

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA



TRABAJO FINAL
Presentado para optar el grado de Ingeniero Agrónomo

COMPORTAMIENTO DE DIFERENTES CULTIVARES DE SOJA
(GRUPOS III, IV Y V)
A VARIACIONES EN LA DENSIDAD DE SIEMBRA

Julián Iribarne
DNI: 31382892

Director: Ing. Agr. Guillermo Cerioni
Co-director: Ing. Agr. Marcelo Kearney

Río Cuarto – Córdoba
Diciembre 2011

INTRODUCCIÓN:

La palabra soja proviene de un vocablo antiguo chino: sou. Fue descubierta por un emperador chino llamado Sheng Nung hace más de tres mil años. Sheng Nung era dueño de grandes extensiones de cultivos de soja, al ser un producto prácticamente desconocido se dedicó a estudiarlo en profundidad, describiendo sus propiedades nutricionales y medicinales. Para los emperadores chinos la soja era una de las cinco semillas sagradas, las otras cuatro eran arroz, trigo, cebada y el mijo. No sólo usaban la soja como alimento, explotaron todas las cualidades curativas de éste cultivo (AVnatural, 2010).

La soja pertenece a la familia de las leguminosas. El grano se forma dentro de vainas o legumbres, que es el fruto típico de esta familia de plantas. Se trata de una planta anual que se cultiva durante la estación cálida. Cada vaina puede contener entre una y cuatro habas de pequeño tamaño y diferentes colores según la variedad de la que se trate: amarillas, marrones, verdes, negras o moteadas. La más frecuente es la variedad amarilla y también la más apreciada, ya que es el tipo de soja que se utiliza para obtener el aceite. Su adaptación a climas diversos y su fortaleza para enfrentarse a plagas y enfermedades son dos de sus características que la convierten en una forma de cultivo muy rentable, aunque su mayor enemigo es la sequía. El factor principal en su desarrollo en los países orientales fue la escasez de proteínas de alta calidad para la alimentación, siendo el núcleo fundamental del cultivo del fríjol de soja el noroeste de China. Según la tradición fueron los monjes budistas quienes la introdujeron en Japón en el siglo VII de nuestra era, donde muy pronto se convirtió en un cultivo popular. El comercio marino la popularizó en Oriente portando la soja como un preciado cargamento entre la mercancía en sus viajes. La primera referencia Europea que se tiene de la soja se remonta al siglo XVII, a mano de los misioneros, que introducen las primeras habas de soja para su cultivo, sin gran éxito al parecer (AVnatural, 2010).

En América fue introducida por Estados Unidos en 1765, sin embargo su gran expansión se inició en 1840. En Brasil surgió en 1882, pero su difusión se produjo a principios del siglo XX. Se siembra entre los meses de Noviembre, Diciembre y Enero. De ella se obtienen aceites y harinas panificables que son empleadas en productos alimenticios dietéticos. Es dicotiledónea y posee hojas alternas, mostrando excelente plasticidad fisiológica, adaptándose a numerosas y variables condiciones climáticas (Sylvester, 2008).

En la Argentina las primeras plantaciones de soja se hicieron en 1862, pero no encontraron eco en el campo argentino. En 1909 se comenzó a ensayar en distintas escuelas agrícolas argentinas el cultivo de la soja (Sylvester, 2008).

Hacia 1956 no se conocían aún los aspectos básicos de la soja como cultivo, los fracasos en la implantación hicieron que fuese considerada, para esa época, como cultivo “tabú”. Y fue recién el 5 de Julio de 1962, la primera vez que nuestro país exportó soja, haciéndolo a través del buque “Alabama”, que partió en esa fecha llevando en su interior 6.000 toneladas con destino a Hamburgo (Alemania) (García, 2003).

Recién para 1965 se intensificaron los trabajos de investigación sobre el tema. Si bien los resultados de los ensayos realizados fueron buenos, el cultivo no logro obtener difusión entre los productores. En la década del 70 se incrementó el cultivo hasta alcanzar en la actualidad un papel fundamental en la economía argentina (Sylvester, 2008).

Su producción se incrementó notoriamente en los años 70 hasta alcanzar en la actualidad más de 20.000.000 de hectáreas cosechadas, convirtiendo a la Argentina en el cuarto productor mundial de grano, el primer exportador mundial de aceite de soja y el segundo de harina de soja. No debe sorprender, entonces, que la soja represente en la actualidad el rubro de exportación de mayor incidencia en el Producto Bruto Agropecuario del país, y el mayor generador de divisas, alcanzando una producción de alrededor de 52 millones de toneladas (García, 2003).

La importancia de la soja deriva fundamentalmente de su estrecha relación con la alimentación. A este gran capítulo de la actividad productiva accede a través de su aceite y de su harina. Hoy representa un alto porcentaje entre las ocho materias primas más importantes del mundo. Una hectárea de soja puede producir suficiente proteína para alimentar a una persona por 5.500 días, mientras que la carne producida en la misma área lo hace por no más de 300 a 600 días; a su vez, mientras los granos predominantemente oleaginosos dependen casi exclusivamente de la evolución del precio de los aceites, la soja mantiene una mayor independencia frente a esas oscilaciones como consecuencia de la importante proporción de harina de alto contenido proteínico que se obtiene de su industrialización. Pero no puede negarse que, por la sustituibilidad que caracteriza a las grasas vegetales, la evolución de cualquier materia prima oleaginosa tiene su influencia en el complejo soja. En lo que hace a la harina, la alta calidad que se obtiene de esta especie hace algo difícil su sustitución, aunque la competencia es también severa como consecuencia de la creciente sofisticación de la industria de alimentos balanceados (Sylvester, 2008).

Es así como, a partir de los últimos años de la década del `70, la producción de soja ha venido creciendo constantemente en nuestro país. Este importante aumento de producción se ha logrado no solo con incrementos de superficie sembrada, sino también con rendimientos unitarios que se escriben

entre los más altos del mundo; Poco conocida a principios de los 70, la soja es hoy la oleaginosa más difundida del país y, con sus derivados, el principal producto de exportación argentino (Sylvester, 2008).

ANTECEDENTES:

Mucho antes de comenzar la labor de siembra propiamente dicha, comienza el estudio logístico de: que, donde, como y cuando vamos a sembrar. En función de las condiciones ambientales, se deben definir el listado de cultivares más adaptados teniendo en cuenta su GM (grupo de madurez), HC (hábito de crecimiento), juvenilidad y su FS (fecha de siembra). Estas decisiones de manejo determinan la producción de biomasa aérea total, el índice de cosecha y el llenado de granos (ubicación, duración y tasa). La FS es una de las prácticas de manejo de mayor influencia sobre el crecimiento, y específicamente el rendimiento del cultivo. La FS depende de las condiciones ambientales, la secuencia de cultivos y las características del cultivar. Actualmente se conocen los patrones de la evolución del desarrollo y crecimiento de los cultivares en función de la FS, para los GM recomendados de norte a sur del país y en función de su HC. No obstante, es necesario determinar con precisión, y para todos los ambientes de producción, qué combinaciones de GM y FS permiten lograr los rendimientos potenciales máximos, los más probables y los rendimientos mínimos, y a su vez con qué disponibilidad hídrica (en cantidad y oportunidad) y con qué probabilidad en función de los registros de precipitaciones. Una vez elegidos los cultivares por sus características más importantes (GM, HC y juvenilidad), se procede a definir sus nombres entre los comerciales disponibles, por su potencial de rendimiento y sanidad, priorizando esta última característica en los ambientes en los que los problemas sanitarios son una limitante de importancia. Una vez definido el listado de cultivares y teniendo en cuenta su desarrollo vegetativo y la altura esperada en función del ambiente y la FS asignada, se puede determinar el espaciamiento entre surcos más conveniente. Por todo esto y el creciente avance de la tecnología (en aspectos tales como la genética, monitoreo y mejora del ambiente de producción, mecanización agrícola, etc.), determinan que este cultivo constituya una valiosa herramienta en la intensificación de los sistemas de producción (Baigorri, 2010).

La densidad de siembra es una de las prácticas de manejo que determina la capacidad del cultivo de interceptar recursos, pudiendo llegar a afectar de manera importante la captura y utilización de radiación, agua y nutrientes. La densidad de plantas puede afectar principalmente la radiación interceptada, a través de la posibilidad de lograr mayores coberturas más tempranamente en el ciclo del cultivo o mayores valores totales de intercepción (Satorre *et al.*, 2003).

La incorporación de la soja a los sistemas de producción intensivos requiere un esfuerzo mayor en el conocimiento de los dos aspectos fundamentales en su manejo: ambiente y la elección del GM, y la

FS con el aprovechamiento más eficiente de los insumos mediante la densidad de siembra óptima (Baigorri, 2010).

La elección de una densidad de siembra adecuada es una decisión importante para optimizar la productividad de un cultivo ya que, junto con la adecuación del espaciamiento entre hileras, permiten al productor la obtención de coberturas vegetales adecuadas previo a los momentos críticos para la determinación del rendimiento (Vega y Andrade, 2000).

Reducciones de la densidad relativas equivalentes producen efectos más marcados en cultivos con baja capacidad de compensación, como es el caso del cultivo de maíz, que en cultivos con mayor capacidad de compensación, como es la soja (Satorre *et al.*, 2003). Ante variaciones en la densidad, la soja ajusta el área foliar por planta (AFP), manteniendo estable el índice de área foliar (IAF), es decir, mantiene estable su nivel de cobertura. Entre los componentes del rendimiento, ocurre una modificación en el número de vainas y granos por planta (Carpenter y Board, 1997), originado por cambios en la capacidad de ramificación (Valentinuz, 1996; Carpenter y Board, 1997), lo que hace variar también el número de nudos y hojas por planta. A nivel fisiológico, en bajas densidades aumenta el número de nudos potenciales y disminuye el aborto de flores (Valentinuz, 1996). A medida que la densidad aumenta, disminuye el crecimiento y el número de granos por individuo.

En general, la elección de la densidad de siembra debería buscar el máximo aprovechamiento de los recursos, para asegurar la mayor productividad del cultivo. Esto se logra maximizando las tasas de crecimiento del cultivo durante las etapas críticas de generación del rendimiento.

La estación de crecimiento, definida por factores ambientales como el régimen de temperatura y disponibilidad hídrica, o factores empresariales como la fecha de cosecha del cultivo antecesor, establece la duración de referencia que puede tener el ciclo del cultivo sin riesgos severos de pérdida del rendimiento. La variabilidad entre genotipos en términos de respuesta térmica y fotoperiódica, se traduce en diferentes duraciones de ciclo total para cada sitio y fecha de siembra. No obstante se agrupa a los genotipos según su ciclo en cultivares de ciclo corto, intermedio y largo, considerando su duración para las fechas de siembra más comúnmente utilizadas en un ambiente dado (Satorre *et al.*, 2003).

Para la elección del ciclo mas adecuado deben tenerse en cuenta aquellos que manifiestan alto potencial de rendimiento para la zona y fecha de siembra. Dentro de las características genéticas que favorecen la eficiencia de cosecha se buscan cultivares de menor tendencia al vuelco, mayor despeje en la inserción de las primeras vainas, menor dehiscencia natural, ausencia de retención foliar (maduración uniforme) y baja susceptibilidad a las enfermedades de fin de ciclo. De esta manera se

evitan en gran medida las pérdidas de cosecha (INTA, 2010). En la elección de la variedad más adecuado para cada zona pueden considerarse distintos criterios como serían elegir cultivares que exploren al máximo posible la estación de crecimiento; que permita ubicar los períodos críticos para la definición del rendimiento en momentos de buena disponibilidad de recursos o que permitan escapar de algunas adversidades (Satorre *et al.*, 2003).

Diversos autores han mencionado a la soja como un cultivo capaz de compensar variaciones en un rango amplio de densidades de siembra sin afectar sus rendimientos (Swearingin, 1981; Duncan, 1986; Egli, 1988; Wells, 1991, 1993; Vega y Andrade, 2000). Esto permite a los productores lograr buenos cultivos aún ante fallas considerables en la emergencia.

La elección de una densidad de siembra adecuada es una decisión importante para optimizar la productividad de un cultivo ya que, junto con la adecuación del espaciamiento entre hileras, permiten al productor la obtención de coberturas vegetales adecuadas previo a los momentos críticos para la determinación del rendimiento (Vega y Andrade, 2000). La densidad de siembra óptima de cualquier cultivo, según Vega y Andrade (2000) es aquella que:

- Maximiza la intercepción de radiación fotosintéticamente activa durante el período crítico para la definición del rendimiento.
- Permite alcanzar el índice de cosecha máximo.

Los cultivos de cosecha varían en la capacidad para mantener sus rendimientos en un rango amplio de densidades de siembra, y la soja se encuentra entre los más plásticos. Ante variaciones en la densidad, la soja ajusta el área foliar por planta (AFP), manteniendo estable el índice de área foliar (IAF), es decir, mantiene estable su nivel de cobertura. Entre los componentes del rendimiento, ocurre una modificación en el número de vainas y granos por planta (Carpenter y Board, 1997), originado por cambios en la capacidad de ramificación (Valentinuz, 1996; Carpenter y Board, 1997), lo que hace variar también el número de nudos y hojas por planta. A nivel fisiológico, en bajas densidades aumenta el número de nudos potenciales y disminuye el aborto de flores (Valentinuz, 1996). A medida que la densidad aumenta, disminuye el crecimiento y el número de granos por individuo.

En cada latitud se pueden utilizar determinados grupos de madurez. En el centro de nuestro país utilizamos mayormente los grupos III; IV; V y VI. En los ambientes de menor potencial de rendimiento, las variedades de grupos más largos se adaptan mejor, son más estables y llegan incluso a altos niveles de rendimiento cuando las condiciones climáticas acompañan. La densidad de siembra nos permite ajustar aún más el manejo de los grupos de maduración acercando o separando las plantas, según el caso. Si el ambiente es algo adverso para el grupo que se elige y se piensa que no cerrará el surco, se pueden acercar. A la inversa si el ambiente es demasiado bueno para la variedad que se va a

utilizar, se puede alejar las plantas para retrasar el momento en que el canopeo del cultivo se cierre, y así potenciar lo que puede darnos la variedad utilizada por planta minimizando la competencia intraespecífica (Tellería, 2008).

Teniendo en cuenta lo anteriormente comentado y la plasticidad que posee el cultivo de soja, si ocurriesen condiciones ambientales adversas se producirían numerosos abortos florales y menos vainas por nudo, que seguramente compensará con un mayor número de granos o mayor peso de los mismos cuando las condiciones mejoren. Los mecanismos anteriores determinan un comportamiento estable dentro de un rango, superado el cual, variaciones en la densidad de siembra afectan los rendimientos. Duncan (1986) planteó dos postulados que explican el efecto del arreglo espacial sobre los rendimientos de la Soja:

1. El rendimiento continúa incrementándose con la densidad de plantas hasta un límite bastante superior al necesario para alcanzar la máxima interceptación de radiación

2. Dentro de ciertos límites, la materia seca acumulada en tejidos vegetativos a inicios del período de crecimiento de los granos tiene una relación directa con el rendimiento. Para ilustrar la aplicación del primer postulado, la competencia interplanta es dividida en diferentes fases: Fase 1 en la cual no hay competencia por la luz entre plantas, Fase 2 en la cual la interceptación de luz por el canopeo es completa y el rendimiento aumenta con el incremento en la densidad, y una Fase 3 en la cual el rendimiento alcanza un máximo, y es indiferente a la densidad de plantas. Por último, en la Fase 4 hay pérdidas de rendimiento por efectos del vuelco y la presencia de enfermedades. La explicación fisiológica de este comportamiento es un cambio en la proporción de destinos reproductivos y vegetativos. Al aumentar la densidad, la misma cantidad de fotoasimilados es capaz de alimentar un mayor número de nudos reproductivos en detrimento del crecimiento vegetativo (Egli, 1994). Esta respuesta a la densidad se daría únicamente en cultivares con hábito de crecimiento indeterminado.

