

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**IMPACTO DE LA POBLACIÓN, DISTANCIA ENTRE HILERAS Y
CULTIVAR EN EL RENDIMIENTO DE SOJA**

por

**Carla Sabrina CEPEDA BANCHERO
Sylvia Helena TARAN MACEDO**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2008**

Tesis aprobada por:

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

Ing. Agr. (PhD) Guillermo Siri

Ing. Agr. Luis Giménez

Fecha: -----

Autor: -----
Sabrina Cepeda Banchemo

Sylvia Taran Macedo

AGRADECIMIENTOS

A todos quienes nos han acompañado y apoyado a lo largo de toda la carrera, especialmente a nuestra familia y amigos ahora queremos agradecerles por el apoyo en este momento tan importante.

A todos nuestros docentes que han participado en la formación profesional, especialmente a nuestros directores de tesis, Oswaldo Ernst y Guillermo Siri.

A los funcionarios de la EEMAC que nos ayudaron en la etapa de campo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRAFICA</u>	2
2.1. <u>INTRODUCCION</u>	2
2.2. <u>CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO</u>	5
2.2.1. <u>Características morfológicas</u>	5
2.2.2. <u>Clasificación por hábito de crecimiento</u>	6
2.2.3. <u>Clasificación por respuesta a fotoperíodo y temperatura</u>	6
2.2.4. <u>Requerimientos edáficos e hídricos del cultivo</u>	7
2.2.5. <u>Estados fenológicos del cultivo</u>	8
2.3. <u>APTITUD CLIMATICA DEL URUGUAY</u>	10
2.4. <u>GRUPOS DE MADUREZ (GM), DISTANCIA ENTRE HILERAS (DH) Y DENSIDAD</u>	11
2.4.1. <u>Características de los Grupos de Madurez (GM)</u>	11
2.4.2. <u>Distancia entre hileras</u>	15
2.4.3. <u>Densidad de siembra</u>	21
2.4.3.1. <u>Densidad de plantas</u>	22
2.4.4. <u>Estructura del cultivo</u>	24
2.4.5. <u>Altura de plantas</u>	26
2.4.6. <u>Índice de Área Foliar (IAF)</u>	27
2.4.7. <u>Consumo de agua</u>	27
2.4.8. <u>Componentes de rendimiento</u>	29
2.4.8.1. <u>Número de nudos</u>	30
2.4.8.2. <u>Número de vainas y granos</u>	31
2.4.8.3. <u>Peso de granos</u>	33
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	35
3.1. <u>CARACTERISTICAS DE LOS EXPERIMENTOS</u>	36
3.2. <u>HIPOTESIS DEL EXPERIMENTO</u>	36
3.3. <u>TRATAMIENTOS</u>	36
3.4. <u>ANALISIS ESTADISTICO</u>	39

3.5. DETERMINACIONES.....	39
3.5.1. <u>Parámetros de desarrollo</u>	39
3.5.2. <u>Rendimiento y componentes</u>	42
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	43
4.1. CARACTERISTICAS CLIMATICAS DEL PERÍODO.....	43
4.2. EXPERIMENTO I: EFECTO GM, TRATAMIENTO Y SU INTERACCIÓN.....	44
4.2.1 <u>Efecto el GM sobre rendimiento en grano y sus componentes</u>	44
4.2.2. <u>Efecto del GM sobre crecimiento y fenología</u>	47
4.2.3. <u>Efecto del incremento de la población por aumento en el número de filas</u>	50
4.3. ANALISIS DE COEFICIENTE DE SENDERO.....	56
4.4. EXPERIMENTO II.....	61
4.4.1. <u>Población creciente GM IV</u>	61
4.4.2. <u>Población creciente GM VI</u>	70
4.4.3. <u>Generalidades de la población creciente</u>	80
4.5. EXPERIMENTO III.....	82
4.5.1. <u>Población constante GM IV</u>	82
4.5.2. <u>Población constante GM VI</u>	89
5. <u>CONCLUSIONES</u>	97
6. <u>RESUMEN</u>	99
7. <u>SUMMARY</u>	100
8. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	101

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Evolución del área, producción y rendimiento de soja en Uruguay.....	2
2. Evolución del área sembrada (miles de hectáreas) en Uruguay.....	2
3. Evolución de la producción (miles tt) y rendimiento (kg/há) en Uruguay.....	3
4. Evolución de exportaciones e importaciones de Soja.....	4
5. Grupos de madurez (GM).....	7
6. Etapas fenológicas.....	9
7. Características de los cultivares.....	15
8. Descripción de los tratamientos para experimento de parcelas.....	37
9. Referencias de DH para población creciente.....	41
10. Referencias de DH para población constante.....	41
11. Precipitaciones ocurridas en diferentes periodos del cultivo para el año 2006-2007 y la media histórica para EEMAC Paysandú.....	43
12. Efecto del GM IV, V y VI sobre componentes del rendimiento para ensayos de las parcelas..	45
13. Efecto del GM sobre IV, V y VI sobre fenología y altura para ensayo de las parcelas.....	48
14. Efecto del tratamiento sobre los componentes del rendimiento para ensayos de las parcelas..	50

15. Efecto del tratamiento sobre fenología y altura para ensayo de las parcelas.....	56
16. Análisis de significancia de los coeficientes de sendero para tres GM (IV, V y VI).....	59
17. Número de vainas y granos relacionado al rendimiento por m ² y plantas por metro lineal para población creciente GM IV.....	67
18. Variables medidas (IAF y % de cielo visible) relacionadas con el rendimiento para población creciente GM IV.....	68
19. Variables medidas (fenología y altura) relacionadas con el rendimiento para población creciente GM IV.....	69
20. Número de vainas y granos relacionado a rendimiento por m ² y plantas por metro lineal para población creciente GM VI.....	77
21. Variables medidas (IAF y % de cielo visible) relacionadas con el rendimiento para población creciente GM VI.....	78
22. Variables medidas (fenología y altura) relacionadas con el rendimiento para población creciente GM VI.....	79
23. Numero de vainas y granos relacionado a rendimiento en m ² y plantas por metro lineal para población constante GM IV.....	86
24. Variables medidas (IAF y % de cielo visible) relacionadas con el rendimiento para población constante GM IV.....	87

25. Variables medidas (fenología y altura) relacionadas con el rendimiento para población constante GM IV.....	88
26. Numero de vainas y granos relacionado a rendimiento en m ² y plantas por metro lineal para población constante GM VI.....	93
27. Variables medidas (IAF y % de cielo visible) relacionadas con el rendimiento para población constante GM VI.....	94
28. Variables medidas (fenología y altura) relacionadas con el rendimiento para población constante GM VI.....	96
Figura No.	
1. Componentes de rendimiento.....	29
2. Estados fenológicos de los diferentes GM para experimento de parcelas.....	40
3. Temperatura y radiación para el período de Interés.....	44
4. Efecto del GM IV, V y VI sobre el rendimiento para ensayos de parcelas.....	47
5. Efecto del GM (IV y V) sobre % de cielo visible e IAF en ensayo de parcelas.....	49
6. Efecto del tratamiento sobre el rendimiento en ensayo de parcelas.....	52
7. Efecto de los tratamientos sobre % de cielo visible IAF para los GM IV y V conjuntamente en ensayo de parcelas.....	53

8. Efecto de los tratamientos sobre % de cielo visible e IAF para el GM VI en ensayos de parcelas.....	54
9. Coeficientes de sendero de los componentes de rendimiento para el GM IV.....	58
10. Coeficientes de sendero de los componentes de rendimiento para el GM V.....	58
11. Coeficientes de sendero de los componentes de rendimiento para el GM VI	59
12. Distancia entre hileras y plantas por metro lineal teórica y obtenida en el experimento de población creciente GM IV	61
13. Rendimiento por planta según el número de plantas por metro lineal (A), según distancia entre hileras (B), y rendimiento por área (m ²) según el número de plantas por metro lineal (C), según distancia entre hileras (D), para población creciente GM IV.....	62
14. Efecto de la distancia entre hileras (DH) promedio sobre el número de plantas por metro lineal y por unidad de superficie (A), rendimiento por unidad de superficie y por planta (B), número de granos por planta y peso de mil granos (C) y número de nudos y ramas por planta (D) en el ensayo de población creciente en GM IV.....	64
15. Distancia entre hileras y población en plantas por metro lineal teórica y obtenida para población creciente GM VI.....	70
16. Rendimiento por planta según el número de plantas por metro lineal (A), según distancia entre hileras (B), y rendimiento por área (m ²) según el número de plantas por metro lineal (C), según distancia entre hileras (D) para población creciente GM VI.....	72

17. Efecto de la distancia entre hileras (DH) promedio sobre el numero de plantas por metro lineal y por unidad de superficie (A), rendimiento por unidad de superficie y por planta (B), numero de granos por planta y peso de mil granos (C) y numero de nudos y ramas por planta (D) en el ensayo de población creciente en GM VI.....	74
18. Distancia entre hileras y población en plantas por metro lineal teórica y obtenida para población constante GM IV.....	82
19. Rendimiento por planta según el número de plantas por metro lineal (A), según distancia entre hileras (B) para población constante GM IV.....	83
20. Efecto de la distancia entre hileras (DH) promedio sobre el numero de plantas por metro lineal y por unidad de superficie (A), rendimiento por unidad de superficie y por planta (B), numero de granos por planta y peso de mil granos (C) y numero de nudos y ramas por planta (D) en el ensayo de población constante en GM IV.....	84
21. Distancia entre hileras y población en plantas por metro lineal teórica y obtenida para población constante GM VI.....	89
22. Rendimiento por planta según el número de plantas por metro lineal (A), según distancia entre hileras (B) para población constante GM VI.....	90

23. Efecto de la distancia entre hileras (DH) sobre el numero de plantas por metro lineal y por unidad de superficie (A), rendimiento por unidad de superficie y por planta (B), numero de granos por planta y peso de mil granos (C) y numero de nudos y ramas por planta (D) en el ensayo de población constante en GM VI.....

91

1. INTRODUCCIÓN

De origen asiático, la soja (*Glycine max*) procede de otra especie silvestre (*Glycine ussuriensis*), su centro de origen es en el extremo oriente (China, Japón). Es el alimento fuerte de los pueblos del oriente. Las primeras semillas plantadas en Europa provinieron de China, la primera siembra se realizó en 1740. Años más tarde, en 1765 se introdujo en América (Georgia, EE.UU.) desde China vía Londres. Sin embargo, no fue hasta la década del 40 del siglo XX donde se produjo la gran expansión del cultivo en ese país, liderando la producción mundial de Soja a partir de 1954 hasta la actualidad. En Brasil fue introducida en 1882, pero su difusión se inició a principios del siglo XX y la producción comercial comenzó también en la década del 40. Estados Unidos, Brasil, Argentina, China e India son los países que lideran dicha producción en la actualidad.

La semilla contiene entre un 40 a 45% de proteínas y un 18 a 20% de lípidos. Tanto las proteínas como el aceite que se obtienen de la semilla de soja tienen gran demanda debido a sus diversos usos potenciales, ya sea a nivel industrial como para la alimentación animal y humana. Se logran productos oleaginosos como; aceite de soja refinado, lecitina de soja, golosinas, leche de soja, pan, dulces, etc., productos proteínicos como; concentrados y extractos de harina de soja y productos como la cáscara.

En Uruguay el cultivo se comenzó a sembrar en la década del 60, luego existió otro pico de producción durante la década del 80 y hoy en día nuevamente este cultivo está en una etapa de gran expansión. La soja tiene hoy en día gran auge, por lo que es de suma importancia su estudio a nivel experimental para poder brindar información para su explotación a nivel comercial, con el objetivo de ser producido de la forma más eficiente posible y así lograr altos rendimientos en este excelente momento de los precios agrícolas. En nuestro país no ha existido suficiente investigación con respecto al cultivo, por lo que se trató de generar información acorde a las necesidades en nuestro sistema de producción, ya que la mayor parte de la información proviene del exterior sobretodo de Argentina. Es por esto que el objetivo del presente trabajo fue:

- Determinar el efecto sobre el rendimiento del cultivo de soja de las variables grupos de madurez, población y distancia entre hileras
- Medir el comportamiento del cultivo a nivel productivo, realizando las siguientes determinaciones; fonología, altura, IAF (índice de área foliar) y componentes del rendimiento.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. INTRODUCCION

El Uruguay, un país netamente ganadero ha vivido en los últimos años en forma acelerada una importante transformación en sus sistemas productivos. La siembra directa y fundamentalmente la introducción de la soja transgénica resistente a glifosato han hecho posible el gran crecimiento del cultivo, pasando de 0 tt exportadas en el año 2000 a 631.595 mil tt en el año 2006.

Se produjo un cambio en la rotación agrícola-ganadera y se colonizaron zonas tradicionalmente no agrícolas. Ante la entrada de la soja en la rotación y la siembra directa se produjo un proceso de agriculturización en todas aquellas zonas donde los suelos tienen aptitud agrícola.

Las rotaciones agrícolas-forrajeras aumentaron su fase de agricultura y siempre con la soja como cultivo principal, siendo en los últimos años el cultivo que representa mayor crecimiento en superficie, debido al incremento del precio y la existencia de canales de comercialización (Giménez, 2005).

El 90% del área agrícola de secano y la soja dentro de ella se ubican en la franja litoral del Uruguay comprendiendo 1.200.000 hectáreas agrícolas. Dicha región se asocia a los suelos de mayor aptitud agrícola de los departamentos de Soriano, Colonia, Río Negro, Paysandú y Flores.

Cuadro No. 1 Evolución de área, producción y rendimiento de soja en Uruguay

	Área (ha)	Producción (tt)	Rto. (Kg/ha)
79/80	40.418	49.007	1213
89/90	27.708	33.716	1217
99/00	13.901	6.800	768

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2007).

Cuadro No. 2 Evolución del área sembrada (miles de hectáreas) en Uruguay

95/96	99/00	00/01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07
8,5	8,9	12	28,9	78,9	247,1	278	309	366

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2007).

En la zafra 95/96 había 8,5 miles de hectáreas, hasta la zafra 99/00 se mantenía el área en 8,9 miles de hectáreas, pero a partir de la zafra 03/04 hubo un gran incremento llegando hasta 250 mil hectáreas aproximadamente. Estos incrementos se sucedieron a lo largo de las siguientes zafras.

Cuadro No. 3 Evolución de la producción (miles tt) y rendimiento (Kg/ha) en Uruguay

	95	96	97	98	99	00
	96	97	98	99	00	01
Prod. (tt)	15,5	13,6	13	19	6,8	27,6
Rto. (Kg/ha)	1820	1799	1733	2111	768	2302
	01	02	03	04	05	06
	02	03	04	05	06	07
Prod. (tt)	66,7	183	377	478	631,9	778
Rto. (Kg/ha)	2305	2318	1526	1720	2044	2127

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA (2007).

La producción desde 95/96 hasta 98/99 se mantuvo constante con un promedio de 15 mil toneladas, sufriendo un descenso en la zafra 99/00, afectadas negativamente por el clima. Luego los rendimientos aumentaron considerablemente hasta la zafra 02/03 llegando a 183,0 mil toneladas. En la zafra 06/07 se llegó a 778 mil toneladas.

En cuanto al rendimiento por hectárea en la zafra 95/96 se encontraba en 1820 Kg/ha, para la zafra 05/06 llegaba a 2044 Kg/ha. Lo que se puede concluir es que el aumento en la producción en el país se dio por el aumento en el área y no por los aumentos en rendimiento por hectárea.

Las exportaciones de soja desde el año 1995 hasta el año 2000 no existían. En el año 2001 la exportación de soja ascendió a 1.592 miles de dólares, y ya para el año 2006 llegaba a 138.167 miles de dólares.

Cuadro No. 4 Evolución de exportaciones e importaciones de soja

Año	Exportaciones		Importaciones	
	Miles U\$S	Miles Toneladas	Miles U\$S*	Miles Toneladas*
1999	0	0	23	19
2000	0	0	133	318
2001	1.592	10.848	431	1.112
2002	10.055	61.636	752	2.296
2003	36.357	179.465	2940	8.512
2004	82.620	229.350	3609	9.538
2005	100.678	477.401	4651	11.239
2006	138.167	631.595	3653	9433

Fuente: URUGUAY. MGAP. DIEA. BCU (2007).

Los precios de exportaciones de soja por tonelada en 2001 eran de 147 U\$S/Ton y para el año 2003 eran de 195 U\$S/Ton. En la actualidad el precio asciende a 520 U\$S/Ton aproximadamente.

A partir del año 2002, el incremento en los precios internacionales de los aceites vegetales, provocó el aumento en la producción de oleaginosos, en base a un crecimiento continuo de la superficie sembrada de soja (URUGUAY. MGAP. OPYPA, 2005).

Se prevé que el crecimiento en la generación de fuentes de bioenergía a partir de materias primas vegetales, genere aumentos en la superficie de cultivos estivales.

A partir del incremento del área sembrada y producción del cultivo, se evidencian que los rendimientos por hectárea no se modifican sustancialmente. Esto motivó a la búsqueda de información sobre el manejo de las variables capaces de modificar el rendimiento, como lo son la combinación de diferentes distancias entre hileras y poblaciones y ver como afectaron estas a las variedades.

El objetivo del trabajo fue entonces realizar diferentes combinaciones de variedades, distancias entre hileras y poblaciones; y evaluar la mas optima para

lograr un mayor rendimiento, mediante una mejor distribución de plantas en la hectárea y mejor utilización de recursos.

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVO

2.2.1. Características morfológicas

La soja o soya (*Glycine max*) es una planta del Reino; plantae, Subreino; tracheobionta, Filo; magnoliophyta, Clase; magnoliopsida, Orden; fabales, Familia; fabaceae, Subfamilia; faboideae, genero; glycine, especie; glycine max, nombre binomial; glycine MAX (L) MERR.

Fabácea; en latín, fabaceae, de faba “haba”

Es una dicotiledonea, leguminosa, oleaginosa, herbácea, anual de primavera-verano, cuyo ciclo vegetativo oscila de tres a siete meses.

Las hojas, los tallos y las vainas son pubescentes, variando el color de los pelos de rubio a pardo, más o menos grisáceo.

El tallo es rígido y erecto, termina en un nudo terminal con hojas trifoliadas. Adquiere alturas variables de 0,4 a 1,5 metros, según variedades y condiciones del cultivo, en promedio llega a 80 cm. Es ramificado, tiene tendencia al vuelco en ciclos largos.

El sistema radicular es potente, la raíz principal puede alcanzar hasta un metro de profundidad, aunque lo normal es que no sobrepase los 40-50 cm. Según Andrade et al. (2000) la raíz primaria deja de crecer algún tiempo después de la germinación y la exploración del suelo es realizada por raíces secundarias. En la raíz principal o en las secundarias se encuentran los nódulos, en número variable.

Los nudos situados a lo largo del tallo pueden producir primordios foliares y/o yemas axilares, estas pueden generar ramas, racimos florales o quedar latentes.

Las hojas basales son unifoliadas y ubicadas en nudos opuestos. Las restantes son alternas, compuestas, trifoliadas, con los folíolos oval-lanceolados. De color verde que se tornan amarillo en la madurez, quedando las plantas sin hojas.

Las flores se encuentran en inflorescencias racimosas axilares en número variable, de color blanquecino o púrpura, según la variedad. Estas tienen un alto porcentaje de aborto (80%), causado por diferentes factores como; competencia por fotoasimilados, sombreado, nubosidad en floración,

deficiencias hídricas, temperaturas fuera del rango óptimo (18-34°C), fotoperíodos largos y ataque de insectos y enfermedades.

El fruto es una vaina dehiscente por ambas suturas. La longitud de la vaina es de dos a siete cm. Cada fruto contiene una, dos, tres a cuatro semillas.

La semilla generalmente es esférica, del tamaño de un guisante y de color amarillo. El peso de 100 semillas comerciales es de 10 a 20 gramos. La semilla es rica en proteínas y en aceites. En la proteína de soja hay un buen balance de aminoácidos esenciales, destacando lisina y leucina.

2.2.2. Clasificación por hábito de crecimiento

Las plantas de soja se agrupan básicamente en dos grupos clasificados por hábito de crecimiento, determinado e indeterminado, que es el momento en que finaliza el crecimiento del tallo.

Las variedades determinadas florecen en un momento determinado del año, cuando los días comienzan a acortarse, por lo que este grupo tiene respuesta al fotoperíodo. Según Andrade et al. (2000) este cultivo se comporta como especie cuantitativa de día corto, esto significa que la planta demora en florecer si el fotoperíodo está por debajo de un valor crítico. El tallo principal detiene su crecimiento poco después de comenzar la floración. Poseen una superposición de 10-20% entre los estadios vegetativo y reproductivo. La aparición de hojas y tallos llega hasta R3.

Las variedades indeterminadas siguen floreciendo y continúan con su crecimiento vegetativo al mismo momento que el reproductivo, hasta R4. La producción de nudos sobre el tallo continúa luego de iniciarse la floración, poseen una superposición del 50% entre las etapas vegetativa y reproductiva.

2.2.3. Clasificación por respuesta a fotoperíodo y temperatura

Las variedades de soja se clasifican en doce grupos en función de su madurez y de los requerimientos de luz para florecer. Los GM están definidos por la sensibilidad que poseen al fotoperíodo para regular el momento de floración. Una mayor sensibilidad significa que pequeños incrementos en la duración del día retrasan mucho la floración. Por eso además de las condiciones de temperatura, humedad y suelo, para la germinación se debe considerar los requerimientos de luz en función de la situación geográfica y fecha de siembra, para la elección de la variedad a sembrar.

Resumiendo, los requerimientos para la inducción floral y llenado de grano es el fotoperíodo, y para la germinación, etapa vegetativa e inducción

floral se necesita la temperatura. Los GM 000 no presentan sensibilidad al fotoperíodo, se adaptan a latitudes altas (50 °), GM VIII, IX, X, aumentan la sensibilidad y disminuyen la latitud. Para una misma latitud, las variedades de grupos menores florecen y maduran antes que los grupos tardíos y mayores.

Cuadro No. 5 Grupos de madurez (GM)

	Grupos de Madurez	Requerimientos horas luz para florecer	Suma Térmica UT b 15 ° C
Tardías	VIII – IX – X (DETERMINADOS)	13 hs. o menos	+ de 2400
Semi tardías	V – VI – VII (DETERMINADOS)	15 a 14 hs.	1800 – 2400
Semi precoces	II – III – IV (INDETERMINADOS)	16 a 15 hs.	1200 –1800
Precoces	000 –00 –0I (INDETERMINADOS)	16 hs o mas	600 – 1200

Fuente: Giménez (2007).

Para la fase desde germinación hasta emergencia los requerimientos térmicos en suelo son, temperatura base: 6 - 9 ° C, temperatura óptima: 25 - 30 ° C, temperatura máxima: 40 ° C y tiempo térmico: 120 – 200 UT b6.

Los rendimientos máximos de este cultivo se alcanzan cuando las temperaturas diurnas son de 25 a 30 °C y las nocturnas entre 18 y 25 °C. Según Andrade et al. (2000) para maximizar la producción de biomasa en una estación de crecimiento sería ideal que las plantas se encuentren expuestas a una alta amplitud térmica.

2.2.4. Requerimientos edáficos e hídricos del cultivo

Se recomiendan suelos profundos, con pH entre 5,7 a 6,5, fértiles, planos o ligeramente ondulados, entre livianos a ligeramente pesados (no mas de 40% de arcilla) y con excelentes características de drenaje.

La soja al igual que otras leguminosas, pueden tomar al Nitrógeno directamente del aire, a través de microorganismos localizados en la raíz, lo que permite reducir la cantidad de Nitrógeno agregado en el fertilizante. Las semillas de estas plantas se deben inocular el mismo día de la siembra. Las principales limitantes agrícolas en los cultivos de verano, realizados en seco es la

disponibilidad hídrica, lo que provoca restricciones en el crecimiento y desarrollo de la agricultura de verano en el país, debido a la existencia de un periodo estival mas o menos prolongado con deficiencias hídricas Corsi, citado por Giménez (2005).

A su vez se suma otra limitante que es la baja capacidad de almacenaje de los suelos del Uruguay. En esta zona, según Molino et al., citados por Giménez (2005) la mayoría de las regiones agrícolas del litoral poseen suelos con una capacidad de almacenamiento de agua disponible (CAAD) que varia entre 80 y 160 mm. La CAAD de los suelos agrícolas, permite almacenar antes de la siembra, aproximadamente un tercio de las necesidades de agua de los cultivos agrícolas. Esta característica de los suelos agrícolas determina una elevada dependencia de las recargas hídricas, durante el ciclo, para abastecer adecuadamente las necesidades de agua de los cultivos. Estas necesidades de agua durante el ciclo del cultivo de la soja son de 500 – 600 mm. en cultivos de primera y de 400 – 500 mm. en cultivos de segunda. El régimen hídrico presenta una elevada variabilidad en las precipitaciones, lo cual provoca que la disponibilidad de agua sea habitualmente, la limitante principal de los cultivos de verano.

2.2.5. Estados fenológicos del cultivo

Los estadios vegetativos del cultivo son:

VE: Emergencia (cuando nace el cultivo con cotiledones cerrados)

VC: Cotiledones abiertos

V1: Primer nudo, o de hojas unifoliadas

V2: Segundo nudo, o 1º hojas trifoliadas totalmente expandidas

V3: Tercer nudo, o 2º hojas trifoliadas totalmente expandidas

Vn: Enésimo nudo

Los objetivos de Etapa Vegetativa son lograr:

- Superficie foliar para lograr IAF crítico
- No. nudos que permita sostener el numero potencial de vainas/m², sistema radicular extenso que habilite una absorción ajustada a los requerimientos de agua y nutrientes
- Masa nodular abundante que sustente una FBN acorde a las necesidades del cultivo.

Los estadios reproductivos son:

R1: Inicio de Floración: 1 flor abierta en cualquier nudo del tallo principal (50 % de plantas con 1 flor)

R2: Plena Floración: 1 flor abierta en 1 de los 2 nudos superiores del tallo principal

R3: Comienzo del desarrollo de vainas: vainas de 5 mm. en uno de los 4 nudos superiores del tallo principal

R4: Plena formación de vainas: vainas de 2 cm. de longitud en uno de los cuatro nudos superiores del tallo principal

R5: Comienzo del llenado de granos: vainas con granos de 3 mm. de longitud en uno de los cuatro nudos superiores del tallo principal

R6: Grano lleno: vaina conteniendo 1 semilla verde que complete la cavidad o lóculo en 1 de los 4 nudos superiores del tallo principal

R7: Madurez Fisiológica: 1 vaina sana y llena con grano completamente marrón (color de cosecha en cualquier nudo del tallo principal)

R8: Madurez total, 95 % de las vainas de color marrón, o sea color de cosecha.

Cuadro No. 6 Etapas fenológicas

	Inicio de Etapa	Plena Etapa
Floración	R1	R2
Fructificación	R3	R4
Llenado de Grano	R5	R6
Maduración	R7	R8

Fuente: Giménez (2007).

En R3/R4 se determina el rendimiento, en esta etapa puede haber vainas en desarrollo, flores marchitas, flores abiertas y botones florales al mismo tiempo. Las vainas en desarrollo se ubican en los nudos basales, donde se inicio la floración.

R5 es llenado de grano, se da un rápido crecimiento de las semillas, si se da un stress en este momento hay baja capacidad de recuperación. Hacia el final de esta etapa comienza el amarillamiento y caída de hojas.

Hasta R6 es el periodo de máxima acumulación de materia seca y nutrientes.

R7 es el inicio de la madurez. La madurez fisiológica de la semilla ocurre cuando la acumulación de peso seco se detiene (llenado). Las semillas y vainas son de color amarillento.

R8 es la plenitud de la madurez, se da el “efecto sonajero” los granos están sueltos dentro de las vainas. Al final se produce la homogenización de la madurez y baja el contenido de humedad de los granos. La cosecha se debe realizar con aproximadamente 13% de humedad.

2.3. APTITUD CLIMATICA DEL URUGUAY

El Uruguay se encuentra una zona templada, la temperatura media anual es de unos 17,5 °C, variando desde unos 20 °C en la zona noreste, hasta unos 16 °C en la costa atlántica.

Las temperaturas óptimas para el desarrollo de la soja están comprendidas entre los 20 y 30 °C, siendo las temperaturas próximas a 30 °C las ideales para su desarrollo.

El crecimiento vegetativo de la soja es pequeño o casi nulo en presencia de temperaturas próximas o inferiores a 10 °C, deteniéndose su crecimiento por debajo de los 4 °C. Sin embargo, es capaz de resistir heladas de -2 a -4 °C sin morir.

Temperaturas superiores a los 40 °C provocan un efecto no deseado sobre la velocidad de crecimiento causando daños en floración y disminuyendo la capacidad de retención de chauchas.

Las temperaturas óptimas oscilan entre los 15 y los 18 °C para la siembra y los 25 °C para la floración. Sin embargo, la floración de la soja puede comenzar con temperaturas próximas a los 13 °C.

Las lluvias totales medias anuales para el país son de 1300 mm. tienen su valor mínimo hacia el sur sobre las costas del Río de la Plata con casi 1000 mm. y su valor máximo hacia el noreste en la frontera con Brasil con 1400 mm. Pese a la distribución de valores medio, las precipitaciones en el Uruguay se caracterizan por su extrema irregularidad y variabilidad.

Respecto a los requerimientos de humedad, la soja necesita al menos 500 mm. de agua durante su ciclo, y 100 a 150 mm. durante su periodo crítico, por lo que el cultivo depende de la variabilidad de las precipitaciones y de la recarga del perfil.

2.4. GRUPOS DE MADUREZ (GM), DISTANCIA ENTRE HILERAS (DH) Y DENSIDAD

En esta revisión bibliográfica se busca obtener información acerca de cómo impacta el aumento de población en los diferentes grupos de madurez. Así como también la modificación de la distancia entre hileras.

La construcción del rendimiento comienza con la elección del GM, la fecha de siembra, Giménez (2005), densidad y distancia entre hileras, como los pasos más importantes determinados por la oferta ambiental. Luego se determinan fertilización fosfatada e inoculación, después el control de malezas y plagas, lo que determinara el rendimiento y la calidad.

El genotipo definido por el GM, define la fecha de floración y maduración. La densidad y fecha de siembra, ambas características son importantes a la hora de captar la mayor cantidad de luz solar y cubrir el suelo rápidamente.

