



Facultad de Ciencias Agropecuarias.  
Universidad Nacional de Córdoba.



**Área de consolidación: Métodos Cuantitativos para la Investigación Agropecuaria.**

**“Efecto de grupos de madurez de  
*Glycine Max (L.) Merr.*, cultivo de Soja, sobre las  
variables de crecimiento y desarrollo en la región  
centro de Córdoba”**

**Tutores:**

Ing. Agr. PhD. Mónica Balzarini (Coordinadora del Área de Consolidación)

Ing. Agr. Rubén Toledo (Profesor asistente de la Cátedra de Cereales y Oleaginosas)

Estefania Del Vecchio.-

## Introducción.

Dentro de los cultivares comerciales de *Glycine Max (L.) Merr.*, existe un rango muy amplio en la duración del ciclo, y por esta razón se agrupan en grupo de madurez (GM) “*Un grupo de madurez permite agrupar genotipos de similares exigencias fototérmicas, y por lo tanto presentan las mismas respuestas fotoperiodicas que interactúan con las temperaturas. La clasificación más difundida que divide a los cultivares en grupo de madurez (GM) enumerados con números romanos del I al IX es la originada en los EE.UU.*” (Giorda L., y Baigorri H., 1997). Este agrupamiento se basa en la duración de la etapa siembra-floración (S-R1), y refleja la respuesta de los cultivares a la temperatura y el fotoperiodo. En fechas de siembra habituales, en una región geográfica determinada, y en iguales condiciones ambientales, cuanto mas larga es la duración de la etapa S-R1 mayor es el número de GM.

Para elegir el ciclo más adecuado para cada zona podrían considerarse distintos criterios, basados en la elección de cultivares que i) exploren al máximo posible la estación de crecimiento, ii) permitan ubicar los periodos críticos para la definición del rendimiento en momentos de buena disponibilidad de recursos o; iii) permitan escapar de algunas adversidades.

Por otra parte en una misma fecha de siembra, los genotipos de los diferentes GM están sometidos a distintas condiciones ambientales debido al momento de la ocurrencia de los diferentes estados fenológicos y por lo tanto los periodos más críticos se producen bajo distintas condiciones ambientales tales como calidad de suelo, disponibilidad hídrica, radiación solar incidente y temperatura que pueden alterar el desarrollo y el crecimiento de la planta como el desarrollo de las semillas y/o su calidad, según el momento en que cada factor se constituya en limitante.

Los factores climáticos, de suelo y genéticos condicionan el crecimiento y el rendimiento del cultivo afectando al número de semillas por m<sup>2</sup> y su peso unitario; “*los limites superiores del número de semillas por vaina y de tamaño de semilla están determinados genéticamente. No obstante, estos dos componentes pueden variar lo suficiente como para producir incrementos mensurables de rendimiento.*” (Giorda L., y Baigorri H., 1997). La respuesta general encontrada es que el número de semillas por m<sup>2</sup> es el componente más asociado con las variaciones de rendimiento en soja. Sin embargo, hay situaciones que el rendimiento se explica por las variaciones en el peso unitario

y/o por las variaciones conjuntas. Cada componente es afectado con distinta intensidad por el ambiente en cada etapa de desarrollo y dentro de ciertos límites, hay capacidad de compensar, las reducciones en un componente aumentando el subsiguiente, una vez desaparecido el estrés, especialmente el hídrico y de radiación solar. Las mayores disminuciones de los rendimientos han sido atribuidas a la inadecuada provisión hídrica edáfica; estrés que se agrava porque la fijación simbiótica del nitrógeno es muy sensible al estrés hídrico.

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento fenológico durante el ciclo del cultivo y de las características de crecimiento sobre el rendimiento y sus componentes, en cultivares de los grupos de madurez II al VI, en fecha de siembra recomendada para la zona centro de la Provincia de Córdoba.