HIPÓTESIS:

En la zona Rural de Italo, los cultivares de soja de ciclo intermedios-largo (GM V) debido a su mayor crecimiento, sembrados a menor densidad, tiene igual rendimiento que los ciclos intermedios-cortos en siembras con densidad normal.

OBJETIVO GENERAL:

- Evaluar el comportamiento de cultivares de soja de ciclo intermedio-corto (GM III), intermedio (GM IV) e intermedio-largo (GM V), frente a variaciones en las densidades de siembra.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Evaluar cambios en los caracteres morfológicos en tres cv bajo dos densidades de siembra
- Determinar a cosecha (R8) los componentes directos (número de granos por m² y peso de 100 granos) e indirectos (peso de grano por planta, peso de granos m⁻², número de granos por vaina, peso de vainas por planta, peso de vainas m⁻², y número de vainas por planta) del rendimiento.
- Estimar el rendimiento en tres cv de soja bajo dos densidades de siembra en Italo (Departamento Gral. Roca, Provincia de Córdoba).

MATERIALES Y MÉTODOS:

El estudio se realizó en la campaña 2008/09, en el establecimiento “Don Julián”, ubicado en la zona rural de la localidad de Italó, departamento General Roca, Provincia de Córdoba, a 60 km., al este de la ciudad de Huinca Renancó. Esta localidad está situada en la latitud 34° 50’ Sur y en la longitud 64° 22’ Oeste, a una elevación de 181 metros sobre el nivel del mar, hallándose ubicada en un área correspondiente al régimen térmico templado pampeano y por su régimen hídrico dentro de la región subhúmeda, pero muy cercana a la región semiárida.

La temperatura media anual es de 16,7 °C; la media del mes más cálido (Enero) es de 25 °C y la correspondiente al mes más frío (Julio) es de 8,6 °C. La amplitud térmica anual es de 16,4 °C, característica de la porción continental de la pradera pampeana. Desde mediados de diciembre hasta mediados de febrero ocurren temperaturas máximas de 40 °C ó más. Durante el trimestre frío, las temperaturas mínimas oscilan alrededor de -10 °C. La fecha promedio de la primera helada es el 5 de mayo, con una desviación típica de más o menos 24 días; la fecha extrema de primera helada es el 30 de marzo. La fecha promedio de la última helada es el 14 de septiembre, con una desviación típica de más o menos 18 días, siendo la fecha extrema el 16 de noviembre. El período medio libre de heladas es de 233 días, aunque en la práctica y para fines agronómicos queda acortado a 191 días, debido a la elevada dispersión en la ocurrencia de la primera y última helada. Las heladas suceden invariablemente todos los años, con mayor frecuencia en los meses de junio, julio y agosto cuando en promedio hiela uno de cada tres días. Es importante destacar que el riesgo probable de que ocurra una helada tardía después del 29 de septiembre, es de una vez cada 5 años. Su peligrosidad radica en que es esta época del año la temperatura diurna del aire es elevada y los cereales de invierno se hallan en un período de espigazón, momento en que son altamente susceptibles al frío. Por esta misma razón, habría que descartar las siembras demasiado tempranas de cultivos estivales (INTA, 2008).

Las elevadas temperaturas máximas en diciembre y enero, de 35 °C ó más, ocurren en el 80 y 100 % de los años, respectivamente. Este factor torna aleatorio el cultivo de maíz, ya que tales temperaturas provocan la esterilidad tanto del polen como de los estigmas, retrasando solo un poco a la soja. La dirección predominante de los vientos a 10 metros de altura es del sector noreste. Por el contrario, los vientos del sector oeste no son muy frecuentes y hay, en promedio, 69 días sin viento. (INTA, 2008).

Si bien Huinca Renancó está situado dentro de la zona afectada por la erosión eólica, este proceso se manifiesta en la región mas este (no siendo del todo ajeno a la zona del proyecto, la cual es también afectada) donde los suelos son sueltos, los vientos frecuentes y de elevada velocidad y las lluvias escasas y mal distribuidas. En esta área, los vientos sobrepasan casi diariamente la velocidad de 13 km h⁻¹ durante la mayor parte del año, por lo que las voladuras de terreno suelen originarse con facilidad, debido a esto, los laboreos en base a siembra directa son casi insustituibles. La peligrosidad de la erosión eólica abarca los meses de primavera, diciembre y enero. En este período, la efectividad de las lluvias se ve anulada en gran medida por la elevada evaporación estando, en consecuencia, los

suelos más secos que en los meses precedentes. El total anual medio de precipitación es de 650 mm, siendo diciembre el mes más lluvioso con 95 mm y julio el más seco con solo 15 mm., con preponderancia de las lluvias en primavera y verano, ya que en promedio concentran el 76 % de las lluvias anuales (INTA, 2008). El suelo sobre el que se trabajó responde a un Haplustol típico. El lote utilizado proviene de 10 años de siembra directa con antecesor de maíz, y un control químico de malezas con 1,6 Lts/ha de glifosato + 0,4 Lts/ha de 2,4D + 25 cc ha⁻¹ de insecticida Lamdacialotrina (Karate Zeon®). La siembra se realizó con una máquina PLA neumática de 18 cuerpos distanciados a 52cm. La fecha de siembra fue el 16 de diciembre de 2008 y la fecha de cosecha el 19 de abril de 2009.

Los factores a estudiar fueron cultivares y densidades de siembra con 3 niveles en el primero y 2 en el segundo respectivamente. Los cultivares que se utilizaron para la experiencia fueron, uno intermedio corto: 3700 de Don Mario (GM 3.7), un intermedio, 4613 de Nidera (GM 4.6), y uno intermedio-largo, 5009 de Nidera (GM 5). Las densidades fueron: densidad baja (11 semillas/m lineal) y una densidad media normal considerada en la zona (22 semillas/m lineal). En el campo la experiencia se desarrolló en el lote E del establecimiento. Se destinaron 10 hectáreas al estudio, subdivididas en parcelas de 0,33 has cada una, siguiendo un arreglo factorial (con 2 factores: cultivar y densidad) en bloques al azar con 5 repeticiones.

Las características de los cultivares evaluados se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1: Características de los cultivares evaluados.

CARACTERÍSTICAS	DM 3700 RG	NA 4613 RG	NA 5009 RG
Tipo de crecimiento	Indeterm.	Indeterm.	Indeterm.
Ciclo	III largo	IV largo	V corto
Días a floración	s/d	45	65
Días a madurez	124-140	144	160
Color pubescencia	Castaña clara	Castaña	Gris
Color de flor	Violeta	Blanca	Púrpura
Potencial de rendimiento	Altísimo	Excepcional	Muy alto
Plantas m ⁻² a cosecha (siembras 1ra a 52 cm.)	s/d	35	31
Altura de plantas (cm)	83	92	124
Tipo de plantas	Ramificada	Ramificada	Erecta-ramif.
Peso por mil (g.)	177	190	171

Evaluaciones y determinaciones

A cosecha (estado reproductivo: R8), se trabajó con muestras extraídas del lote por medio del corte basal de las plantas correspondientes a 1m² (1,92m de surcos a 52cm de espaciamiento entre hileras) con 5 repeticiones, sobre los que se evaluó:

Caracteres morfológicos

- Altura de plantas.
- Grosor de tallos. Medidos con calibre.
- Número de nudos por planta en tallo principal.
- Número de ramas totales (primarias y secundarias) por planta.
- Peso de tallos m⁻²
- IC (Índice de cosecha). Calculado a través del cociente Rendimiento/Peso de tallos y ramas.

Componentes del rendimiento

- Peso de granos por planta.
- Peso de granos m⁻²
- Número de granos por vaina
- Número de granos m⁻²
- Peso de vainas por planta.
- Peso de vainas m⁻²
- Número de vainas por planta.
- Peso de 100 granos.
- Rendimiento de granos (kg ha⁻¹)

ANÁLISIS DE RESULTADO:

Los resultados obtenidos fueron procesados mediante ANOVA y las medias comparadas según el test de Fisher ($P \leq 0.05$), con el programa estadístico INFOSTAT (Balzarini *et al*, 2008).

CONDICIONES METEOROLÓGICAS DURANTE EL CICLO DEL CULTIVO:

La figura 1 muestra las precipitaciones mensuales de la campaña 2008/09 un mes antes de siembra, durante el ciclo del cultivo, y las correspondientes a la serie 1993-2007.

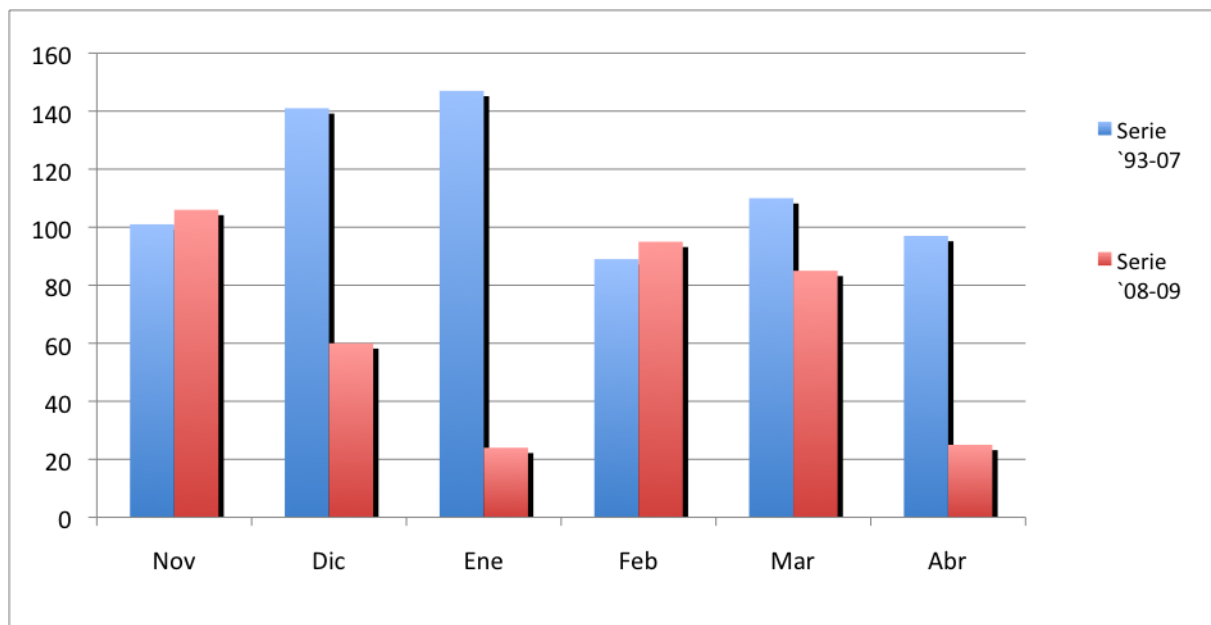


Figura 1: Precipitaciones mensuales (mm) durante el período noviembre a abril, del ciclo 2008/09 y del período 1993/07.

La campaña 08/09 fue sin duda una de las que ha sufrido con mayor grado de generalización el impacto del clima desfavorable a lo largo de los últimos 50 años. En particular, el déficit pluvial (primero incipiente y luego afianzado en el semestre cálido) promovió una sequía que solo en sectores muy reducidos no afectó severamente el normal desarrollo de los cultivos. En diciembre 08/enero 09 se alcanzó el pico máximo de sequía en la zona núcleo (Agrositio, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

No hubo interacción significativa entre factores (cultivares x densidad) para todas las variables (componentes morfológico y de rendimiento), por lo tanto se muestran los resultados para cada factor en forma separada.

Componentes morfológicos:

a). Altura media de plantas

La figura 2 muestra la altura de plantas para el factor cultivar, esta presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p=0,0001$). El cultivar NA 5009 (80,78 cm) tuvo una altura media de plantas superior a los otros dos materiales utilizados; NA 4613 (67,8 cm) mostró muy poca diferencia con DM 3700 (61,7 cm). Por su parte en la figura 3 se observa la altura de plantas en función de la densidad; al respecto, la baja densidad (11 semillas/mt) (70.1 cm) no difirió estadísticamente ($p=0,9534$) en relación a la mayor densidad (22 semillas/mt), (70.0 cm).

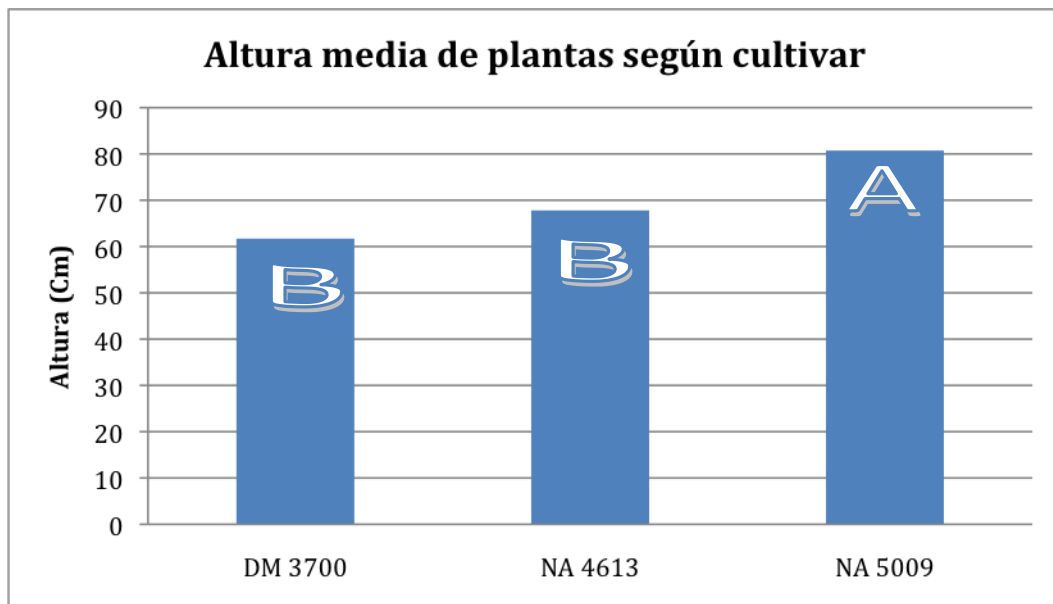


Figura 2: Altura media de plantas (cm) en función de los diferentes cultivares. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

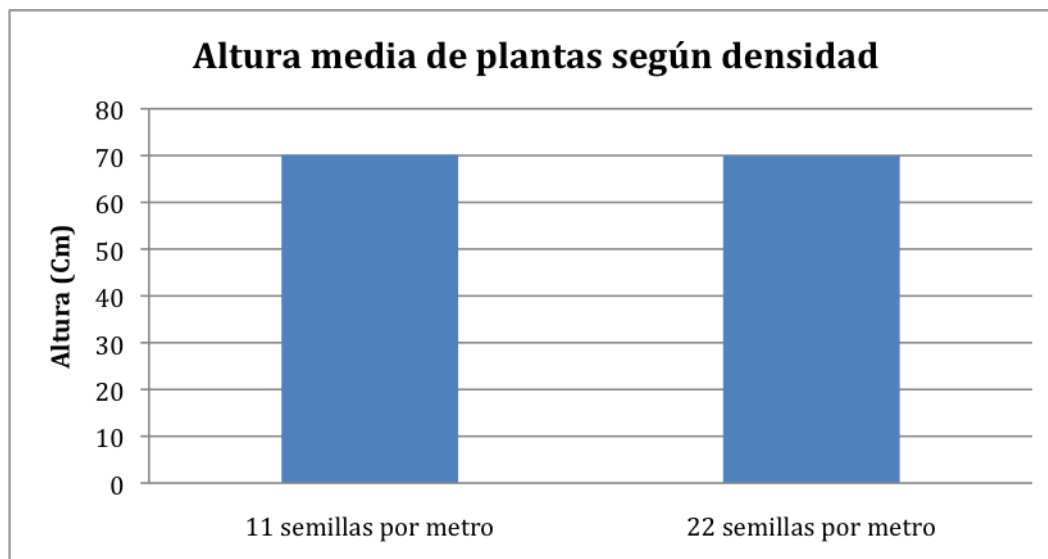


Figura 3: Altura media de plantas (cm) en función de las diferentes densidades.