La modificación de la distancia entre hileras permitiría una cobertura eficiente en cuanto al uso de la energía solar (95% de intercepción en R3), además un buen desarrollo, evitaría el vuelco, reduciría la incidencia de enfermedades y lograría una altura adecuada para la inserción de las vainas inferiores, facilitando la cosecha. Cuanto más corto es el ciclo de las variedades más se pueden acercar las hileras, porque las plantas son más chicas.

A igual densidad, la reducción de la distancia baja la emergencia tardía de malezas, mejora la conservación de agua, reduce la erosión y contribuye a la distribución uniforme de las raíces. La densidad tiene un efecto neutro sobre el rendimiento, porque la soja tiene gran capacidad de compensación de la densidad a través del número de ramificaciones y de frutos por planta.

2.4.1. Características de los grupos de madurez (GM)

Según Díaz Zorita (2004) debido a la respuesta fotoperiódica de la soja, los cambios en latitud modifican la longitud de ciclo de cada cultivar, los que incrementan su ciclo a medida que se los cultiva en latitudes mas altas, hacia el sur del hemisferio sur. Satorre et al. (2003) encontraron que los GM cortos son poco sensibles al fotoperíodo y como las temperaturas son altas en el momento en el que ocurre el periodo crítico la etapa tiende a acortarse.

Este resumen es en base a Baigorri y Croatto (2000), Díaz Zorita (2004) Cultivares de ciclo corto

Los requerimientos

- Mayor densidad de plantas
- Menor distancia entre surcos
- Suelos con menores limitaciones físico-químicas
- Mayor control de plagas y malezas

Características

- Menor vuelco
- Mayor índice de cosecha
- Mayor número promedio de semillas por vaina
- Mayor tamaño de semilla
- Mayor Rendimiento en condiciones de alta fertilidad y disponibilidad hídrica
- Mayor posibilidad de escape a algunos problemas sanitarios
- Menor calidad de semilla, debido a la mayor temperatura del ambiente durante la madurez
- Relación directa entre altura número de nudos y biomasa área total con el rendimiento
- Desocupan antes la chacra

Cultivares de ciclo medio

Las características con respecto al ciclo corto

Requerimientos

- Menor densidad de plantas
- Suelos con mayores limitaciones físico-químicas para reducir su desarrollo vegetativo
- Menor control de malezas y plagas

Características

- Mayor plasticidad en fecha y densidad de siembra
- Mayor estabilidad de rendimiento al retrasar su llenado de granos hacia un periodo con menor probabilidad de ocurrencia de stress hídrico
- Mayor tolerancia a errores en el control de plagas y malezas
- Mayor tendencia al vuelco especialmente en zafras con buena disponibilidad hídrica, y en especial de siembras del mes de noviembre
- Mayor predisposición a ser afectados por la podredumbre húmeda del tallo
- Mejor calidad de la semilla

Cultivares de ciclo largo

Las características con respecto al ciclo corto y medio

Requerimientos

- Menor densidad de plantas
- Suelos con mayores limitaciones físico-químicas
- Menor control de plagas y malezas

Características

- Mayor susceptibilidad al vuelco, sobretodo en zafras con buena disponibilidad hídrica y en especial en siembras del mes de noviembre
- Mayor tolerancia al control de plagas y malezas
- Mejor comportamiento en suelos con limitaciones físico-químicas
- Mayor competencia con las malezas por su mayor crecimiento
- Mejor comportamiento ante deficiencias en el manejo del cultivo

Según Díaz Zorita (2004) el mejoramiento genético ha seleccionado en los GM IV o menores cultivares con hábito de crecimiento indeterminado y en los GM V o mayores cultivares con hábito de crecimiento determinado. Esto se debe a que la menor extensión del PLH de las latitudes en las que están adaptados los cultivares GM 000 al IV obliga a reducir la longitud del ciclo de vida de los mismos y hábitos de crecimiento indeterminados permiten mantener la duración de las etapas reproductivas adelantando la ocurrencia de las mismas, superponiéndolas a etapas vegetativas y contribuyendo a aumentos en el crecimiento en altura.

Los cultivares de GM V al IX disponen de estaciones de crecimiento mas largas en las latitudes que están adaptados y tienen a floración un adecuado crecimiento en altura.

Al extenderse el crecimiento en altura luego de la floración se incrementan las posibilidades de vuelco (Díaz Zorita, 2004).

Baigorri y Croatto (2000) afirman que las características que condicionan la fecha de siembra de cada cultivar son; la longitud del ciclo, la altura, el desarrollo vegetativo, el vuelco como el habito de crecimiento, la respuesta fotoperiódica al atraso en la fecha de siembra y el comportamiento frente a las enfermedades y plagas

Ceretta y Vilaró (2003) en un experimento realizado durante la zafra 2002/2003 en La Estanzuela y Young, estudiaron el comportamiento agronómico de distintos GM en un rango del III al VII, en dos épocas de siembra, 25/10 (LE1) y 29/11 (LE2), y una época de siembra en Young el 7/11. Estos determinaron para el largo del ciclo que existe una interacción entre el GM y fechas de siembra desde emergencia a floración. Por lo tanto el acortamiento total del ciclo desde emergencia a floración en siembras de fines

de noviembre fue menor para ciclos cortos (18 días menos) a diferencia de ciclos largos (25 días menos), determinando que los GM V, VI y VII se cosecharon en la misma fecha que los GM mas cortos (29/4). En este mismo experimento midieron la altura de las plantas, donde encontraron que en GM mayores se incrementa la altura de plantas. En general el atraso en la fecha de siembra afecto en mayor medida a los GM III y IV, los cuales redujeron su altura en aprox. 10 cm. mientras que los GM VI y VII, casi no la variaron. En este caso se debe considerar que en ambas épocas de siembra en La Estanzuela no existieron déficits hídricos. Para el componente número total de vainas por planta a medida que se incremento el GM, mayor fue este número. En los demás componentes, (numero de nudos del tallo principal, numero de ramas, numero de vainas en el tallo principal y numero de vainas en las ramas) no presentaron correlación con el GM. Por lo que el rendimiento debió estar determinado por mecanismos de compensación entre el número de granos por metro cuadrado y el peso de mil granos, estas variables no fueron medidas. Así los cultivares de ciclo corto al tener menor numero de vainas compensaron su rendimiento por medio de mayor numero de granos por vaina, y mayor tamaño de grano, esto fue posible por la no existencia de restricciones.

Con respecto al rendimiento en grano no existió correlación entre el largo del ciclo y el rendimiento en grano, todos los GM tuvieron un buen comportamiento. Si bien los GM V, VI y VII son los que presentaron mayor rendimiento y estabilidad. Para el caso de los experimentos realizados en Young se determino un menor rendimiento y se observo alta correlación entre GM y rendimiento en grano. En este caso se dieron condiciones de abundante lluvia y altas temperaturas durante el llenado de grano (R4), lo cual perjudico el rendimiento por la incidencia de antracnosis, afectando mayormente a los GM cortos.

Según Giménez (2005) en un experimento con riego suplementario, realizado en dos zafra, 03/04 en Dolores y Paysandú y 04/05 en Dolores y Salto, se evaluaron diferentes variedades; ciclos cortos, medios y largos. Estaban distanciadas a 0,38 mts. y con una densidad de plantas objetivo para ciclo corto de 450.000 pl./ha, ciclos medios de 350.000 pl./ha y ciclos largos de 250.000 pl./ha.

Los ciclos cortos obtuvieron menor rendimiento en la segunda zafra, en comparación con los ciclos medios y largos. Esto fue causado por las altas temperaturas en los meses de diciembre y enero provocando acortamiento de las etapas vegetativas, menor altura de planta y escasa deposición de materia seca, factores determinantes del rendimiento en ciclos cortos.

De acuerdo a los datos de evaluación de cultivares de soja del convenio INIA/INASE durante la zafra 05-06 Ceretta (2006) y la zafra 06-07 Vilaró (2007),

se recabo información de los cultivares utilizados en nuestro experimento. Estos son, A4613 del criadero Nidera S.A. correspondiente a un GM 4,6, DM5.5 del criadero Don Mario correspondiente a un GM 5.5 y A6126 del criadero Nidera S.A. correspondiente a un GM 6,1.

Estas evaluaciones se llevaron a cabo en dos localidades con diferentes fechas de siembra, La Estanzuela 1, Young y La Estanzuela 2, por la localización del experimento se tomaron como referencia solo los datos de Young. Para la localidad de Young la fecha de siembra para la zafra 05-06 fue 19/10/05 y para la zafra 06-07 la fecha de siembra fue el 24/10/06.

Cuadro No. 7 Características de los cultivares

ZAFRA 05-06			
Variable	4613	5.5	6126
Días a floración*	39	63	45
Altura (cm)	50	95	70
Rendimiento Prom. (Kg./ha)**		2700	
Rendimiento (Kg./ha)	2730	3267	2742
% respecto media	101	121	102
Fechas cosecha	14/03/2006	30/03/2006	13/04/2006
ZAFRA 06-07			
Días a floración*	37	59	62
Altura (cm)	74	99	78
Rendimiento (Kg./ha)	1934		2642
Fechas cosecha	27/04/2007	27/04/2007	17/05/2007

* ciclo días emergencia – 50% floración

** promedio cultivares evaluados Young 05-06

Fuente: URUGUAY. INIA/INASE (2007).

Para la zafra 06-07 no se tomaron datos de rendimiento para el análisis conjunto para la localidad de Young, por problemas de implantación de algunas parcelas.

2.4.2. Distancia entre hileras

Satorre et al. (2003), en los cultivos graníferos el arreglo espacial es muy importante, este se basa en la rectangularidad, la cual se define como el cociente entre la distancia entre hileras y la distancia entre plantas dentro de la hilera. Cuando la distribución es 1:1 el rendimiento del cultivo tiende a ser mayor a cualquier densidad, dado que se minimiza la competencia por recursos.

La reducción de la rectangularidad cuando contribuye al incremento del rendimiento es porque el cultivo tiene la capacidad de; optimizar el uso de radiación incidente, principalmente en las primeras etapas del cultivo, alcanzar el 95 % de intercepción en el periodo crítico y reducir las pérdidas por evaporación. Esto se modifica cuando se dan años secos donde el acortamiento de la distancia entre hileras resultó en un efecto negativo sobre el rendimiento, porque se da un mayor consumo de agua en la etapa vegetativa quedando menos disponible para las etapas más críticas.

Según Baigorri (2000), Díaz Zorita (2004) la distribución espacial de plantas ideal es la de equidistancia en y entre la línea de siembra y contribuye a la óptima distribución de recursos (radiación, agua y nutrientes).

Bodrero et al. (2003) evaluaron dos distancias entre hileras durante los años 1991 al 1995, 70 vs. 35 cm. con similar densidad de plantas por unidad de superficie. La reducción del espaciamiento entre surcos permitió en todos los casos una mayor cobertura del entresurco por el canopeo y una mejor intercepción de la radiación. La mayor utilización de la energía lumínica a 35 cm. entre surcos se manifestó, en la mayoría de los años, a través de un mayor rendimiento, salvo que se produjera algún episodio de sequía durante el período crítico del cultivo (R4-R6). La magnitud del incremento de rendimiento debido a la reducción del espaciamiento entre surcos de 70 a 35 cm. alcanza valores máximos de hasta un 30 %. Con menor distancia y/o mayor cantidad de plantas por superficie mejora la producción ya que al incrementar la intercepción de luz la planta dispondría de mayor cantidad de asimilados para la fijación de estructuras reproductivas. Bodrero, citado por Andrade et al. (2000), determinó un 12 % más de rendimiento en sojas de segunda bajo riego a 35 cm que a 70 cm. La diferencia se asoció a un mayor porcentaje de intercepción de radiación en R5.

Resultados similares obtuvieron Parvez et al., citados por Bowers (2000) en soja de crecimiento determinado e indeterminado en el norte de USA. Lograron el mayor rendimiento con distribución equidistante entre las plantas con la distancia entre hileras cercana, lo cual incrementó el uso eficiente de la radiación, particularmente antes de que el canopeo del cultivo se cierre (Wells, Savoy y Cothren, citados por Bowers, 2000).

Según Andrade et al. (2000) el espaciamiento entre hileras es una variable de manejo que puede tener un importante efecto sobre el rendimiento. El espaciamiento entre surcos influye en mayor medida sobre la distribución espacial de las plantas a diferencia de solo modificar la densidad de siembra.

Un espaciamiento que permita una distribución más equidistante de las plantas permitiría un cierre mas temprano del canopeo, asegurando una cobertura adecuada de suelo en los periodos críticos determinantes del rendimiento.

Según Shibles y Weber, Shaw y Weber, citados por Bodrero (1988) los aumentos de rendimiento obtenidos con distancias entre hileras menores, lo atribuyeron a un mejoramiento en la distribución de las hojas, a una mayor intercepción de radiación y a un aumento en la fotosíntesis.

Cooper, Costa et al., citados por Bodrero (1988), afirman que cualquier factor que limite el tamaño de plantas, como siembras tardías o condiciones ambientales desfavorables tienden a aumentar el rendimiento cuando se acercan los surcos, esto no es así en sequías o déficits de nutrientes muy severos.

Según Baigorri y Croatto (2000), Díaz Zorita (2004) la elección del espaciamiento entre surcos depende de la fecha de siembra, la latitud, las condiciones ambientales y las características del cultivar.

En realidad, los incrementos en rendimiento asociados con distancias más cercanas puede ser mejor con siembras tardías que en fechas óptimas Boerma y Ashley, Boquet et al., Borrada et al., citados por Bowers (2000). Distancias cercanas han rendido mas que distancias mas alejadas en siembras tempranas (abril Hemisferio Norte) (Beatty et al., Boquet et al., citados por Bowers, 2000).

En años húmedos el excesivo crecimiento de los grupos de madurez largos puede provocar problemas de vuelco, sanitarios, etc., por lo que de ser posible se recomienda la siembra a 50 cm. de DH como la mas adecuada. Los grupos cortos no se recomiendan en ningún momento a distancias mayores a 38 cm puesto que su crecimiento vegetativo no permite una intercepción adecuada de luz. En siembras tardías como lo son segundas de diciembre puede ser interesante la siembra a 19 cm. entre líneas (Díaz Zorita, 2004).

Los GM V hasta a VIII de soja de crecimiento determinado creciendo a una distancia entre hilera cercana (generalmente 50 cm. o menos) producen rendimientos mas altos que sojas a distancias entre hileras mas anchas (75 a 100 cm.) en el sur de USA, Carter y Boerma, Parker et al., Beatty et al., Ethrege et al., Triade et al., citados por Bowers (2000). Sin embargo Heatherly, citado por Bowers (2000), encontró que los aumentos en rendimientos asociados con distancias cercanas eran inconsistentes en los años.

Investigaciones previas mostraron que espaciamientos cercanos (20 – 25 cm.) rindieron significativamente mas que espaciamientos amplios (76 – 100

cm.) solo en ambientes de alto rendimiento. En años con lluvia normal o ligeramente por debajo de lo normal, el espaciamiento entre hileras no tiene efecto significativo en el rendimiento de grano. Por eso que en ambientes con baja lluvia, amplias distancias fueron reportados con mayor rendimiento que distancias cercanas (Alessi y Power, Devlin et al., citados por Bowers, 2000).

En condiciones ambientales limitantes para el crecimiento del cultivo, la reducción del espaciamiento contribuye a mejorar el aprovechamiento de la radiación, el control de malezas e incrementa el rendimiento. El espaciamiento entre surcos optimo es el que permite lograr una cobertura que asegure un uso eficiente de la radiación solar, un buen crecimiento evitando el vuelco, una reducción de la incidencia de enfermedades y una altura adecuada de inserción de las vainas inferiores para facilitar la cosecha y evitar perdidas en la misma.

Andrade et al. (2000) concluyo que en situaciones de deficiencia temprana de agua o nutrientes o daños por heladas en las primeras etapas del ciclo del cultivo estos pueden presentar una baja cobertura en los periodos críticos determinantes del rendimiento. En dichas situaciones se espera una respuesta positiva a la reducción en la distancia entre hileras. En general baja disponibilidad de nutrientes limita la expansión foliar y afecta el objetivo de alcanzar optima cobertura previa a los momentos críticos del cultivo. Por lo tanto, la respuesta a hileras angostas es mayor en cultivos sometidos a deficiencias durante las primeras etapas del cultivo.

El espaciamiento entre surcos optimo se reduce con el incremento de la latitud. A mayores latitudes la menor estación de crecimiento limita la producción de biomasa y al reducir el espaciamiento se anticipa la cobertura del suelo incrementando la producción de la misma (Díaz Zorita, 2004). Según Andrade et al. (2000) la respuesta a la reducción de distancia entre hileras aumenta con la latitud.

Andrade et al. (2000) afirman que al disminuir la distancia entre hileras desde 100 a 25 cm. en un GM II de soja en Iowa, EE.UU., permitió reducir desde 65 a 55 días el tiempo para interceptar el 95 % de la radiación, el IAF crítico disminuyo de 4,3 a 3,6 aumentando el rendimiento en un 33 %.

Según Díaz Zorita (2004) los cultivares con más crecimiento tienen menores exigencias de reducción del espaciamiento entre surcos. Board, citado por Melchior y Peltzer (2001) para optimizar el rendimiento en siembras tardías se debe contemplar la necesidad del mayor aprovechamiento de la radiación mediante una cobertura anticipada del suelo, por lo que se puede modificar el espaciamiento entre hileras, la densidad de plantas y la elección del cultivar.

Las diferencias en rendimiento entre espaciamientos son menores a nulas en siembras de noviembre. En siembras tardías (posteriores al 15 de diciembre) y tempranas (septiembre-octubre) se obtienen mayores rendimientos con distancias inferiores a 52 cm., reducciones en el espaciamiento permiten compensar disminuciones de rendimiento por adelantos y atrasos de la fecha de siembra.

Satorre et al. (2003) afirman que con cultivares de GM mas cortos y fechas de siembras muy tempranas o muy tardías se debe acercar la distancia entre surcos. Asimismo, con ambientes más desfavorables, menor debería ser la distancia entre surcos. En cambio con cultivares con GM mas largos y en siembras normales no se debe acortar la distancia entre surcos porque pueden generarse condiciones favorables para enfermedad y vuelco.

No todos los cultivares responden por igual al espaciamiento entre surcos. Los cultivares mas precoces y con menos ramificaciones presentan mayor respuesta y magnitud del incremento del rendimiento.

Entre las limitaciones a la reducción en la distancia entre surcos se encuentran; el vuelco y la mayor incidencia de enfermedades. No obstante, los problemas de vuelco derivan en general de una falta de ajuste de la densidad de siembra, el ambiente, la fecha de siembra, el grupo de madurez y el cultivar elegido. Es recomendable reducir el espaciamiento cuando el cultivar elegido para un ambiente y fecha de siembra no logra un desarrollo adecuado. Las siembras a 52 cm. de distancia entre hileras permiten anticipar y postergar las fechas de siembras sin afectar significativamente los rendimientos como ocurría con siembras espaciadas a 70 cm.

Satorre et al. (2003) compararon el rendimiento de diferentes GM a 52 cm. de distancia entre surcos versus 70 cm. y observó que a menor GM y fecha de siembra mas temprana, mayor fue la diferencia de rendimiento a favor de la menor distancia entre surcos.

Andrade et al. (2000) al disminuir la distancia entre hileras manteniendo la misma densidad se favoreció el espacio por planta dentro de la línea, disminuyendo la competencia por luz, agua, nutrientes en las primeras etapas del cultivo, haciendo que las plantas sean más grandes con mayor área foliar y mayor numero de nudos.

Egli, citado por Melchiori y Peltzer (2001) formulo como hipótesis que un arreglo espacial mas uniforme aumenta la eficiencia de partición de asimilados hacia destinos reproductivos generándose mayores rendimientos a base de mayor numero de nudos y vainas por unidad de superficie.

Según Díaz Zorita (2004) en trabajos de Peltzer y Melchiori en la EEA INTA Paraná mostraron que en siembras de octubre para distancias de 35 cm., 52 cm. y 70 cm, el acercamiento entre hileras favoreció el rendimiento de cultivares de GM IV, V, VI y VII. En siembras de noviembre los cultivares cortos indeterminados tuvieron menor rendimiento con el máximo distanciamiento y cultivares de GM VI mostraron escasas diferencias entre distanciamientos. En siembras tardías todos los cultivares respondieron positivamente a la reducción del distanciamiento entre hileras.

Díaz Zorita (2004) afirma que a medida que se aleja de la fecha de siembra del 1º de noviembre, tanto hacia siembras más tardías como hacia siembras más tempranas se observaron mejoras en los rendimientos al reducir la distancia entre hileras. Esta respuesta es inversa a la longitud del ciclo del cultivar y esta asociada a una mayor intercepción de la radiación a comienzos de floración y a una menor producción de biomasa aérea acumulada a R5.

La reducción de la distancia entre hileras determina un aumento del diámetro de los tallos, disminución del vuelco y altura, reducción de la emergencia tardía de malezas, mayor conservación de la humedad superficial, reducción de la erosión una vez que el cultivo está establecido y una distribución más uniforme del sistema radicular (Baigorri y Croatto, 2000).

Bodrero (2002), en sojas de primera (15 de oct. y nov.) sin restricciones hídricas ni nutricionales no observó respuesta en rendimiento al disminuir la DH, ya que el cultivo presenta gran capacidad para ramificar y de esta forma cubrir el suelo antes de los periodos más críticos en determinar el rendimiento (Beaty et al., Bodrero et al., Mendez et al., citados por Borrero, 2003).

En contraposición en siembras de segunda, las plantas alcanzaron un menor desarrollo (menor número de nudos, menor altura, menor IAF), por lo tanto si se disminuye la DH se logra una mejor intercepción de la radiación, y así un mayor rendimiento (Board et al., Bodrero et al., Rocchi et al., citados por Borrero, 2003).

2.4.3. Densidad de siembra

Según Baigorri y Croatto (2000), Díaz Zorita (2004), la soja es una especie con alta plasticidad a la densidad de siembra, debido a que tiene buena capacidad de compensación a través del número de ramas y frutos por planta.

La densidad de plantas óptima es aquella que permite un buen crecimiento evitando el vuelco, reduce la incidencia de enfermedades, asegura una adecuada altura de inserción de las vainas inferiores para facilitar la cosecha y evitar pérdidas. Según estos autores, la densidad de plantas óptima dependerá de la fecha de siembra, latitud, condiciones ambientales, características del cultivar y del espaciamiento entre surcos.

Baigorri y Croatto (2000), Díaz Zorita (2004), afirman que en siembras tardías es conveniente aumentar las densidades de siembras, lo mismo en siembras de septiembre y octubre en las que se reduce la altura. A mayor latitud las densidades óptimas tienden a ser mayores complementándola con la reducción en espaciamientos entre surcos para lograr rápidas coberturas e incrementar así la eficiencia de uso de la radiación solar en siembras de fines de diciembre principios de enero.

Cuando el ambiente (suelo, clima, malezas) limita el crecimiento del cultivo es necesario incrementar la densidad de siembra para lograr una mejor cobertura. Los cultivares con más crecimiento, ya sea por su mayor longitud de ciclo, tendencia al vuelco o altura, tienen densidades óptimas menores.

No todos los cultivares responden de igual modo a la modificación de la densidad de siembra; cada uno presenta una densidad óptima en función de las condiciones ambientales.

Baigorri y Croatto (2000), Díaz Zorita (2004) han reportado respuestas crecientes del rendimiento a la densidad de siembra en cultivares de ciclo corto y en siembras tardías. Recomiendan mayores densidades de siembra a menor longitud de ciclo y para un mismo cultivar a medida que se modifica la fecha de siembra con respecto al mes de noviembre.

Según Melchiori, citado por Melchiori y Peltzer (2001) con el fin de optimizar el arreglo de la canopia se pueden modificar dos factores; la densidad de siembra y el arreglo espacial. Duncan, citado por Melchiori y Peltzer (2001) señaló que para la respuesta en el cambio de densidad existen tres fases; la primera de respuesta proporcional al aumento de radiación interceptada, la segunda incrementos con máxima intercepción y por último la estabilización del rendimiento ante aumentos en la densidad.

La disminución en la densidad de siembra aumenta en forma lineal el número de ramificaciones y nudos por planta y determina un acortamiento de los entrenudos (menor altura y vuelco), un engrosamiento de los tallos y un incremento del número de nudos.

2.4.3.1. Densidad de plantas

Según Satorre et al. (2003) la densidad de siembra es un manejo que determina la capacidad del cultivo de interceptar los recursos, pudiendo llegar a afectar de manera importante la captura y utilización de la radiación, agua y nutrientes. La definición de la densidad apunta a maximizar la utilización de recursos y reducir los efectos perjudiciales tanto bióticos como abióticos y así aumentar el rendimiento y la calidad de grano. Este manejo debe asegurar coberturas vegetales tempranas y uniformes, sobretodo en los periodos críticos del cultivo.

La densidad óptima para alcanzar el máximo rendimiento dependerá del genotipo, de la fecha de siembra y de las restricciones del ambiente. Andrade et al. (2000) afirmaron que la gran plasticidad vegetativa y reproductiva y sus bajos umbrales para producir granos, hace que la soja sea el cultivo menos sensible a la variación en la densidad de plantas y a la desuniformidad en el tamaño de las plantas. Por otro lado, su amplio periodo reproductivo le confiere tolerancia ante situaciones de stress puntuales.

En condiciones de adecuada disponibilidad hídrica el rendimiento de soja es poco sensible a la densidad por la alta plasticidad que presentan las plantas, sin embargo en ambientes restrictivos durante la primera mitad del ciclo del cultivo, la plasticidad vegetativa no se expresa adecuadamente, por lo que se podría aumentar la densidad.

Baigorri, citado por Andrade et al. (2000) recomienda aumentos en la densidad entre un 25 y 28 % para ambientes de baja calidad. Esto no disminuye la partición de MS a destinos reproductivos ante la disminución de recursos por planta.

Según Satorre et al. (2003), Díaz Zorita (2004), la densidad de plantas adecuada es un rango amplio y el aspecto de menor importancia relativa en la definición del potencial de rendimiento. Frecuentemente en cultivares del GM IV se buscan densidades de 20 a 30 Pl/m² logradas, a cosecha. Resultados de un ensayo citado por Díaz Zorita (2004) de densidades con un cultivar del GM IV en un ambiente de alta productividad, para fecha de siembra normal y, a 52 cm. entre hileras, muestran rendimientos similares para densidades de entre 10 y 40 Pl/m². No obstante, aun con estos resultados no es aconsejable obtener densidades en los extremos del rango que aumenten los riesgos de no lograr el potencial de rendimiento.

En siembras de segunda, durante diciembre y sobre rastrojos de cultivos invernales, las densidades objetivos se ubican entre 30 y 40 PL/m², dependiendo del grupo de madurez y de distancia entres surcos.

Las fechas de siembra muy tempranas o fechas de siembra muy tardías, con cultivares de GM relativamente cortos y los peores ambientes productivos, son las situaciones donde se debe buscar densidades de plantas mayores (limite superior del rango de densidades de siembra). Las siembras tardías de soja requieren densidades de población considerablemente mayores que aquellas recomendadas para la producción que maximice el rendimiento (Ball et al., 2000).

Shibles y Weber, citados por Bodrero (2003), encontraron para un cultivar GM II en Iowa que la eficiencia en el uso de la radiación fue aproximadamente constante en un año con adecuada lluvia a través de una densidad de población en el rango de 6 a 52 PI/m². En un año con lluvias subóptimas, la eficiencia en el uso de la radiación disminuyo con el aumento en la densidad de población.

A medida que la densidad de población aumenta, el tiempo requerido hasta la cosecha para interceptar el total de luz fue decreciendo, lo que acorto el tiempo requerido para la acumulación lineal de biomasa al principio y resulto en mayores cantidades de biomasa al final de la estación. Su hipótesis fue, dando adecuados nutrientes y agua, la eficiencia en el uso de la radiación podría ser constante si la densidad de población incrementara, y en ese incremento en la densidad de población podría resultar en grandes cantidades de biomasa al final de la estación.

Según Díaz Zorita (2004) los ensayos de densidad demostraron una gran plasticidad del cultivo de soja y en fechas optimas de siembra no hay diferencias importantes entre cultivos de entre 250.000 y 500.000 plantas/ha. De todas formas densidades superiores a las 350.000 plantas/ha permitirían asegurar una mejor estructura de cultivo ante las posibles perdidas de plantas comunes en los primeros años de rotación. Esto es más importante con grupos cortos con baja capacidad de compensación recomendándose mayores densidades de plantas al sembrar GM cortos que al sembrar ciclos largos. A medida que las condiciones de implantación y la calidad de siembra son mas favorables es posible reducir la densidad de siembra optimizando el uso el recurso semillas, agua, fertilidad, etc.

La importancia de la intercepción de luz para el crecimiento del cultivo y rendimientos esta bien establecido para todos los cultivos. En soja los estudios de densidad de población durante los últimos 60 años han demostrado que el

rendimiento incrementa con el aumento en la densidad de población hasta cierto nivel, por encima del cual no hay más incremento del rendimiento o en algunos casos hay descenso del rendimiento (Wiggans, Shibles y Weber, Cooper, Egli, Weber et al., Ball et al., citados por Ball, 2002). La razón de que el rendimiento tenga un tope con densidades de población por encima de cierto nivel no ha sido registrado. Incrementos o descensos en el índice de cosecha han sido considerados como factores responsables de que el rendimiento permaneciera constante o decayera con altas densidades de población. En trabajos previos Ball et al. (2002) basado en los experimentos de Keiser, encontraron que el tiempo requerido para la completa intercepción de luz para empezar una acumulación lineal fue acortado con incrementos de densidad de población en siembras de soja tardías.

Para una fecha de siembra tardía y para GM corto (IV), el rendimiento continuó incrementándose en extremadamente altas densidades de población ($>60 \text{ pl/m}^2$) y fue cercana la asociación con la cosecha de biomasa. La hipótesis de este trabajo fue que con incrementos de densidad, grandes cantidades de luz podrían ser acumuladas durante la estación, resultando en incrementos finales de biomasa, asumiendo que la eficiencia en el uso de la radiación no fue afectada por la densidad de población. Al contrario de lo que indica la hipótesis, la eficiencia en el uso de la radiación disminuyó con incrementos en la densidad de población en cultivos sembrados temprano; y en tres de los cuatro ambientes estudiados la eficiencia en el uso de la radiación, fue disminuyendo por la densidad de población por una siembra tardía.