## **Marco Teórico.**

### **Generación del rendimiento; fisiología de la generación del rendimiento.**

El número de plantas establecidas por unidad de superficie tiene un efecto neutro sobre el número de granos y sobre el rendimiento, ya que una densidad menor de plantas es compensada por un número mayor de nudos en las ramificaciones o por un aumento de la fertilidad de cada nudo.

Número de granos.

El número de granos por unidad de superficie es un componente complejo que incluye la generación y el establecimiento de diferentes órganos de la planta.

Número de nudos.

Aparición de nudos en el tallo principal comienza en emergencia y progresa hasta después de floración. El número de nudos que se diferencian en el tallo principal depende principalmente de las condiciones fotoperiódicas previas a floración, y a la sensibilidad al fotoperíodo y el hábito de crecimiento del genotipo.

Número de vainas por nudo.

Existe una fuerte dependencia a la tasa de crecimiento del cultivo, este subcomponente muestra una marcada variabilidad frente a cambios en el ambiente. La ocurrencia de deficiencias hídricas o cualquier otro tipo de estrés que comprometa la fotosíntesis reduce el número de vainas por nudo. Así mismo la temperatura inferiores a 21°C reducen el establecimiento de vainas por debajo de 14°C no hay fijación de frutos.

Número de granos por vainas.

Uno o más granos de una vaina pueden abortar antes de ingresar en su fase de llenado efectivo, modificando el número de granos logrados por vaina. Sin embargo, el número de granos por vaina es mucho más estable que los demás subcomponentes del número de granos ante variaciones ambientales.

Peso de granos.

La semilla acumula materia seca a un ritmo sostenido hasta madurez fisiológica. El peso final del grano está en función de su tasa de crecimiento y de la duración del periodo.

## Materiales y Métodos.

### Ensayo

El ensayo se realizó en el área experimental del campo escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba (31° 19' LS, 64° 13' LW), camino a Capilla de los Remedios Km. 15, Córdoba. Se caracterizó el tipo de suelo del sitio de muestreo (series y fase, clasificación, capacidad de uso, características texturales, densidad aparente, capacidad a campo, punto de marchites permanente) observando que el sitio del ensayo corresponde a un haplustol éntico, franco limoso en superficie y subsuelo, bueno a algo excesivamente drenado con capacidad de uso III e índice de productividad 68.

El diseño experimental se realizó en bloques completos aleatorios (DCBA) con 3 repeticiones, el cultivar fue el tratamiento evaluado y constó de 10 niveles o cultivares. Los cultivares se seleccionaron en función de su importancia de superficie de siembra, productividad y sanidad en la zona centro-norte de Córdoba (Tabla 1).

Cada unidad experimental (parcela) fue de 5 surcos de 4,5 m de largo, con un espaciamiento entre hileras de 0,35 m, lo que resulta en una parcela de 7,875 m<sup>2</sup>. Las mismas se realizaron sin dejar espacios libres entre ellas, con el fin de simular condiciones reales de cultivo, y luego se evaluó el sector central de cada parcela, es decir descartando las borduras.

Este ensayo forma parte de la Red Nacional de Soja.

Tabla 1. Cultivares, grupo de madurez y habito de crecimiento.

	Cultivar	Grupo de madurez	Habito de crecimiento
1	DM2200RR	II	Indeterminado
2	DM3810RR	III	Indeterminado
3	DM4210RR	IV	Indeterminado
4	SP4X4RR	IV	Indeterminado
5	FN4.85RR	IV	Indeterminado
6	SRM5001RR	V	Indeterminado
7	NA5009RG	V	Indeterminado
8	NA5509RG	V	Indeterminado
9	NA6126RG	VI	Determinado
10	DM6.2iRR	VI	Indeterminado

La siembra fue realizada el día 12 de noviembre de 2013, fecha elegida en base al rango recomendado para siembras del cultivo en la zona de investigación y a causa de los factores climáticos y agua en el suelo.

Tabla 2. Datos climáticos desde fecha de siembra, en todos los meses y en el total del ciclo.