Para cultivares del mismo HC y diferente longitud de ciclo, se obtienen campanas de altura creciente con el ciclo. Si se comparan cultivares de la misma longitud de ciclo, pero con diferente HC, se obtendrán 3 campanas diferentes correspondiendo la más alta al cv de HC indeterminado (HCI), la intermedia al cv de HC semideterminado (HCSD) y la más baja al cv de HC determinado (HCD) (Baigorri, 2010).

En este estudio el efecto de la densidad de siembra sobre la altura no mostró respuesta como la indicada por Baigorri (2004), quién reporta que la reducción de la densidad de siembra, aumenta en forma lineal el número de ramificaciones y de nudos por planta y determina un acortamiento de los entrenudos provocando una reducción en la altura. Por otra parte, cuando después de elegir el cv esperamos alturas inferiores a los 70 cm, es altamente probable que una reducción del espaciamiento entre surcos a menos de 52 cm, incremente el rendimiento (Baigorri, 2010).

b). Grosor de tallos

La figura 4 muestra el grosor de tallos para el factor cultivar, en el mismo no se observó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p=0,4367$). El cultivar NA 5009 (0,68 cm) y DM 3700 (0,67 cm) mostraron una leve tendencia a aumentar el grosor de tallo respecto al cultivar NA 4613 (0,63 cm). Por su parte, la figura 5 muestra el grosor de tallos en función de la densidad; la baja densidad (11 semillas m^{-1}) tuvo un mayor grosor de tallos (0,71 cm), difiriendo de forma estadísticamente significativa ($p=0,0028$) de la alta densidad (22 semillas m^{-1}) (0,61 cm).

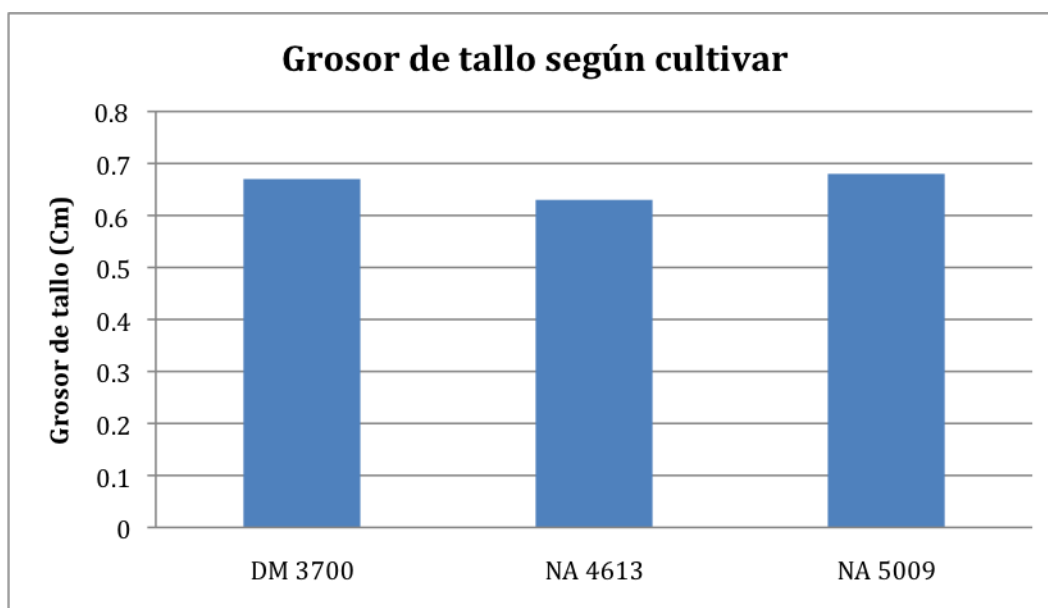


Figura 4: Grosor de tallos en función de los diferentes cultivares.

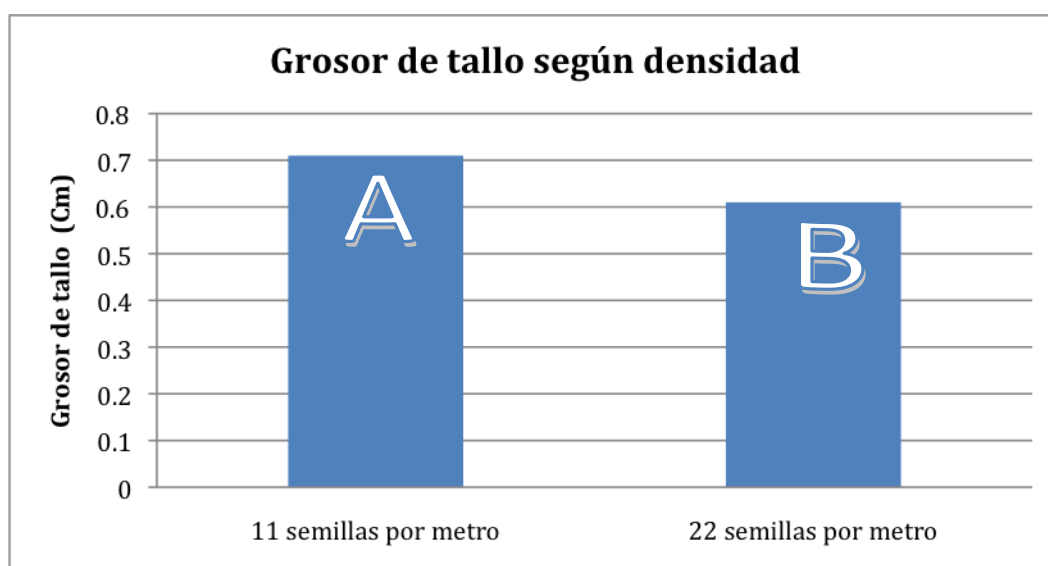


Figura 5: Grosor de tallos (cm) en función de las diferentes densidades. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

El grosor del tallo de soja es otro aspecto morfológico de la especie que varía ante los cambios de en el número de plantas por superficie, ello se debe a que en densidades bajas, el cultivo acorta los entrenudos disminuyendo la altura de la planta y engrosando el tallo, coincidiendo con lo dicho por Baigorri *et al.*, (2004).

c). Número de nudos en tallo principal:

La figura 6 muestra la variación del número de nudos para el factor variedad, presentando diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p=0,0208$). El cultivar NA 5009 (14,6 nudos) tuvo un número de nudos superior respecto al cultivar NA 4613 (14,1 nudos), y este último a su vez, a DM 3700 (13 nudos); pero NA 4613 no difirió ni de DM 3700, ni de NA 5009 significativamente. Por su parte, la figura 7 muestra el número de nudos por planta en función de la densidad; la menor (11 semillas m^{-1}) (14,5 nudos) difirió significativamente ($p=0,0171$) con la alta densidad (22 semillas m^{-1}), (13,5 nudos).

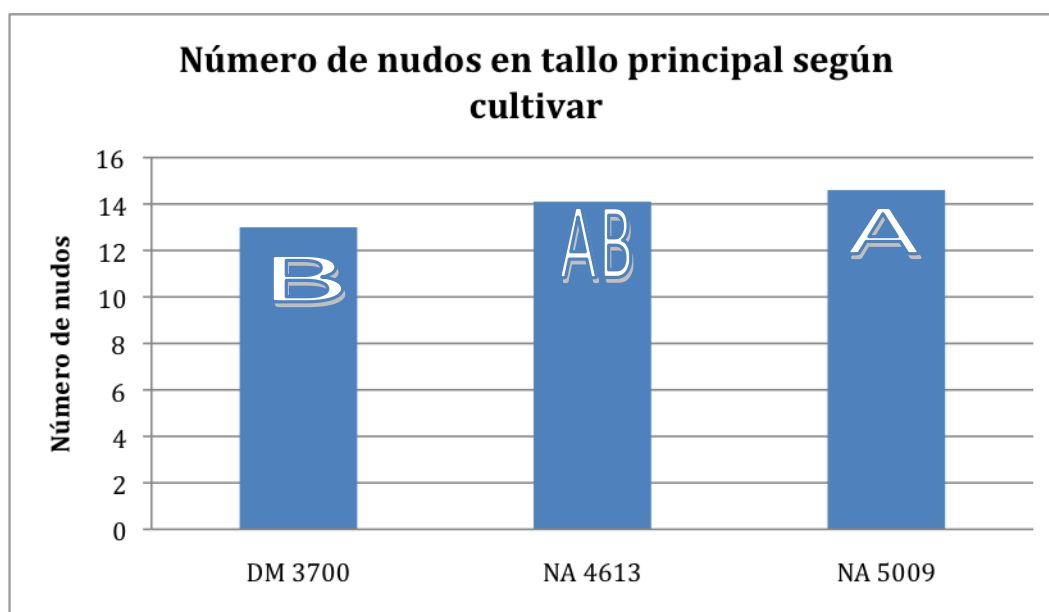


Figura 6: Número de nudos por planta en función de los diferentes cultivares. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

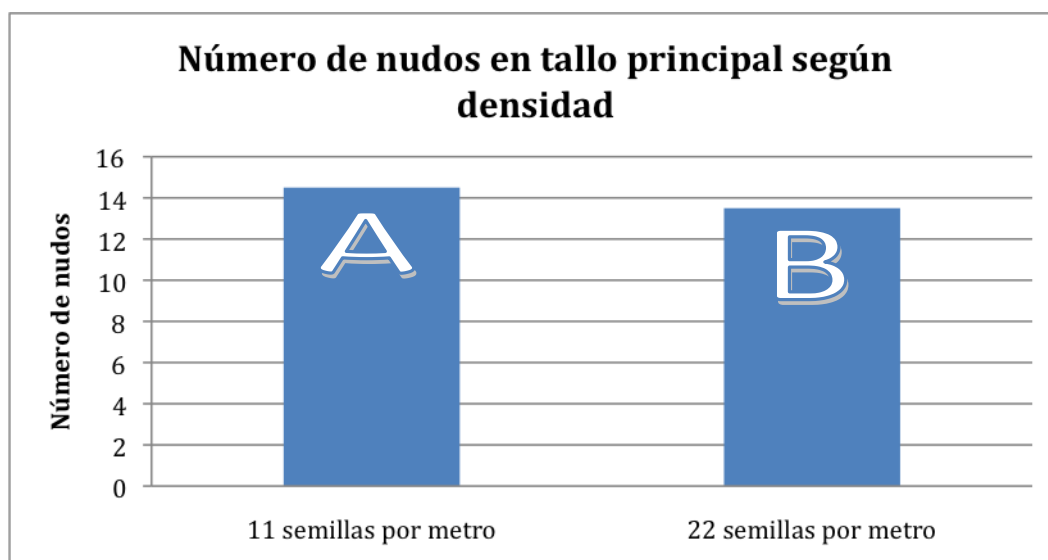


Figura 7: Número de nudos por planta en función de las diferentes densidades. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

Según Satorre *et al* (2003), el número de nudos que se diferencian en el tallo principal depende principalmente de las condiciones fotoperiódicas previas a floración, de la sensibilidad al fotoperíodo y el hábito de crecimiento del genotipo; en genotipos indeterminados largos, al prolongarse la actividad vegetativa del ápice, el número de nudos que aparecen después de floración es mayor.

Bajas densidades poseen un mayor número de nudos por planta que densidades altas según la figura anterior, ello se debe a que la planta al tener poca competencia intraespecífica busca expresar su potencial genético, dando como resultado una planta con un número mayor de nudos, más cantidad de ramas, y entrenudos cortos.

También para el número de nudos, existe una respuesta diferente de los cv según el largo de ciclo y el HC. Los cv con mayor longitud de ciclo logran mayores valores que los de ciclo más corto y si se comparan cultivares de la misma longitud de ciclo de los 3 HC, lograrán el mayor valor los cv con HC indeterminados, en segundo lugar los de HC semideterminados, y los de menor número serán, por lo tanto, los HC (Baigorri, 2010).

d). Número de ramas totales (primarias y secundarias) por planta:

La figura 8 muestra el número total de ramas por planta para el factor variedad, la misma presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p=0,0003$). Los dos cv de mayor GM NA 5009 y NA 4613 (4,36 y 4,1 ramas por plantas respectivamente) tuvieron un número de ramas por plantas superior respecto a DM 3700 (2,75 ramas por plantas), sin diferencias estadísticas entre ellos. Por su parte, la figura 9 muestra el número de ramas por plantas en función de la densidad; la baja

densidad (11 semillas m^{-1}) tuvo menor cantidad de ramas (5,72 ramas por planta), ($p=0,0001$) respecto a la alta densidad (1,85 ramas por planta).

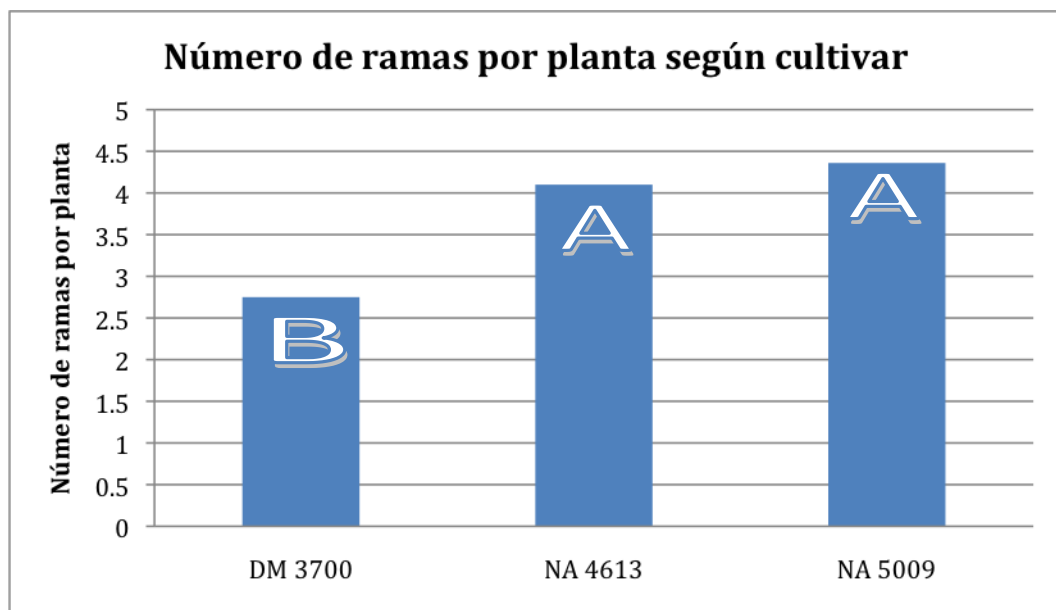


Figura 8: Número de ramas por planta en función de las diferentes cultivares. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

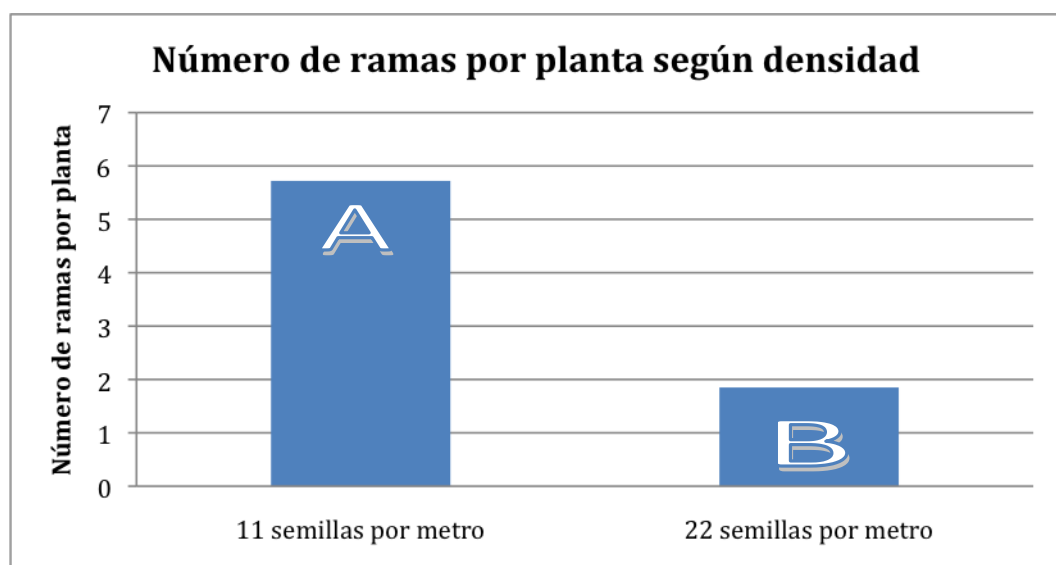


Figura 9: Número de ramas por planta en función de las diferentes densidades. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

Los mecanismos de compensación más importantes involucrados en la intercepción de la radiación son la ramificación (soja), el macollaje (trigo), la expansión foliar (girasol), la producción y senescencia de hojas y la geometría del canopeo (Satorre et al, 2003).