Se propone que la disminución de la eficiencia en el uso de la radiación con altas densidades de población es responsable por el techo en el rendimiento comúnmente observado en experimentos de densidad de población y por la relación asintótica de la brotación de biomasa con altos niveles de radiación fotosintéticamente activa acumulada.

2.4.4. Estructura del cultivo

Es más importante la estructura del cultivo que la población dentro de determinados rangos. Lo más importante es combinar un adecuado distanciamiento entre hileras, y en la hilera para que en las diferentes situaciones logremos la mayor área de intercepción foliar lo más rápido posible.

Según Bodrero (1988), la soja es un cultivo sensible al fotoperíodo, por lo que la arquitectura de las plantas variara de acuerdo a fechas de siembra, GM, cultivar dentro de este, densidad de plantas y productividad de la chacra.

Shibles y Weber, citados por Bodrero (2002), asumiendo que la eficiencia en el uso de la radiación es constante y que el largo de ciclo del cultivo no es afectado por la densidad de población; incrementando la densidad de población se esperaría acortar el tiempo requerido para la máxima intercepción de luz, incrementándose el total de acumulación de radiación fotosintéticamente activa para el cultivo durante la estación y resulta en mayor biomasa en la madurez del cultivo.

Según Díaz Zorita (2004) las posibilidades de respuesta en rendimiento al acercamiento entre hileras, para cultivares de ciclo mas corto y en fechas mas extremas estarían asociadas a la calidad de siembra, densidad y distribución de plantas en la hilera que se pueda alcanzar con sembradoras capaces de reducir el distanciamiento entre hileras. Este autor considera que los criterios para la elección de variedades deben responder a una estrategia que combine distribución de fechas de siembra y de longitud de ciclo para asegurar una buena distribución de riesgos de sequía durante el periodo crítico y de excesos de humedad durante la cosecha. Dentro de este marco, el criterio para la selección de cultivares para cada ciclo debe permitir un alto potencial de rendimiento y buenas condiciones sanitarias. Se deben buscar también cultivares que permitan baja dehiscencia y buena tolerancia de las vainas a malas condiciones ambientales durante cosecha, ya que suelen presentarse condiciones de alta humedad y temperatura que favorecen el desarrollo de hongos en las semillas deteriorando su calidad al demorarse la cosecha.

Melchiori, citado por Melchiori y Peltzer (2001), en un experimento realizado en INTA EEA Paraná (con dos cultivares, IV y VI, con DH de 0,175, 0,35, 0,52 y 0,70 cm. y tres densidades para el GM IV de 200, 300 y 400 mil plantas por metro cuadrado y para el GM VI 200 y 300 mil plantas por metro cuadrado), observo que la variación en la arquitectura de la planta como respuesta en los cambios en densidad no se evidencio en el menor distanciamiento debido a la escasa competencia dentro del surco dentro de las demás densidades evaluadas. Para el resto de las distancias hubo mayor competencia entre las plantas dentro de la línea disminuyendo la ramificación ante aumentos de la densidad, siendo este efecto mayor en GM indeterminados que en GM determinados. Este experimento concuerda con Egli, citado por Melchiori y Peltzer (2001), donde afirmo que una distribución mas uniforme aumenta la eficiencia de utilización de los asimilados incrementando el rendimiento con valores de intercepción de radiación similares en cultivares determinados y en fechas optimas de siembra y comportamientos similares en cultivares indeterminados con fechas tardías.

El efecto de la densidad fue mayor en cultivares indeterminados, el cual definió el rendimiento a partir de componentes del tallo principal, reduciendo el

peso de los componentes en ramas (Boquet, Ethredge et al., citados por Bowers, 2000).

Díaz Zorita (2004) reportó efectos positivos de reducciones en el espaciamiento entre surcos sobre el control de malezas permitiendo una competencia temprana por el cultivo con un rápido sombreado del suelo. Además se mejora la acción de los herbicidas. Según Shibles y Green, citados por Andrade et al. (2000) la reducción entre hileras y el aumento en la densidad de plantas aseguran un crecimiento mas rápido del follaje permitiendo una mayor competencia contra las malezas. Según Mickelson y Renner, citados por Andrade et al. (2000), esto disminuye el costo del control químico.

Díaz Zorita (2004), sus estudios muestran en cuanto al distanciamiento entre hileras de siembra, que se hace más importante en los GM cortos y en fechas de siembra tardías, por la menor capacidad del cultivo de ramificar y compensar el rendimiento, ante esto para GM III y IV se recomiendan siembras de 34, 38, y 50 cm. entre hileras.

2.4.5. Altura de plantas

La altura de plantas presenta una tendencia similar al número de nudos, menor altura con el atraso de la fecha de siembra, pero también disminuye la altura en la fecha de siembra más temprana, esto es más evidente en GM más cortos. Una menor altura puede incidir en el rendimiento cuanto más corto sea un cultivar, mayor la distancia entre surcos y más pobre el ambiente, por falta de desarrollo del canopeo y menor captación de radiación incidente. Por lo que no necesariamente menor altura es menor rendimiento (Satorre et al., 2003).

Baigorri y Croatto (2000), concuerdan en que los cultivares de ciclo medio y largo son los que presentan mayor vuelco, siendo esta una característica genética que se expresa según las condiciones ambientales. El régimen hídrico, las características edáficas tanto físicas como químicas condicionan el crecimiento (altura y producción de biomasa) determinando el vuelco.

La incidencia del vuelco puede provocar disminuciones en el rendimiento. Por esto modificaciones en las prácticas del manejo como fechas y densidad de siembra y distancia entre hileras permiten controlar estas pérdidas.

2.4.6. Índice de Área Foliar (IAF)

Andrade et al. (2000) afirma que uno de los principales objetivos de manejos de cultivos de alta producción es lograr que las hojas intercepten la mayor parte de la radiación solar incidente, ya que la misma es la fuente de energía utilizada para la producción de la MS en las plantas. La interceptación de luz por un cultivo es descrita como función de dos parámetros i) su índice de área foliar (m^2 de hojas por m^2 suelo) ii) su coeficiente de extinción (Gardner et al., citados por Andrade et al., 2000).

El IAF del cultivo varía con su estado de desarrollo (aumenta con la aparición de hojas y el crecimiento foliar y disminuye con la senescencia de las hojas) y con las condiciones ambientales. Para cualquier cultivo la relación entre la proporción de radiación incidente interceptada y el IAF es curvilínea (Andrade et al., 2000).

Satorre et al. (2003) manifiesta que la materia seca total (MST) producida por unidad de área se incrementa con el aumento de la densidad hasta aproximarse a un valor máximo, el aumento de la densidad provoca un incremento del área foliar y consecuentemente de captación de recursos. Este último proceso continúa hasta que el área foliar se maximiza. Paralelamente, la producción de biomasa por planta va disminuyendo, siendo la producción por unidad de área compensada por el mayor número de individuos. Al alcanzarse el valor crítico de interceptación de radiación (90 - 95%) o de otros recursos, esta compensación se equilibra y la biomasa del cultivo se estabiliza.

2.4.7. Consumo de agua

Para la zona sojera argentina las necesidades de agua del cultivo de soja de primera y segunda época de siembra varían de 500 a 600 mm. y de 400 a 500 mm. respectivamente. El periodo reproductivo es el más sensible a la falta de agua, la intensidad de deficiencia en este momento dependerá de lo acumulado en el perfil antes de instalado el cultivo, de la capacidad de exploración de las raíces y de la habilidad de las mismas para extraerla (Bodrero, 2002).

Según Andrade et al. (2000) la mayor cobertura producida por mayor área foliar lograda por la disminución del distanciamiento reduce el escurrimiento superficial, la erosión y la evaporación de agua del suelo. Esta menor distancia en condiciones de sequía podría ser perjudicial porque aumenta la radiación interceptada pudiendo incrementar la evapotranspiración en etapa vegetativa, no siendo favorable para las etapas posteriores de determinación del rendimiento.

En concordancia con esto Taylor, citado por Andrade et al. (2000) encontró que reducir la distancia entre surcos incrementa el rendimiento en buenas condiciones de humedad. Con hileras poco espaciadas se adelantan los déficits hídricos siendo más factible el agotamiento de las reservas de humedad del suelo antes de los periodos críticos. Robinson, citado por Andrade et al. (2000) en situaciones de déficit hídrico donde el cultivo depende del agua en el perfil, el manejo adecuado sería siembras con mayor distancia entre hileras para conservar el agua en periodos críticos.

Según Timmons et al., citados por Bodrero (2002), los cuales evaluaron tres distanciamientos entre hileras (20,3, 61 y 101,6 cm.) tres densidades para cada espaciamiento (226, 450 y 900 mil plantas/ha) y dos GM (0, 1). Estos encontraron que la reducción de la DH bajo la competencia del uso del agua en la línea, siendo los rendimientos significativamente mayores. La eficiencia en el uso del agua fue mayor en los surcos más estrechos tanto en condiciones de buena o mala disponibilidad de agua en el perfil. La menor evapotranspiración se debe a una menor radiación neta que llega al suelo por la mayor cobertura por plantas y a factores fisiológicos que hacen una menor transpiración cuando se acercan los surcos, según Chin Chay et al., citados por Bodrero (2002), estos factores fisiológicos son la mayor resistencia a la apertura estomática por el acercamiento entre surcos (Stone et al., citados por Bodrero, 1988).

Alessi y Power, citados por Bowers (2000), reportaron que; en 2 años de 4 de estudio, el total de agua usada fue mayor y los rendimientos promedio fueron mínimos en 15 cm. de distancia. Sus datos sugieren que sembrando a 15 cm. de distancia aumentan el uso del agua previo a la floración. Ellos concluyen que; en situaciones extremas de sequía, este incremento del uso del agua temprano, deja menos agua disponible para el llenado del grano. Bajo severo estrés de agua, la distancia entre hileras no tuvo efecto en el rendimiento de la soja.

Boquet et al., citados por Bowers (2000) reportaron que en un año muy seco reducir la distancia de 100 a 50 cm. incremento el rendimiento, pero reducciones mayores que 25 cm. resultaron en rendimientos similares al obtenido con 100 cm. de distancia.

Devlin et al., citados por Bowers (2000) encontraron que en sitios de alto rendimiento, el rendimiento en grano fue mayor a 20 cm. que a 76 cm. de distancia. Si resultara en una sequía que bajara los rendimientos, estos serían mayores con 76 cm. que con 20 cm.

Resultados similares fueron encontrados en otro estudio (Graterol et al., citados por Bowers, 2000). Soja a 25 cm. no tuvo ventajas sobre a 76 cm. de

distancia en un año con condiciones limitantes para el rendimiento. En un año con lluvias por encima del promedio, pero mal distribuidas, no hubo diferencias en rendimiento entre las distancias más cercanas y más alejadas. Sin embargo en un año sin condiciones limitantes de rendimiento y con una gran cantidad de agua disponible para las plantas de soja en los periodos reproductivos tempranos, la soja en distancias cercanas rindió más que en distancias alejadas.

Devlin et al., citados por Bowers (2000) reportaron que amplias distancias rindieron más que distancias cercanas bajo condiciones de bajo rendimiento. En este estudio, el rendimiento respondió más al espaciamiento cuando la lluvia del último periodo de la estación estuvo entre 100 – 270 mm. El distanciamiento cercano rindió más que el distanciamiento más amplio en 9 de los 11 ambientes estudiados habiendo sido la lluvia del último periodo en este rango (100 – 270 mm.). Distancias amplias nunca rindieron significativamente más que distancias cercanas en este estudio.

2.4.8. Componentes de rendimiento

Según Bodrero (2002), el rendimiento en grano se construye a partir de determinados componentes de rendimiento, estos son; número de nudos/superficie, número de vainas/superficie, número de granos/vaina y peso promedio de granos. El producto del número por el peso de los granos determina el rendimiento final. Estos componentes pueden modificarse por el genotipo, el ambiente y el manejo afectando al rendimiento final.

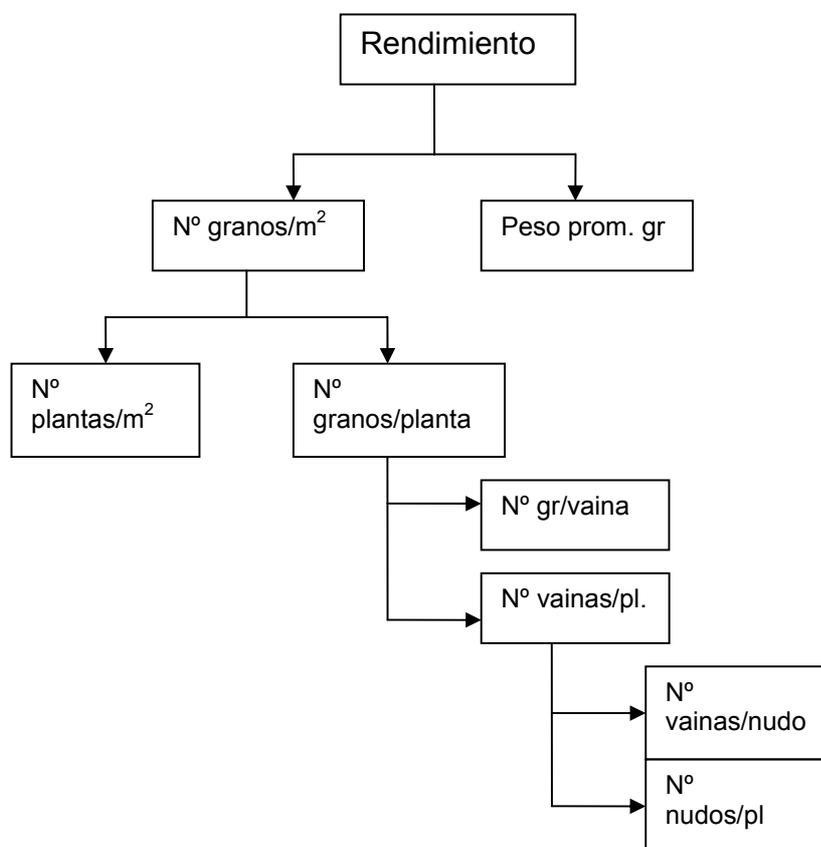


Figura No. 1 Componentes de rendimiento

2.4.8.1. Número de nudos

Según Satorre et al. (2003) con el aumento de la densidad de plantas, el número de nudos por superficie y el número de nudos reproductivos puede aumentar. Asimismo el número de nudos por metro cuadrado presenta una reducida variación en un amplio rango de densidades, ya que el número de vainas reproductivas por nudo disminuye al aumentar la densidad. Esta dinámica de compensación permite que el cultivo presente bajas diferencias en rendimiento frente a determinadas variaciones en densidad.

Díaz Zorita (2004) declara que el número de plantas por unidad de superficie tiene un efecto neutro sobre el número de granos y sobre el rendimiento, es decir, la mayor densidad de plantas es compensada por un menor número de nudos/planta y por una disminución de la fertilidad de cada nudo. Satorre et al. (2003) afirman este mismo concepto.

Sin embargo para situaciones en las que se limiten los nudos que puedan tener la planta y su potencial de ramificación, el manejo del número de plantas por unidad de superficie pasa a ser crítico. Estas situaciones según Andrade et al. (2000) son fechas de siembras tardías, siembra directa, cultivares de ciclo corto y factores de estrés en el periodo vegetativo.

El número de nudos en el tallo principal puede variar entre 14 y 20 o más, siempre y cuando la fecha de siembra, latitud y densidad sean las adecuadas para cada cultivar (Bodrero, 2002). Según Díaz Zorita (2004), la disminución en el número de nudos en altas densidades obedece principalmente a un menor crecimiento de las ramas y salvo que la densidad sea extremadamente alta no suele afectarse el número de nudos en el tallo principal. Por lo tanto la capacidad de ramificación de una variedad solo pasa a ser relevante en situaciones de baja densidad o alta desuniformidad espacial del cultivo luego de la emergencia de las plantas.

Melchiori, citado por Melchiori y Peltzer (2001) en un experimento realizado en INTA EEA Paraná (con dos cultivares, IV y VI, con DH de 0,175, 0,35, 0,52 y 0,70 mts. y tres densidades para el GM IV de 200, 300 y 400 mil plantas por metro cuadrado y para el GM VI 200 y 300 mil plantas por metro cuadrado), encontró que el número de nudos en el tallo principal varío significativamente por efecto del cultivar y la densidad, mostrando una interacción cultivar por densidad. Además la cantidad de nudos en el tallo principal es dependiente de la época de siembra, según Peltzer et al., citados por Melchiori y Peltzer (2001), y casi independiente de la densidad y el espaciamiento.

Satorre et al. (2003) asegura que para una misma condición fotoperiódica, dada por la fecha de siembra y la latitud, las variedades más sensibles corresponden a los GM más altos, y las que poseen hábito de crecimiento indeterminado, tienden a tener más nudos en el tallo principal. Por lo tanto la elección de la variedad en cada localidad y en cada fecha de siembra es la principal práctica de manejo que condiciona el número de nudos del tallo.

2.4.8.2. Número de vainas y granos

Satorre et al. (2003), sostienen que una importante proporción de primordios mueren antes de la apertura floral, y muchas vainas abortan antes de alcanzar su tamaño final, de forma tal que el número de vainas que finalmente se establecen en cada nudo, depende de cuantas inflorescencias prosperaron en el y cuantas vainas se establecieron en cada inflorescencia. Es normal que el aborto de estructuras que podrían dar semillas supere el 40 – 60 % de las flores

generadas. Las más proclives al aborto son generalmente las inflorescencias secundarias y las flores ubicadas en las posiciones distales de los racimos.

Satorre et al. (2003), Díaz Zorita (2004), sostienen que el número de vainas por nudo es altamente variable dentro de la planta, la distribución de vainas dentro del canopeo esta condicionada por el genotipo pero se modifica ante cambios ambientales como es el déficit hídrico o déficit nutricional, que reducen el crecimiento del cultivo. Por lo tanto toda condición ambiental que favorezca la fotosíntesis y la tasa de crecimiento del cultivo conducirá a maximizar el número de vainas por nudo.

El número de granos por vaina, tiene alto grado de control genético, depende de las variedades. Algunos genotipos tienen una alta proporción de vainas con tres lóculos fértiles (IV), mientras que en otros predominan las vainas con dos lóculos (VI). Esta característica no esta generalmente asociada a su rendimiento potencial ya que es compensada por el número total de vainas (Díaz Zorita, 2004). Además Satorre et al. (2003) afirman que uno o más de los granos de la vaina pueden abortar antes de ingresar en su fase de llenado efectivo, modificando el número de granos logrados por vaina. El aborto de granos es mucho menor que el de vainas y generalmente no tiene una magnitud tal que deprima significativamente el rendimiento, salvo cuando es consecuencia de ataques intensos de enfermedades o plagas que directamente afectan su supervivencia.

Valentinuz et al., Egli y Crafts Brander, citados por Andrade et al. (2000) confirman que tanto la cantidad de flores diferenciadas como el número de semillas por planta son proporcionales a la disponibilidad de recursos por planta durante un amplio periodo reproductivo. El aumento en la densidad entre 7,5 y 55 plantas/m² produjo una disminución de 260 a 50 semillas por planta y un marcado aumento de aborto de flores y vainas que puede llegar a un 80 %. El número de semillas por individuo se determina principalmente durante la fijación de vainas (R3 a R6) y es función de la tasa de crecimiento de la planta durante esta etapa. Por lo tanto, este componente del rendimiento se afecta en respuesta a tratamientos que modifican el crecimiento de la planta hasta R6.

Gardner et al., Greer y Anderson, citados por Andrade et al. (2000), ratifican que la soja tiene capacidad para fijar estructuras reproductivas por un largo periodo. Además una eventual disminución en el número de vainas puede ser parcialmente compensada por un aumento en el peso individual de la semilla y en menor medida por mayor cantidad de semillas por vaina.

Según Melchiori, citado por Melchiori y Peltzer (2001), existe efecto del aumento de la densidad sobre el número de nudos y vainas en ramas, lo que indicaría que el cultivo modifica sus componentes por unidad de área, en

función de la distribución espacial equilibrando el crecimiento de sus órganos por unidad de superficie. Este mismo autor, observo en su experimento que los diferentes GM responden de manera diferencial a las diferentes densidades de siembra, por ejemplo el GM IV genero menor numero de granos por metro cuadrado con mayor peso y estos estuvieron asociados a mayor numero de nudos reproductivos y vainas en el tallo principal, mientras que en el GM VI genero mayor desarrollo de nudos fértiles y vainas en las ramas. En el GM IV existió mayor número de vainas en el tallo principal, a diferencia del GM VI donde el número de vainas se encontró mayormente sobre las ramas. Para el GM IV el número de granos por vaina disminuyo de menor a mayor distanciamiento y de mayor a menor densidad.

Díaz Zorita (2004) afirma que si bien el rendimiento del cultivo es el resultado final de muchas interacciones que se producen durante todo el ciclo, la existencia de una etapa critica y de un componente principal relacionado al rendimiento (numero de granos/unidad de área) permite focalizar las decisiones de manejo.

2.4.8.3. Peso de granos

El peso de grano se describe como una fusión de la tasa de crecimiento y de la duración del periodo de llenado. Ambos están gobernados genéticamente, dependen de la variedad y varían de acuerdo a las condiciones ambientales (Díaz Zorita, 2004).

Según Satorre et al. (2003), existe una fuerte relación entre el numero de granos y la radiación interceptada acumulada entre R3 y R6, y una mayor duración de la etapa permite aumentar el nivel de radiación capturada por el cultivo durante el periodo critico.

Bodrero (2002), demostró que a menor distancia entre hileras y mejor distribución de plantas se produce una mejor intercepción de la radiación que promueve un mayor índice de área foliar en relación a un espaciamiento mayor, lo que hace capturar más radiación y así poder determinar mayor número de granos. Además en siembras tempranas o tardías a menores espaciamientos se logra mayor tasa de crecimiento del cultivo, la que esta relacionada con la cantidad de MS total en R5, y a su vez con mayor rendimiento en grano. Una mayor producción de MS esta relacionada con la cantidad total de MS de las ramificaciones, estas a su vez produce mayor cantidad de nudos fértiles y frutos por nudo. Por su parte una mayor intercepción de radiación entre R1 y R5 aumentan la tasa de crecimiento del cultivo, la que esta directamente relacionada con el rendimiento en grano. La tasa de crecimiento de grano es

sensible a cambios en factores ambientales y se maximiza a una temperatura de 23,5 ° C, los fotoperíodos largos tienden a reducir la tasa con la que crecen los granos alargando esta etapa, y los fotoperíodos cortos aumentan la tasa reduciendo el periodo de llenado.

Andrade y Ferreiro, citados por Andrade et al. (2000), apuntan que cambios en la provisión de asimilados durante el periodo de crecimiento de la semilla afectan la tasa y pueden afectar también la duración del periodo de llenado. Además Craft Brander y Egli, citados por Andrade et al. (2000), también mencionan que la tasa y duración de llenado de grano son afectadas por la capacidad fotosintética del cultivo. Por otro lado, Major et al., citados por Andrade et al. (2000) afirman que la duración de llenado de grano en la soja dependen del fotoperíodo y Egli y Wardlaw, citados por Andrade et al.(2000), afirman que la tasa de llenado es función de la temperatura.

Según Andrade et al. (2000) el rendimiento de soja se determina principalmente en etapas reproductivas mas avanzadas, (aproximadamente desde R3, R4 hasta R 6,5). Cuanto mayor es la tasa de crecimiento del cultivo en este periodo y mayor la duración de esta etapa critica, mayor es el rendimiento (Andriani et al., Andrade y Ferreiro, citados por Andrade et al., 2000).

Según Egli y Legget, Egli y Crafts-Brandner, citados por Andrade et al. (2000), el rendimiento de soja esta generalmente limitado por la capacidad fotosintética a partir de R4, por lo que alteraciones de esta fuente entre R 4,5 y R 5,5 producen los máximos efectos en el numero de semillas por unidad de superficie, mientras que si ocurren entre R 6 y R 6,5 afectan principalmente el peso de la semilla. En cuanto a la captura de recursos, Díaz Zorita (2004), afirma que una de las principales consideraciones que deben tenerse al planear el cultivo es que llegue al periodo crítico (R4-R6) con una estructura mínima de canopeo que garantice la eficiente captura y utilización de los recursos disponibles.

Satorre et al. (2003) han podido establecer que el numero de granos esta relacionado con la fotosíntesis del cultivo entre floración y mediados de llenado de grano, siendo críticos los estadios comprendidos entre R4 y R5. El momento de siembra es un momento crítico del cultivo ya que en el queda definido la densidad y distribución de las plantas que se logran, y consecuentemente queda condicionada la posibilidad de establecer una adecuada estructura en la etapa critica reproductiva. Por eso que al utilizar grupos de madurez menores resulta fundamental aumentar la densidad de siembra y reducir la distancia entre surcos para compensar el menor crecimiento que experimentara entre VE-R2 y lograr máxima interceptación a partir de R2-R3.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. CARACTERISTICAS DE LOS EXPERIMENTOS

Experimento I: Parcelas

El ensayo se realizo en el campo de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” de la Facultad de Agronomía, Paysandú, ubicado a 32 ° de latitud Sur, en el año agrícola 2006-2007 sobre un suelo Brunosol Eutrico Típico de la unidad de suelos “San Manuel”.

Se sembraron tres grupos de madurez: IV (A4613) de Nidera, V (DM5,5) de Don Mario y VI (A6127) de Nidera, sin laboreo en el potrero No. 34, tenia como antecesor pradera vieja. Durante todo el trabajo cuando se nombre GM se estará refiriendo al cultivar correspondiente.

Para el control de malezas e insectos se hicieron las correspondientes aplicaciones. La fertilización se hizo con 100 Kg de 0 - 46 - 0 (súper triple) a la siembra.

La siembra se realizo el 20/11/06 utilizando una sembradora de siembra directa SEMEATO SH11. La cosecha se realizo el día 25/04/07 en un área de 1,5 * 6 metros aproximadamente.

Experimento II: Población Creciente

El ensayo se realizo en el campo de la Estación Experimental “Dr. Mario A. Cassinoni” de la Facultad de Agronomía, bajo la forma de “rueda de carro” en las mismas condiciones y durante el mismo periodo que el anterior experimento.

En este ensayo se sembraron dos grupos de madurez IV con el cultivar Nidera (A4613) y VI con el cultivar Nidera (A6127), el 24/11/06 en el potrero No. 31 de forma manual. Durante todo el trabajo cuando se nombre GM se estará refiriendo al cultivar correspondiente. Se realizaron las correspondientes aplicaciones de fertilizante, herbicidas y plaguicidas.

Este experimento se caracteriza por aumentar la población hacia el centro de la “media rueda”, mediante el incremento de las plantas por metro lineal y cuadrado, donde se va reduciendo la distancia entre hileras. Con esto se buscó medir la competencia entre surcos y entre plantas dentro del surco.

La cosecha se realizo durante el 19-22/04/07. Se cosecharon las plantas individuales de la “rueda de carro” de forma manual, por fila, identificando cada planta con su correspondiente GM.

Experimento III: Población Constante

Ídem experimento II

En este ensayo se sembraron dos grupos de madurez IV y VI, el 15/11/06 en el potrero No. 31 de forma manual. Durante todo el trabajo cuando se nombre GM se estará refiriendo al cultivar correspondiente.

Este experimento se caracteriza por mantener la población por metro cuadrado constante, mediante el incremento de las plantas por metro lineal hacia el exterior de la “rueda entera”, donde se va incrementando la distancia entre hileras. Aquí se buscó medir solo competencia entre surcos.

La cosecha se realizó durante el 16-19/04/07.

3.2. HIPOTESIS DEL EXPERIMENTO

- El impacto de aumentar la población en GM cortos es mayor que en GM largos
- Modificar la DH y la población tiene mayor impacto en GM cortos

3.3. TRATAMIENTOS

Experimento I

El diseño experimental consistió en un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial de los tratamientos. Estos tratamientos son combinaciones de, dos distancias entre hileras (50 cm. y 25 cm.), dos poblaciones/m² y tres grupos de madurez (IV, V, VI).

Se definieron tres bloques, en cada uno de ellos, se sembraron los tres grupos de madurez con las dos distancias entre hileras cada uno, con dos repeticiones por bloque. Cada bloque contaba con 12 parcelas. La unidad experimental se definió como la parcela de 6 * 5 metros.

El modelo estadístico que se ajusta a nuestro experimento es el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

$$\alpha_i = GM_i + DH_k + (GM \times DH)_{ik}$$

$$\varepsilon_{ijk} \sim IIDN(0, \sigma^2)$$

Se define como Tratamiento 1 a la DH 25 cm. y Población 40 pl/m²
Tratamiento 2 a la DH 50 cm. y Población 20 pl/m²

Cuadro No. 8 Descripción de los tratamientos para experimento de parcelas

	DH	PL. /m lin. Logradas	PL./m ² logradas
A4126	25	10	40
	50	10	20
DM5,5	25	10	40
	50	10	20
A6127	25	15	60
	50	20	40

Fuente: Elaboración propia

La Población/m² se define como las plantas/m lineal por el número de hileras por metro cuadrado, por lo que para este experimento el aumento de densidad se dio por medio del aumento de filas en el metro cuadrado y no mediante el aumento de plantas en la fila. Las poblaciones objetivos fueron diferentes a las logradas en los tres GM, en los grupos IV y V se lograron dos poblaciones bien definidas, a diferencia del grupo VI, donde se trabajo con una población mayor a las anteriores, por lo que su análisis se hará de forma diferencial.

Experimentos II y III

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

Siendo localizados en áreas homogéneas, estos experimentos utilizan menos material experimental para describir patrones de crecimiento en relación con áreas de crecimiento diferente para el cultivo bajo estudio, utilizando métodos de regresión en su análisis. La ventaja de esta metodología es el menor uso de material experimental frente a los diseños clásicos utilizados con el mismo objetivo. La desventaja indicada es la falta de independencia entre las observaciones por su asociación al área de crecimiento, que se manifestaría en una interacción efecto del tratamiento por efecto sitio no cuantificable,

aumentando el error experimental. Este problema sería levantado según Nelder (1962), Van Slyke (1963) entre otros, por un control experimental intenso, donde la homogeneidad del terreno se controla para minimizar el sesgo posible.