	Precipitaciones acumuladas [mm]	Temperatura del aire [°C]			Humedad Relativa [%]	Evapotranspiración [mm]
		Medias promedio	Mínimas promedio	Máximas promedio	Promedio	Suma
Noviembre	63,8	21,73	13,73	29,5	62	126,7
Diciembre	87	26,25	17,81	34,45	56,84	233,4
Enero	52,4	25,02	17,79	32,16	62	198
Febrero	206	20,94	16,03	25,73	90,39	101,7
Marzo	112,2	17,99	11,53	24,38	85,27	110,6
Abril	55,4	17,09	10,91	22,69	81,67	73,2
Total ciclo	576,8	21,46	14,64	28,06	73,66	843,6

Se analizó la disponibilidad de agua en el suelo (contenido de agua gravimétrica de cada horizonte y hasta los 200 cm de profundidad).

Al inicio del cultivo se realizaron dos muestreos en diferentes zonas del área a sembrar, se obtuvo en el sector sur 164,96 mm de agua útil, y en el sector norte 178,06 mm de agua útil (Figura 1).

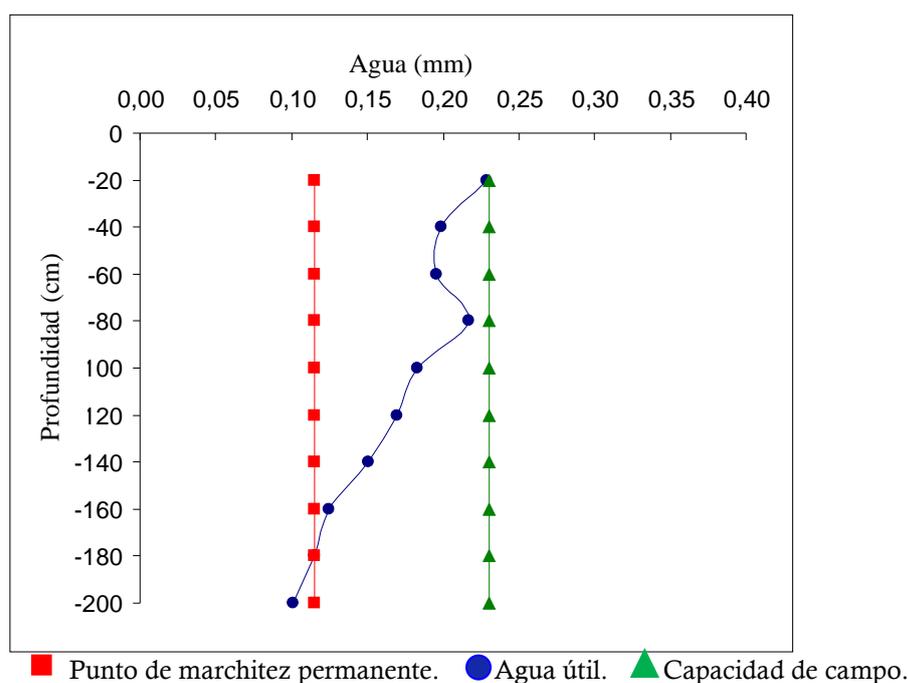


Figura 1. Perfil de suelo, con referencias de agua antes de la siembra.

A la emergencia y a la cosecha se determinó la densidad y la uniformidad de la distribución espacial de las plantas. Se realizó un conteo de la cantidad de plantas por metro lineal en cada parcela y se observó visualmente la distancia entre las mismas.

## **Variables Registradas**

### Desarrollo

El desarrollo de los cultivares fue medido de acuerdo a la escala de Fehr y Cavinee (1977) considerando la fecha de emergencia (VE), inicio de floración (R1), indicio de la formación de vainas (R3, plenitud de la formación de vainas (R4), inicio de llenado de granos (a-R5 propuesto por Fehr y Caviness, 1977, y b- R5 modificado, como fecha de aparición de la primera vaina con semillas 3mm de largo, en cualquier nudo del tallo), plenitud del llenado de granos (R6), inicio de madurez o madurez fisiológica (R7) y plenitud de madurez (R8). A partir de estos parámetros se calculó la duración de las etapas VE-R7, R1-R7 y R5-R7.