El efecto del genotipo sobre el número de ramas ha sido reportado por Baigorri (2010), quien asegura que los cultivares con más crecimiento, ya sea por su mayor longitud de ciclo, tendencia al vuelco y altura, siempre tienen densidades óptimas menores, ya que logran mayor cobertura, formando más ramas.

Estos resultados confirman lo afirmado por Baigorri (2010), este autor sostiene que las ramificaciones en el cultivo de soja, depende fundamentalmente de la densidad: a menor densidad mayor ramificación. Si se realiza un ensayo de densidades, con un cultivar de ciclo muy corto (a los que se los considera menos ramificadores que a los de ciclo más largo), pasaremos de plantas sin ramas en las densidades más altas a plantas con 5 a 8 ramas con las densidades más bajas. Esta es una de las características del cultivo, que lo hacen muy plástico y le permiten compensar densidades muy bajas.

e). Peso de tallo m⁻²

La figura 10 muestra el peso de tallos m⁻² en función a la cultivar utilizado. Esta variable presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (p=0,0001). El cultivar NA 5009 (167,26 gramos m⁻²) tuvo un peso de tallos m⁻² superior respecto a NA 4613 (142,89 gramos m⁻²), y este último a su vez, a DM 3700 (125,18 gramos m⁻²). Esto tiene estrecha relación con las variables indicadas anteriormente, evidenciando que la longitud del GM tiene fuerte impacto en las variables morfológicas. Por su parte, la figura 11 muestra el peso tallos m⁻² en función de la densidad; la menor (11 semillas m⁻¹) tuvo valores significativamente (p=0,0304) superiores (152,36 gramos m⁻²) con respecto a la alta densidad (22 semillas m⁻¹), (137,87 gramos m⁻²).

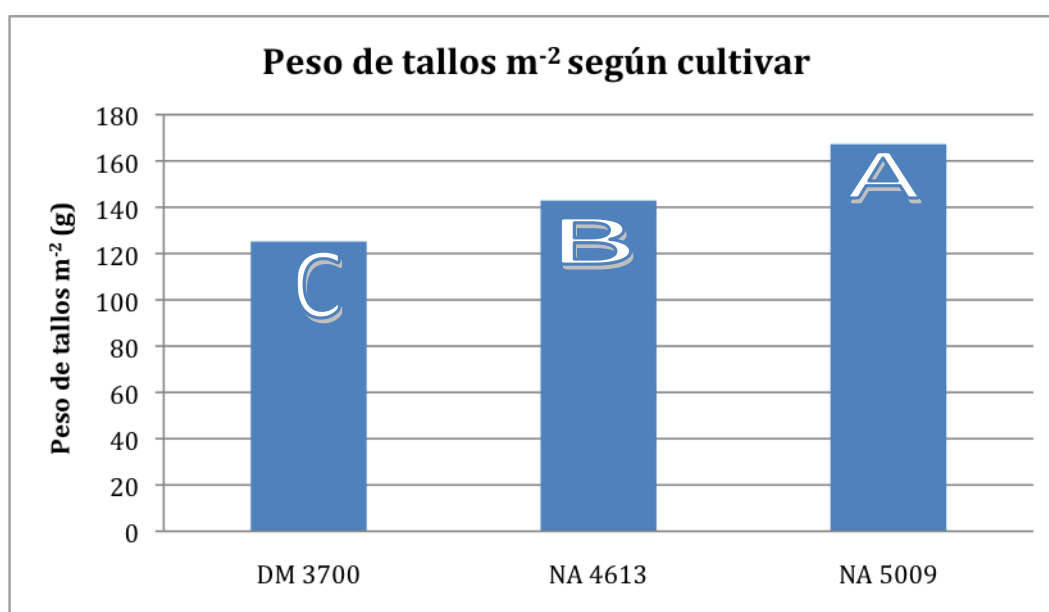


Figura 10: Peso de tallos m⁻² (g) en función de las diferentes cultivares utilizados. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

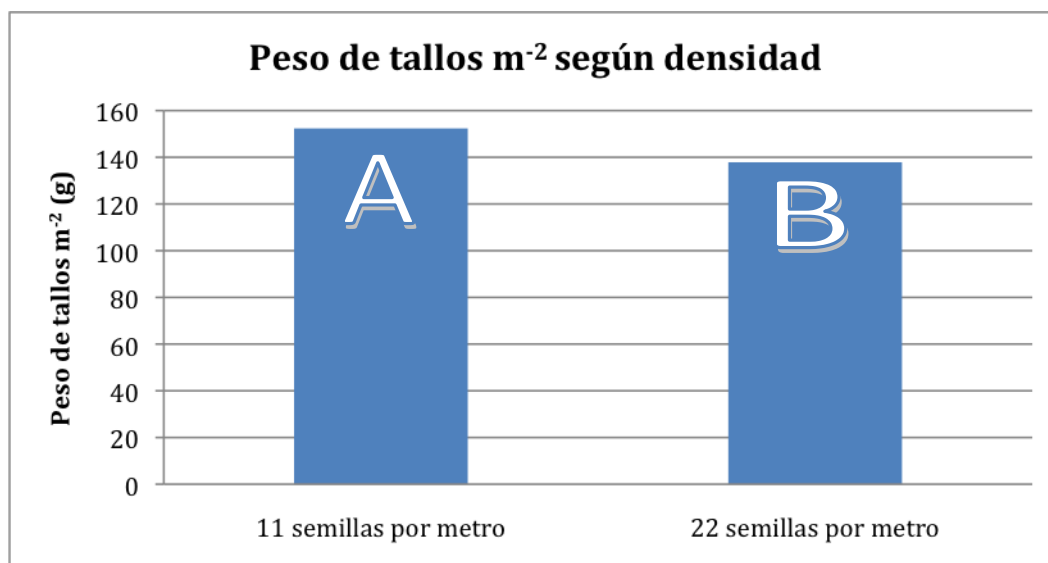


Figura 11: Peso de tallos m^{-2} (g) en función de las diferentes densidades utilizadas. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

Las diferencias observadas entre genotipos se deben íntegramente a características genéticas, ya que el cultivar NA 5009 fue desarrollado y seleccionado para tener una mayor biomasa aérea que DM 3700, por lo que su tallo indudablemente debe ser de mayor diámetro y por ende más pesado para poder soportar su biomasa sin tener problema de vuelco.

Las plantas sembradas en bajas densidades muestran un tallo más pesado, al tener menor competencia intraespecífica, las plantas tratan de aprovechar los recursos logrando una mayor ramificación, generando un tallo más grueso y pesado; el cultivo acorta los entrenudos disminuyendo la altura de la planta, destinando insumos al engrosamiento del tallo el cual resulta más pesado (Baigorri, 2010).

f). Índice de cosecha

La figura 12 muestra el índice de cosecha (IC) para el factor variedad. Este no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p=0,1076$). A pesar de ello, el test de diferencia de medias usado (Fisher) mostró diferencias de acuerdo a las tendencias observadas, así el cultivar NA 4613 (0,48) tuvo un IC levemente superior respecto al cultivar DM 3700 (0,47), y este último a su vez, a NA 5009 (0,44). Por su parte, la figura 13 muestra el IC en función de la densidad. Al respecto, el factor densidad tuvo un valor de probabilidad de $p=0,0516$, donde el IC en la baja densidad (11 semillas m^{-1}) fue de 0,45 y a la mayor (22 semillas m^{-1}) fue de 0,48, sin diferencias el test de medias (Fisher).

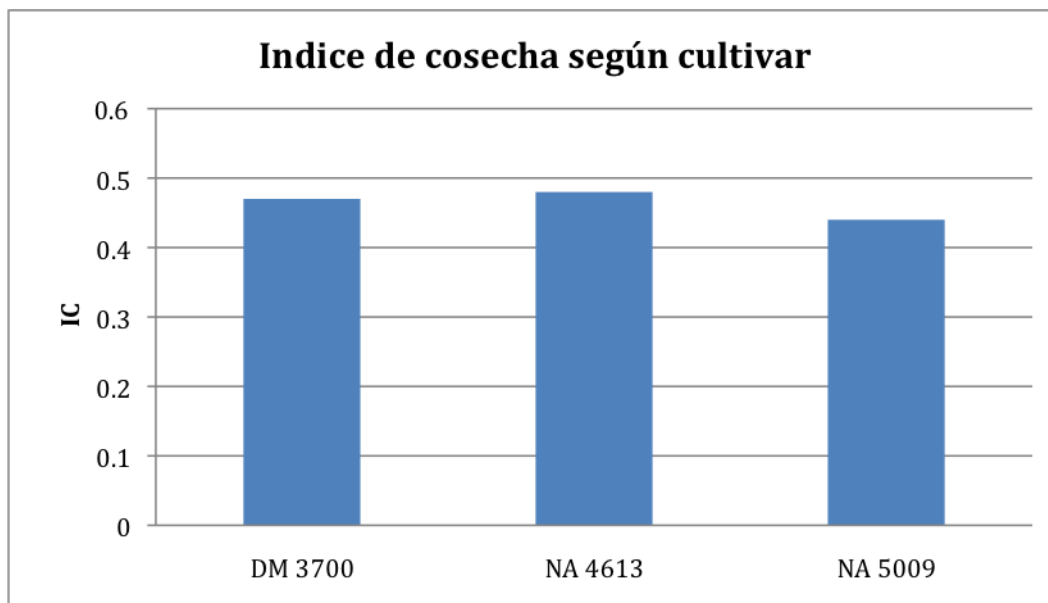


Figura 12: Índice de cosecha en función de los diferentes cultivares.

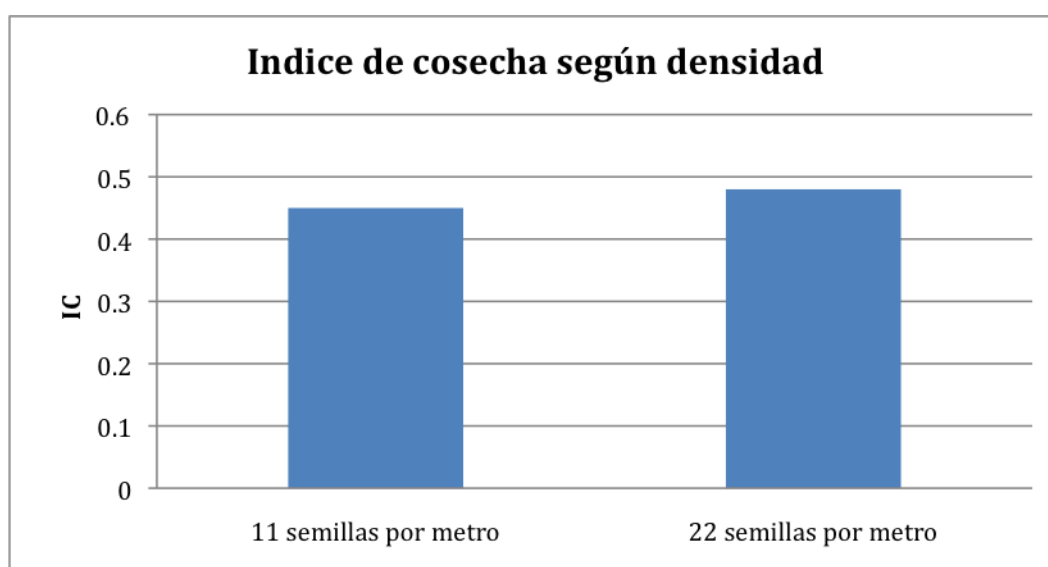


Figura 13: Índice de cosecha en función de las diferentes densidades

El mayor índice de cosecha lo presentó NA 4613, coincide a que tuvo un rendimiento levemente superior (mostrado mas adelante) respecto a los otros cultivares que es característicos de este material genético. El menor IC lo presentó NA 5009, el cual tuvo un rendimiento levemente inferior a los demás cultivares pero un importante peso de tallos propio de la longitud del GM.

Se puede afirmar que el IC está regulado en mayor medida por cuestiones genéticas que por el arreglo espacial, es por ello que resulta importante la elección del cv a la hora de querer reducir pérdidas de cosecha (aumentando el IC), al elegir materiales de buenos potenciales en la zona, menor tendencia al vuelco, mayor despeje de la inserción de primer vaina, menor dehiscencia natural, ausencia de retención foliar y menor deterioro de granos (INTA, 2010).

Componentes del rendimiento

g). Peso de granos por planta

La figura 14 muestra el peso de granos por planta en los cultivares estudiados (DM 3700, NA 4613 y NA 5009). Esta variable no tuvo diferencias estadísticas significativas ($p=0,2984$) entre cv, solo hubo una leve tendencia en aumentar el peso de semillas por planta con el aumento del grado de madurez. La figura 15 muestra el peso de granos por planta en función de las densidades utilizadas, el análisis de la varianza mostró diferencias altamente significativas ($p=0,0001$); la densidad baja (11 semillas m^{-1}) tuvo un peso de granos por planta mayor (14,79 gramos por planta) que el tratamiento correspondiente a la mayor densidad (7.6 gramos por planta).

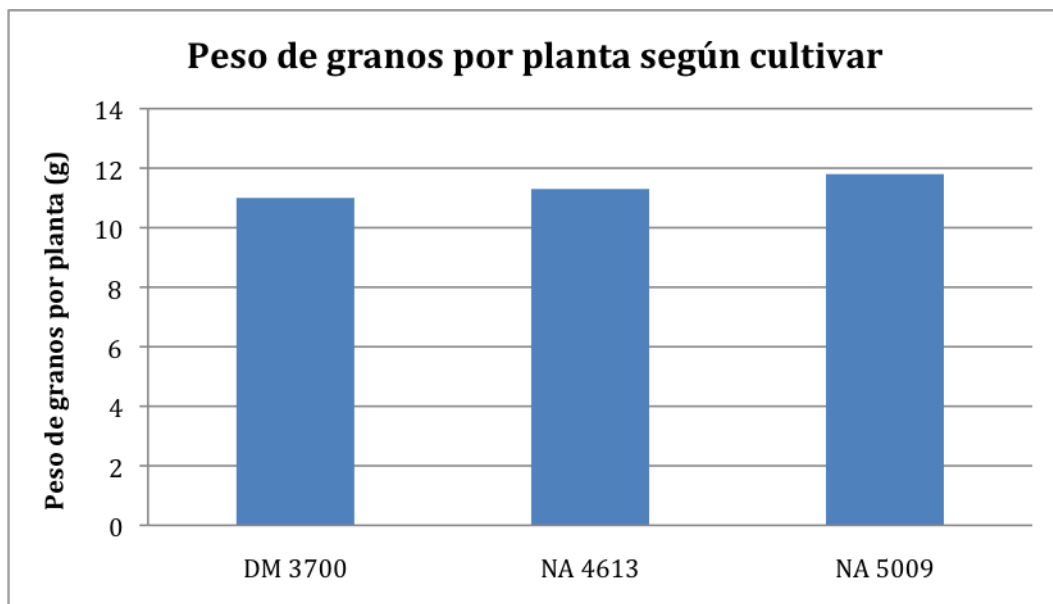


Figura 14: Peso de granos/planta (gr) en función de los diferentes cultivares.