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

Para el experimento II (grupo IV y VI, respectivamente) de población creciente (espaciamiento variable) fueron la combinación de los círculos y los radios. El objetivo era obtener a cada planta dentro de un círculo como una repetición y la cantidad de rayos como la de repeticiones. Como fue imposible obtener la misma distancia entre plantas (dentro de cada rayo) entre los diferentes rayos y/o repeticiones, los datos fueron analizados por regresión, considerando la distancia entre hileras o el número de plantas por metro lineal como la variable independiente y todas las variables estudiadas como las variables dependientes. Lo mismo ocurrió para el caso del experimento III (grupo IV y VI, respectivamente) donde el objetivo fue cambiar la distancia entre hileras y el número de plantas en el metro lineal sin alterar la población por m^2 , por lo tanto se está cambiando la rectangularidad.

En el caso de igual espaciamiento (población constante), la distancia entre plantas dentro de cada rayo varió de 19,1 a 4,7-cm, variando la distancia entre radios de 70 y 17-cm, respectivamente. Este arreglo diferencial mantuvo la población constante en 30 plantas por metro cuadrado.

En el caso de diferente espaciamiento (población creciente), la distancia entre plantas dentro de cada rayo varió de 25 a 4-cm, variando la distancia entre radios entre 48 y 28-cm, respectivamente. Este arreglo diferencial hizo variar la población entre 9 y 75 plantas por metro cuadrado.

Debido a fallas en la implantación principalmente, hubo un desfase entre la población objetivo y la realmente obtenida que escaparon al rango de estudio del experimento. Por ese motivo se seleccionaron las plantas que cumplieran con el objetivo dentro de un rango tolerable de 25% por encima y 40% por debajo del ajuste entre la distancia entre hileras y las plantas por metro lineal (Figuras No. 12, 15, 18 y 21). El criterio de 25 y 40 % fue debido a haber logrado un menor número de plantas con respecto al objetivo, por lo que la exigencia fue menor en el caso de menores que en el de mayores poblaciones por metro lineal. Las plantas que estuvieron por fuera de esta banda fueron descartadas a priori en el análisis de los datos.

3.4. ANALISIS ESTADISTICO

Experimento I

Cada variable de respuesta fue analizada utilizando el procedimiento MIXED del sistema Statistical Analysis Systems (Ver. 6.11 1996; SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina U.S.A.). Los efectos fijos fueron grupo de madurez, población y distancia entre hileras y sus interacciones y las repeticiones fueron consideradas como efectos aleatorios. Se realizaron comparaciones de Media de Mínimos Cuadrados utilizando el test MDS con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ establecido a priori.

Las relaciones directas e indirectas entre rendimiento en grano y sus componentes, se estudiaron a través de ecuaciones estructurales (coeficientes de sendero), usando el procedimiento CALIS del mismo paquete estadístico. Las variables involucradas en dicho análisis fueron número de plantas /m², granos por planta, granos/ m², peso de mil granos y rendimiento/ha.

Experimento II y III

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

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

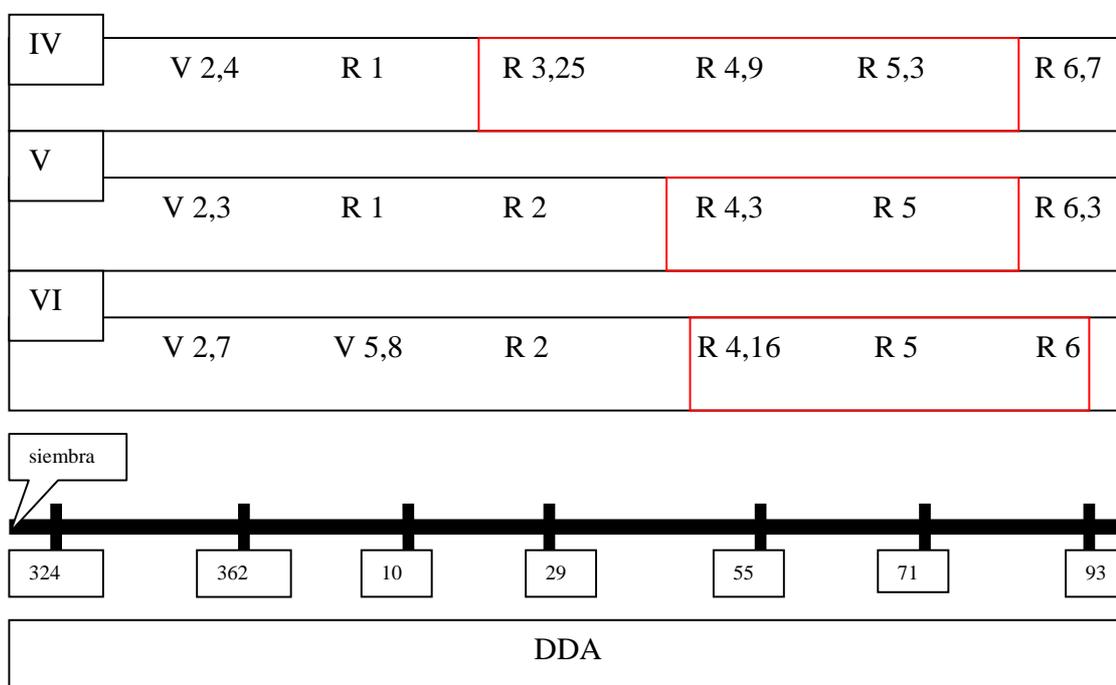
3.5. DETERMINACIONES

3.5.1. Parámetros de desarrollo

Experimento I

Durante el desarrollo del cultivo se tomaron las siguientes mediciones a campo en las siguientes fechas: 28/12/06 (362)*, 10/01/07 (10), 29/01/07 (29), 24/02/07 (55), 12/03/07 (71) y 03/04/07 (93).* DDA: días del año

- Área foliar (IAF): se midió el índice de área foliar mediante un bastón digital (MODELO LAI-2000 – Plant Canopo Analyser). Estas medidas se tomaron en los siguientes estadios; (GM IV) V5,5, R4,9,R5,3 y R6,7, (GM V) V5,4, R2, R5 y R6,3, (GM VI) V5,8, R2, R5 y R6.
 - Altura: mediante la medición con varilla metrada
 - Fenología: mediante la escala Fehr y Caviness
- A cosecha de determinaron: No. de nudos, ramas, granos/planta, % de vainas de 1, 2, 3 y 4 granos, PMG, No. y % de granos dañados y sanos.



*DDA: días del año

Figura No. 2 Estados Fenológicos de los diferentes GM para experimento de parcelas

Experimento II

Durante el desarrollo del cultivo se tomaron las siguientes mediciones a campo en las siguientes fechas: 24/02/07 (55)*, 12/03/07 (71) y 03/04/07 (93).* DDA: días del año. Las mediciones se realizaron en diferentes lugares definidos por distintos rangos de distancias entre hileras.

Cuadro No. 9 Referencias de DH para población creciente

Lugar	GM IV		GM VI	
	Rangos *	Media	Rangos *	Media
CENTRO	0,29-0,33	0,31	0,34-0,38	0,36
MEDIA	0,34-0,38	0,36	0,39-0,43	0,41
FUERA	0,39-0,43	0,41	0,44-0,48	0,46

* DH (mts)

- Área foliar (IAF): se midió el índice de área foliar mediante un bastón digital (MODELO LAI-2000 – Plant Canopo Analyser). El IAF se midió en una sola fecha correspondiente al día del año 93

- Altura: mediante la medición con varilla metrada

- Fenología: mediante la escala Fehr y Caviness

A cosecha se determinaron: No. de nudos, ramas, vainas de 1, 2, 3 y 4 granos, PMG, No. de vainas totales, No. de granos totales por vaina, % de vainas con granos y No. de granos/m²

Experimento III

Durante el desarrollo del cultivo se tomaron las siguientes mediciones a campo en las siguientes fechas: 29/01/07 (29)*, 24/02/07 (55), 12/03/07 (71) y 03/04/07 (93). * DDA: días del año

Las mediciones se realizaron en diferentes lugares definidos por distintos rangos de distancias entre hileras.

Cuadro No. 10 Referencias de DH para población constante

Lugar	GM IV		GM VI	
	Rangos *	Media	Rangos *	Media
CENTRO	0,22-0,37	0,29	0,20-0,36	0,28
MEDIA	0,38-0,53	0,45	0,37-0,53	0,45
FUERA	0,54-0,69	0,61	0,54-0,72	0,63

* DH (mts)

- Área foliar (IAF): se midió el índice de área foliar mediante un bastón digital (MODELO LAI-2000 – Plant Canopo Analyser).

- Altura: mediante la medición con varilla metrada

- Fenología: mediante la escala Fehr y Caviness

A cosecha ídem experimento II

3.5.2. Rendimiento y componentes

Experimento I

El rendimiento en grano, se estimó a partir del grano cosechado de la superficie de la parcela (1,5 x 6 mts.), y luego de trillado, se corrigió por el porcentaje de humedad de 13% para homogeneizar el dato llevándolo a rendimiento por hectárea.

Experimento II y III

El rendimiento en grano se estimó a partir del rendimiento por planta cosechada, por el número de plantas por metro cuadrado. Del total de plantas cosechadas se determinaron los componentes de rendimiento: nudos, ramas, número de vainas de uno, dos, tres y cuatro granos, granos por vainas y peso de mil granos.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. CARACTERISTICAS CLIMATICAS DEL PERIODO

Cuadro No. 11 Precipitaciones ocurridas en diferentes períodos del cultivo para el año 2006-2007 y la media histórica para EEMAC Paysandú.

Período	GM IV		GM V		GM VI		X Hist**
	Duración	RR*	Duración	RR*	Duración	RR*	RR
15 d pre. S	05/11-20/11	78,9	05/11-20/11	78,9	05/11-20/11	78,9	104,7
mps*	21/11-20/12	132,3	21/11-20/12	132,3	21/11-20/12	132,3	106,6
mps - R2	21/12-19/01	158,1	21/12-29/01	176	21/12-29/01	176	116,4
R2 - R4	20/01-13/02	51,1	30/01-19/02	78,7	30/01-22/02	105,4	113,4
R4 - R6	14/02-24/03	324	20/02-29/03	410,2	23/02-03/04	457,7	140,3
Total		744,4		876,1		950,3	581,4

* Precipitaciones (mm) del período

** Promedio de serie histórica 1935- 1995

Estas características climáticas se tomaran de referencia para los tres experimentos (I: parcelas, II: población creciente y III: población constante), ya que entre las fechas de siembra no hubieron demasiados días de diferencia. I: 20 de noviembre, II: 24 de noviembre y III: 15 de noviembre. Los datos presentados de precipitaciones corresponden al 20 de noviembre, fecha media de los tres experimentos.

Se utilizaron datos de precipitaciones previos a la siembra para contemplar la recarga del perfil de suelo. Los 78 mm de lluvia previos a la siembra estarían indicando una buena disponibilidad para la emergencia del cultivo. Comparado con la serie histórica, en la mayor parte de los períodos del ciclo del cultivo las lluvias fueron superiores al promedio, con excepción de las ocurridas durante el período R2-R4 donde fueron inferiores para los tres GM (cuadro No. 11). Esto pudo haber afectado en forma negativa al GM IV, por presentar un ciclo más corto, siendo el valor de precipitación para el GM VI cercano al promedio, debido a que tuvo un período crítico mas prolongado, en comparación con los demás. Sin embargo en el período R4-R6 las lluvias fueron superiores al promedio histórico para los tres GM.

Para condiciones de año promedio, los mayores déficits hídricos se esperan durante los meses de enero y febrero (Ceretta y Vilaró, 2003). Considerando que el cultivo teóricamente necesita entre 400 a 600 mm. de lluvia en todo el ciclo para satisfacer sus requerimientos de crecimiento y desarrollo, las precipitaciones ocurridas pueden considerarse como suficientes para los tres GM. Definiendo el periodo crítico en el GM IV desde R3–R6 y en

los restantes de R4-R6 en el cual necesitan de 100 a 150 mm, las precipitaciones cubrieron estas necesidades ampliamente.

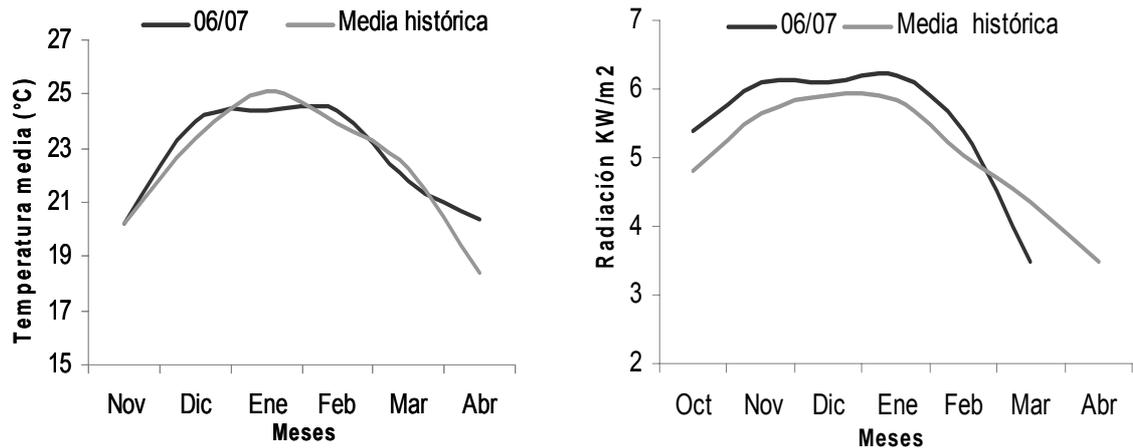


Figura No. 3 Temperatura y radiación para el período de interés

Con respecto a la temperatura en el ciclo del cultivo comparada con la media histórica, los valores fueron muy similares durante la mayor parte del ciclo del cultivo, marcando cierta diferencia al final del ciclo, en los meses de marzo, abril. La menor temperatura fue debida a que en ese período ocurrieron la mayor cantidad de precipitaciones. El cultivo tiene requerimientos de temperatura para su desarrollo y crecimiento de 25 a 30 ° C, por lo que tampoco puede considerarse como limitante para el año.

En cuanto a la radiación, la media histórica siempre fue inferior al promedio de la zafra 06/07 salvo los meses de marzo, abril, debido a las lluvias. Por lo que en la etapa vegetativa y primeras etapas reproductivas del cultivo, la radiación fue otro de los factores que favoreció a la determinación del rendimiento, además de las precipitaciones. En cambio en las ultimas etapas del cultivo, donde el mismo se encontraba en la concreción del rendimiento (R4-R6), mas puntualmente en la determinación del peso de los granos, la radiación en el período en estudio fue inferior respecto a la media histórica, por lo que esta podría haber sido una limitante, en ese momento tan importante de la composición del rendimiento.

4.2. EXPERIMENTO I: EFECTO GM, TRATAMIENTO Y SU INTERACCIÓN

4.2.1. Efecto del GM sobre rendimiento en grano y sus componentes

En el Cuadro 12 se resume el efecto del GM sobre rendimiento en grano y componentes. Como consecuencia de la diferencia lograda entre poblaciones, la comparación estadística es sólo válida entre GM IV y GM V. El comportamiento del GM VI se presenta sólo como descripción de resultados.

Cuadro No. 12 Efecto del GM IV, V y VI sobre componentes del rendimiento para ensayo de las parcelas

Variables	GM IV	GM V	GM VI
Rendimiento (kg/ha)	2699 a	2656 a	2981
Nudos (No.)	11,06 a	11,23 a	12
Ramas (No.)	3,3 a	3,3 a	2,4
Pl/m ²	32,4 a	32 a	51,8
Pl/ml	10,8 a	11,1 a	20,2
Rend/planta (g)	9,3 a	9,2 a	5,7
Granos/planta (No.)	46 a	42 a	35
% granos V1	5,8 a	6,7 a	5,5
% granos V2	37 b	48 a	74,5
% granos V3	53 a	42 b	20
% granos V4	3,8 a	3,4 a	0
Granos/m ²	1361 a	1212 a	1817
PMG (g)	200 b	220 a	165
Peso grano dañado (g)	1,32 a	1,21 a	0,73
% Grano dañado	8,6 a	7,2 a	5,94
Peso Grano sano (g)	14,8 b	16,2 a	13,1
% Grano sano	92 a	93 a	95

No hubo diferencias significativas en el rendimiento en grano entre los GM IV y V, en el único componente del rendimiento en el que hubo diferencias entre los cultivares evaluados fue en el peso de grano ($p < 0,05$). Los resultados son coincidentes con los de Ceretta y Vilaró (2003) en experimentos realizados en La Estanzuela y Young donde los componentes número de nudos del tallo principal y número de ramas no presentaron correlación con el GM.

Si existieron diferencias en el porcentaje de granos por vainas para las de dos y tres granos, mientras que en el GM IV hubo significativamente más vainas con tres granos, en el GM V lo fueron las de dos granos. Díaz Zorita (2004), afirma que el número de granos por vaina esta controlado genéticamente y depende de las variedades. Como en este caso el GM IV tiene alta proporción de vainas con tres loculos fértiles, mientras que en el GM V predominan las vainas con dos loculos. Esta característica no define el rendimiento potencial ya que es compensada por el número total de vainas.

Según Ceretta y Vilaró (2003) el rendimiento debió estar determinado por mecanismos de compensación entre el número de granos por metro cuadrado y el peso de mil granos, variables que no fueron medidas. Así los cultivares de ciclo corto al tener menor numero de vainas compensaron su rendimiento por medio de mayor numero de granos por vaina, y mayor tamaño de grano, esto fue posible por la no existencia de restricciones. En nuestro experimento se obtuvo igual número de granos por planta con diferencias en el PMG, donde el GM corto (IV) logro menor peso de grano, que el GM V. Se podría asumir que existió algún tipo de compensación por medio del número de vainas totales o numero de granos por vainas, variables que no fueron medidas.

De acuerdo a la calidad de los granos, el GM IV tuvo menor peso de granos sanos. Esto podría ser debido a la combinación del menor ciclo del GM IV, las altas temperaturas y humedad al final del ciclo, que redujeron su calidad de semilla medida como peso. Además la calidad de la semilla esta relacionada inversamente a su tamaño, por lo que los GM mas cortos al tener mayor tamaño de semilla son los más afectados en calidad ante condiciones ambientales adversas (Baigorri y Croatto, 2000).

Con respecto al GM VI, se realizo un análisis de forma diferencial ya que presento una población superior a los demás grupos haciéndolo no comparables con los restantes. Su mayor rendimiento se explicaría por presentar mayor población y no por los diferentes componentes de rendimiento, como se ve en la siguiente figura.

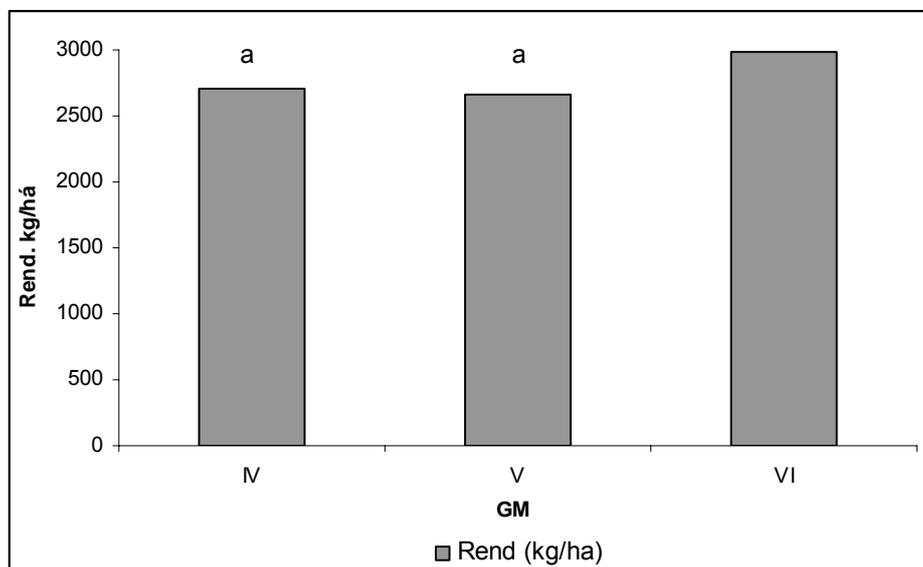


Figura No. 4 Efecto de GM IV, V y VI sobre el rendimiento para ensayo de las parcelas

4.2.2 Efecto del GM sobre crecimiento y fenología

En el Cuadro No. 13 se presenta la fenología y altura de los cultivares evaluados en las diferentes fechas donde se realizaron las mediciones. Acá también se presentan los datos del GM VI solo a manera de visualizar su comportamiento, ya que no se pudo comparar con los demás GM.

Cuadro No. 13 Efecto del GM IV, V y VI sobre fenología y altura para ensayo de las parcelas

Variabes	GM IV	GM V	GM VI
Fenología 38 (362)*	V 2,6 a	V 2,3 a	V 2,6
Fenología 51 (10)*	R 1 b	V 5,3 a	V 5,7
Fenología 70 (29)*	R 3,3 a	R 2,0 b	R 2,0
Fenología 96 (55)*	R 4,9 a	R 4,3 b	R 4,2
Fenología 112 (71)*	R 5,4 a	R 5,0 b	R 5,0
Fenología 134 (93)*	R 6,7 a	R 6,3 b	R 6,0
Altura 96 (55)*	59 b	66 a	75
Altura 112 (71)*	61 b	69 a	81
Altura 134 (93)*	60 b	66 a	71

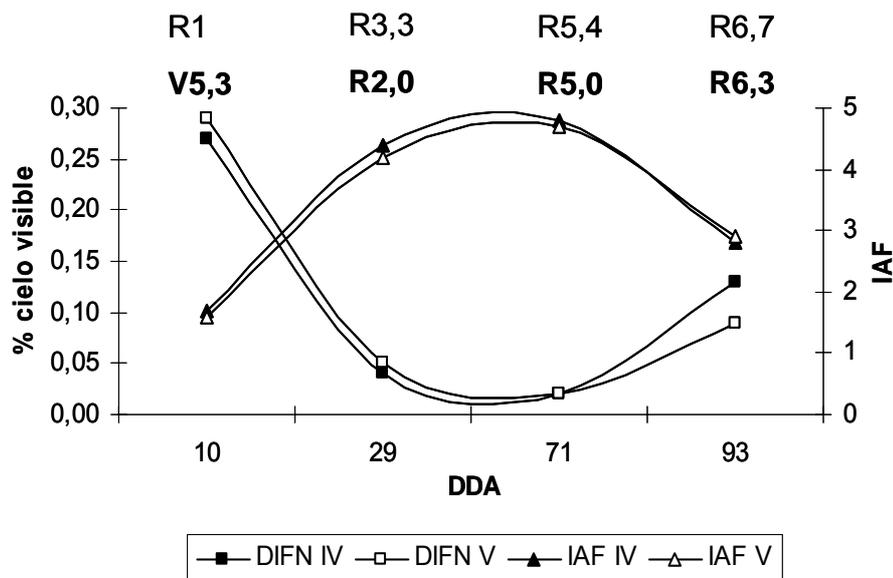
* Días post siembra, (DDA: Días del año)
V: Vegetativo R: Reproductivo
Altura en cm.

Para las variables medidas durante el ciclo del cultivo en los GM IV y V, como es el caso de la fenología, no se encontraron diferencias significativas al inicio del mismo, pero se fueron generando a medida que avanzó el ciclo.

Para el día post siembra 51, correspondiente DDA 10, el GM IV se encontraba en un estado más avanzado estando este en reproductivo, en comparación con el GM V que se encontraba aun en estado vegetativo. Esto demuestra como los ciclos cortos cumplen antes sus etapas fenológicas, lo que además se evidencia en las etapas posteriores. Para el GM VI se noto como para el día post siembra 134, este se encontraba en un estado fenológico que concuerda con el concepto de que los GM más largos cumplen su ciclo en fechas posteriores a GM más cortos.

Con respecto a la variable altura existieron diferencias significativas entre el GM IV y V en todas las mediciones. Los GM más largos presentan mayor altura que los cortos, por la mayor elongación de sus entrenudos característica de los GM mayores. Con respecto al GM VI se puede ver que alcanzaron una elevada altura por el mayor desarrollo de los grupos largos. Ceretta y Vilaró (2003) en experimentos realizados en La Estanzuela y Young, midieron la altura de las plantas, donde encontraron que en GM mayores se incrementa la altura de plantas corroborando los resultados del experimento.

En la figura No. 5 se presenta la evolución del IAF y el % de la superficie que recibe radiación solar directa en cada fecha de determinación con su estado fenológico correspondiente.



Grupo IV, **Grupo V (negrita)**

Figura No. 5 Efecto del GM (IV y V) sobre % de cielo visible e IAF en ensayo de parcelas

Con referencia al IAF (m^2 hoja/ m^2 suelo) no se observaron diferencias significativas entre los GM IV y V durante el ciclo del cultivo, teniendo este al principio una evolución creciente y luego decreciente por la senescencia del área foliar. Para el DDA 10 el IAF del GM IV fue de 1,7 y el % de radiación recibida directamente por el suelo fue de 27 %, por lo que el cultivo estaba en sus primeras etapas de desarrollo. Ya para el DDA 71, los valores de IAF llegaron a 4,8, representando el % de radiación recibida por el suelo un 2%, aquí se evidencia como el área foliar cubre casi totalmente el suelo, no dejando que la radiación llegue al mismo. Así queda demostrado como el % de cielo visible muestra una evolución inversa al IAF ya que mide lo que no ocupa el área foliar, no presentando diferencias significativas entre los GM.

Se muestran los estados fenológicos correspondientes a cada medición, presentando como se menciono anteriormente el GM IV estados mas avanzados respecto al GM V.

4.2.3. Efecto del incremento de población por aumento en el número de filas

En el siguiente cuadro se observa como influye el aumento de población por medio del aumento del número de filas para los GM IV y V conjuntamente y para el GM VI de manera individual, sobre diferentes componentes de rendimiento.

Cuadro No. 14 Efecto de los tratamientos sobre los componentes del rendimiento para ensayo de las parcelas

Variables	GM IV V		GM VI	
	Tmto 1	Tmto 2	Tmto 1	Tmto 2
Rendimiento (Kg/ha)	2770 a	2585 a	3175 a	2786 a
No. Nudos	11,4 a	11,4 a	12,7 a	11,2 b
No. Ramas	3,3 a	2,7 a	2,6 a	2,2 a
Pl/m ²	40 a	24 b	59 a	44 a
Pl/ml	10 b	12 a	17,7 b	22,2 a
Rend/planta (g)	7 b	12 a	4,7 a	6,4 a
Granos/planta	33 b	55 a	28,7 a	39,8 a
% V1	7 a	6 a	5,3 a	5,7 a
% V2	43 a	41 a	78,5 a	70,3 a
% V3	46 a	48 a	16,1 a	23,9 a
% V4	3,7 a	3,7 a		
Granos/m ²	1319 a	1254 a	1603 a	1728 a
PMG	210 a	210 a	170 a	161 a
Peso grano dañado	1,5 a	1,0 a	0,71 a	0,69 a
% Grano dañado	9,3 a	6,5 a	4,8 a	6,9 a
Peso Grano sano	16 a	15,4 a	13,3 a	13,1 a
% Grano sano	91 a	93 a	95 a	94 a

El incremento de la población por reducción de la distancia entre filas no causó diferencias significativas en la mayoría de los componentes de los GM IV y V, obteniendo igual rendimiento por hectárea. El rendimiento se construyó de diferentes maneras en cada tratamiento. En el tratamiento 1 (DH 25 cm. y 40 pl./m²) se obtuvo el doble de plantas por metro cuadrado con respecto al tratamiento 2 (DH 50 cm. y 20 pl./m²), cada una de estas plantas rindió la mitad en comparación con el tratamiento 2, debido a la menor cantidad de granos por planta, esto como consecuencia de la mayor población teniendo cada planta menos recursos disponibles.

El efecto de los tratamientos no modifico el peso de los granos de forma individual, por lo que el rendimiento por superficie fue explicado por el rendimiento por planta. Los tratamientos no modificaron el peso de los granos sanos, como si vario por el efecto de los GM.

Bodrero (2002), observo que en cultivos de primera sin restricciones hídricas ni nutricionales no existió respuesta en rendimiento al disminuir la DH, ya que el cultivo presenta gran capacidad para ramificar y de esta forma cubrir el suelo antes de los periodos mas críticos en determinar el rendimiento (Beaty et al. 1982, Bodrero et al.1999, Mendez et al. 2001).

La densidad de plantas adecuada tiene un rango amplio y es el aspecto de menor importancia relativa en la definición del potencial de rendimiento (Satorre et al. 2003, Díaz Zorita 2004). Es más importante la estructura del cultivo que la población dentro de determinados rangos. Lo mas importante es combinar un adecuado distanciamiento entre hileras, y en la hilera para que en las diferentes situaciones logremos la mayor área de intercepción foliar lo mas rápido posible.

Para el GM VI el rendimiento fue similar en ambos tratamientos, las poblaciones estaban definidas a un numero mayor (DH 25 cm. y 60 pl./m², DH 50 cm. y 40 pl./m²) por lo que no se pueden comparar con los GM IV y V. Se observaron diferencias significativas en número de nudos, pero según nuestro criterio esto no explicaría el similar rendimiento. Para el resto de los componentes que explicarían el rendimiento no tienen diferencias significativas, por lo que se atribuiría esta similitud.

Para las plantas por metro lineal también existieron diferencias, esto se definiría porque en el tratamiento 1 las distancias entre hileras son menores y tienen menos plantas por metro lineal, y en el tratamiento dos hay mas plantas por metro lineal pero mas distanciadas, por lo que ambas llegan a igual numero por metro cuadrado. Al tener igual número de plantas por metro cuadrado el rendimiento llego a similar valor en ambos tratamientos.

En la figura No. 6 se presenta gráficamente el rendimiento por hectárea para los diferentes tratamientos (combinación de DH y población) de los tres GM en estudio (IV-V y VI independientemente), donde se observa para los GM IV-V un rendimiento por hectárea similar, demostrando el no efecto de los tratamientos en la determinación del mismo.