### Crecimiento

Se determinó la altura, el número de nudos en 10 plantas de cada parcela y en 2 m lineales de surco los componentes de rendimiento a la cosecha (número y peso seco de plantas, vainas y semillas). A partir de estas variables se calculó la biomasa aérea total y el índice de cosecha.

## **Análisis estadístico**

Se realizaron gráficos de barra comparando los cultivares en los distintos estados fenológicos. A partir de estos gráficos se observó cómo varía la duración en cada etapa fenológica en los diferentes cultivares. A través de Análisis de la Varianza (ANAVA), se analizó respuestas de las variables medidas a campo comparando los diferentes cultivares. Este análisis permite probar hipótesis referidas a los parámetros de posición (esperanza) de dos o más distribuciones. La hipótesis que se somete a prueba es la hipótesis nula que en este caso representaría

a que todos los cultivares respondieron similares a una variable en cuestión. Se seleccionó el método de comparaciones múltiples propuesto por Fisher (LSD Fisher) para comparar las medias de los cultivares de a pares. InfoStat reporta las medias ordenadas de menor a mayor y acompañadas por una letra, de manera tal que las medias que tienen la misma letra no muestran diferencias estadísticamente significativas entre ellas, el nivel de significación propuesto fue 0,05.

Mediante un análisis de componentes principales (ACP) se estudió cómo interactúan los diferentes componentes del rendimiento. Este estudio permitió analizar la interdependencia de variables métricas como número de vainas por plantas, número de granos por vainas, peso de mil granos, índice de cosecha y rendimiento, y encontrar una representación gráfica óptima de la variabilidad de los datos de una tabla de 30 observaciones y 5 variables. El análisis de componentes principales trata de encontrar, con pérdida mínima de información, un nuevo conjunto de variables (componentes principales) no correlacionadas que expliquen la estructura de variación en las filas de la tabla de datos. En este trabajo se realizó el ACP sobre los datos estandarizados dado que las unidades de medida y las varianzas de las variables son diferentes. De otro modo las variables con mayor varianza tendrán demasiada influencia en la determinación de la solución.

Por último se implementó un Análisis de Sendero (path análisis) (*Balzarini et al, 2008*). Es bien conocido que las correlaciones observadas entre dos variables no pueden ser usadas para establecer relaciones causales. Cuando una variable precede en tiempo a otra y/o se puede postular la existencia de relación causal (y se supone que esta es lineal) se pueden utilizar modelos lineales para expresar dicha relación. El objetivo del *análisis de sendero* es proveer posibles explicaciones causales de las correlaciones observadas entre la variable dependiente, en este caso el rendimiento y una serie de variables causales, número de vainas por plantas, número de vainas por m<sup>2</sup>, número de granos por vainas, número de granos por m<sup>2</sup>, y peso de mil granos (variables exógenas o independientes). Para el análisis de los datos se utilizó el programa InfoStat versión 2014 (*Di Rienzo et al., 2014*).

## Resultados y Discusión

Los diferentes cultivares respondieron de manera desigual a la duración en días en cada una de las etapas fonológicas del cultivo.