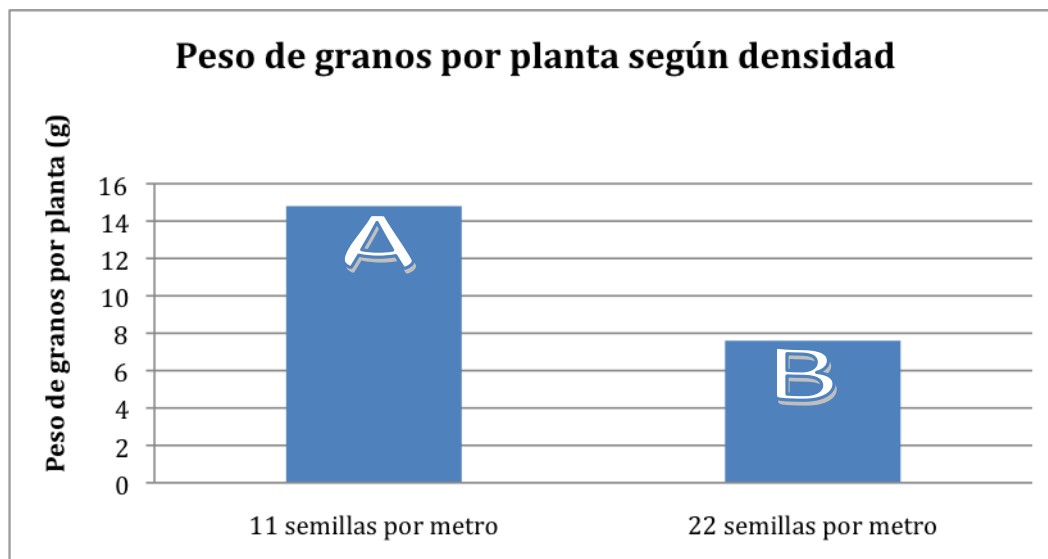


Figura 15: Peso de granos/planta (gr) en función de las diferentes densidades. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

Las principales diferencias entre genotipos en el peso de los granos por planta son solo atribuibles a diferencias en la tasa de crecimiento de los granos (Satorre *et al.*, 2003).

La elección de materiales con ciclo mas largo, permite aumentar el período de llenado y adelantar su ocurrencia, con lo que logramos disponer de mayor radiación solar y temperatura para generar mas rendimiento, pero solo en condiciones hídricas no limitantes y fechas de siembra adecuadas (Baigorri y Martini, 2007).

Las bajas densidades muestran pesos de semillas superiores, pues al bajar la densidad de siembra disminuye la competencia intraespecífica, aumentando la cantidad de recurso disponible para la planta, y así su rendimiento individual (Baigorri, 2010).

h). Peso de granos m^{-2}

La figura 16 muestra el peso de granos m^{-2} en función de los cultivares utilizados, esta relación no presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($p= 0,6084$). El cultivar NA 4613 tuvo un peso de granos m^{-2} levemente superior (271,03 gramos m^{-2}) respecto a los cultivares NA 5009 (265,03 gramos m^{-2}) y DM 3700 (253,85 gramos m^{-2}); por su parte, la figura 17 muestra el comportamiento del peso de granos m^{-2} en función de la densidad de siembra, mostrando como la baja densidad (11 semillas m^{-1}) (263,97 gramos m^{-2}) tampoco difirió de forma estadísticamente significativa ($p=0,9272$) con la densidad considerada normal en la zona (22 semillas m^{-1}), (262,66 gramos m^{-2}).

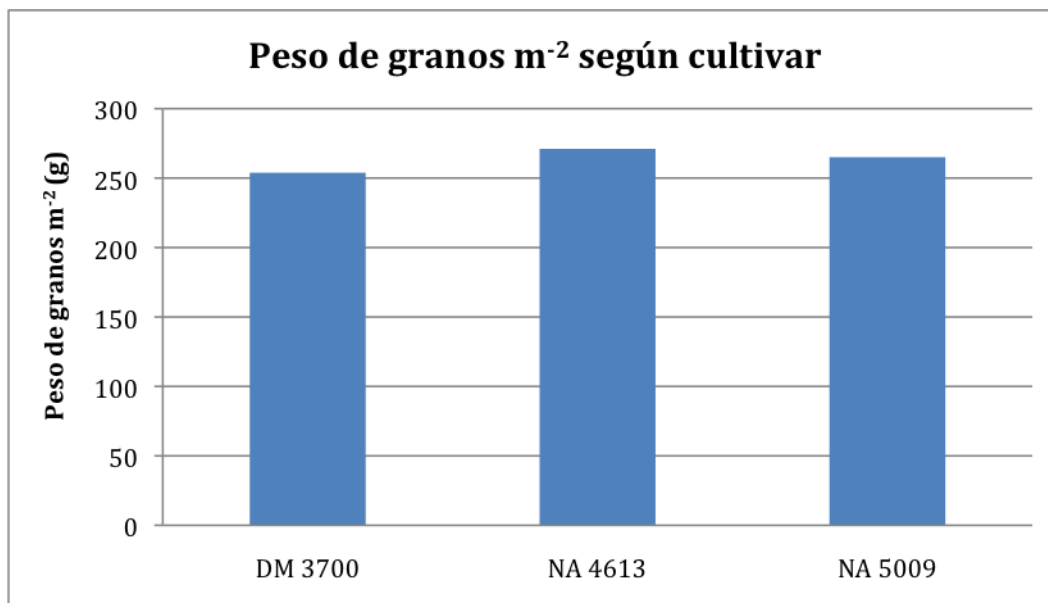


Figura 16: Peso de granos/m² en función de los diferentes cultivares.

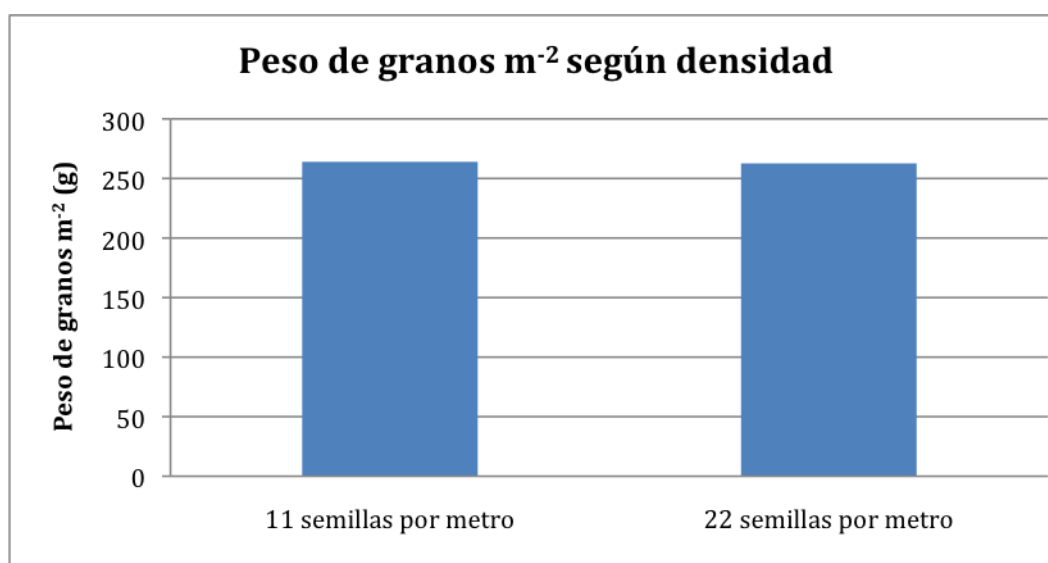


Figura 17: Peso de granos/m² en función de las diferentes densidades.

El peso de los granos depende del genotipo y de las condiciones ambientales que determinan la capacidad de fotosíntesis del canopeo y la duración de la etapa de llenado (Egli, 1994; Andrade y Ferreiro, 1996). Las tasas de llenado varían con el genotipo pero, para un mismo cultivar, son relativamente estables a través de ambientes. Esto se debería a que la soja puede realizar un buen ajuste del número de granos en condiciones de campo (Egli, 1998). Cuando el número de granos se ha fijado, las condiciones ambientales pueden también afectar las tasas de llenado. Sin embargo, en soja existe compensación entre tasa y duración del llenado de granos. Por ejemplo, altas temperaturas pueden aumentar las tasas pero disminuyen la duración. También se conoce que la mayor duración del

llenado se asocia positivamente con el rendimiento (Day *et al.*, 1980); excepto en el caso de que dicha mayor duración implique condiciones de ambiente menos favorables. Al respecto, temperaturas medias entre 20 y 30 °C no afectan la duración del llenado en soja (Hesketh *et al.*, 1973). Sin embargo, temperaturas excesivamente altas pueden acortar dicha fase. Por su parte el estrés hídrico durante el llenado generalmente acorta la duración de esta fase (al acelerar la senescencia foliar y la madurez fisiológica) y reduce, por lo tanto, el peso de los granos y el rendimiento.

Las condiciones climáticas de la campaña 2008/09, con temperatura y humedad muy poco favorables, y con una fecha de siembra en el mes de diciembre (tardía), no permitieron expresar una buena respuesta en las plantas correspondientes a la variedad intermedia-corta (DM 3700) ni en las intermedio-largo (NA 5009); en cuanto a la densidad, las plantas más espaciadas pudieron crecer más vigorosamente y alcanzar niveles aceptables de cobertura hacia finales del período reproductivo, en coincidencia con lo observado por Carpenter y Board (1997), correspondientes al efecto de compensación y plasticidad del cultivo. Una de las variedades evaluadas (NA 4613) mostró una tendencia no significativa a incrementar los pesos de granos por superficie (figura 16).

Las medias del peso de las semillas/m² no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las dos densidades utilizadas, mostrando la plasticidad de este cultivo donde se observó que las densidad modificaron fuertemente el peso de semillas por planta; estos resultados concuerdan con lo observado por Carrasco Lopez (1994), quien asegura que la variación de la densidad de plantas no influye en el peso total de granos por m², debido al efecto compensatorio producido por la mayor ramificación de las plantas a medida que se reduce la densidad.

i). Número de granos por vaina:

En la figura 18 se observa el número de granos por vaina para el factor cultivar. Este componente presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0,0598$). El cultivar MD 3700 tuvo un número de granos por vaina (1,925 granos por vaina) mayor que NA 4613 (1,685 granos por vaina), mientras que NA 5009 tuvo 1,745 granos por vaina sin diferir de los demás. Por su parte, la baja densidad (Figura 19) no difirió significativamente ($p=0,4908$) en el número de granos por vaina (1,75 granos por vaina) de la alta densidad (1,81 granos por vaina).

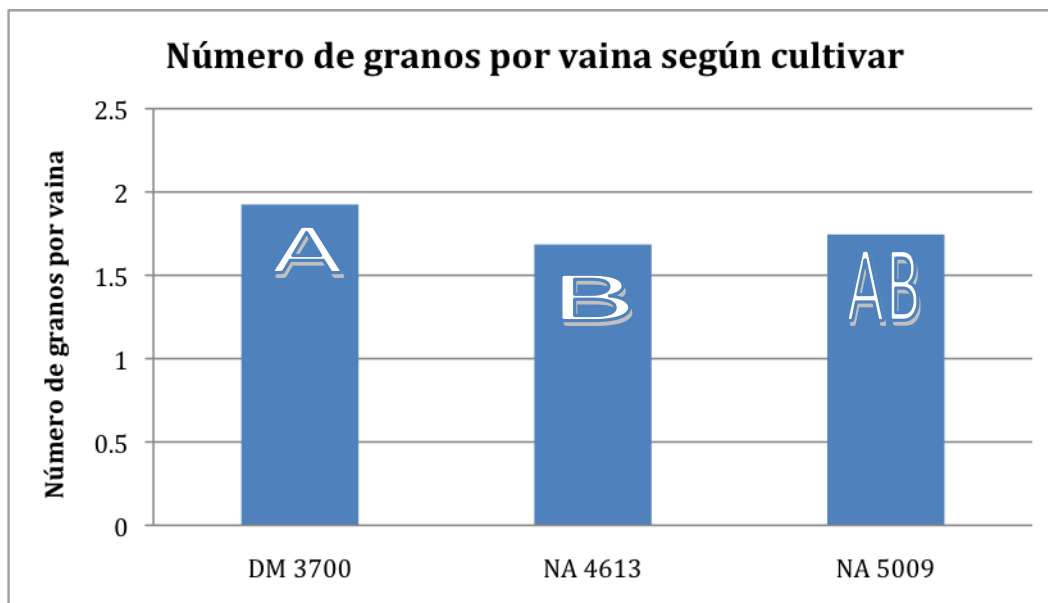


Figura 18: Número de granos por vaina en función de los diferentes cultivares. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

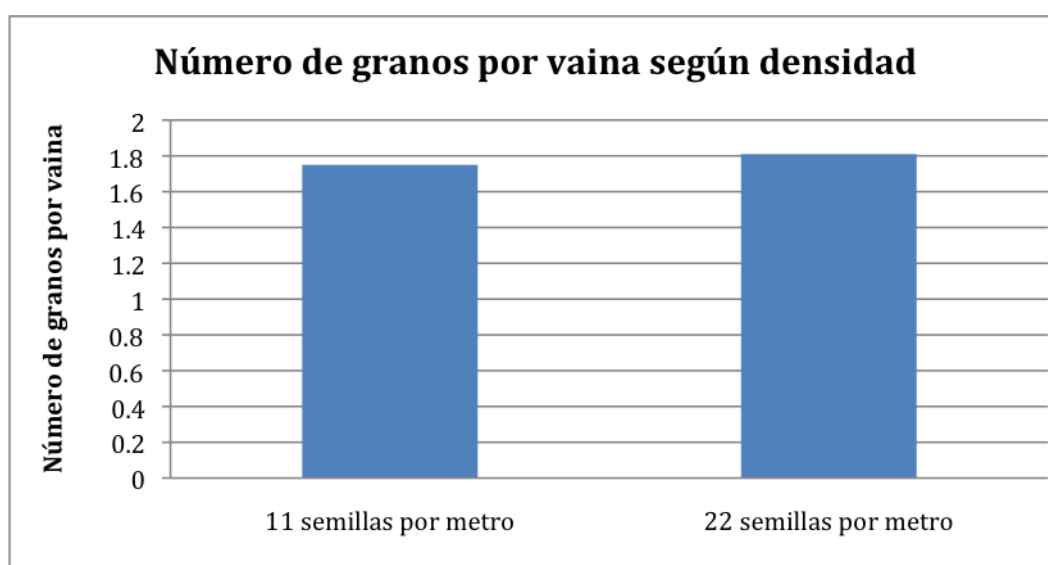


Figura 19: Número de granos por vaina en función de las diferentes densidades.

El número de frutos generalmente tiene mayor influencia en el número de granos totales, que en el número de granos por fruto (Board *et al.*, 1999). El límite superior de número de granos/vaina está determinado genéticamente, no obstante, este componente puede variar según las variedades utilizadas (Baigorri, 1997).