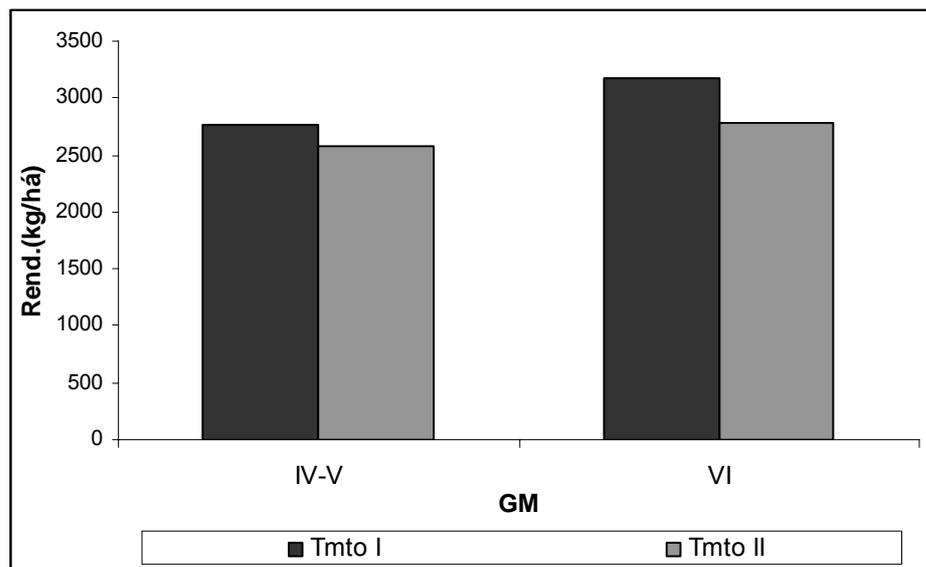
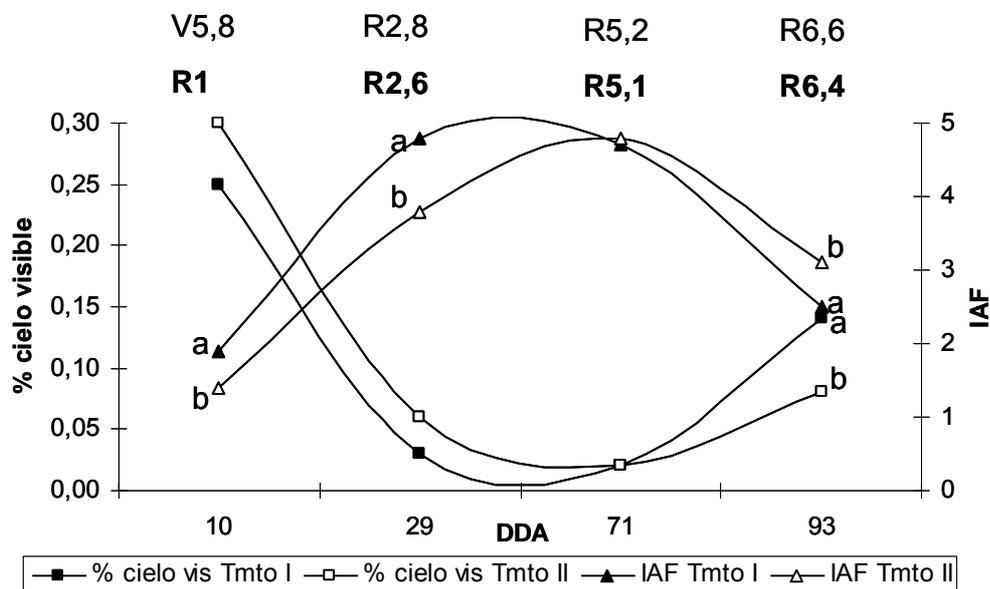


Figura No. 6 Efecto del tratamiento sobre el rendimiento en ensayo de parcelas

En la siguiente figura se observa la evolución de la fenología y el % de cielo visible, para los dos tratamientos de los GM IV-V.



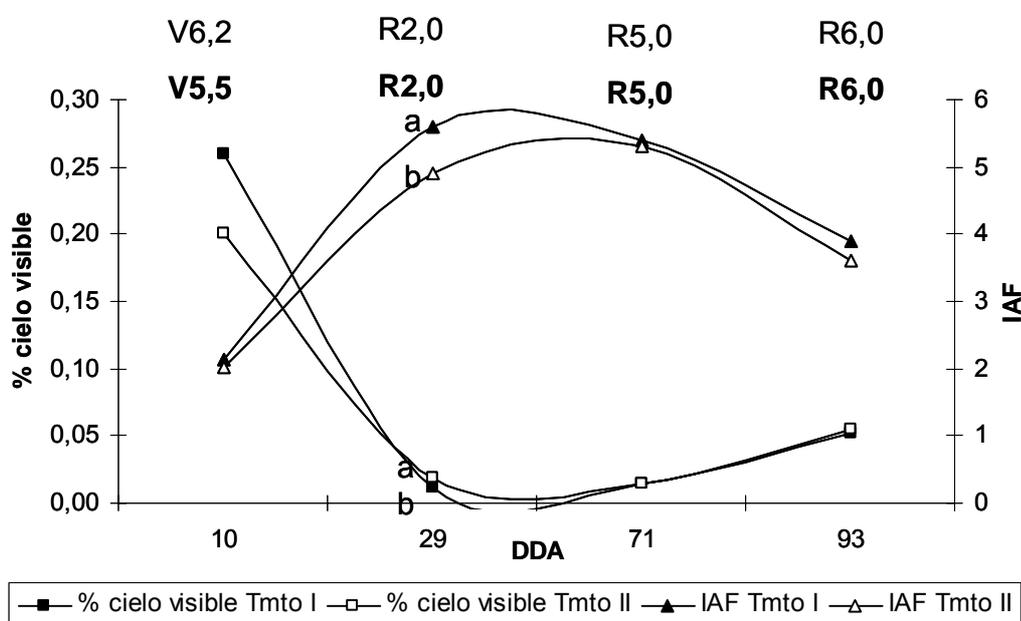
Tmto I, Tmto II (**negrita**) Fechas sin letras, no existe significancia.

Figura No. 7 Efecto de los tratamientos sobre % de cielo visible e IAF para los GM IV y V para ensayos de las parcelas

El DDA 10 el tratamiento I (definido como DH 25 cm. y 40 plantas/m²) presento diferencias significativas con el tratamiento II (definido como DH 50 cm. y 20 plantas/m²), observándose una cobertura del suelo mayor en el tratamiento I con respecto al tratamiento II en un mismo estado fenológico. Esto se debería a una mayor área de cobertura foliar, definida por una menor distancia entre hileras y una mayor población. El DDA 55, donde el cultivo se encontraba en pleno período crítico (R4 aprox.), la cobertura de área foliar estaba en sus valores máximos, por lo que se estaría dando la máxima actividad fotosintética y por ende la mayor producción de carbohidratos destinados a cubrir los requerimientos en el llenado de grano. Luego de llegar al máximo de cobertura foliar en ambos tratamientos, estos comenzaron a disminuir el IAF a partir del DDA 71, siendo en el tratamiento I más rápido este descenso con respecto al tratamiento II. Esto se pudo haber dado por la mayor población y menor DH, las cuales definieron un agotamiento mas rápido de los recursos que llevo a que las plantas comenzaran a senescer antes respecto al tratamiento II, llegando al día 93 con mayor % de cielo visible y menor cobertura de área foliar, viéndose en este momento diferencias significativas entre ambos tratamientos.

El IAF del cultivo varía con su estado de desarrollo (aumenta con la aparición de hojas y el crecimiento foliar y disminuye con la senescencia de las mismas) y con las condiciones ambientales. Para cualquier cultivo la relación entre la proporción de radiación incidente interceptada y el IAF es curvilínea (Andrade et al., 2000). Este comportamiento se pudo observar en todas las figuras donde se representó la cobertura de área foliar y el % de cielo visible.

En la figura No. 8 se observa gráficamente la evolución de la cobertura de área foliar (IAF) y el % de cielo visible para los diferentes tratamientos en el GM VI, donde la población definida fue superior respecto a los GM IV y V.



Tmto I, **Tmto II** (negrita) Fechas sin letras, no existe significancia

Figura No. 8 Efecto de los tratamientos sobre % de cielo visible e IAF para el GM VI en ensayos de parcelas

El GM VI al ser el que tiene el ciclo más largo de los tres cumple sus etapas fenológicas más lentamente, esto se ve más claramente en la última medición realizada, donde el GM IV se encontraba en el estado fenológico R6,7, el GM V en el estado R6,3 y el VI en R6. Para el DDA 10 en este GM no se observan diferencias significativas entre los tratamientos, lo que si se dio para los GM IV y V. En etapas más avanzadas del cultivo si se dieron estas diferencias, por lo que el DDA 29 se observó que el tratamiento I cubrió más rápidamente el suelo por el área foliar, definiendo un menor % de radiación que

llegó al suelo, en comparación con el tratamiento II. El DDA 55 aproximadamente este GM llegó a un valor superior de IAF óptimo respecto a los otros dos grupos (6 vs. 5), debido posiblemente a que los GM más largos presentan mayor altura y/o ramificación. Luego como en los GM IV y V, la cobertura de área foliar comienza a disminuir y por tanto el % de cielo visible a aumentar, a partir del DDA 71, sin evidenciarse diferencias significativas entre ambos tratamientos a diferencia de los GM IV y V donde si la hubo. Igualmente existió cierta tendencia en el tratamiento I, el cual presenta mayor población y menor DH, a disminuir antes el IAF, ya que a un mismo día del año (55) en el tratamiento II aún la cobertura de área foliar se mantenía en valores altos.

Según Andrade et al. (2000), disminuir la distancia entre hileras, (como en el tratamiento I), manteniendo la misma densidad favorece el espacio por planta dentro de la línea, disminuyendo la competencia por luz, agua y nutrientes en las primeras etapas del cultivo, haciendo que las plantas sean más grandes con mayor área foliar y mayor número de nudos. En este experimento no se mantuvo igual densidad de plantas en ambos tratamientos, no se logro esta diferencia en el número de nudos, pero si en el área foliar donde el tratamiento I presento mayor cobertura y antes en el tiempo que el tratamiento II para todos los GM. También afirma que uno de los principales objetivos de manejos de cultivos de alta producción es lograr que las hojas intercepten la mayor parte de la radiación solar incidente, ya que la misma es la fuente de energía utilizada para la producción de la MS en las plantas (Andrade et al., 2000).

En el siguiente cuadro se presenta la información sobre variables medidas como la fenología y la altura en diferentes momentos dentro del ciclo del cultivo, para los dos tratamientos evaluados en conjunto para los GM IV y V, e independientemente para el GM VI.

Cuadro No. 15 Efecto del tratamiento sobre fenología y altura para ensayo de las parcelas

Variable	GM IV V		GM VI	
	Tmto 1	Tmto 2	Tmto 1	Tmto 2
Fenología 38 (362)*	V 2,5 a	V 2,4 a	V 3,1 a	V 2,3 b
Fenología 51 (10)*	V 5,8 a	R 1 b	V 6,2 a	V 5,5 a
Fenología 70 (29)*	R 2,8 a	R 2,6 a	R 2 a	R 2 a
Fenología 96 (55)*	R 4,7 a	R 4,6 a	R 4,2 a	R 4,2 a
Fenología 112 (71)*	R 5,2 a	R 5,1 a	R 5,0 a	R 5,0 a
Fenología 134 (93)*	R 6,6 a	R 6,4 a	R 6,0 a	R 6,0 a
Altura 96 (55)*	66 a	59 b	76,7 a	74,2 a
Altura 112 (71)*	69 a	61 b	81,7 a	80,8 a
Altura 134 (93)*	64 a	61 b	71 a	71,7 a

* Días post siembra, (DDA: Días del año)
V: Vegetativo R: Reproductivo
Altura en cms.

Por efecto del tratamiento en los GM IV y V, no se vieron diferencias significativas en los estados fenológicos al transcurrir el ciclo del cultivo, por lo que se observó que los estadios fenológicos no se modificaron con las diferentes prácticas de manejo.

Para la variable altura, si se encontraron diferencias significativas en las diferentes mediciones para los dos tratamientos, en los GM IV y V. Se vio en las tres fechas donde se midió esta variable, que para el tratamiento I siempre se observó mayor altura comparado con el tratamiento II. Esto fue como consecuencia de que al presentar el tratamiento I, mayor población por superficie y menor DH, las plantas se encontraban con menor disponibilidad de recursos, lo que llevó a que las mismas elongaran sus entrenudos de forma de poder llegar a interceptar mayor proporción de radiación, lo cual se tradujo en una mayor altura.

Con respecto al GM VI los tratamientos no mostraron diferencias en fenología salvo para la primera fecha de medición el DDA 362. En cuanto a la altura, tampoco los tratamientos mostraron diferencias significativas, aunque la misma comparado con los GM IV y V fue superior en este GM, corroborando que los GM más altos presentan mayor altura respecto a los GM menores. Por lo que se podría decir que la modificación de la DH y la población no fueron variables que afectaron al rendimiento.

4.3. ANALISIS DE COEFICIENTE DE SENDERO

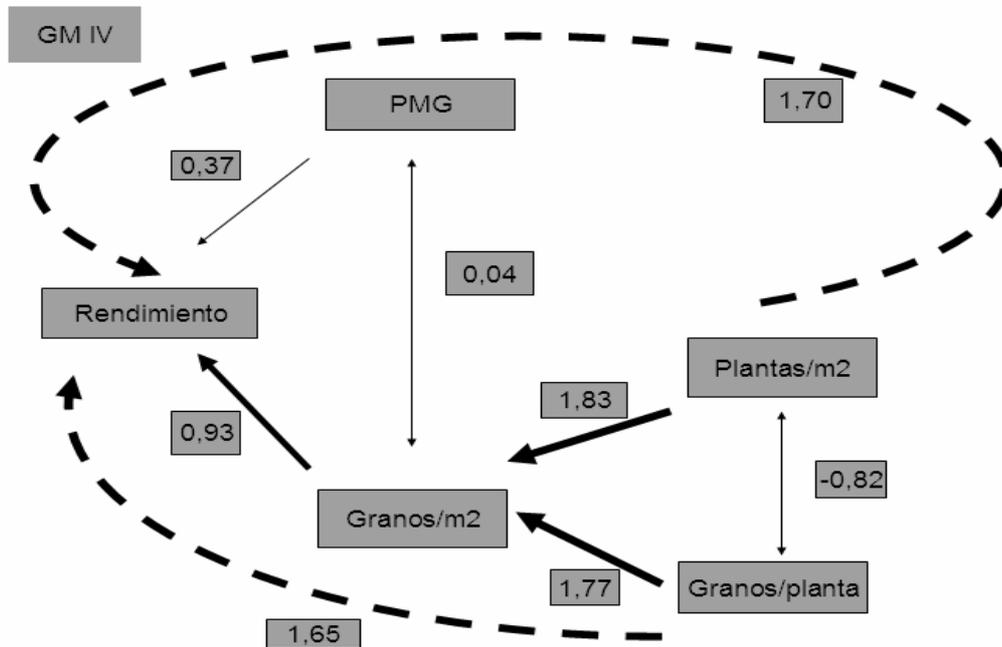
Este método es una forma estructurada de análisis de regresión lineal, con respecto a variables estandarizadas en un sistema cerrado. En este análisis es indispensable un diagrama para especificar la exacta naturaleza de la estructura propuesta de acuerdo a la cual será realizado este análisis.

El objetivo del Análisis de Sendero es proveer posibles explicaciones causales de las correlaciones observadas entre una variable de respuesta dependiente (rendimiento en soja) y una serie de variables predictoras o causales independientes (cada uno de los componentes del rendimiento). Permite estudiar las relaciones directas e indirectas entre rendimiento en grano y sus componentes; calculándose los coeficientes de sendero entre cada uno de estos e identificar la magnitud con que están correlacionados.

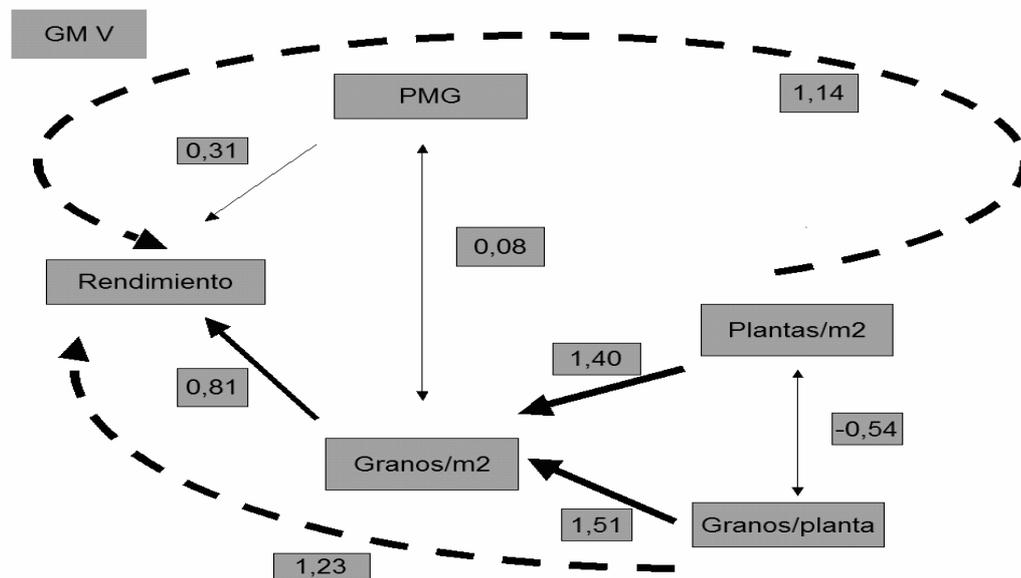
Los coeficientes de sendero son coeficientes de correlación parcial ya que correlacionan dos variables considerando que todas las demás están fijas.

Los componentes involucrados fueron: peso de mil granos (PMG), granos por metro cuadrado (gr/m^2), plantas por metro cuadrado (pl/m^2), granos por planta (gr/pl), y rendimiento por hectárea ($\text{rto}/\text{há}$).

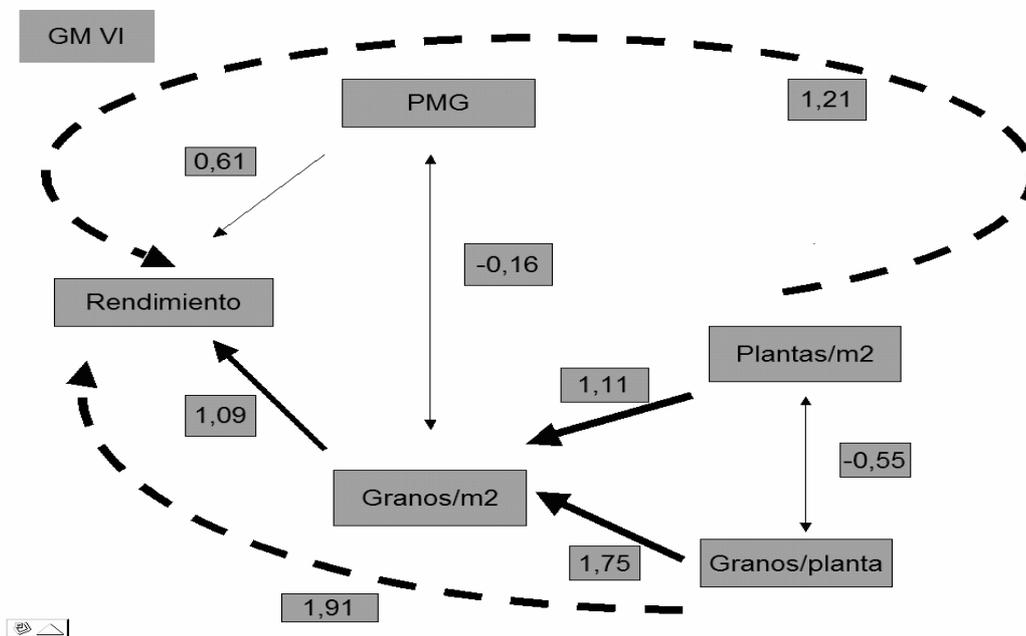
Se presenta a continuación, el sendero de formación de rendimiento para los tres grupos de madurez (GM) y las dos distancias entre hileras evaluadas (25 y 50 cm).



Nota: Líneas enteras: efectos directos Líneas punteadas: efectos indirectos
Figura No. 9 Coeficientes de sendero de los componentes de rendimiento para el GM IV



Nota: Líneas enteras: efectos directos Líneas punteadas: efectos indirectos
Figura No. 10 Coeficientes de sendero de los componentes de rendimiento para el GM V



Nota: Líneas enteras: efectos directos Líneas punteadas: efectos indirectos
Figura No. 11 Coeficientes de sendero de los componentes de rendimiento para el GM VI

Cuadro No. 16 Análisis de significancia de los coeficientes de sendero para tres GM (IV, V y VI)

Origen	Destino	GM IV			GM V			GM VI			Difer.
		Estim	Li 95	Ls 95	Estim	Li 95	Ls 95	Estim.	Li 95	Ls 95	
Pl/m ²	Gr/m ²	1,83	0.59	2.67	1,4	0.97	1.69	1,11	0.26	1.68	Si
Gr/pl	Gr/m ²	1,77	0.50	2.64	1,51	1.04	1.82	1,75	0.68	2.48	No
Gr/ m ²	Rend.	0,93	0.87	0.97	0,81	0.75	0.86	1,09	0.96	1.17	Si
PMG	Rend.	0,33	0.28	0.37	0,31	0.24	0.35	0,61	0.50	0.68	Si
PMG	Gr./m ²	0,04	-2.3	0.19	0,08	-0.21	0.28	-0,16	-0.73	0.22	No
Pl/ m ²	Gr./pl	-0,82	-0.52	0.43	-0,54	-1.92	0.39	-0,55	-1.66	0.19	No

▣ Correlaciones directas

▣ Doble correlación

Todas las variables contribuyeron de forma positiva al rendimiento en distintas proporciones.

Los componentes de rendimiento Pl/m^2 y Gr/pl , afectaron directamente en una magnitud muy alta, por medio de los Gr/m^2 . Este componente en los tres GM tuvo siempre el mayor impacto sobre el rendimiento a diferencia de la variable PMG con rendimiento.

En los GM IV y V, se observó un gran efecto compensatorio mediante los Granos por planta y las Pl/m^2 , consecuencia de la correlación negativa entre los mismos, lo que significa que a mayor número de Gr/pl menor es la cantidad de plantas por m^2 y viceversa. Se podría decir que este efecto fue superior en el GM IV ya que la correlación negativa es más alta respecto al GM V (-0,82 vs -0,54), por lo que la compensación se dio en mayor medida en el GM IV al disminuir la distancia entre filas y aumentar la población (de 20 a 40 plantas por m^2). Esto evidencia que en ambos grupos, el rendimiento sea el mismo tanto a 25 como a 50 cm de distancia entre hileras.

El GM VI será analizado independientemente, con él se trabajó a un nivel más alto de población (40-60 pl/m^2) a diferencia de los grupos anteriores. En este grupo el rendimiento se compone en mayor medida por las Pl/m^2 , mediante la vía de formación de rendimiento la cual fue muchos granos por planta, es un efecto indirecto muy alto y a su vez influye directamente en el número de granos/ m^2 .

Respecto al análisis de los intervalos de confianza existieron diferencias significativas entre los grupos IV y V en cuanto a la relación de Pl/m^2 y Gr/m^2 , o sea que en el grupo IV pesan en mayor proporción las Pl/m^2 sobre los Gr/m^2 . En cuanto al coeficiente de Gr/pl y Gr/m^2 no se observaron diferencias significativas entre los diferentes grupos (IV, V y VI). Entre los coeficientes Gr/m^2 -Rend. y PMG-Rend. existieron diferencias significativas pero estas se debieron al grupo VI el cual se trabajó a una densidad poblacional mayor, pesando estos coeficientes de forma más importante a la hora de componer el rendimiento.

Referido a las correlaciones, todos los grupos se encuentran dentro de los rangos de los intervalos, por lo que con un 95% de confianza se podría decir que no existen diferencias significativas entre los grupos en cuanto a las correlaciones PMG- Gr/m^2 y Pl/m^2 - Gr/pl .

4.4. EXPERIMENTO II

4.4.1. Población creciente GM IV

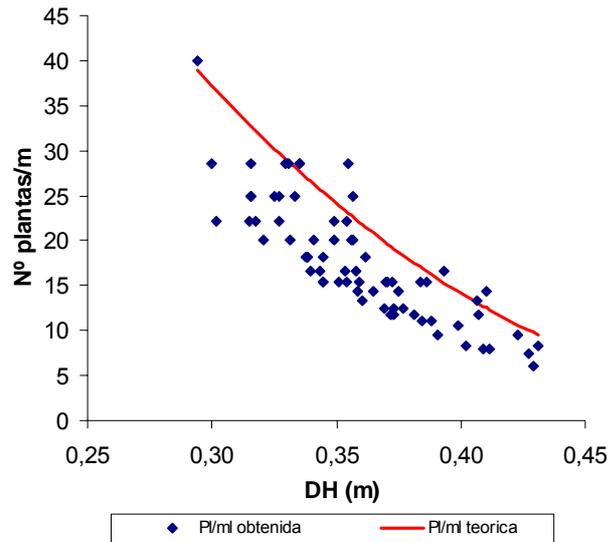


Figura No. 12 Distancia entre hileras y plantas por metro lineal teórica y obtenida en el experimento de población creciente GM IV

En el experimento de población creciente (GM IV y VI) se modificaron ambas variables (DH y población) llegando a variar tanto las plantas por metro lineal como por metro cuadrado. En la figura No. 12 se observa la diferencia entre la población objetivo promedio del ensayo (23 plantas por metro lineal) y la realmente obtenida en el ensayo (18 plantas por metro lineal) luego de la selección de los datos descrita anteriormente en materiales y métodos. Se logró promedialmente un 22 % menos de plantas por unidad de superficie definida en el experimento. El objetivo de este experimento para ambos grupos fue lograr una mayor población por metro cuadrado a medida que las DH disminuyen (rueda de carro), y aumentan las plantas por metro lineal. Con la combinación de diferentes DH y poblaciones se buscó el óptimo arreglo espacial de las plantas, para alcanzar un mayor rendimiento.

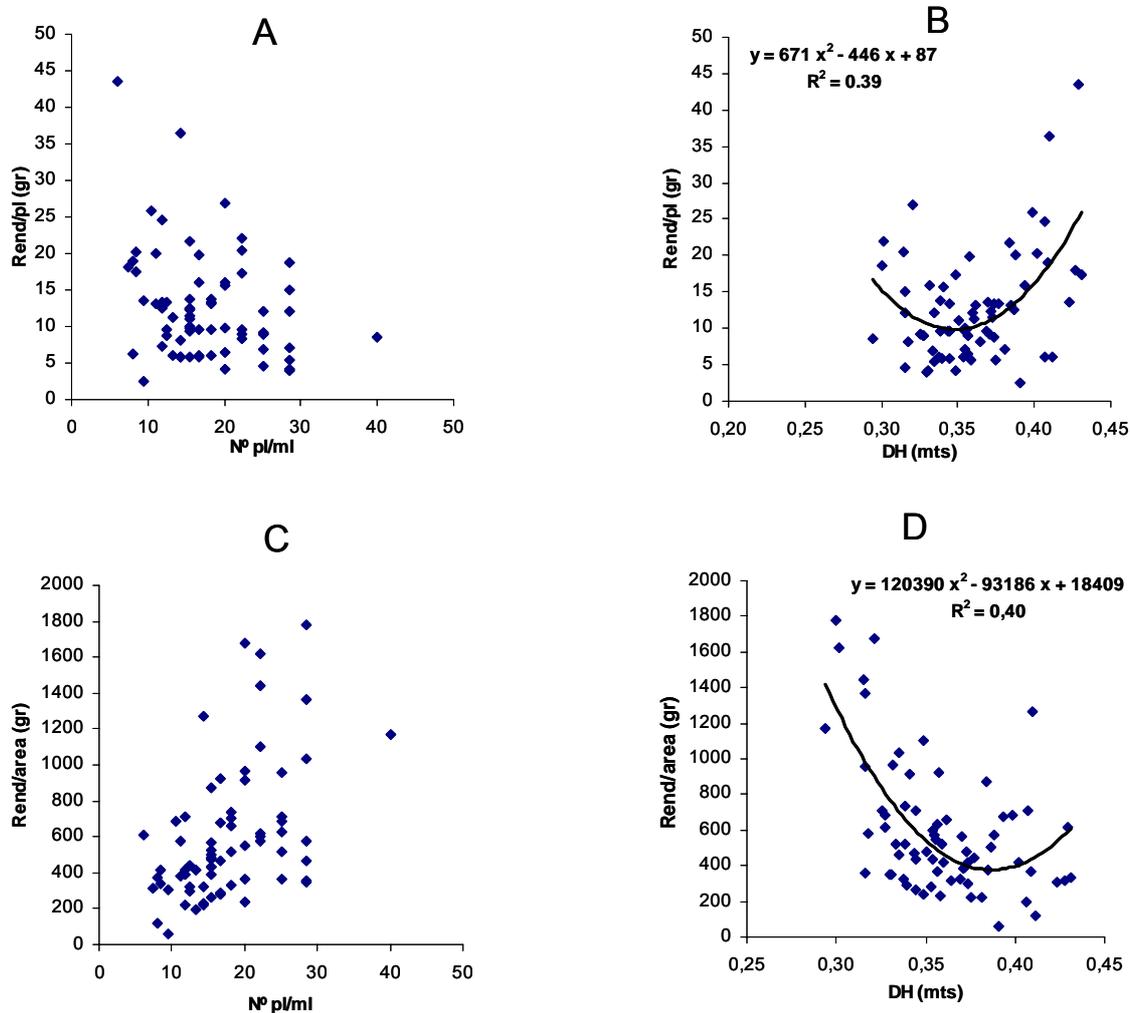


Figura No. 13 Rendimiento por planta según el número de plantas por metro lineal (A), según distancia entre hileras (B), y rendimiento por área (m^2) según el número de plantas por metro lineal (C), según distancia entre hileras (D), para población creciente GM IV

En la figura 13A se observa cierta tendencia de que a medida que el número de plantas por metro lineal aumenta, el rendimiento de las mismas disminuye. Esto pudo ser causado por la competencia entre las plantas por los recursos disponibles. En la figura 13B se observa una respuesta cuadrática, donde la variación del rendimiento por planta estuvo explicada en un 39% por la DH ($R^2= 0,39$). El rendimiento por planta aumentó cuando las DH fueron inferiores o superiores a un rango intermedio de 0.35-0.40-m. Los menores rendimientos por planta se dieron cuando la DH fue de 0,35-m aproximadamente. Esto posiblemente fuera ocasionado por un arreglo espacial inadecuado de las plantas en el metro cuadrado en esta distancia. En la figura 13C se observa una tendencia que al aumentar el número de plantas por metro lineal se incrementa el rendimiento por superficie (m^2). Cuando observamos la evolución del mismo (figura 13D), hubo un incremento de rendimiento por acercamiento de la distancia entre hileras hasta los 25-cm explicado en un 40 % por la misma. Esto está relacionado con la figura 13B, donde el rendimiento por planta tiende a ser similar a DH extremas, por lo tanto, DH menores con mayor número de plantas en el metro lineal van a ser las de mejor comportamiento productivo medido como rendimiento en grano del cultivo de soja.