Etapa R1 se considera desde el comienzo floral, una flor abierta en cualquier nudo del tallo. Se observa un aumento escalonado en la duración en días del periodo R1, desde el cultivo de menor GM, con una duración de 19 días, hacia el de mayor GM, con una duración de 50 días. (Figura 2)

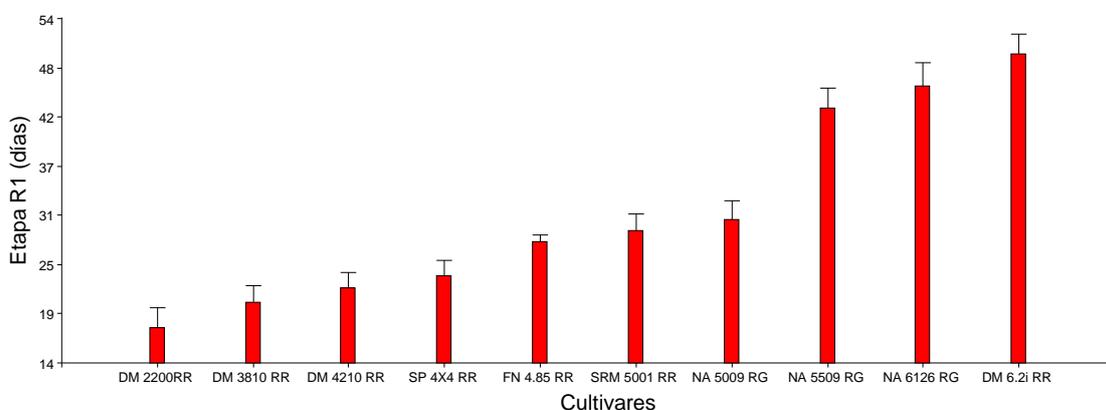


Figura 2. Días de duración en la etapa R1 de cada cultivar.

La etapa R2 se lo considera plena floración, una flor abierta en alguno de los dos nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada. No hubo registro de este periodo.

Etapa R3. Comienzo de fructificación, una vaina de 5 mm de largo en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada. Como se puede observar en la Figura 3 hubo un similar comportamiento entre los cultivares en cuanto a esta etapa, dissociando a tres de ellos, NA 5509 RG, NA 6126 RG y DM 6.2i RR, que respondieron con menor duración en días y corresponden con cultivares de GM altos (V y VI).

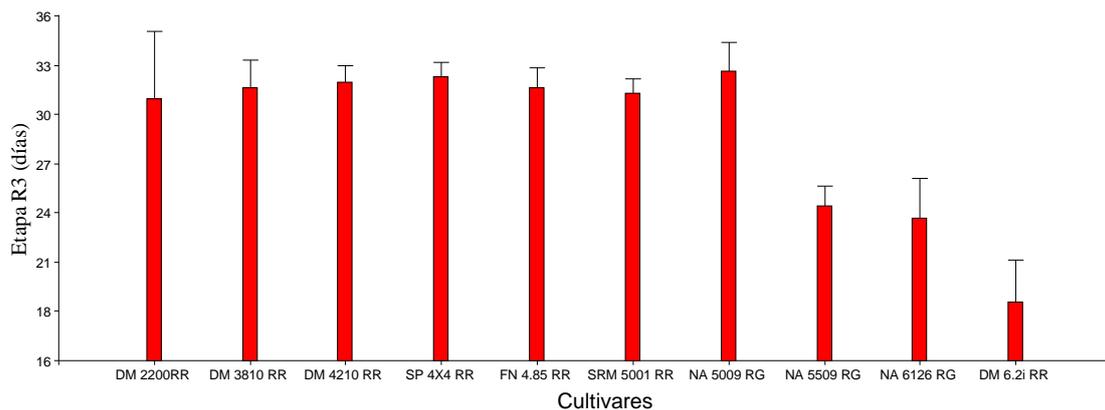


Figura 3. Días de duración en la etapa R3 de cada cultivar.

Etapa R4. Plena fructificación, una vaina de 2cm de largo en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada. La cavidad de la vaina en la que desarrollara cada semilla se encuentra recubierta por una membrana blanca. Los cultivares se mantuvieron en un rango de 7 y 9 días, como se puede observar en la Figura 4. Los cultivares NA 5509 RG, NA 6126 RG y DM 6.2i RR, están en un rango mayor entre 10 y 11 días, y destacamos al último cultivar con una mayor variabilidad entre repeticiones.