Uno o más de los granos de una vaina pueden abortar antes de ingresar en su fase de llenado efectivo, modificando el número de granos logrado por vaina. Sin embargo, el número de granos por

vaina es mucho más estable que los demás subcomponentes (Satorre *et al*, 2003), ya que esta controlado genéticamente.

Sin embargo, como se observa en la figura 18, las variaciones en el peso de granos/vaina con respecto a las diferentes variedades son muy marcadas, precisamente, porque dicha variable esta controlada genéticamente, y queda en gran parte determinado cuando elejimos el cv.

j). Número de granos m⁻²:

Según se observa en la figura 20 (variación de numero de granos m⁻² en función de las variedades) y la figura 21 (variación de numero de granos m⁻² en función de las densidades) no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (p=0,8957 y p=0,2007 respectivamente) para los dos factores.

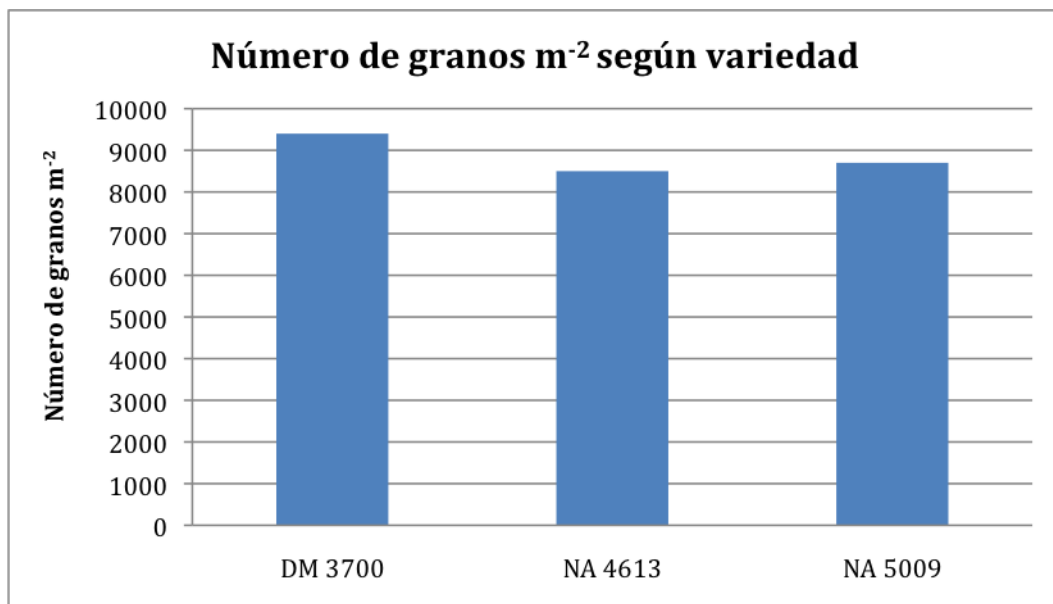


Figura 20: Número de granos/m² en función de los diferentes cultivares.

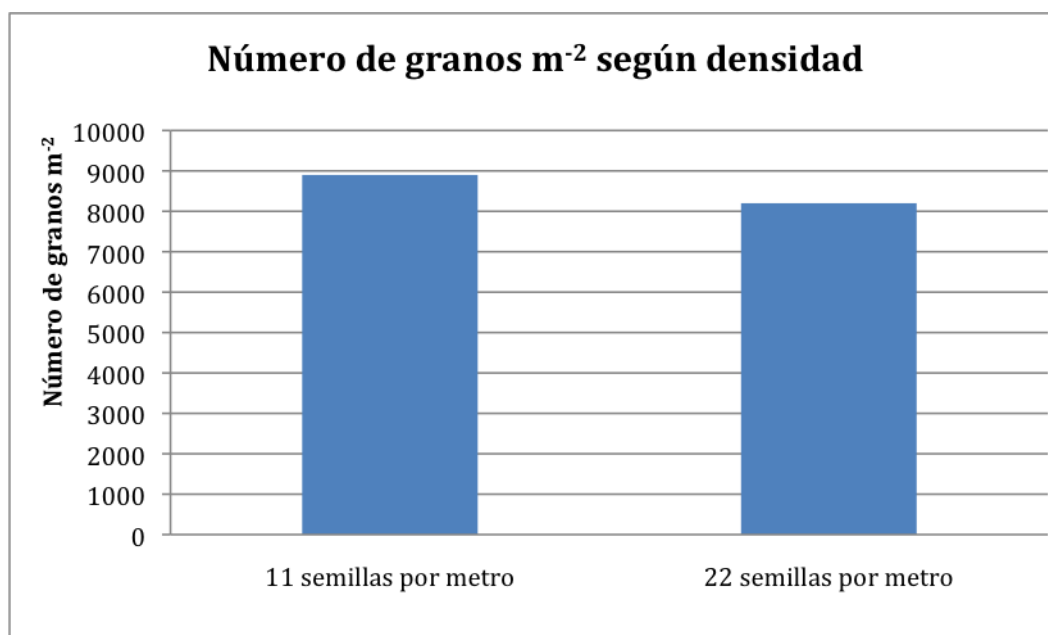


Figura 21: Número de granos/m² en función de las diferentes densidades.

El número de granos es el componente más estrechamente asociado con el rendimiento y más sensible a la influencia del ambiente (Shibles *et al.*, 1975). Este componente depende de la morfogénesis de estructuras reproductivas (determinante del número de granos potenciales) y de la fijación de flores fertilizadas. El número de flores en soja excede en gran medida la capacidad potencial para su fijación, aún bajo condiciones ambientales no restrictivas (Heitholt *et al.*, 1986; Jiang and Egli, 1993). La fijación de los granos, al contrario, es muy sensible a la disponibilidad de recursos, por lo que el estado fisiológico del cultivo durante el período crítico es decisivo en la determinación de los niveles de aborto de vainas y granos (Board y Tan, 1995). Entonces, no es el número de flores iniciadas, sino el número de las mismas que sobreviven, el principal factor asociado con la variaciones en el número de granos y rendimiento (Jiang y Egli, 1993; Board y Tan, 1995; Bruening y Egli, 1999). Si bien, la fijación de granos en soja comienza con la floración (R1-R2), cualquier estrés durante este período no afecta mayormente el rendimiento porque la floración se prolonga hasta R5 y puede, además existir compensación entre componentes de rendimiento (menor número de vainas compensa con aumento del número de granos por vaina y/o peso de grano).

k). Peso de vainas por planta

En la figura 22 se presenta el peso de vainas por plantas para el factor variedad, esta presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p=0,00439$). El cultivar NA 5009 (99,05 gramos por planta) tuvo un peso de frutos superior respecto al cultivar NA 4613 (88,015 gramos por planta), y este último superior a DM 3700 (84,705 gramos por planta). Por su parte, la figura 23, muestra el peso de vainas por planta en función de la densidad. Al respecto, la baja densidad fue

significativamente ($p = <0,0001$) superior (122,36 gramos por planta) que la alta densidad (58,79 gramos por planta).

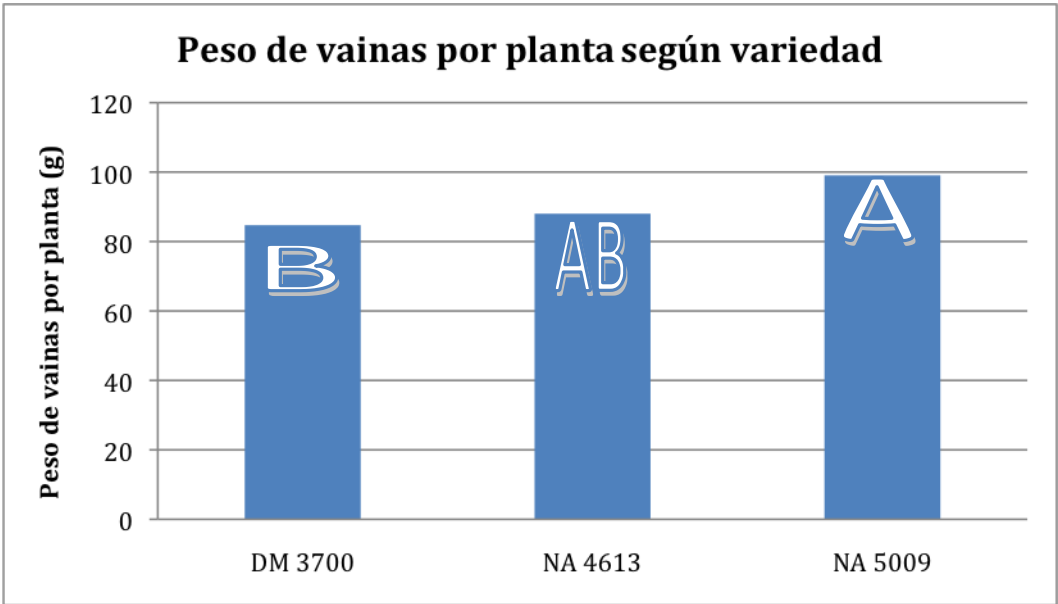


Figura 22: Peso de vainas/planta en función de los diferentes cultivares. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

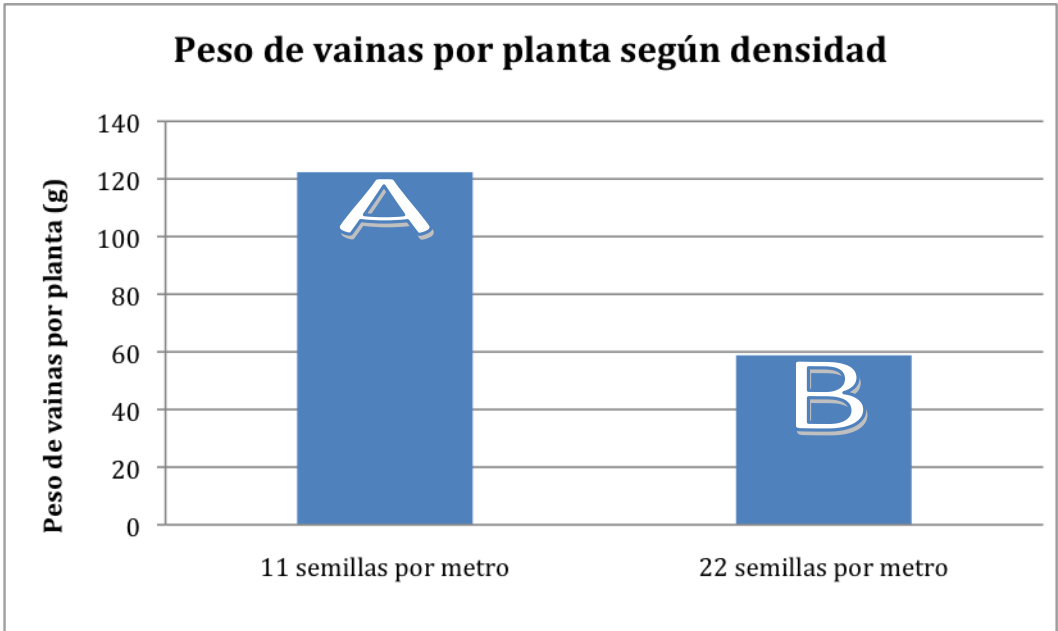


Figura 23: Peso de vainas/planta en función de las diferentes densidades. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

Las diferencias observadas en el peso de vainas/planta para las diferentes variedades utilizadas se debe a que el cultivar NA 5009 posee etapas fenológicas más largas que los demás, y por lo tanto un período de llenado más largo, lo que conlleva a tener disponible más radiación y temperatura para lograr más rendimiento (Baigorri, 2010), pero es de notar que el estrés durante el llenado (cuando el número de granos ya se ha fijado) generalmente acortó la duración de esta fase (al acelerar la senescencia foliar y la madurez fisiológica) y redujo, por lo tanto, el peso de los granos, especialmente en la densidad alta. La baja densidad responde, como se muestra en la figura 23, con un mayor peso de vainas/planta, debido al efecto compensatorio del cultivo (Andrade *et al.*, 2000). El peso de vainas/planta está directamente influenciado por el peso del grano, y el número de vainas por planta, por lo que las densidades bajas (donde el número de vainas y peso de granos/vainas aumentan) arrojan mayor peso de vainas/planta (Baigorri, 2010).

D). Peso de vainas m⁻²

En la figura 24 se observa que el peso de vainas m⁻² para el factor variedad. Esta no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (p=0,5287). Se observó una leve tendencia a aumentar el peso de vainas m⁻² con el GM, así el cultivar NA 5009 tuvo un peso de vainas (438,39 gramos m⁻²) seguido de NA 4613 (418,52 gramos m⁻²), y de DM 3700 (410,31 gramos m⁻²). Por su parte, la figura 25 muestra el peso de vainas m⁻² en función de la densidad. Al respecto, la baja densidad (438,52 gramos m⁻²) tampoco difirió de forma estadísticamente significativa (p=0,1308) con la alta densidad, (406,29 gramos m⁻²).

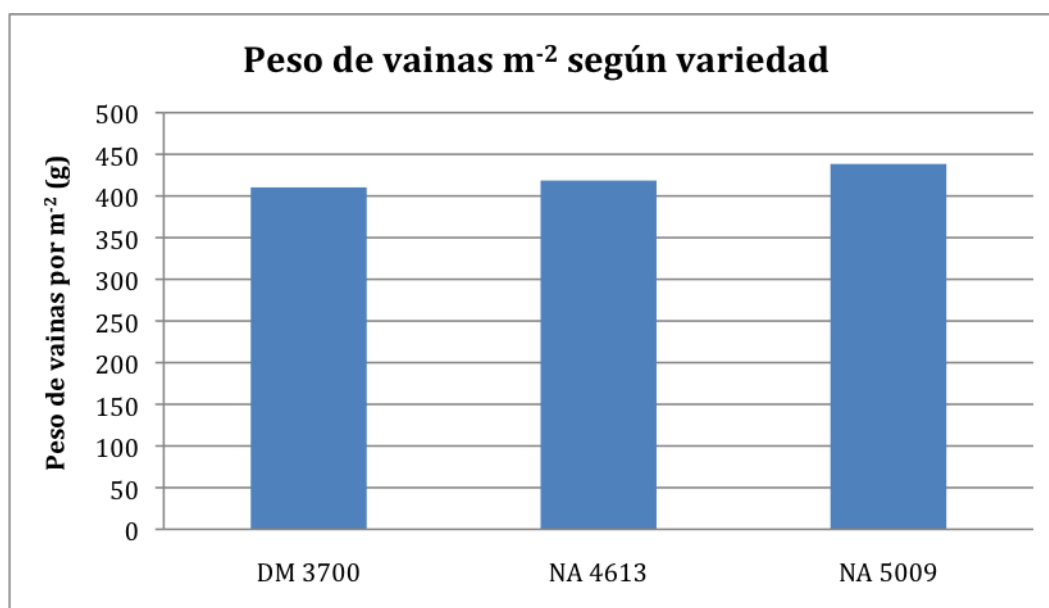


Figura 24: Peso de vainas m⁻² en función de los diferentes cultivares utilizados.