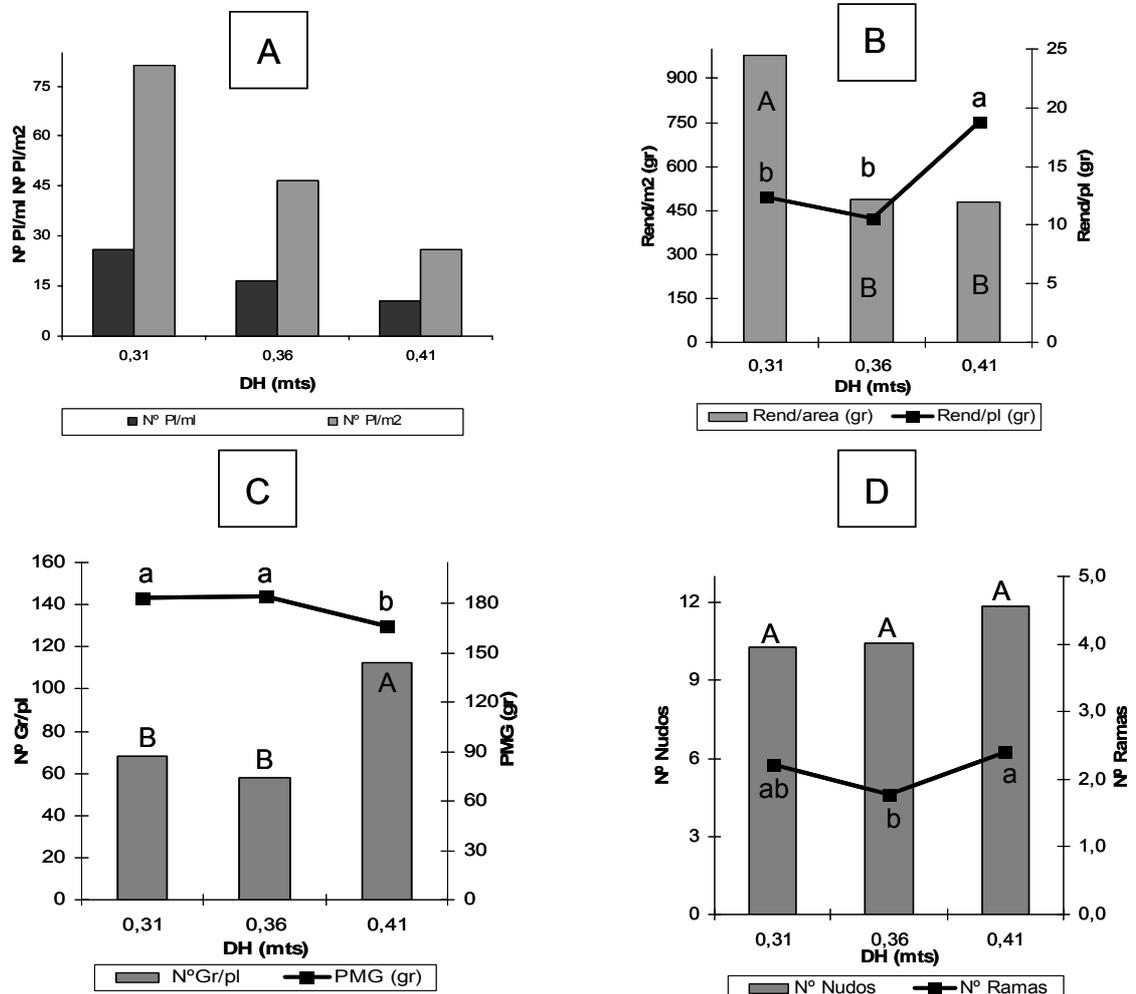


Figura No. 14 Efecto de la distancia entre hileras (DH) promedio sobre el número de plantas por metro lineal y por unidad de superficie (A), rendimiento por unidad de superficie y por planta (B), número de granos por planta y peso de mil granos (C) y número de nudos y ramas por planta (D) en el ensayo de población creciente en GM IV.

En la figura 14A se observa como disminuye de 26 a 11 plantas por metro lineal (representando un 40%) al cambiar la DH entre 0.31 y 0.41-m. Consecuentemente, la población medida por superficie se incrementó un 55% al pasar de DH de 0.41 a 0.36 –m y un 60% al pasar de DH de 0.36 a 0.31-m. En la figura 14B la menor DH correspondiente a la mayor población, muestra un rendimiento por área significativamente diferente en comparación con las demás, siendo superior en un 50%. Ocurre lo inverso con respecto al

rendimiento/planta donde la mayor DH correspondiente a la menor población fue significativamente mayor a las demás en un 58%. Este mayor rendimiento por planta no compensó un mayor rendimiento por área como si lo hizo la mayor población a distancia cercana, que tuvo menor rendimiento por planta pero logro mayor rendimiento por área.

Según Díaz Zorita (2004) no se recomienda en ninguna situación climática (excesiva humedad o déficit hídrico) la siembra a DH mayores a 38 cm. en los GM cortos, ya que su crecimiento vegetativo no permite una intercepción adecuada de luz. Lo que se podría relacionar a este experimento donde a DH menores correspondiente a mayor población cada planta rindió menos, pero logro mayor rendimiento por área, pudiendo explicar esto, que las plantas situadas a menor distancia obtuvieron mejor intercepción de luz y por ende mayor rendimiento. Además teniendo en cuenta que en el periodo de estudio las precipitaciones superaron ampliamente al promedio histórico y que la radiación fue inferior a la media histórica para el último período del ciclo (R4-R6). Este autor además concluyó acerca de las fechas de siembra muy tempranas o fechas de siembra muy tardías, con cultivares de GM cortos y los peores ambientes productivos, que son las situaciones en donde se debe buscar densidades de plantas mayores (límite superior del rango de densidades de siembra). En este experimento, se podría decir que al no haber existido tales restricciones, ni en fecha de siembra ni en déficit hídrico, el rendimiento fue mayor cuando la población llegó a 75 plantas por metro cuadrado. Por lo que los resultados de este reafirman el concepto de que al no existir restricciones, el aumento en densidad se traduce en mayor rendimiento. Ensayos realizados por el mismo autor, demostraron una gran plasticidad del cultivo de soja, donde en fechas óptimas de siembra no hubieron diferencias importantes entre 250.000 y 500.000 plantas/ha. Relacionado con nuestro trabajo para las DH 0,36 y 0,41, donde la población varió de 45 a 30 plantas por metro cuadrado, se podría decir que tampoco existieron diferencias en el rendimiento por área. Esto es más importante con grupos cortos, según el autor, ya que poseen baja capacidad de compensación recomendándose mayores densidades de plantas al sembrar GM cortos que al sembrar ciclos largos.

Según Keiser, citado por Ball et al. (2002), en situaciones donde la densidad fue extremadamente alta (>60 plantas/m²) para un GM IV con fecha de siembra tardía, el rendimiento se continuó incrementando. Esto para nuestro experimento que fue en siembras normales, y con una densidad máxima superior a la anterior (75 plantas/m²) también se produjeron aumentos en el rendimiento.

Díaz Zorita (2004) afirma que si bien el rendimiento del cultivo es el resultado final de muchas interacciones que se producen durante todo el ciclo,

la existencia de una etapa crítica y de un componente principal relacionado al rendimiento (número de granos/unidad de área) permite focalizar las decisiones de manejo. También el peso de grano es importante, este se describe como la fusión entre la tasa de crecimiento y la duración del periodo de llenado. Ambos están gobernados genéticamente, dependen de la variedad y varían con las condiciones ambientales. En las figuras C de los experimentos II y III, se muestra, como en las diferentes poblaciones con diferentes arreglos espaciales produjeron compensaciones de diferente tipo entre número y peso de mil granos para determinar el rendimiento. Ceretta y Vilaró (2003), concluyen en experimentos que los mecanismos de compensación se dan entre el número de granos por metro cuadrado y el peso de mil granos.

En este caso en la figura 14C se muestra como en la mayor DH el número de granos por planta es significativamente superior en un 56% con respecto a los demás. El PMG tiene un comportamiento inverso siendo significativamente inferior en un 11% en DH mayores, dado que a mayor número de granos menor fue el peso de los mismos, determinando un mayor rendimiento por planta. Para la DH menor existió una compensación por medio del aumento de peso a medida que descendió el número de granos, esto se tradujo en un mayor rendimiento por área. Respecto al número de ramas en la figura 14D, se observó que éste fue mayor a DH mas altas correspondiendo a menor número de plantas por metro cuadrado y lineal. Esto evidenciaría la predisposición de la planta a ramificar cuando esta a menor población. No existieron diferencias significativas en el número de nudos en ninguna de las DH, por lo cual estos no influirían en determinar diferencias en el rendimiento. Aquí se evidencia como el número de nudos no varió con lo diferentes manejos, por estar gobernado por el fotoperíodo (diferentes fechas de siembra), y como los tratamientos fueron sembrados en una misma fecha, este componente fue similar.

Según Melchiori, citado por Melchiori y Peltzer (2001), el cultivo modifica sus componentes por unidad de área, en función de la distribución espacial equilibrando el crecimiento de sus órganos por unidad de superficie. Esto se vio en cada situación de estos experimentos, donde se observaron diferentes mecanismos de construcción del rendimiento.

Cuadro No. 17 Número de vainas y granos relacionado al rendimiento por m² y plantas por metro lineal para población creciente GM IV

Variables	0,31	0,36	0,41	MDS*
Rendimiento/m ²	977,7	486,1	476,9	123,7
Rend/planta (g)	12,4	10,6	18,8	2,5
No. V1	2,32	0,92	1,67	0,59
No. Gr V1	2,26	0,92	1,53	0,56
No. V2	12,7	9,65	13,0	ns
No. Gr V2	21,9	16,1	22,1	3,9
No. V3	17,7	15,8	31,7	3,8
No. Gr V3	42,9	39,1	86,7	10,3
No. V4	0,26	0,51	0,53	ns
No. Gr V4	0,84	1,81	2,0	ns
No. Vainas tot.	33,1	26,9	46,9	5,9
No. Vainas m ²	2617	1229	1187	309
No. Gr. Tot./vaina	67,9	57,9	112,3	13,7
No. Granos/m ²	5384	2647	2856	682
% Vainas c/grano	82	84	89	3,1

ns indica no significativo ($P \leq 0,10$)
 *MDS: Mínima Diferencia Significativa

El rendimiento por metro cuadrado fue mayor en la DH menor, causado por una mayor población, donde cada planta tuvo menor rendimiento, pero esta reducción fue menor al aumento del número de plantas por metro cuadrado. Sin embargo en la DH superior se vio mayor rendimiento por planta explicado por el alto número de vainas de 3 granos, representando un 67% de las vainas totales con diferencias significativas sobre las demás DH. Estas son siempre las responsables del mayor rendimiento por planta en las tres DH, para la DH intermedia aportaron en un 59% y para la DH inferior en un 54 %. Para este GM IV el número de vainas de tres granos explico los rendimientos obtenidos, a diferencia de las demás que no aportan significativamente al rendimiento.

Además para las DH más cercanas, el mayor rendimiento por superficie se explicó por tener mayor número de vainas y granos por m², este último es el principal componente en determinar la producción por área. No obstante las DH mas alejadas obtuvieron mayor rendimiento por planta, debido al mayor número de vainas y granos por planta, siendo el rendimiento por superficie inferior. En cuanto al % de vainas con granos, el mayor % correspondió a la DH más alejada de manera significativa, esto posiblemente pudo deberse a que las plantas al tener mayor disponibilidad de recursos, destinaron los mismos a la producción de carbohidratos, definiendo un mejor llenado de grano.

Cuadro No. 18 Variables medidas (IAF y % de cielo visible) relacionadas con el rendimiento para población creciente GM IV

Variables	DDA
	93
IAF	m ² hoja/m ² suelo
Distancia hileras (-m)	
0,31	1,09
0,36	1,08
0,41	0,86
MDS _(0,10)	ns
% de cielo visible	% cielo visible
Distancia hileras (-m)	
0,31	0,40
0,36	0,41
0,41	0,49
MDS _(0,10)	Ns
ns indica no significativo ($P \leq 0,10$)	

Entre las diferentes DH se observó cierta tendencia que, a medida que aumentó la población, el área de cobertura por el cultivo también lo hizo, aunque este aumento no fue significativo ($P \leq 0,1$). Se pudo observar que en el momento en que se realizó la medición, la cobertura foliar era baja. Esto posiblemente fue causado porque dicha medición se realizó el 3 de abril, donde el cultivo ya estaba en un estado avanzado de desarrollo (R7). Los valores de cobertura foliar para una misma fecha, en el GM IV fueron menores con respecto al GM VI en este mismo experimento, ya que este grupo presenta un ciclo mas corto donde las hojas senescen antes. Con respecto al % de cielo visible, o sea lo que no estaba cubierto por hojas se pudo ver que fueron valores altos, pero las diferentes poblaciones tampoco afectaron de manera diferencial a este valor, si bien se observó una orientación de menor % de cielo visible a mayor población, por lo que a DH mas cortas mayor seria el aprovechamiento de luz por el cultivo.

Shibles y Weber, citados por Bodrero (2002), asumieron una eficiencia en el uso de la radiación constante y que el largo de ciclo del cultivo no era afectado por la densidad de población; por lo que incrementando la población se esperaba acortar el tiempo requerido para la máxima intercepción de luz, aumentando el total de acumulación de radiación fotosinteticamente activa para el cultivo durante la estación y esto resultaría en mayor biomasa en la madurez del cultivo. Trasladando esto hacia nuestros experimentos (II y III) no se vieron dichos efectos en términos estadísticos, pero si cierta tendencia a presentar ese

comportamiento, ya que para los mismos, a medida que se incremento la población no se vieron diferencias en la cobertura de área foliar (IAF).

Para GM cortos según Satorre et al. (2003) se debería tener en cuenta que el momento de siembra del cultivo es crítico, ya que en el queda definida la densidad y distribución de las plantas que se logran. Consecuentemente queda condicionada la posibilidad de establecer una adecuada estructura en la etapa crítica reproductiva. Por eso que al utilizar grupos de madurez menores resulta fundamental aumentar la densidad de siembra y reducir la distancia entre surcos para compensar el menor crecimiento que experimentara entre VE-R2 y lograr máxima interceptación a partir de R2-R3.

Cuadro No. 19 Variables medidas (fenología y altura) relacionadas con el rendimiento para población creciente GM IV

Variables	DDA		
	55	71	93
Fenología	Estado Fenológico		
Distancia hileras (-m)			
0,31	R 5.0	R 6.0	R 7.0
0,36	R 5.0	R 6.0	R 7.0
0,41	R 5.0	R 6.0	R 7.0
MDS _(0,10)	ns	ns	ns
Altura	cm		
Distancia hileras (-m)			
0,31	60 a	60 a	60 b
0,36	55 b	55 b	70 a
0,41	55 b	55 b	55 c
MDS _(0,10)	0.1	0.1	0.1
ns indica no significativo ($P \leq 0,10$)			

Los estados fenológicos no fueron modificados para el GM IV por la variación de la población, lo que era esperable, ya que la evolución del cultivo no tendría porque ser variada por el arreglo espacial de las plantas. A su vez se observa una evolución acorde al ciclo del cultivo, ya que posee un ciclo mas corto con respecto al GM VI, como se observara más adelante, este grupo en esta misma fecha tuvo un menor estado fenológico. Satorre et al. (2003) afirman que los GM menores son poco sensibles al fotoperíodo y como esta sometido a temperaturas elevadas, esto hace que el periodo crítico se vea acelerado por lo que tiende a acortarse.

Respecto a la altura del cultivo, se observó como las plantas cuando se encuentran a mayor población y menor DH alargan sus entrenudos buscando la luz y llegan a mayores alturas, a diferencia de las que se ubican en DH mayores las cuales permanecieron más bajas. En las fechas donde se realizaron las mediciones, el cultivo se encontraba en estados avanzados, la mayor población en las DH más cercanas podría haber sufrido limitantes de luz, pero esto no redujo el rendimiento, ya que las precipitaciones fueron suficientes.

4.4.2. Población creciente GM VI

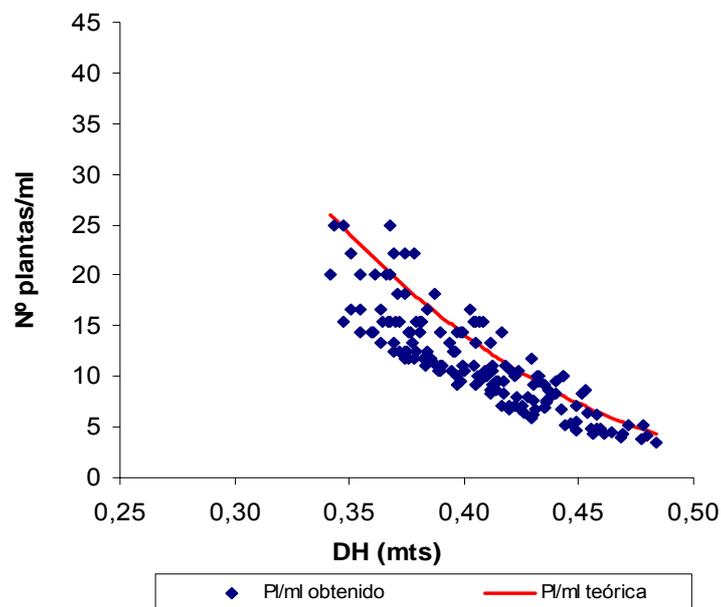


Figura No. 15 Distancia entre hileras y población en plantas por metro lineal teórica y obtenida para población creciente GM VI

En la figura 15 se observa la distribución de la población obtenida con respecto a la población objetivo, viendo una clara tendencia a cumplir con la población teórica definida en el experimento, lográndose en promedio un 17%

menos de plantas por metro lineal, siendo este ajuste mayor a DH alejadas donde la población es menor, tanto por metro cuadrado como lineal, en cambio para el GM IV en este mismo experimento, el ajuste se dio de forma mas proporcional, en todas las DH. En este GM VI la ecuación que define la banda de trabajo, ajusto mejor dejando mayor número de plantas dentro del análisis, a diferencia de los GM IV donde el análisis se realizo con menor cantidad de datos.

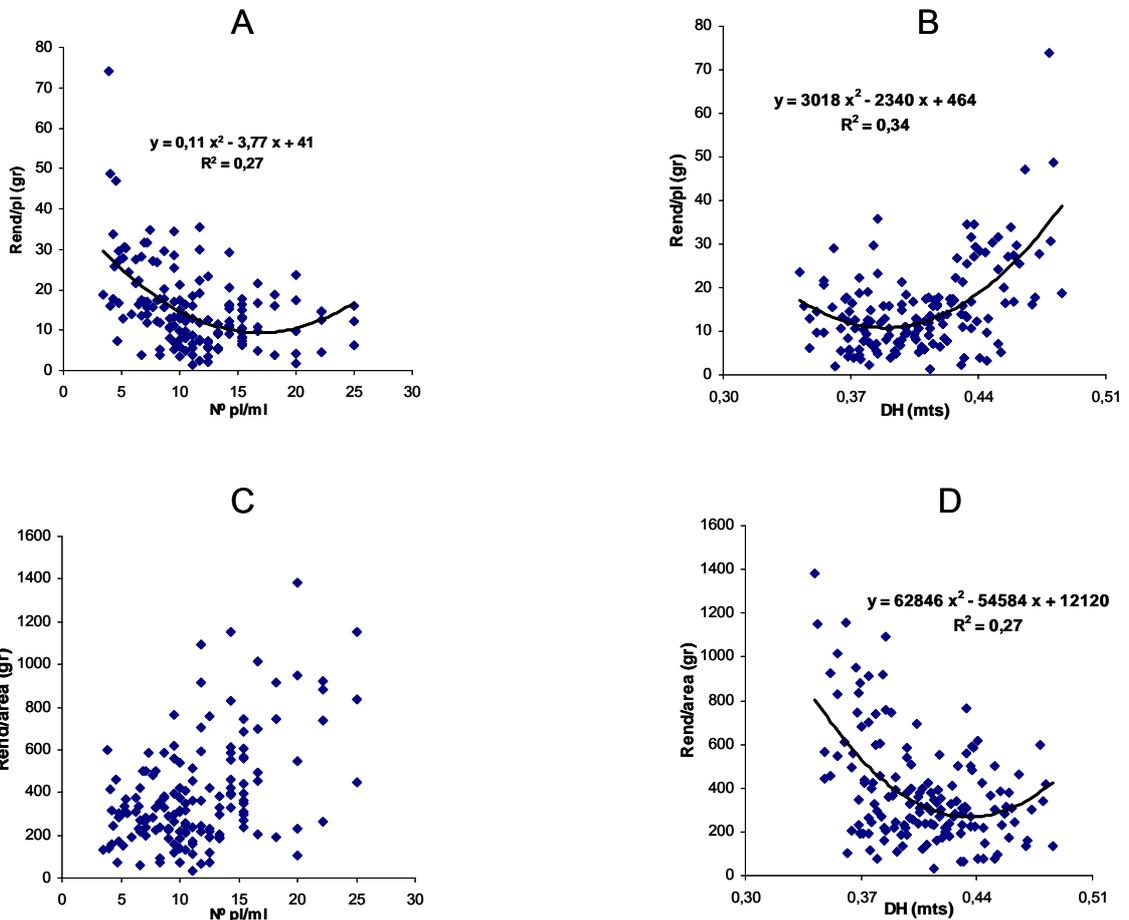


Figura No.16 Rendimiento por planta según el número de plantas por metro lineal (A), según distancia entre hileras (B), y rendimiento por área (m^2) según el número de plantas por metro lineal (C), según distancia entre hileras (D) para población creciente GM VI

En la figura 16A se observa que la variación en rendimiento por planta esta dada por la variación en el número de plantas por metro lineal en un 27% siendo esta relación negativa. Esto pudo ser causado por la competencia entre las plantas por los recursos disponibles. En la figura 16B se observa como el rendimiento por planta aumenta cuando la DH fue superior. Los menores

rendimientos por planta se dieron cuando las DH fueron en el entorno de 0,40-m. Esto posiblemente fuera ocasionado por un arreglo espacial no óptimo de las plantas en el metro cuadrado.

Se observó que la DH intermedia determinó el menor rendimiento por planta tanto en el GM IV como en el VI, para poblaciones crecientes. En la figura 16C se observa una tendencia donde al aumentar el número de plantas por metro lineal se incrementó el rendimiento por área (m^2). Lo que concuerda con el dato de que a medida que disminuye la DH, aumentan las plantas por metro lineal y las plantas por metro cuadrado, donde cada una rinde menos, resultando en un mayor rendimiento por superficie. Esto se traduce en la figura 16D. En esta se registró una inclinación al descenso en el rendimiento por área a medida que se incrementaba la DH. Esto se relaciona con la figura B, donde el rendimiento por planta tiende a ser mayor en DH altas, lo que concuerda con el concepto de compensación donde se vio claramente, que el rendimiento por planta es mayor a DH altas pero con menor número de plantas, a diferencia del rendimiento por área donde cada planta rindió menos pero al tener más plantas por metro cuadrado, el rendimiento por superficie aumentó.

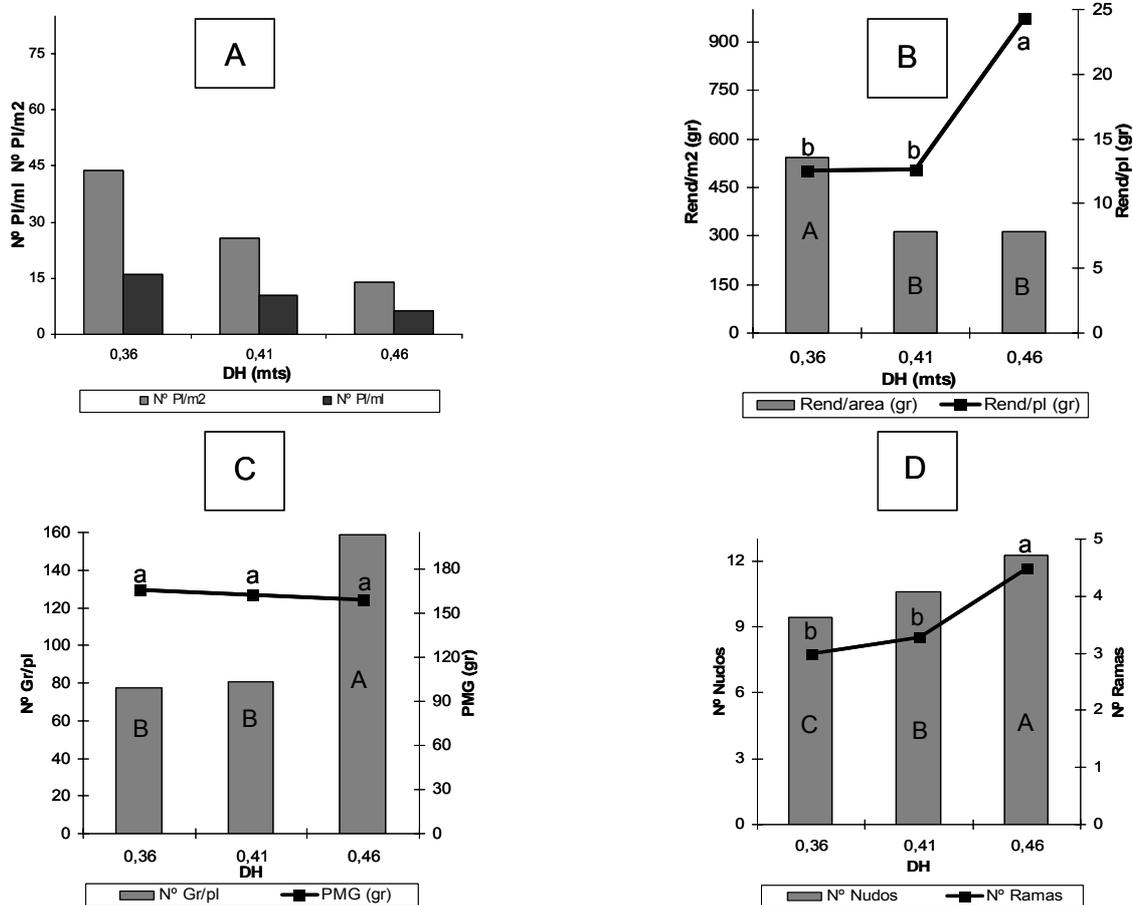


Figura No. 17 Efecto de la distancia entre hileras (DH) promedio sobre el número de plantas por metro lineal y por unidad de superficie (A), rendimiento por unidad de superficie y por planta (B), número de granos por planta y peso de mil granos (C) y número de nudos y ramas por planta (D) en el ensayo de población creciente en GM VI

En la figura 17A se observa como disminuyó la población de 44 a 14 plantas por metro cuadrado y de 16 a 6 plantas por metro lineal al cambiar la DH de 0,36-m a 0,46-m, definiendo una menor población con respecto al GM IV. Por lo tanto la población por área aumento un 55 % desde 0,46- m a 0,41-m y un 60 % de 0,41-m a 0,36-m. En la figura 17B la menor DH correspondiente al centro muestra un rendimiento/m² superior en un 58%, siendo este diferente significativamente en comparación con las demás.

Díaz Zorita (2004) cita que a medida que la fecha de siembra se aleja de del 1° de noviembre, como ocurrió en nuestro experimento, tanto hacia siembras más tardías como más tempranas se observaron mejoras en los rendimientos al reducir la distancia entre hileras. Esto se pudo ver en la figura 17B donde en las DH más cercanas el rendimiento por área fue mayor. Esta respuesta es inversa a la longitud del ciclo del cultivar y esta asociada a una mayor interceptación de la radiación a comienzos de floración y a una menor producción de biomasa aérea acumulada a R5 (Díaz Zorita, 2004). Ocurrió lo inverso con respecto al rendimiento/planta donde en la mayor DH, este fue significativamente mayor a los demás en un 50%. Este no compensó un mayor rendimiento por área como si lo hizo la distancia centro, que tuvo menor rendimiento por planta pero logro mayor rendimiento por área debido al incremento de la población, donde esta se incremento en un 67%. Teniendo en cuenta que el objetivo fue maximizar el rendimiento por área se podría decir que la distancia más cercana es la que optimiza el arreglo para llegar a un mayor rendimiento en los GM IV y VI.

De acuerdo a la densidad de plantas, Díaz Zorita (2004) asegura que el número de plantas por unidad de superficie tiene un efecto neutro sobre el número de granos y sobre el rendimiento, es decir, la mayor densidad de plantas es compensada por un menor número de nudos/planta y por una disminución de la fertilidad de cada nudo, como se vera en la figura 17D. Satorre et al. (2003) afirman este mismo concepto. De acuerdo a los resultados obtenidos en nuestro estudio, se corroboró el dato de que a medida que aumenta la población descendió el número de nudos por planta para este grupo, pero sin saber el dato de fertilidad de cada nudo, por no haber realizado esta medición. En la mayor DH el número de granos por planta fue significativamente superior en un 50% respecto a las restantes DH, como se observa en la figura 17C. El PMG no se vio afectado por la variación del espacio entre surcos, por lo que este no influiría en la composición del rendimiento. Resumiendo, se observó como se comportó en este grupo el mecanismo de compensación citado anteriormente por Ceretta y Vilaró (2003), donde afirman que la misma se da entre número y peso de granos. Para este caso fue por medio de aumentar significativamente el número de granos por planta, quizás también por poseer mayor número de nudos y ramas. Para el PMG no se modifico entre las diferentes DH, lo que determina el mayor rendimiento por planta a DH lejanas. Sin embargo para la DH cercana obtuvo mayor rendimiento por área por el simple hecho del aumento de plantas en el metro cuadrado, por lo que no es de relevancia este mecanismo de compensación. Respecto al número de ramas en la figura 17D, se observo que éste fue mayor a DH mas altas correspondiendo a menor numero de plantas por metro cuadrado y lineal. Esto evidenciaría la habilidad de la planta de ramificar cuando esta a menor población como sucede en los grupos largos. Si

existieron diferencias en el número de nudos en el tallo principal, donde este valor fue significativamente diferente en los tres tratamientos, a diferencia del GM IV donde no existieron diferencias en este número, por lo que ahí se cumple que es un componente genético no variado por la densidad y DH.

