept                      | 1  | 2,20* | 1,03    | 0,04      | 3,72**              |
| Pobl                           | 1  | -0,35 | -0,16   | 1,48      | -1,76               |
| * p<0,1; **=p<0,05; ***=p<0,01 |    |       |         |           |                     |

Apéndice No.15. Relación biomasa/ha en cada etapa fisiológica y población, híbrido MS 102.

| Source                         | DF | V3     | V6    | Embuche | Floración | Medio grano | Madurez fisiológica |
|--------------------------------|----|--------|-------|---------|-----------|-------------|---------------------|
| Intercept                      | 1  | -1,75  | -0,91 | 0,22    | -1,98*    | 0,33        | 1,47                |
| Pobl                           | 1  | 4,17** | 2,67* | 1,25    | 3,71**    | 1,22        | 1,02                |
| * p<0,1; **=p<0,05; ***=p<0,01 |    |        |       |         |           |             |                     |

Apéndice No.16. Relación biomasa/ha en cada etapa fisiológica y población, híbrido MS 109.

| Source                         | DF | V3   | V6   | Embuche | Floración | Madurez fisiológica |
|--------------------------------|----|------|------|---------|-----------|---------------------|
| Intercept                      | 1  | 1,31 | 0,3  | 0,23    | -1,23     | 1,55                |
| Pobl                           | 1  | 0,9  | 1,41 | 0,69    | 2,64*     | 0,19                |
| * p<0,1; **=p<0,05; ***=p<0,01 |    |      |      |         |           |                     |

Apéndice No.17. Relación entre altura y población, y excerción y población para los híbridos MS 102 y MS 109.

| Source                         | DF | Altura  |        | Excerción |        |
|--------------------------------|----|---------|--------|-----------|--------|
|                                |    | MS 102  | MS 109 | MS 102    | MS 109 |
| Intercept                      | 1  | 5,75*** | 3,96** | 2,24*     | 1,77   |
| Pobl                           | 1  | -1,11   | 0,13   | 0,81      | -0,85  |
| * p<0,1; **=p<0,05; ***=p<0,01 |    |         |        |           |        |

Apéndice No.18. Relación componentes del rendimiento y población, híbrido MS 102.

| Source                         | DF | Panojas/m <sup>2</sup> | Rend/pan | Granos/pan | Granos/m <sup>2</sup> | PMG     |
|--------------------------------|----|------------------------|----------|------------|-----------------------|---------|
| Intercept                      | 1  | 1,85                   | 1,57     | 1,44       | 1,97                  | 9,28*** |
| Pobl                           | 1  | 0,51                   | -0,18    | -0,19      | -0,15                 | 0,27    |
| * p<0,1; **=p<0,05; ***=p<0,01 |    |                        |          |            |                       |         |

Apéndice No.19. Relación componentes del rendimiento y población, híbrido MS 109.

| Source                         | DF | Panojas/m <sup>2</sup> | Rend/pan | Granos/pan | Granos/m <sup>2</sup> | PMG     |
|--------------------------------|----|------------------------|----------|------------|-----------------------|---------|
| Intercept                      | 1  | 0,79                   | 0,73     | 0,67       | 14,98***              | 0,51*** |
| Pobl                           | 1  | 0,01                   | 0,22     | 0,31       | 2,11                  | -0,85   |
| * p<0,1; **=p<0,05; ***=p<0,01 |    |                        |          |            |                       |         |

Apéndice No.20. Relación entre rendimiento y población, e índice de cosecha y población para los híbridos MS 102 y MS 109.

| Source                         | DF | Rendimiento |         | IC      |        |
|--------------------------------|----|-------------|---------|---------|--------|
|                                |    | MS 102      | MS 109  | MS 102  | MS 109 |
| Intercept                      | 1  | 2,23*       | 8,06*** | 5,44*** | 1,87   |
| Pobl                           | 1  | -0,10       | 0,32    | -1,37   | -0,06  |
| * p<0,1; **=p<0,05; ***=p<0,01 |    |             |         |         |        |