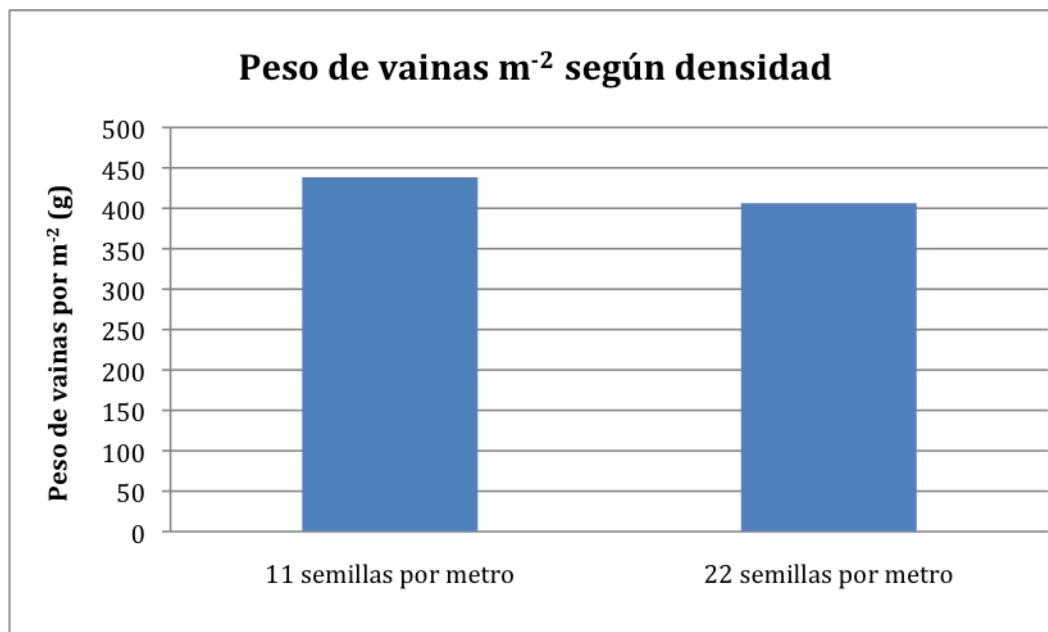


Figura 25: Peso de vainas m² en función de las diferentes densidades utilizadas.

Aquí notamos como la diferencia en peso de vainas por planta, no responde a variedad, debido a que, como se dijo, si bien el cultivar mas largo posee una etapa de llenado mas extensa que los demás utilizados, lo que conlleva a tener disponible mas radiación y temperatura para lograr mas rendimiento (Baigorri, 2010), es de notar que el estrés durante el llenado (cuando el número de granos ya se ha fijado) generalmente acortó la duración de esta fase (al acelerar la senescencia foliar y la madurez fisiológica) y redujo, por lo tanto, el peso de los granos, no encontrándose diferencias entre los diferentes materiales utilizados.

Por su parte, la densidad no influye a su vez de forma significativa, debido a que el peso de vainas no se encuentra entre los mecanismos que caracterizan la plasticidad de la soja, ya que el mismo esta directamente relacionado con el peso de los granos, y este último a su vez, controlado genéticamente (Baigorri, 2010).

Como se dijo, el peso de vainas m² está directamente influenciado por el peso del grano y el número de granos m² (ambos componentes directos del rendimiento), variables que se mantienen medianamente estables en un amplio rango de variedades y densidades utilizadas, debido a los mecanismos de compensación del cultivo, que explican el comportamiento plástico de la soja, y que coinciden con lo expuesto por Andrade *et al.*, (2000).

m). Numero de vainas por planta

La figura 26 muestra el número de vainas por plantas para el factor variedad, esta presentó diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0,0075$). El cultivar NA 5009 tuvo un número de vainas por planta superior (44,94 vainas por planta) con respecto a NA 4613 (42,88 vainas por plantas) pero sin diferencias significativas, y estos dos últimos, a su vez, superiores significativamente a DM

3700 (37,57 granos por planta). Por su parte, la figura 27 muestra el número de granos por planta en función de la densidad; la baja densidad (57,25 vainas por planta) difirió estadísticamente ($p < 0,0001$) con la alta densidad, (26,34 vainas por planta).

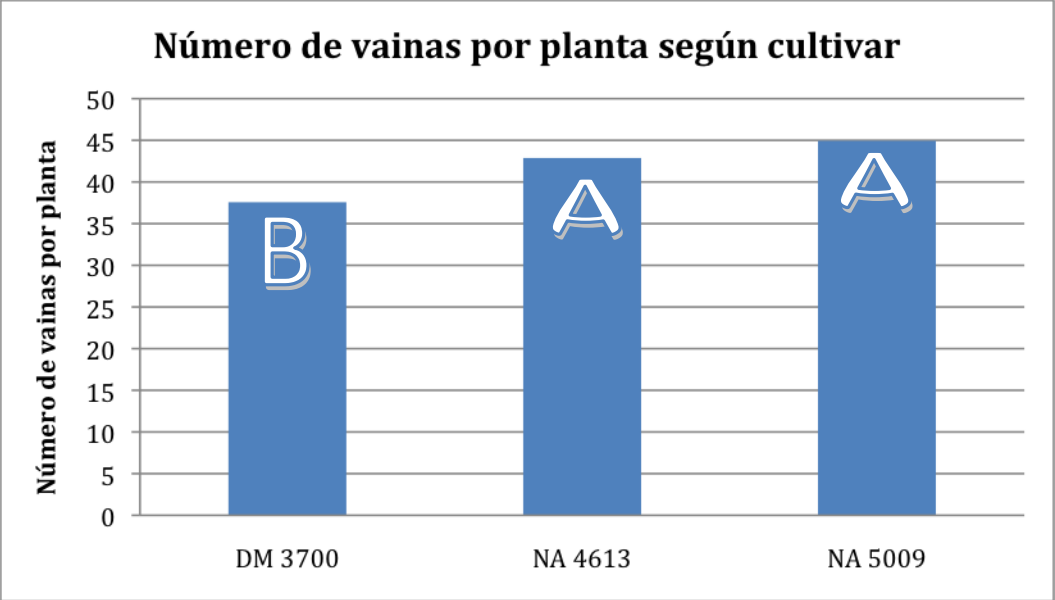


Figura 26: Numero de vainas por planta en función de los diferentes cultivares. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

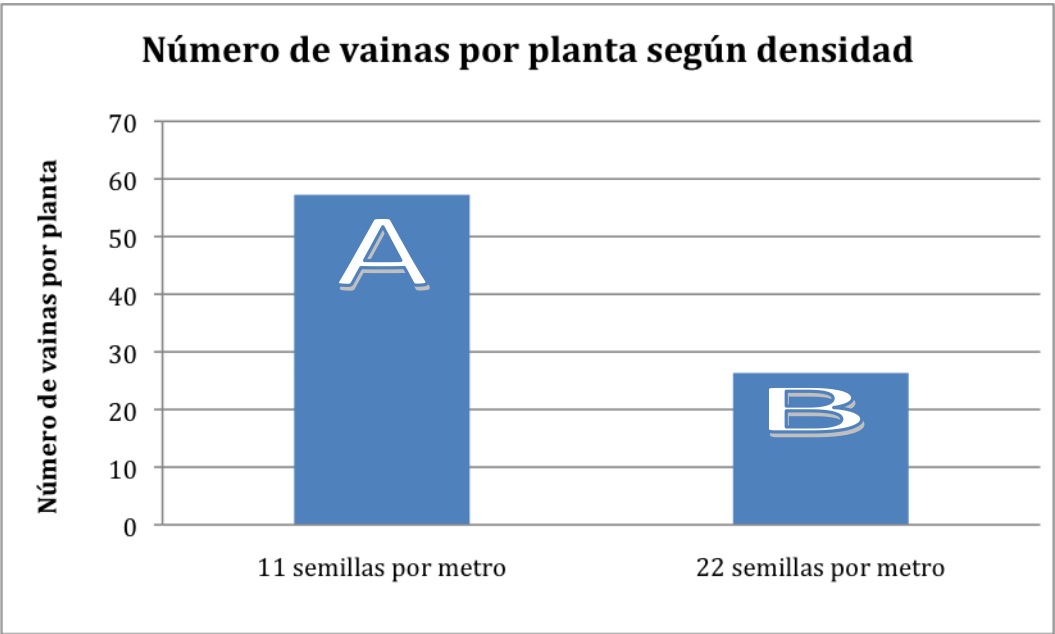


Figura 27: Número de vainas por planta en función de las diferentes densidades. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

Los mecanismos involucrados en la compensación incluyen la ramificación, con el incremento en el número de nudos, vainas y granos en las ramificaciones y, en menor medida, en el tallo principal de cada planta individual (Baigorri, 2010).

El mayor número de vainas por planta encontrado en los cultivares de Nidera se debe al mayor potencial de ramificación de estos materiales, ya que posee el mismo número de vainas en tallo que DM 3700, pero un mayor número en las ramificaciones superando así a este último en el total de vainas por planta. Es por esto que en siembras de segunda se recomiendan grupos de madurez relativamente largos y con mayor ramificación con el objetivo de llegar al IAF óptimo lo más temprano posible para captar la mayor cantidad de radiación incidente tempranamente, con ello lograr una tasa de crecimiento del cultivo más alta, consecuentemente mayor biomasa, que se traducirá en rendimiento. Esto es así siempre y cuando el ciclo del cultivar no sea tan largo como para que pueda ser afectado por heladas o temperaturas bajas al finalizar el ciclo, que interfieran en la etapa en el llenado de los granos (Kantolic *et al.*, 2003).

Diversos autores han mencionado a la soja como un cultivo capaz de compensar variaciones en un rango amplio de densidades de siembra sin afectar sus rendimientos (Swearingin, 1981; Duncan, 1986; Egli, 1988; Wells, 1991, 1993; Vega y Andrade, 2000). Esto permite a los productores lograr buenos cultivos aún ante fallas considerables en la emergencia. En bajas densidades la soja desarrolla un número mayor de ramificaciones, aumentando el área foliar por planta y el número de nudos potenciales a la vez que disminuye el aborto de flores (Valentinuz, 1996). El menor aborto de flores determina un aumento en el número de vainas por nudo reproductivo (Carpenter y Board, 1997). Estos mecanismos permiten incrementar el número de vainas y de granos por planta, manteniendo estable el rendimiento en un rango de densidades más o menos amplio.

El aumento de la densidad por su parte, produce una temprana cobertura de las plantas sobre el terreno, aumentando precozmente la radiación interceptada dando así lugar a un incremento del número de vainas por planta.

n). Peso de 100 granos

La figura 28 muestra el peso de 100 granos para el factor variedad, que presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p=0,0767$). El cultivar NA 5009 (15,75 g) superó estadísticamente a DM 3700 (14,77 g) y sin diferencias con NA 4613 (15,59 g), por su parte los dos más cortos no difirieron entre sí.

La figura 29, muestra el peso de 100 granos en función de la densidad; la baja densidad (14,85 g) difirió estadísticamente ($p=0,0078$) respecto a la alta (15,89 g).

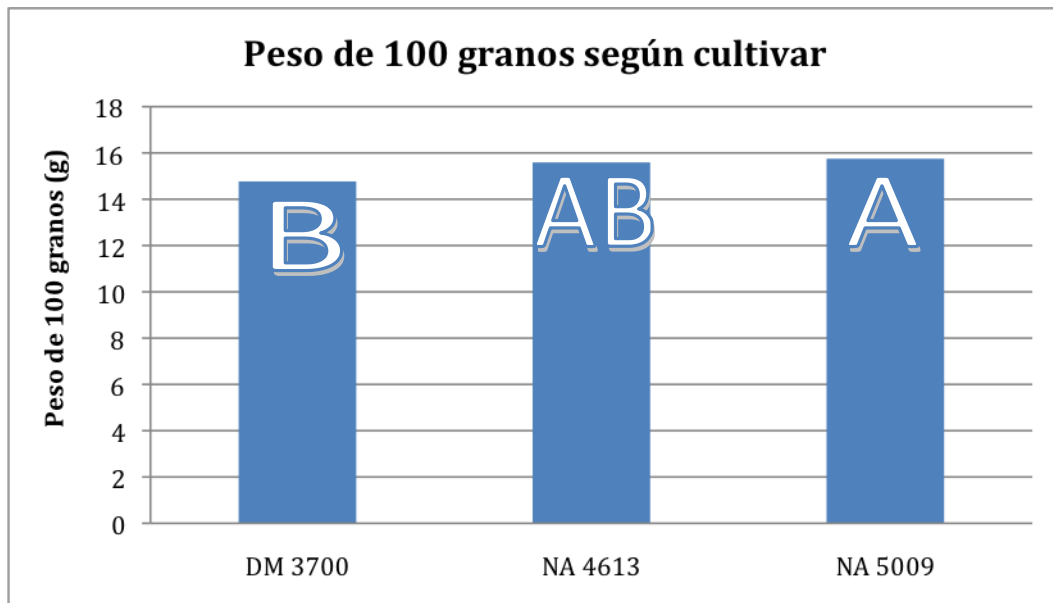


Figura 28: Peso de 100 granos en función de los diferentes cultivares.

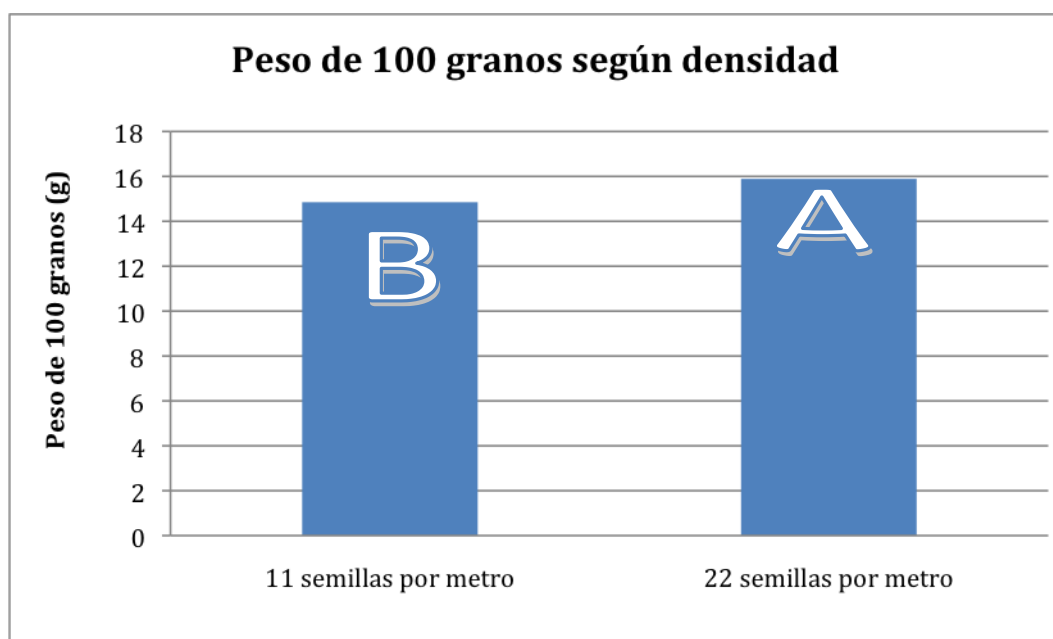


Figura 29: Peso de 100 granos en función de las diferentes densidades. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Fisher 5 %).

Como vamos analizando a través del trabajo, se observa que el número de granos por vaina y el peso de los granos m^{-2} son menos afectados, esto se debe a que estos componentes del rendimiento son controlados genéticamente, dependiendo más de las variedades utilizadas que de la densidad (Swearingen, 1981; Vega y Andrade, 2000).

Por su parte, la figura 29 nos muestra que hay diferencias estadísticamente significativas ($p=0,0078$) en el peso de 100 granos entre las diferentes densidades, pero no como esperaríamos, ya que nos es lógico pensar que en la baja densidad el cultivo compensa con un grano más pesado, pero

no es así, debido a que el peso de granos es controlado genéticamente y no se modifica con el arreglo espacial, ya que los granos de las densidades bajas son mas livianos, debido a que el cultivo compensa en número más que en peso.

s). Rendimiento ha⁻¹

La figura 30 muestra el rendimiento ha⁻¹ para el factor variedad, que no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (p=0,6084). El cultivar NA 5009 tuvo un rendimiento de 2650,7 kg ha⁻¹, levemente inferior respecto al cultivar NA 4613 (2710,3 kg ha⁻¹). Por su parte DM 3700 rindió 2538,5 kg ha⁻¹. La figura 31 el rendimiento en función de la densidad; la baja densidad (2639,7 Kg ha⁻¹) no difirió estadísticamente (p=0,9272) con la alta densidad (2626,3 Kg ha⁻¹).