Según Díaz Zorita (2004) la disminución en el número de nudos en altas densidades obedece principalmente a un menor crecimiento de las ramas y salvo que la densidad sea extremadamente alta no suele afectarse el número de nudos en el tallo principal. En nuestro experimento también a mayor densidad menor fue el número de nudos en el tallo principal y existió una tendencia a menor número de ramas en DH más cercanas en poblaciones de 45 plantas m².

Melchiori, citado por Melchiori y Peltzer (2001), encontró que el número de nudos en el tallo principal varió significativamente por efecto del cultivar y la densidad, mostrando una interacción cultivar por densidad. Además según Peltzer, citado por Melchiori y Peltzer (2001) la cantidad de nudos en el tallo principal es dependiente de la época de siembra y casi independiente de la densidad y el espaciamiento. Para el experimento II se dieron ambas situaciones, para el GM IV, el número de nudos no se vio afectado por las modificaciones tanto en densidad como en DH. Sin embargo ocurrió lo contrario para el GM VI, donde se incrementó el número de nudos a mayor DH. Ambos fueron sembrados en la misma fecha con una condición fotoperiódica similar, causando diferentes efectos en ambos grupos. Según Satorre et al. (2003), con el aumento de la densidad de plantas, el número de nudos por superficie y el número de nudos reproductivos puede aumentar. Lo que se dio para este experimento donde, a menor densidad de población hubo menor número de nudos por superficie y a mayor densidad de población ocurrió lo inverso.

Cuadro No. 20 Número de vainas y granos relacionado a rendimiento por m² y plantas por metro lineal para población creciente GM VI

Variables	0,37	0,41	0,45	MDS*
Rendimiento/m ²	541	314	312 b	54
Rend/pl (g)	12,5	12,6	24,3 a	2,1
No. V1	2,47	2,39	5,38 a	0,77
No. Gr V1	2,33	2,33	4,91 a	0,67
No. V2	33,3	31,4	62,5 a	5,6
No. Gr V2	59,5	58,9	115,6 a	10,3
No. V3	5,94	7,03	13,91 a	1,8
No. Gr V3	15,5	19,2	38,1 a	5,3
No. vainas tot.	41,8	40,9	81,8 a	7,3
No. vainas m ²	1816	1011	1036 b	190
No. Gr. Tot./vaina	76,5	87,9	132,1 a	12,1
No. Granos/m ²	3292	2162	1739 c	189
% Vainas c/gr	90	93	92	Ns

ns indica no significativo ($P \leq 0,10$)
 *MDS: Mínima Diferencia Significativa

El rendimiento por área fue mayor significativamente a DH cercanas causado por un mayor número de plantas, cada una de ellas con menor rendimiento. El rendimiento por planta, de manera inversa tuvo mayor rendimiento a DH lejanas, pero con menor población. A DH mayores siempre existió mayor número de vainas y granos totales por vaina, lo que determinó un rendimiento por planta superior.

Es característico de los GM VI en la composición del rendimiento que exista dominancia de las vainas de dos granos en este caso, estas contribuyeron en un 76% al rendimiento por planta, a diferencia de lo que ocurrió en el GM IV donde predominaban las vainas de tres granos. Como ocurrió con el GM IV los componentes por superficie (número de vainas y granos) en este caso también fueron superiores a DH más cercana, donde la población por metro cuadrado fue mayor.

En cuanto al % de vainas con grano, se vio que este fue mayor en el GM VI que en el GM IV, pero dentro del grupo no se evidenciaron diferencias significativas. Para la población creciente GM VI, la compensación se dio por medio del aumento considerable del número de granos por planta, sin modificar el peso de los mismos.

Cuadro No. 21 Variables medidas (IAF y % de cielo visible) relacionadas con el rendimiento para población creciente GM VI

Variables	DDA
	93
IAF	m ² hoja/m ² suelo
Distancia hileras (-m)	
0,36	2,5
0,41	2,3
0,46	2,3
MDS _(0,10)	ns
% de cielo visible	% cielo visible
Distancia hileras (-m)	
0,36	0,11
0,41	0,15
0,46	0,15
MDS _(0,10)	ns
ns indica no significativo (P ≤ 0,10)	

No hubo diferencias significativas entre los tres tratamientos, tanto en cobertura de área foliar como en % de cielo visible. A diferencia del GM IV, en la misma fecha de medición (día 93), el GM VI por ser mas largo posee mayor cobertura de hojas y menor % de cielo visible, lo que demuestra que este GM aun permanece con mayor área fotosintéticamente activa respecto al anterior GM.

Keiser, citado por Ball (2002), en un experimento con fecha de siembra tardía y un GM corto (IV), determinaron su hipótesis que proponía que con incrementos de densidad, se acumularían durante la estación de crecimiento grandes cantidades de luz, resultando en incrementos finales de biomasa, asumiendo que la eficiencia en el uso de la radiación no era afectada por la densidad de población. Esto ocurrió en nuestro experimento, en fechas de siembras normales, donde a medida que se incremento la densidad, la cobertura de IAF permaneció constante. Al contrario de lo que indicaba su hipótesis, para su experimento, la eficiencia en el uso de la radiación disminuyo con incrementos en la densidad de población en cultivos sembrados temprano; y en tres de los cuatro ambientes estudiados la eficiencia en el uso de la radiación fue disminuyendo por la densidad de población en una siembra tardía. Entonces propusieron que la disminución de la eficiencia en el uso de la radiación con altas densidades de población fue responsable por el techo en el rendimiento comúnmente observado en experimentos de densidad de población

y por la relación asintótica de la brotación de biomasa con altos niveles de radiación fotosintéticamente activa acumulada. Esta disminución en la eficiencia del uso de la radiación no se vio en nuestro experimento ya que este fue similar, probablemente causado porque la fecha de siembra fue normal.

Cuadro No. 22 Variables medidas (fenología y altura) relacionadas con el rendimiento para población creciente GM VI

Variables	DDA		
	55	71	93
Fenología	Estado Fenológico		
Distancia hileras (-m)			
0,36	4,7	5,3	6,5
0,41	4,8	5,3	6,5
0,46	4,7	5,3	6,5
MDS _(0,10)	ns	ns	ns
Altura	cm		
Distancia hileras (-m)			
0,36	70 a	75 a	65 b
0,41	70 a	75 a	70 a
0,46	60 b	60 b	60 c
MDS _(0,10)	0,1	0,1	0,1
Ns indica no significativo ($P \leq 0,10$)			

Los estados fenológicos no se modificaron por las diferentes DH, ya que la evolución del cultivo no tendría porque ser variada por el arreglo espacial de las plantas. Para el GM VI en cada fecha donde se realizó la medición no varió significativamente el estado fenológico en que se encontraba la planta. A su vez se vio una evolución acorde al ciclo del cultivo, ya que posee un ciclo mas largo con respecto al GM IV, por lo que a una misma fecha se encontraba en un estado fonológico menor. Respecto a la altura del cultivo, se observo como las plantas cuando se encontraban a mayor población y menor DH alargaron sus entrenudos en busca de luz y llegaron a mayores alturas, a diferencia de las que se ubicaron a DH mayores y menor población las cuales permanecieron mas bajas por presentar mas espacio cada una. Por lo que a menor DH las plantas al encontrarse a una mayor población, pudieron haber sufrido alguna restricción por luz, lo que llevo a que alargaran sus entrenudos en busca de esta limitante, no sufriendo ningún otro tipo de déficit, ya que las lluvias en etapas avanzadas del cultivo, se dieron de forma superior a lo registrado históricamente para la época.

4.4.3. Generalidades de la población creciente

Para este experimento tanto en el GM IV como en el VI resulto positivo el incremento de la población (menor DH y mayor cantidad de plantas en la hilera), traduciéndose en un mayor rendimiento por área. Como asegura Satorre et al. (2003), donde dice que el acortamiento de la DH resultaría en un menor rendimiento en años secos, ya que habría un mayor consumo de agua en la etapa vegetativa quedando menos disponible para las etapas críticas. Esto no ocurrió en este experimento donde la situación climática fue favorable para la determinación de un buen rendimiento en las poblaciones altas definidas para este trabajo (DH cercanas), siendo para el GM IV 75 plantas/m² (DH=0,31-m) y para el GM VI de 44 plantas/m² (DH=0,36-m).

Cooper y Costa et al., citados por Bodrero (1988), concuerdan con lo anterior diciendo que cualquier factor que limite el tamaño de planta, como siembras tardías o condiciones ambientales desfavorables, tienden a aumentar el rendimiento cuando se acercan los surcos, esto no es así en sequías o déficits de nutrientes muy severos. Por otro lado, otros autores Boerma y Ashley, Boquet et al., Borrada et al., citados por Bowers (2000) concuerdan en que los incrementos en rendimiento asociados con distancias más cercanas puede ser mejor con siembras tardías que en fechas óptimas. Beatty et al., Boquet et al., citados por Bowers (2000) también lo relacionan a siembras tempranas (abril, Hemisferio Norte).

Con respecto al aumento en la densidad de población, Andrade et al. (2000) afirmaron que la soja posee gran plasticidad vegetativa y reproductiva, además de los bajos umbrales para producir granos, hacen que sea el cultivo menos sensible a la variación en la densidad de plantas y a la desuniformidad en el tamaño de las plantas. Por otro lado, su amplio periodo reproductivo le confiere tolerancia ante situaciones de stress puntuales.

En el caso de la no existencia de restricciones, como se dio en nuestro experimento, ya que las precipitaciones fueron por encima del promedio en la segunda mitad del ciclo, el rendimiento de soja en estas condiciones es poco sensible a la densidad por la alta plasticidad que presentan las plantas, por eso se logro un buen rendimiento en el experimento tanto para el GM IV como el VI. Sin embargo en ambientes restrictivos durante la primera mitad del ciclo del cultivo, la plasticidad vegetativa no se expresa adecuadamente, por lo que se podría aumentar la densidad (Andrade et al., 2000).

Shibles y Weber, citados por Ball et al. (2002), encontraron que la eficiencia en el uso de la radiación fue aproximadamente constante en un año con adecuada lluvia a través de una densidad de población en el rango de 6 a

52 plantas/m². Como se vio en nuestro experimento, de la misma manera al aumentar la población en el GM IV (población creciente) de 30 a 75 plantas por metro cuadrado con lluvias adecuadas también, el uso de la radiación fue similar a medida que se aumento la población. Estos autores mencionan que en un año con lluvias subóptimas, la eficiencia en el uso de la radiación disminuyo con el aumento en la densidad de población.

En los últimos 60 años se ha demostrado que el rendimiento incrementa con el aumento en la densidad de población hasta cierto nivel, por encima del cual no hay mas incremento del rendimiento o hasta en algunos casos hay descenso del mismo (Ball et al., 2002). Según estos autores la razón de que el rendimiento tenga un tope con densidades de población por encima de cierto nivel no ha sido registrado. Según nuestro experimento este aumento del rendimiento también se registro al aumentar la densidad de población, sin llegar a un detrimento en el rango de población que se trabajó con los materiales genéticos utilizados en este experimento.

4.5. EXPERIMENTO III:

4.5.1. Población constante GM IV

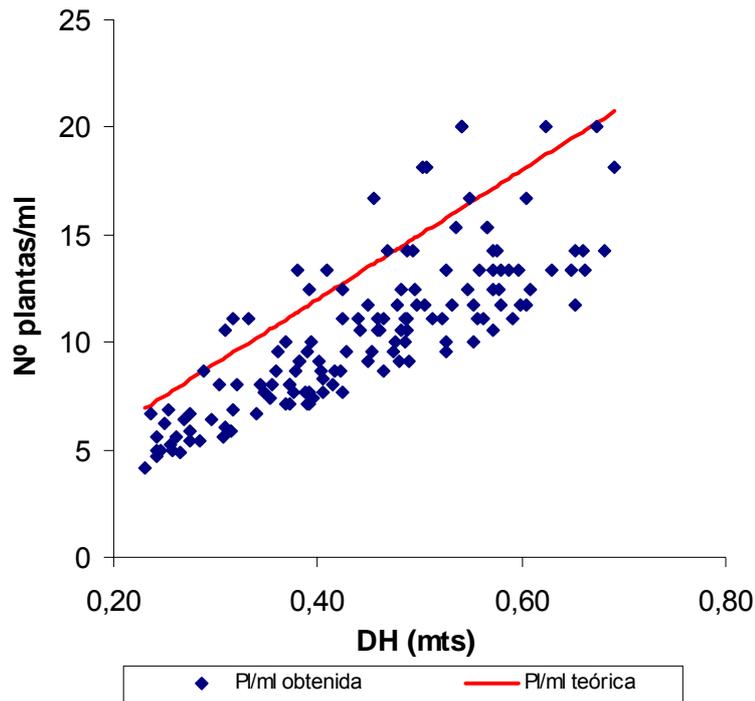


Figura No. 18 Distancia entre hileras y población en plantas por metro lineal teórica y obtenida para población constante GM IV

Se puede observar que la población obtenida se ajusto de forma adecuada a la población teórica, en un 80% (11 vs. 14 plantas por metro lineal). La finalidad aquí fue lograr una población por metro cuadrado constante, mediante el aumento de las plantas por metro lineal a medida que la DH aumentaba. En este caso se opero de manera diferente el arreglo espacial de las plantas, mediante las variables DH y población para encontrar la optima distribución espacial. A diferencia del experimento anterior, aquí las variables se modificaron con el fin de mantener constante la población por metro cuadrado y variar la población por metro lineal y DH.

En este experimento (III) comparado con el anterior (II) se trabajo a un nivel de población/m² constante en aproximadamente 23 plantas.

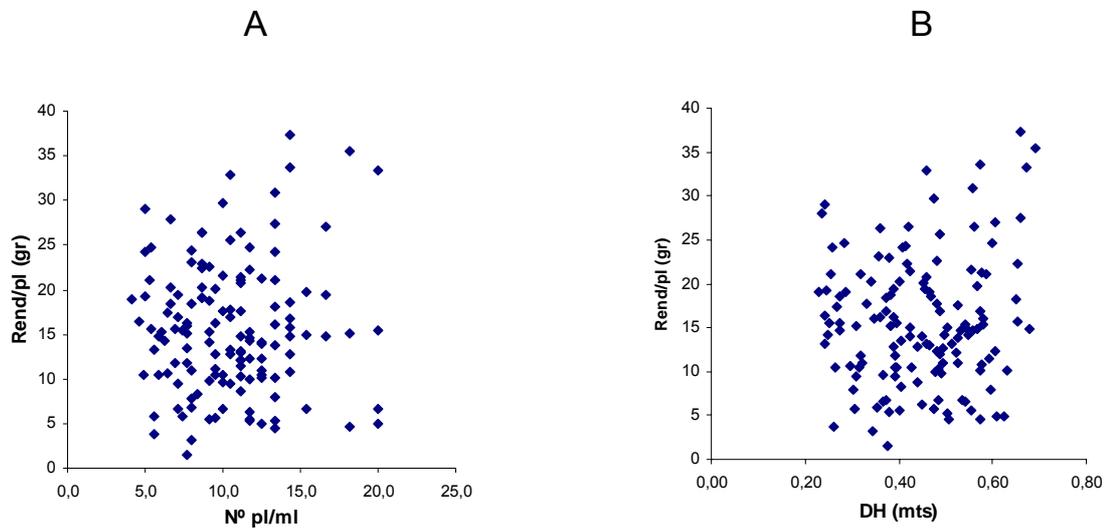


Figura No. 19 Rendimiento por planta según el número de plantas por metro lineal (A), según distancia entre hileras (B) para población constante GM IV

En las figuras 19A y B no existió ninguna relación entre el número de plantas por metro lineal, ni DH con el rendimiento por planta. Esto pudo deberse a que siempre existió cierta competencia entre las plantas. En el centro por presentar menor DH y bajo número de plantas por metro lineal, la competencia se dio entre surcos. Sin embargo hacia fuera al presentar mayor DH y mayor número de plantas por metro lineal, la competencia fue entre plantas dentro del surco, en ambos casos el número de plantas por metro cuadrado se mantuvo constante y en consecuencia esto no modificó el rendimiento por área.

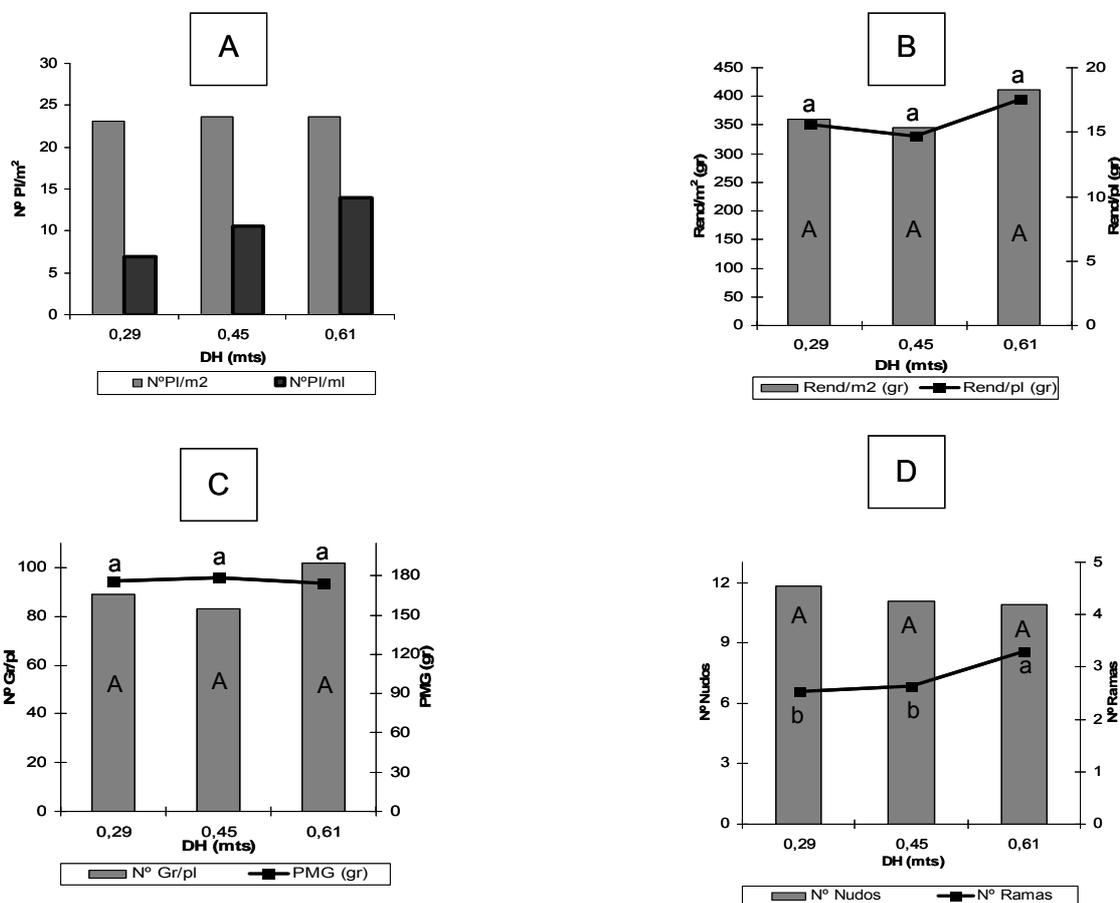


Figura No. 20 Efecto de la distancia entre hileras (DH) promedio sobre el número de plantas por metro lineal y por unidad de superficie (A), rendimiento por unidad de superficie y por planta (B), número de granos por planta y peso de mil granos (C) y número de nudos y ramas por planta (D) en el ensayo de población constante en GM IV

En la figura 20A el número de plantas por metro cuadrado se mantuvo constante en 25 plantas aproximadamente en todas la DH. Siendo el mismo inferior respecto al experimento II donde se trabajo con 75 y 45 para la DH más cercana para el GM IV y VI respectivamente. Para las plantas por metro lineal aumentaron de 7 a 14 desde 0,29 –m a 0,61 –m de DH, representando un 50 % de aumento, siendo este para las DH de 0,29 –m a 0,45 –m de 30%, y para la DH 0,45 –m a 0,61 –m de 25%. En la figura 20B se observa que no hubo efecto

de la modificación de la DH, ya que ambos rendimientos (m^2 , planta) no presentaron diferencias significativas. Corroborando lo que se vio anteriormente que modificando las variables en estudio no se afectó el rendimiento por planta al estar sometidas a una competencia, entre surcos en las DH más cercanas y a una competencia dentro del surco en las DH más alejadas. Este similar rendimiento por planta, al mantener la población por metro cuadrado constante hizo que el rendimiento por área no se viera afectado. Esto tuvo como consecuencia que las plantas no modificaran el mecanismo de construcción de rendimiento, ya que ni el número de granos por metro cuadrado, ni el PMG tuvieron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, como se ve en la figura 20C.

Cuando las condiciones climáticas y de fertilidad no son limitantes, como en la zafra 06/07, no hay diferencias en el rendimiento por la modificación de las DH. En años con lluvia normal o ligeramente por debajo de lo normal, el espaciamiento entre hileras no tiene efecto significativo en el rendimiento de grano, Alessi y Power, Devlin et al., citados por Bowers (2000) como ocurrió para este GM. Bodrero (2002), en sojas de primera (15 de oct. y nov.) sin restricciones hídricas ni nutricionales, como en nuestro experimento, no observo respuesta en rendimiento al disminuir la DH, ya que el cultivo presentó gran capacidad para ramificar y de esta forma cubrir el suelo antes de los periodos más críticos en determinar el rendimiento (Beatty et al., citados por Bodrero et al., 1999, Bowers, 2000).

Según Egli y Legget, Egli y Crafts- Brandner, citados por Andrade et al. (2000), concuerdan con que el rendimiento de soja está generalmente limitado por la capacidad fotosintética a partir de R4, por lo que alteraciones de esta fuente entre R 4,5 y R 5,5 producen los máximos efectos en el número de semillas por unidad de superficie, mientras que si ocurren entre R 6 y R 6,5 afectan principalmente el peso de la semilla. Por lo que la construcción del área foliar en las etapas previas es primordial para llegar a estos periodos con suficiente producción de asimilados para la producción de grano. Tratando de no sufrir restricciones que afecten la tasa y/o la duración del llenado de grano. En el experimento en estudio, ni el número de semillas, ni el peso de las mismas se vieron afectados, ya que en estos periodos no sufrieron restricciones hídricas, por el contrario las precipitaciones fueron superiores a lo registrado históricamente.

En cuanto al número de nudos (figura 20D) tampoco se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. En cambio para el número de ramas se notaron diferencias significativas en la DH más alejadas, pudiéndose deber a que las plantas al tener más espacio tendió a ramificar más hacia los

entresurcos, aunque esto no implique modificaciones en el rendimiento por planta.

Cuadro No. 23 Numero de vainas y granos relacionado a rendimiento en m² y plantas por metro lineal para población constante GM IV

Variable	0,30	0,45	0,59	*MDS
Rendimiento/m ²	360,80	344,70	410,60	ns
Rend/planta (g)	15,57	14,73	17,53	ns
No. V1	1,54	1,80	2,35	ns
No. Gr V1	1,34	1,87	2,32	0,48
No. V2	9,63	10,80	13,30	1,7
No. Gr V2	15,7	19	23,4	8,8
No. V3	25,80	23,10	27,70	ns
No. Gr V3	68,80	59,70	73,40	ns
No. V4	0,89	0,72	0,76	ns
No. Gr V4	3,02	2,46	2,67	ns
No. Vainas tot.	37,8	36,4	44,1	ns
No. Vainas m ²	877	857	1037	ns
No. Gr. Tot./vaina	88,8	83	101,8	ns
No. Granos/m ²	2062	1944	2391	ns
% Vainas c/granos	90	91	88	ns
ns indica no significativo (P ≤ 0,10)				
*MDS: Mínima Diferencia Significativa				

El rendimiento como antes se menciona no vario con la modificación de la DH, ni por metro cuadrado ni por planta. Las vainas contribuyeron a la composición del rendimiento, pero no marcaron una diferencia importante en cada tratamiento. En los GM cortos las que aportaron en mayor medida al rendimiento fueron las vainas de tres granos en todos los tratamientos, en un 68%, 63% y 63% respectivamente, características de estos GM. Esto se verifica según lo dicho por Díaz Zorita (2004), donde el número de granos por vaina, tiene alto grado de control genético y depende de las variedades. Algunos genotipos tienen una alta proporción de vainas con tres loculos fértiles, como ocurre en este GM, mientras que en otros predominan las vainas con dos loculos, como ocurre en el GM VI. Esta característica no esta generalmente asociada a su rendimiento potencial ya que es compensada por el número total de vainas. Los componentes medidos por área, no mostraron diferencias significativas en ninguna de las DH evaluadas, esto fue producto de que la población por superficie se mantuvo constante no influyendo en los

componentes de rendimiento (numero de vainas y granos por planta y superficie).

En este grupo al tener vainas de cuatro granos, se vio como el porcentaje de las mismas aportaron al rendimiento mientras que en GM VI dicho aporte no existió. En los casos donde existieron diferencias significativas entre las DH, las mismas no hicieron que se modificara el rendimiento.

Cuadro No. 24 Variables medidas (IAF y % de cielo visible) relacionadas con el rendimiento para población constante GM IV

Variables	DDA	
	29	93
IAF	m ² hoja/m ² suelo	
Distancia hileras (-m)		
0,29	4,17	1,25
0,45	4,15	1,22
0,61	3,0	1,14
MDS _(0,10)	ns	ns
% de cielo visible	% cielo visible	
Distancia hileras (-m)		
0,29	0,028	0,34
0,45	0,029	0,35
0,61	0,108	0,38
MDS _(0,10)	ns	ns
ns indica no significativo (P ≤ 0,10)		

Para este experimento se realizaron dos mediciones por lo que se podría evidenciar cierta evolución del cultivo en cuanto a cobertura. En el día 29 (29/01) el cultivo estaba en el transcurso de su periodo critico por lo que la cobertura de área foliar estaba en sus valores mas altos, coincidiendo con sus mínimos valores de % de cielo visible. La actividad fotosintética en este periodo es fundamental para la producción de fotoasimilados destinados a la producción de grano. Para esta misma fecha este GM poseía menores valores de área foliar con respecto al GM VI, posiblemente fuera porque este menor grupo ya había culminado con su etapa de construcción de área foliar destinada a la producción. Sin embargo para el día 93 (3/04), el área foliar había disminuido y por ende aumentado el % de cielo visible, como consecuencia de que el cultivo entraba en la culminación de su ciclo productivo.

Cuadro No. 25 Variables medidas (fenología y altura) relacionadas con el rendimiento para población constante GM IV

Variables	DDA		
	55	71	93
Fenología	Estado Fenológico		
Distancia hileras (-m)			
0,29	5,7 a	6,0 a	7,0 a
0,45	5,6 a	6,0 a	7,0 a
0,61	5,5 a	6,0 a	7,0 a
MDS _(0,10)	ns	ns	ns
Altura	cm		
Distancia hileras (-m)			
0,29	70 a	70 a	70 a
0,45	62,5 b	62,5 b	65 b
0,61	52,5 c	52,5 c	60 c
MDS _(0,10)	0,1	0,1	0,1
ns indica no significativo ($P \leq 0,10$)			

A medida que el ciclo del cultivo avanzaba se vio como evolucionaban sus estados fonológicos. La modificación de DH no tuvo efecto sobre la fenología en ninguna de las fechas donde se realizaron las mediciones. Con respecto a la altura se vuelve a evidenciar como en el experimento II, que las plantas a DH más cercanas lograron mayor altura con respecto a las DH mas alejadas. Esta fue menor posiblemente porque tuvieran mas espacio para ramificar y no elongaron sus entrenudos, como se vio en la figura No. 20 grafica D donde no existieron diferencias significativas entre los tratamientos para numero de nudos, pero si para numero de ramas a DH mas alejadas.

4.5.2. Población constante GM VI

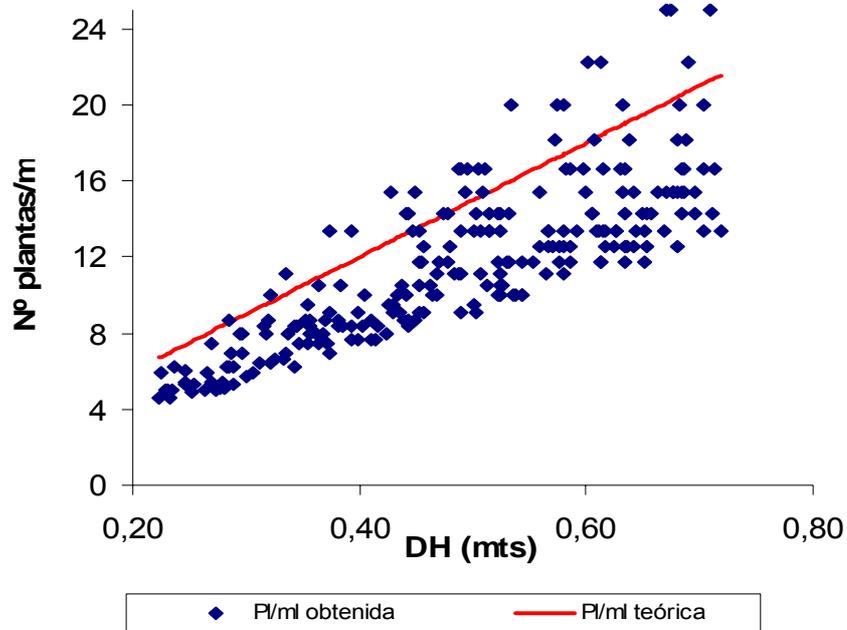


Figura No. 21 Distancia entre hileras y población en plantas por metro lineal teórica y obtenida para población constante GM VI

Se puede observar que la población obtenida se ajusto de forma adecuada a la población objetivo en un 80 % (12 vs. 15 plantas por metro lineal para obtenida y objetiva respectivamente), siendo el mismo mayor a DH menores. Se trabajo con mayor número de valores (plantas por metro lineal) como se menciona en la población creciente GM VI. En este caso se manipulo de manera diferente el arreglo espacial de las plantas, mediante las variables DH y población para encontrar la optima distribución de las mismas en el espacio. A diferencia del experimento anterior, aquí las variables se modificaron con el fin de mantener constante la población por metro cuadrado y variar la población por metro lineal.