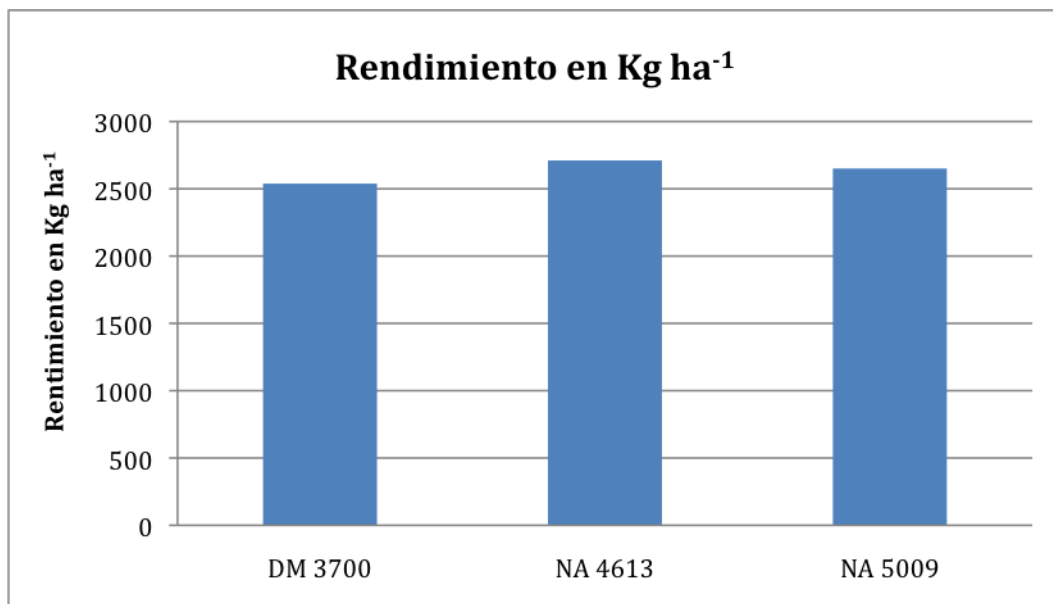


Figura 30: Rendimiento en Kg ha⁻¹ en función de los diferentes cultivares.

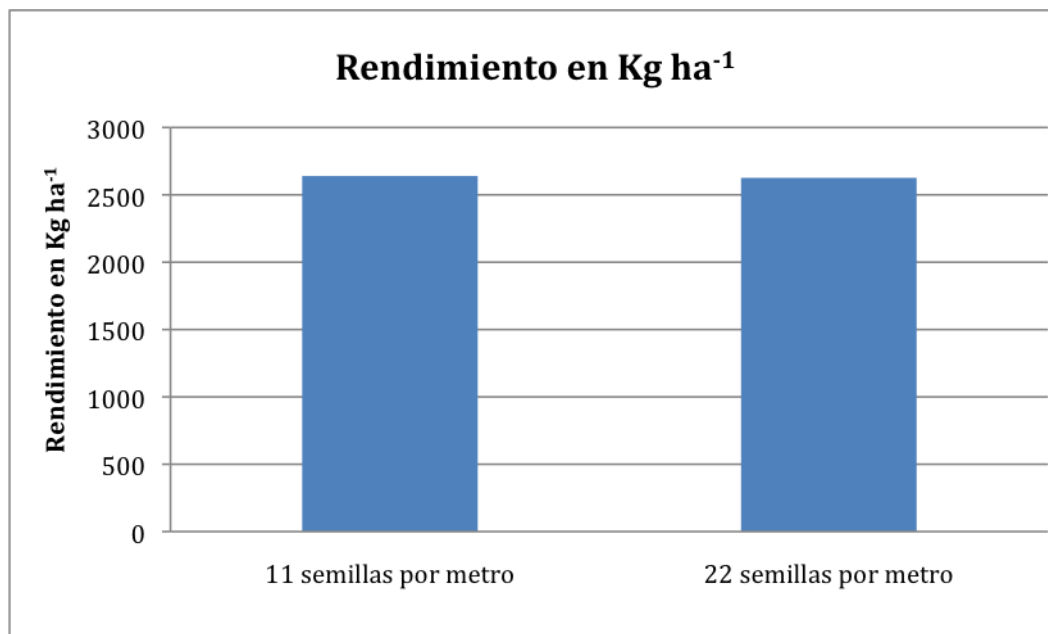


Figura 31: Rendimiento/ha en función de las diferentes densidades.

El cv DM 3700, de menor duración de ciclo y por ende menor altura, tuvo menos número de ramas y número de nudos, los tallos pesaron menos, generando menor cantidad de vainas por planta. El peso de 100 de este material genético fue menor debido a las condiciones hídricas del año coincidiendo con su menor duración del período de llenado de granos. Uno de los componentes de alta heredabilidad es el número de semillas por vaina, que en este caso fue mayor, logrando aumentar el número de semillas por superficie y compensando la caída individual de los componentes, alcanzando el rendimiento de los dos cultivares restantes. En los materiales mas largos, se observó el mecanismo inverso, es decir, una mayor altura y mas nudos, tallos mas pesados, con una mayor cantidad de vainas y mayor peso por superficie.

Los densidades de siembra tuvieron un fuerte impacto sobre la morfología y los componentes del rendimiento. A menores densidades las plantas fueron de menor altura y sus tallos mas gruesos, aumentó el número de nudos y ramas por planta, por ende hubo mayor cantidad de estructuras reproductivas por individuo (número y peso tanto de vainas como de granos por planta), se observó un mayor número de granos por superficie, aunque el peso de 100 disminuyó.

Según Satorre *et al.*, (2003), la sensibilidad del rendimiento frente a variaciones de la densidad de plantas, depende de la plasticidad de los genotipos en la generación y fijación de estructuras reproductivas adicionales por planta, es por ello que no se observaron diferencias estadísticas significativas en el rendimiento de las tres variedades tanto en altas como en bajas densidades.

El rendimiento por unidad de superficie es similar en un amplio rango de densidades de siembra debido a que la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en la etapa temprana del período reproductivo

resultaría similar en las distintas densidades de siembra. Esto estaría ligado al hecho que, en bajas densidades de siembra, durante el período vegetativo, la tasa de asimilación neta (TAN) serían mayor por efecto de una mayor eficiencia en la intercepción de la radiación. Luego, durante la última etapa del período vegetativo y a inicios de la etapa reproductiva, la partición de materia seca hacia las ramificaciones sería mayor, entre otras cosas, como respuesta a cambios en la calidad lumínica que percibe el tallo principal (menor relación rojo/rojo lejano) y a la mayor eficiencia de intercepción del cultivo, resultando una mayor tasa relativa de expansión foliar (Satorre *et al*, 2003).

Si bien las diferencias en el rendimiento no son estadísticamente significativas, el cultivar DM 3700 tuvo el rendimiento mas bajo, ya que es un cultivar de ciclo relativamente corto con menor capacidad de compensar que un cultivar de ciclo más largo. El cultivar NA 5009, no muestra un rendimiento superior a NA 4613, debido a que el ensayo se basó en una siembra tardía. El cultivar NA 4613, presentó un rendimiento levemente superior.

Al no existir diferencias estadísticas significativas entre los rendimientos en distintas densidades de siembra se puede afirmar, según los resultados de este trabajo, que el rendimiento por unidad de superficie es similar en un amplio rango de densidades. En bajas densidades la soja desarrolla un número mayor de ramificaciones, aumentando el área foliar por planta y el número de nudos potenciales a la vez que disminuye el aborto de flores (Valentinuz, 1996). El menor aborto de flores determina un aumento en el número de vainas por nudo reproductivo (Carpenter y Board, 1997). Estos mecanismos permiten incrementar el número de vainas y de granos por planta, manteniendo estable el rendimiento en un rango de densidades más o menos amplio. El número de granos por vaina y el peso de los granos por superficie son menos afectados (Swearingen, 1981; Vega y Andrade, 2000).

CONCLUSIONES

Los cultivares de soja evaluados de ciclo intermedio-corto, DM 3700 (GM III), intermedio, NA4613 (GM IV) e intermedio-largo, NA5009 (GM V), sembrado en dos densidades (11 y 22 sem/m de surco) en la zona de Italó (Departamento Gral Roca, Córdoba) en el ciclo agrícola 2008/09, no mostraron diferencias estadísticas significativas en el rendimiento.

El cv mas corto tuvo menos número de ramas y nudos, generando menor cantidad de vainas por planta. Por su parte el peso de 100 fué menor y el número de granos/vaina mayor, logrando aumentar el número de granos por superficie y compensando la caída individual de los componentes y alcanzando el rendimiento de los dos cultivares más largos. En los materiales mas largos, se observó el mecanismo inverso, es decir, mas nudos, mayor cantidad de vainas y mayor peso específico.

Respecto a las densidad, se observó el efecto compensatorio que posee este cultivo ante cambios en la misma, es decir, la ramificación y el número de nudos aumenta al disminuir el número de plantas, esto hace que aumente el número de vainas por nudo, incrementando así el número de granos por planta, manteniendo estable el rendimiento, explicando esta falta de variación y poniendo de manifiesto la plasticidad de la soja.

Se acepta la hipótesis planteada, “bajo las condiciones de este estudio, los cultivares de soja de ciclo intermedios-largo (GM V), sembrados a menor densidad, tuvieron similar rendimiento que los ciclos intermedios-cortos (GM III) en siembras con densidad normal.

Las condiciones climatológicas y la fecha de siembra tardía tuvieron un efecto negativo sobre la expresión del rendimiento de los 3 cultivares utilizados en las dos densidades de siembra bajo estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- AGROSITIO, 2009. Campaña 08/09, duro impacto del clima.
En: www.agrositio.com; Consultado: 30/07/10
- ANDRADE, F. E., AGUIRREZABAL, L. A. N. y RIZALLI, R. H. 2000. Crecimiento y rendimiento comparados. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Andrade, F. E. y Sadras, V. O., editores. Editorial Médica Panamericana S.A.
- ANDRADE, F.H., y M.A. FERREIRO. 1996. Reproductive growth of malze, sunflower and soybean at different source levéis during grain filling. **Field Crops Res.** 48:155- 165.
- AV NATURAL, 2010. Origen e historia de la soja.
En: http://www.avnatural.com/art/origen-e-historia-soja_10. Consultado: 23/11/10
- BAIGORRÍ, H. E. 1997, Ecofisiología del cultivo. En: El cultivo de la Soja en Argentina. Giorda, L. y Baigorri, H., editores.
- BAIGORRÍ, H. E. 2004, Soja INTA: Actualización 2004; Criterios para la elección y manejo de cultivares de Soja.
- BAIGORRÍ, H. E. 2010, Consultoría de Elección y manejo de cultivares.
En: www.planetasoja.com; Consultado: 05-09-2008.
- BAIGORRÍ, H.E. y E. MARTINI 2007, Siembra directa: El cultivo de soja y la intensificación de la producción agropecuaria, Aapresid.
- BALZARINI, M.G., GONZALEZ, L., TABLADA, M., CASANOVES, F., Di RIENZO, J.A., ROBLEDO, C.W. (2008). Infostat. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina
- BRUENING, W.P., y D.B. EGLI. 1999. Relationship between photosynthesis and seed number at phloem isolated nodes in soybean. **Crop Sci.** 39:1769-1775.
- BOARD, J.E., y Q. TAN. 1995. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. **Crop Sci.** 35:846-851.

BOARD, J. M., KANG, M. S. y HARVILLE, B. G. 1999. Path analyses of the yield formation process for late-planted soybean. **Agronomy Journal**, vol. 91, January 1999.

CARPENTER, A.C. y J.E. BOARD. 1997. Branch yield components controlling soybean yield stability across plant populations. **Crop Sci.** 37: 885-891.

CARRASCO LOPEZ JOSE M. 1994. Influencia del grupo de maduración, densidad de plantas y espaciamento entre líneas en el crecimiento y rendimiento de la soja (*Glycine max*, L.). Universidad Nacional de Córdoba, Departamento de ciencias y recursos, agrícolas y forestales.

DAY, S.R. EGLI, D.B. y D.A. REICOSKY. 1980. Physiological aspects of yield improvement in soybeans. **Agron. J.** 72:387-391.

DUNCAN, W.G. 1986. Planting patterns and soybean yields. **Crop Sci.** 26: 584-588.

EGLI, D.B. 1988. Plant density and soybean yield. **Crop Sci.** 28: 977-981.

EGLI, D.B. 1994. Mechanism responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. **Agron. J.** 86: 1046-1049.

EGLI, D.B. 1998. Seed biology and the yield of grain crops, 1sted. CAB International, Oxford. Egli, D.B., R.D. Guffy, and J.E. Leggett. 1985. Partitioning of assimilate between vegetative and reproductive.

GARCÍA, F. 2003. Nutrición y manejo de la fertilización del cultivo de trigo en la región pampeana.

En: www.impofos.org ; Consultado: 10/09/08.

HEITHOLT, J.J., EGLI D.B. y J.E. LEGGETT. 1986. Characteristics of reproductive abortion in soybean. **Crop Sci.** 26:589-595.

HESKETH, J.D., MYHRE D.L., y C.R. WILLEY. 1973. Temperature control of time intervals between vegetative and reproductive events in soybeans. **Crop Sci.** 13:250- 254.

INTA, 2008. Bioclimatología del sur de Córdoba.

En: www.inta.gov.ar; Consultado: 22/12/08

INTA, 2010. Eficiencia de la cosecha de soja; Nuevos desafíos de adopción tecnológica y nuevos valores de tolerancias.

En: <http://www.econoagro.com/downloads/Eficiencia%20de%20Cosecha%20de%20Soja.pdf>.
Consultado: 28/2/2011

JIANG, H., y D.B. EGLI. 1993. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. **Agron. J.** 85:221-225.

KANTOLIC, A.G., JIMÉNEZ, P.I., DE LA FUENTE, E.N., MADDONNI, G.A., VILARIÑO, R.A., E I.E. GARCIA DE SALOMONE 2003. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo.

SATORRE, E. H; BENECH ARNOLD, R. L; SLAFER G. A; DE LA FUENTE, E. B; MIRALLES, D. J; OTEGUI M. E. y R. SAVIN. 2003, Producción de granos, Bases funcionales para su manejo, 1er ed. Facultad de agronomía de la Universidad Nacional de Buenos Aires.

SHIBLES, R.M., I.C. ANDERSON, y A.H. GIBSON. 1975. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja, INTA-FCA (UNMdP), Balcarce, Argentina.

SWEARINGIN, M.L. 1981. Soybeans. When to replant. Guide for assessing a poor stand. *Crops and Soils Magazine*. 4 pp.

SYLVESTER , I. 2008. La soja, Origen y difusión. Importancia como complejo oleaginoso. Importancia del la soja en Argentina. En: www.monografias.com/trabajos6/laso/laso.shtml.
Consultado: 19/12/08.

TELLERÍA, G. 2008. La soja, Importancia de la soja en Argentina.

En: www.agriculturadeprecision.org/enscamp/SojaenSurCordoba.htm. Consultado: 13/12/08.

VALENTINUZ, O.R. 1996. Crecimiento y rendimiento comparados de girasol, maíz y soja ante cambios en la densidad de plantas. Tesis Magister Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad nacional de Mar del Plata, Balcarce, Bs.As, Argentina. 45 pp.

VEGA, C.R. y F.H. ANDRADE. 2000. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. En: Andrade, F.H. y V.O. Sadras (eds). Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja. EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. **Pp.** 97-133.

WELLS, R. 1991. Soybean growth response to plant density: relationships among canopy photosynthesis, leaf area and light interception. **Crop Sci.** 31:755-761.

WELLS, R. 1993. Dynamics of soybean growth in variable planting patterns. **Agro. J.** 85: 44-48.