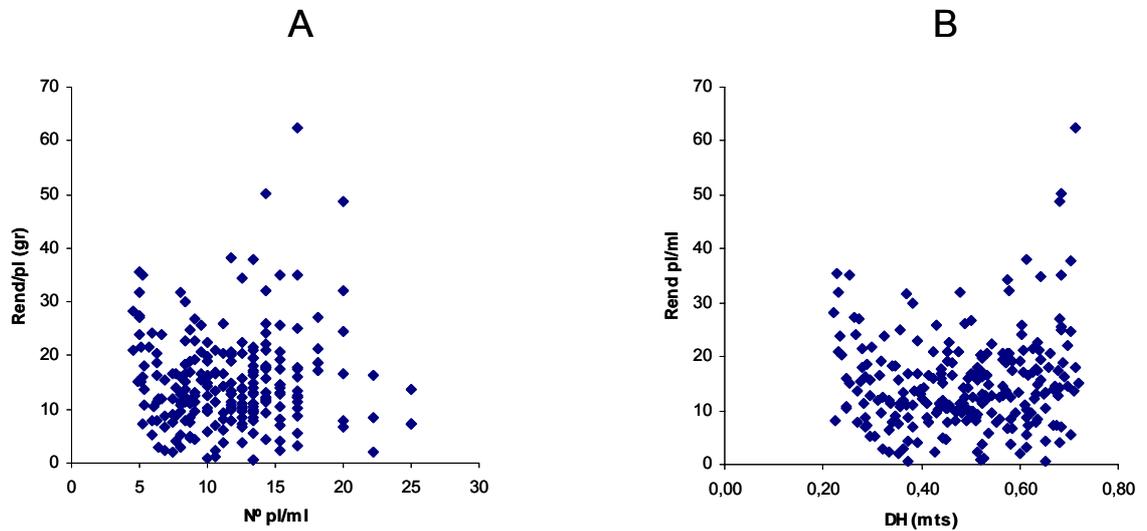


Figura No 22 Rendimiento por planta según el número de plantas por metro lineal (A), según distancia entre hileras (B) para población constante GM VI

En las figuras 22A y B no existió relación entre el número de plantas por metro lineal, ni DH con el rendimiento por planta. Esto pudo deberse a que siempre existió cierta competencia entre las plantas dentro de la hilera como entre surcos como ya se mencionó en este mismo experimento para el GM IV.

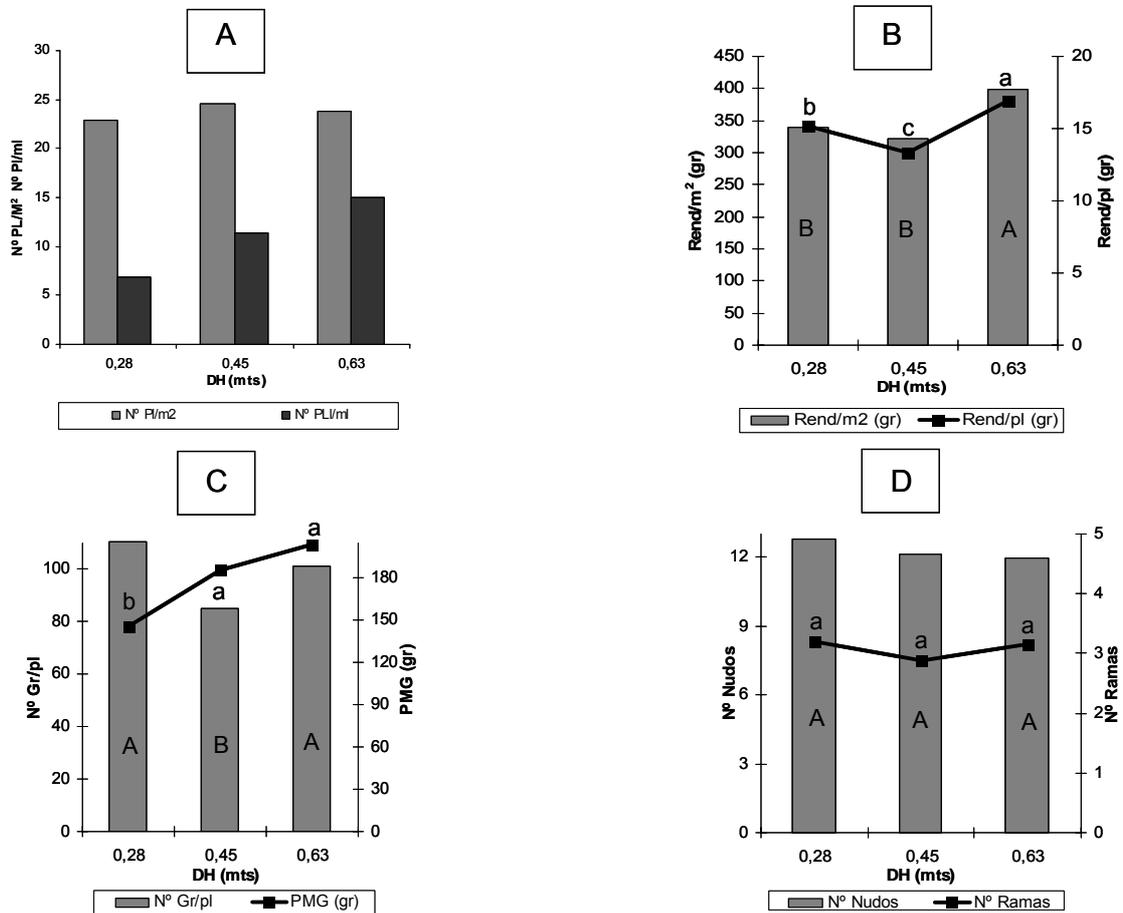


Figura No. 23 Efecto de la distancia entre hileras (DH) sobre el numero de plantas por metro lineal y por unidad de superficie (A), rendimiento por unidad de superficie y por planta (B), numero de granos por planta y peso de mil granos (C) y numero de nudos y ramas por planta (D) en el ensayo de población constante en GM VI

En la figura 23A se observa que la población por metro cuadrado se mantuvo constante en 25 plantas. La población por metro lineal aumentó de 7 a 15 plantas cuando se usaron DH desde 0,28-m a 0,63-m, respectivamente. En la figura 23B se distingue como el rendimiento por área y por planta de la mayor DH fueron superiores en un 17% y 11% respectivamente de manera significativa sobre el rango de DH más angosta (0,28-m). Esto es una diferencia con respecto al GM IV donde el rendimiento se mantuvo igual en todas las DH. En ambientes con baja lluvia, amplias distancias fueron reportadas con mayor

rendimiento que distancias cercanas, Alessi y Power, Devlin et al., citados por Bowers (2000). Esto ocurrió en este experimento, donde se observa que a DH más alejadas se produjo mayor rendimiento pero sin limitantes de lluvia.

Andrade et al. (2000), afirmó que al disminuir la distancia entre hileras manteniendo la misma densidad se favoreció el espacio por planta dentro de la línea, disminuyendo la competencia por luz, agua, nutrientes en las primeras etapas del cultivo, haciendo que las plantas sean más grandes con mayor área foliar y mayor número de nudos. En esta figura se vio lo contrario, donde el rendimiento por planta fue superior en las DH más alejadas. A su vez no existieron diferencias significativas para ninguno de los tratamientos en el número de nudos y ramas, como se vio en la figura 23 D.

Tanto para el GM IV como para el GM VI en este experimento el rendimiento por área no presentó diferencias, siendo entorno a 350 gramos por metro cuadrado aproximadamente. Esto coincide con experimentos realizados por Ceretta y Vilaró (2003), con datos extraídos de experimentos en La Estanzuela acerca del rendimiento, donde en nuestro caso concordamos, ya que para ellos no existió correlación entre el largo del ciclo y el rendimiento en grano. Alessi y Power, citados por Bowers (2000), con respecto al consumo de agua del cultivo en experimentos donde redujeron la DH, reportaron que el total de agua usada fue mayor y los rendimientos promedio fueron mínimos en 15 cm. de distancia. Sugieren que sembrando a 15 cm. de distancia aumentan el uso del agua previo a la floración. Además concluyeron que; en situaciones extremas de sequía, este incremento del uso del agua temprano, dejaría menos agua disponible para el llenado del grano. Bajo severo estrés de agua, la distancia entre hileras no tuvo efecto en el rendimiento de la soja. Como tampoco lo tuvo la menor DH en nuestro experimento donde logró el mayor rendimiento, por ser una zafra con abundantes precipitaciones.

Relacionado con el número de granos por planta (figura 23C), las DH extremas fueron superiores en un 20% de manera significativa sobre la DH intermedia. Se observó como en la DH mayor es donde aparece mayor número de granos por plantas y a su vez de mayor peso en un 26%, por lo que esto determinaría el mayor rendimiento por planta y por área. Para el caso de la DH menor tuvo igual número de granos por planta que la DH mayor, pero estos fueron los de menor peso, por lo que no compensa en un mayor rendimiento por área. Por lo que la DH más alejada definió igual número de granos por planta, pero obtuvo más rendimiento, como producto de un mejor llenado de granos. Aquí la compensación se dio a favor de la DH mayor mediante el aumento del número de granos y de PMG, para determinar el mayor rendimiento por área y por planta. En la figura 23D, se vio que no hubo efecto de los tratamientos sobre el número de nudos ni de ramas, por lo que estos

componentes no influyeron en la determinación de una diferencia en rendimiento.

Cuadro No. 26 Numero de vainas y granos relacionado a rendimiento en m² y plantas por metro lineal para población constante GM VI

Variables	0,30	0,46	0,63	*MDS
Rendimiento/m ²	340	322	398	39,6
Rend/planta (g)	15,2	13,3	16,9	1,7
No. V1	2,57	2,06	2,88	ns
No. Gr V1	2,43	1,91	2,71	ns
No. V2	40,3	35,6	43,6	4,1
No. Gr V2	75,90	62,60	70,40	ns
No. V3	8,20	7,7	10,4	1,2
No. Gr V3	23,3	20,70	28,2	3,4
No. Vainas tot.	51	45,3	56,9	5,2
No. Vainas m ²	1145	1092	1343	125
No. Gr. Tot./vaina	101,6	85,3	101,3	ns
No. Granos/m ²	2280	2043	2397	ns
% Vainas c/granos	94	88	81	3,4

ns indica no significativo ($P \leq 0,10$)
 *MDS: Mínima Diferencia Significativa

El rendimiento tanto por área como por planta fue siempre superior en la DH mas alejada. Siendo las vainas muy importantes en la determinación del rendimiento, se vio como las que influyeron mas en este aporte fueron las de dos granos dentro de cada tratamiento mas en un 79%, 78% y 77% respectivamente. Se noto como en este GM VI la composición del rendimiento es mas dependiente de las vainas de dos granos, quizá por no poseer vainas de cuatro granos, la composición del rendimiento se concentra en este tipo de vainas. Los componentes medidos por superficie fueron superiores en DH mas alejadas, los que también reflejaron el mayor rendimiento por área. Acá como las plantas por metro cuadrado son constantes, se podría decir que donde el rendimiento por planta fue mayor, este determino el mayor rendimiento por área. Como se observo en la figura 23B respecto al % de vainas con granos, estas fueron superiores en las DH mas cercanas, posiblemente porque al haber menor número de plantas por metro lineal, y no existir tanta competencia entre surcos a una DH de 0,30–m lograron esas vainas un mejor llenado de grano.

En el mismo experimento citado anteriormente de Ceretta y Vilaro (2003) en La Estanzuela y Young, ellos determinaron al igual que en nuestro

experimento, para el número total de vainas por planta, que a medida que aumento el GM, mayor fue el número total de vainas.

Como se observo en las graficas 20 y 23D (en ambos experimentos), el número de nudos y ramas no presento correlación con los GM, coincidiendo con lo ocurrido en este mismo experimento de Ceretta y Vilaró (2003), donde afirmaron que el rendimiento debió estar determinado por mecanismos de compensación entre el número de granos por metro cuadrado y el PMG. De una manera similar ocurrió en este experimento como se vio en la graficas C GM VI, donde el mecanismo de compensación para llegar a un mayor rendimiento por planta y por área en este caso, fue mediante el aumento del PMG en DH alejadas manteniendo constante el número de granos por planta en todos los tratamientos.

Cuadro No. 27 Variables medidas (IAF y % de cielo visible) relacionadas con el rendimiento para población constante GM VI

Variables	DDA	
	29	93
IAF	m ² hoja/m ² suelo	
Distancia hileras (-m)		
0,28	5,44	1,36
0,45	4,84	1,20
0,63	3,01	1,49
MDS _(0,10)	0,64	ns
% cielo visible	% cielo visible	
Distancia hileras (-m)		
0,28	0,011	0,31
0,45	0,017	0,36
0,63	0,096	0,27
MDS _(0,10)	0.045	ns
ns indica no significativo (P ≤ 0,10)		

En este experimento se realizaron dos mediciones en diferentes momentos del ciclo, por lo que se puede evidenciar cierta evolución del área foliar del cultivo. En el día 29 de enero el cultivo estaba con su máxima cobertura de área foliar, correspondiéndose con sus mínimos valores de % de cielo visible. La actividad fotosintética en este momento seria fundamental para la producción de fotoasimilados destinados a la producción de grano. Se evidencio un valor de IAF mayor en la DH mas cercana con diferencia significativa con respecto a la mas alejada, esto estaría explicado mas allá de

tener la población constante, por una mas rápida cobertura del suelo por el área foliar en la DH mas cercana, a su vez el % de cielo visible sufrió modificaciones en la DH mas alejada que fue la de menor cobertura de IAF.

En el día 3 de abril, el cultivo se encontraba en un estado mas avanzado de su ciclo donde el área foliar disminuyo considerablemente y por ende aumento el % de cielo visible, como consecuencia de que el cultivo entraba en la fase final de su ciclo productivo.

Bodrero et al. (2002), en un experimento donde evaluaron DH 70 vs. 35 cm. con similar densidad de plantas por área, como en este experimento, encontró que al reducir el espaciamiento entre surcos, permitió una mayor cobertura del entresurco por la canopia y una mejor intercepción de la radiación. Como se vio en este cuadro para las DH 63 vs. 28 cm. durante las primeras etapas del cultivo, cuando el mismo estuvo en la fase de construcción de su área foliar, también se observo como la reducción de la DH aumento significativamente la cobertura del IAF. Las diferencias de cobertura en las diferentes DH desaparecen en la fase final del cultivo cuando las hojas senescen.

Para Borrero et al. (2002), la reducción de la DH se tradujo en un mayor rendimiento, situación que no ocurrió en este experimento donde las DH mas alejadas fueron las que lograron el mayor rendimiento por área, como se observa en figura No. 23B. Sin embargo aumentando la población por superficie y/o disminuyendo la DH mejora la producción, porque incrementa la intercepción de luz por las plantas, lo que determina mayor disponibilidad de asimilados para la producción de grano Borrero et al. (2002). Esto ocurrió en nuestro experimento de población creciente, figura No. 13B.

Cuadro No. 28 Variables medidas (fenología y altura) relacionadas con el rendimiento para población constante GM VI

Variables	DDA		
	55	71	93
Fenología	Estado Fenológico		
Distancia hileras (-m)			
0,28	4,4 a	5 a	6,5 a
0,45	4,5 a	5 a	6,5 a
0,63	4,3 a	5 a	6,5 a
MDS _(0,10)	ns	ns	ns
Altura	cm		
Distancia hileras (-m)			
0,28	90 a	90 a	70 a
0,45	90 a	90 a	70 a
0,63	72,5 b	72,5 b	70 a
MDS _(0,10)	0,1	0,1	ns
ns indica no significativo ($P \leq 0,10$)			

A lo largo de las mediciones, se noto como evoluciono el cultivo en sus estados fenológicos, estos se dieron más lentamente respecto al GM anterior donde para las mismas fechas de las mediciones se encontraba en estados mas avanzados. Con respecto a la fenología los diferentes tratamientos no afectaron a la misma. La altura del cultivo sufrió efecto de los tratamientos en las primeras dos mediciones, donde la DH mas alejada presentaron la menor altura. Esto pudo deberse a que, mas allá de que las plantas estuvieran a mayor población por metro lineal e igual numero de plantas por metro cuadrado, no necesitaron aumentar su altura ya que la luz posiblemente llegaría sin problemas, sin llegar a ser una limitante. Para la DH más cercanas, aunque estando a menor población por metro lineal, quizá la luz fue una limitante por lo que las plantas aumentaron su altura.

Según Baigorri y Croatto (2000), Díaz Zorita (2004) los GM largos poseen tendencia al vuelco, especialmente en zafras con buena disponibilidad hídrica y en especial en siembras de noviembre, como fueron las condiciones de este experimento. Además al extenderse el crecimiento en altura luego de la floración por ser un GM donde la estación de crecimiento es mas larga con respecto al GM IV, se incrementan las posibilidades de vuelco.

5. CONCLUSIONES

La situación climática en el periodo donde se realizó el experimento se caracterizó por presentar valores de precipitaciones y radiación superiores al promedio histórico. Por lo tanto es de esperar rendimientos altos para esta situación climática y posiblemente potencializar los tratamientos que se realizaron.

Para el experimento de parcelas (I) en la evaluación de cultivares de diferentes GM, no existió efecto de los mismos sobre el rendimiento ya que ninguno de los componentes medidos causó diferencia sobre dicho rendimiento. A su vez tampoco se vieron diferencias ni para fenología, altura e IAF.

Dentro del mismo experimento se evaluó la densidad por superficie mediante el agregado de filas y no por el aumento de plantas en la hilera. En ambos tratamientos I (25 cm DH - 40 pl/m²) y II (50 cm DH - 20 pl/m²), para los cultivares de los GM IV y V no existieron diferencias en cuanto al rendimiento promediando 2700 Kg/ha. Con respecto al IAF se vieron diferencias en los diferentes tratamientos causadas por una mayor cobertura cuando la densidad fue mayor. En el cultivar evaluado del GM VI tampoco se evidenció una diferencia en rendimiento para ambas situaciones de densidad promediando 3000 Kg/ha. Para el IAF este cultivar logró una situación similar a la anterior, pero llegando a valores superiores de cobertura foliar en el tratamiento I.

El cultivar del GM IV para el experimento de parcelas evidenció su alta plasticidad, ya que al aumentar la población mediante el número de filas en el metro cuadrado, el rendimiento fue igual a un menor número de filas en la misma superficie. A su vez el cultivar del GM VI también obtuvo igual rendimiento en ambas situaciones lo que demuestra su plasticidad.

Según los resultados obtenidos fue lo mismo tener 20 o 40 plantas por metro cuadrado para los diferentes cultivares de cada GM ya que se logró igual rendimiento. La hipótesis de que al aumentar la población en un cultivar de GM corto tiene mayor impacto sobre el rendimiento que en un cultivar de GM largo no se comprobó, ya que el rendimiento no varió en ambos tipos de grupos (determinados e indeterminados).

Según la bibliografía, la DH y cambios en la densidad, son prácticas que se realizan en ambientes limitantes (nutrición, hídricos, luz, fechas de siembra tardía). En condiciones óptimas (precipitaciones y radiación) no existieron respuestas a estos manejos.

En el experimento de población creciente (II), el cultivar del GM IV obtuvo un 50 % más de rendimiento a altas poblaciones (75 plantas /m²; DH 0,31 –m) con respecto a bajas (30 plantas/m²; DH 0,41 –m). Este mayor rendimiento se logró mediante un 70 % más de plantas en el metro cuadrado, pero con un 34 % menos de rendimiento por planta. Por las condiciones no limitantes desde el punto de vista climático este cultivar respondió al aumento de población, mediante el aumento del PMG en un 10 % a poblaciones mayores pero con un 40 % menos de número de granos por planta con respecto a las poblaciones más bajas.

Para el cultivar del GM VI al aumentar la población (45 plantas/m²) mediante el aumento de plantas en la línea y el acercamiento de los surcos se obtuvo un 42 % de incremento en rendimiento por área. Esto fue producto de una reducción de 50 % en el rendimiento por planta (reducción del número de granos por planta, número de nudos y ramas) pero con un aumento mayor de las plantas cosechadas (300%).

Por ser el objetivo de este trabajo llegar a maximizar el rendimiento por área, se puede concluir para ambos cultivares de los grupos IV y VI, esto se logró a poblaciones mayores (por ende DH menores y mayor número de plantas en el metro lineal) donde las mismas presentaron mejor comportamiento productivo medido como rendimiento en grano para las condiciones favorables que se dieron durante el experimento.

Para el experimento de población constante (III) utilizando un cultivar del GM IV donde la población por metro lineal aumentó en un 50 % desde DH 0,29 a 0,61 –m, no existió efecto en el rendimiento por área como por plantas. A su vez el número de granos y peso de los mismos permanecieron constantes así como el número de nudos, por lo que se puede concluir que el cultivo de soja no fue afectado por la rectangularidad (distancias entre plantas entre y dentro de surcos) para la población evaluada en el ensayo (24 pl/m²). Por otro lado el cultivar del GM VI para este mismo experimento al aumentar las plantas por metro lineal en un 50 % desde DH 0,28 a 0,63 –m, presentó un 10 y 14 % mayor rendimiento por planta y por área respectivamente, como consecuencia de un mayor número de granos por planta (16%) con un peso superior (30 %) respecto a las DH más cercanas.

6. RESUMEN

Los experimentos fueron realizados en el verano 2006 – 2007 en la Estación Experimental “Dr. Mario Antonio Cassinoni” ubicada en el departamento de Paysandú, ruta No. 3 Km. 363, Uruguay. El objetivo de los experimentos fue encontrar el mejor arreglo espacial mediante la modificación de las variables DH, población y cultivar para lograr maximizar el rendimiento del cultivo de soja por área. En el primer experimento (I), se evaluaron tres cultivares (A4126, DM5,5, A6127) correspondientes a tres GM (IV, V, VI) respectivamente, con dos distancias entre hileras (25 y 50 cm.) e igual número de plantas en la hilera para los cultivares de los GM IV y V (10 pl/m lineal) y para el cultivar del GM VI 15 y 20 pl/m lineal logradas, sembradas sin laboreo el día 20 de noviembre de 2006. Se determinó IAF, fenología y altura durante el desarrollo del cultivo y a cosecha el rendimiento en grano y sus componentes. No se encontraron diferencias significativas en rendimiento de los materiales evaluados en función de los GM, poblaciones y DH. Esto fue explicado por una compensación entre número de plantas/m² y el rendimiento por planta. La respuesta pudo deberse a la plasticidad del cultivo y además a la no existencia de restricciones hídricas ni nutricionales para el periodo en estudio. En el segundo y tercer experimento (II y III), se evaluaron diferentes poblaciones, crecientes (II) y constantes (III) debido a la modificación de la DH y número de plantas por metro lineal sobre dos cultivares (A4126, A6127) correspondientes a dos grupos de madurez (IV y VI). Se determinó IAF, fenología y altura, rendimiento y sus componentes (nudos, ramas, vainas de 1, 2, 3 y 4 loculos, número de granos por vaina y peso de granos). Para la población creciente del cultivar correspondiente al GM IV el rendimiento por área fue superior en un 50 % a altas poblaciones, debido a un efecto del mayor número de granos por metro cuadrado. Esto fue consecuencia de la plasticidad del cultivo en un periodo sin restricciones climáticas. Para el cultivar del GM VI dentro del mismo experimento el rendimiento por área fue superior en un 42 % en altas poblaciones. Para la población constante del cultivar del GM IV no se vio efecto en rendimiento hacia DH mayores, ya que en todas las DH los componentes no se vieron afectados. Sin embargo para población constante del cultivar del GM VI el rendimiento por área fue superior hacia DH mayores, causado por un efecto entre número y peso de granos pero de manera diferencial a los demás.

Palabras clave: Soja; Densidad; Cultivar; Distancia entre hileras

7. SUMMARY

The experiments were realized in the summer 2006 – 2007 in the Experimental Station “Dr. Mario Antonio Cassinoni” placed in Paysandú, rout 3; km. 363, Uruguay. The objective of the experiments was finding an optimal arrangement of the plants through the modification of row distance, population and cultivars, to reach a greater yield per area. In the first experiment (I), there were evaluated three cultivars (A4126, DM5,5, A6127) of three maturity groups (IV, V, VI) respectively by two row distances (25 y 50 cm.) and the same number of plants in the row for the cultivars of maturity groups IV and V (10 pl/m) and for the cultivar of maturity group VI 15 and 20 pl./m achieved, seeding in no till system, in November 20 th, 2006. There were determinate LAI, fenology and height, then in the harvest the grain yield was determinate and their yield components. There was no significant difference of the different maturity groups, population and row distance. This was explained because of compensation between number of plants/m² and yield per plant. The response can be because for the plasticity of the soybean and no existence of water restrictions neither nutritional in this period. In the second and third experiment (II y III), there were evaluated different populations (II) and constant population (III) because of the modification of row distance and number of plants per lineal meter in two cultivar of maturity groups (IV and VI). There were determinate LAI, fenology and height, yield and their components (nodes, branches, pods of 1, 2, 3 and 4, grain numbers per pods and grain weight). In the experiment of increasing population for the cultivars of maturity group IV the yield per area was greater in a 50 % in high populations, because an effect of great number of grains in the area. This was consequence of the plasticity and a period without climatic restrictions. For the maturity group IV in the same experiments the yield per area was greater in a 42 % in high population. In the experiment of constant population for the maturity group IV there was no effect in yield per area when the row distance increasing because the yield components there were no affected. For the maturity group VI in the same experiment the result was other, the yield in the m² was greater in the outside zone, caused for a effect between number and grain weight but in different way than the others.

Key words: Soybean; Population; Cultivar; Row distance

8. BIBLIOGRAFIA

1. ANDRADE, F.H.; AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; RIZZALLI, R.H. 2000. Crecimiento y rendimiento comparados. In: Andrade F.H.; Sadras, V.O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Medica Panamericana. cap. 3, pp. 61-96.
2. BAIGORRI, H.E J.; CROATTO, D.R. 2000. Manejo del cultivo de soja en Argentina. Revista INTA No.16. pp. 86-93.
3. BODRERO, M. L. 1988. Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa y productividad de soja de segunda sembrada a distintos espaciamientos entre surcos. Tesis Magíster Scientiae. Balcarce, Argentina. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad Ciencias Agrarias. 50 p.
4. _____. 2003. Algunos factores genéticos y ambientales que influyen sobre el rendimiento de la soja, In: Jornada Nacional de Soja (2ª., 2003, La Estanzuela, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1 – 10. (Actividades de Difusión no. 325).
5. BOWERS, G.R.; RABB, J.L.; ASHLOCK, L.O.; SANTINI, J.B. 2000. Row spacing in the early soybeans production system. Agronomy Journal. 92: 524-531.
6. CERETTA, S.; VILARO, D. 2003. Comportamiento de sojas de distinto grupos de madurez en Uruguay, In: Jornada Nacional de Soja. (2ª., 2003, La Estanzuela, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 115 - 122. (Actividades de difusión no. 325).
7. _____. 2006. Evaluación de cultivares de soja evaluados en la zafra 05-06. (en línea). Montevideo, INIA. Consultado 25 jun. 2008.
Disponible en
http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/gir/gir.html

8. _____. 2007. Evaluación de cultivares de soja evaluados en la zafra 2006-2007. (en línea). Montevideo, INIA. Consultado 25 jun. 2008.
Disponible en
http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/gir/gir..html
9. CONGRESO NACIONAL DE SOJA (1º.), REUNIÓN NACIONAL DE OLEAGINOSOS (2ª., 1995, Pergamino, Buenos Aires). 1995. Compendio de trabajos presentados. Buenos Aires, Asociación de Ingenieros Agrónomos de la zona Norte de la provincia de Buenos Aires (AIANBA). 256 p.
10. DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE, A.G. 2004. Manual práctico para la producción de soja. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 256 p.
11. GIMENEZ, L. 2005. Efecto del largo del ciclo, fecha de siembra y localidad sobre el rendimiento de soja en Uruguay. Paysandú, Facultad de Agronomía. 4 p.
12. _____. 2007. Soja. Paysandú, Facultad de Agronomía. 22 p.
13. KURK, B.; SATORRE, E.H. 2003. Densidad y arreglo especial del cultivo. In: Satorre, E.H.; Benech, R.; Slafer, G.; De la Fuente, E.; Miralles, D.; Otegui, M.E.; Savin, R. eds. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía, cap. 13, pp. 279-311.
14. MELCHIORI, R. J. M.; PELTZER, H. s.f. Distanciamiento entre surcos, densidad de siembra y hábitos de crecimiento en siembra de soja de segunda. (en línea). Paraná, INTA. s.p. Consultado 15 mar. 2008.
Disponible en
<http://parana.inta.gov.ar>
15. NELDER, J.A. 1962. New kinds of systematic designs for spacing experiments. Biometrics. 18: 283 – 309.

16. PEDERSEN, P.; LAUER, J.G. 2003. Corn and soybean response to rotation sequence, row spacing, and tillage system. *Agronomy Journal*. 95:965-971.
17. PURRCELL, L.C.; BALL, R.A.; REAPER, J.D.; VOIRES, E.D. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Science*. 42:172-177.
18. SADRAS, V.O.; FERREIRO, M.; GUTHEIM, F.; KANTOLIC, A.G. 2000. Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo. In: Andrade F.H.; Sadras, V.O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Medica Panamericana. cap. 2, pp. 29-60.
19. SATORRE, M. 2003. El libro de la soja. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. 261 p.
20. SEMINARIO DE DISCUSION TECNICA (2007, Paysandú). 2007. Importancia del agua en el actual escenario agrícola. Posibilidades de aplicación de riego suplementario. Paysandú, Facultad de Agronomía. 50 p.
21. SEITER, S.; ALTEMOSE, C.E.; DAVIS, M.H. 2004. Forage soybean yield and quality responses to plant density and row distance. *Agronomy Journal*. 96: 966-970.
22. URUGUAY. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. 2007. Aspectos generales del clima durante el invierno en el Uruguay. (en línea) Montevideo. Consultado 25 nov. 2007. Disponible en <http://www.meteorologia.com.uy/Invierno2007.pdf>
23. _____. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. 2007. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 190 p.

24. VEGA, C.R.; ANDRADE, F.H. 2000. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. In: Andrade F.H.; Sadras, V.O. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Medica Panamericana. cap. 4, pp. 61-96.