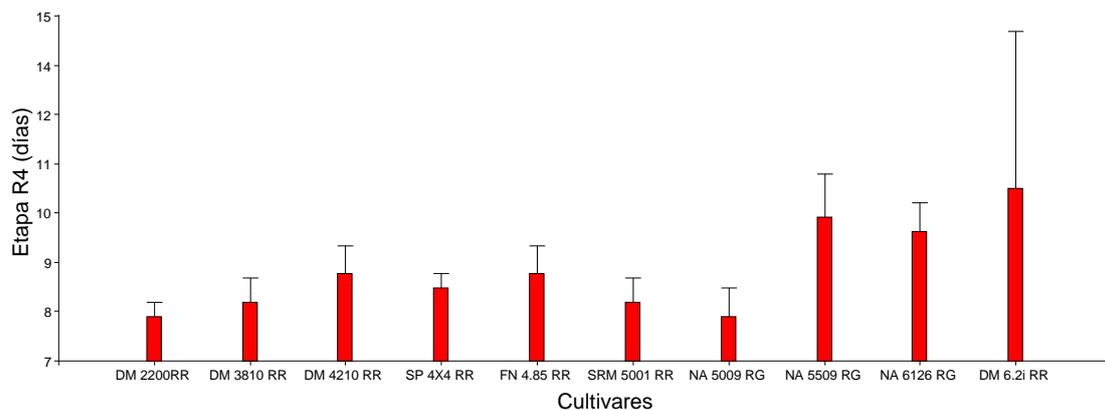


Figura 4. Días de duración en R4 de cada cultivar.

Etapa R5. Comienzo de llenado de granos, semilla de 3mm de largo en una vaina en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada. Esta etapa donde empieza a formarse los granos en vainas, es muy importante ya que originará la cantidad de granos por vainas, los cultivares DM 2200 RR, DM 3810 RR y DM 4210 RR fueron los que menos días duraron en

la misma, en contra cara están los cultivares SP 4X4 RR, FN 4.85 RR y SMR 5001 RR, con mayor duración y variabilidad entre repeticiones. Los demás cultivares presentaron un comportamiento intermedio. Figura 5.

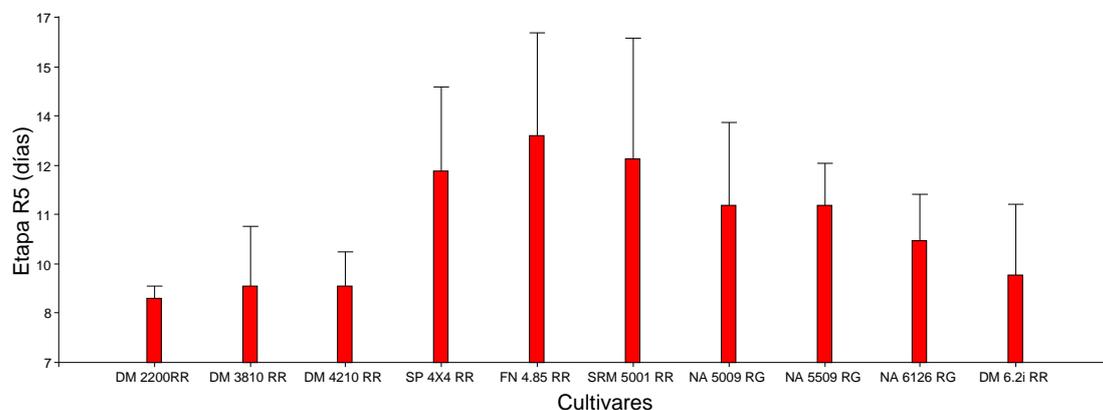


Figura 5. Días de duración en R5 de cada cultivar.

Etapa R6. Máximo tamaño de semilla, una vaina contiene una semilla que ocupa toda la cavidad, en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal. Como se observa en la Figura 6 en esta etapa los cultivares se comportaron disminuyendo del GM II al IV y V y aumentando nuevamente al grupo VI.

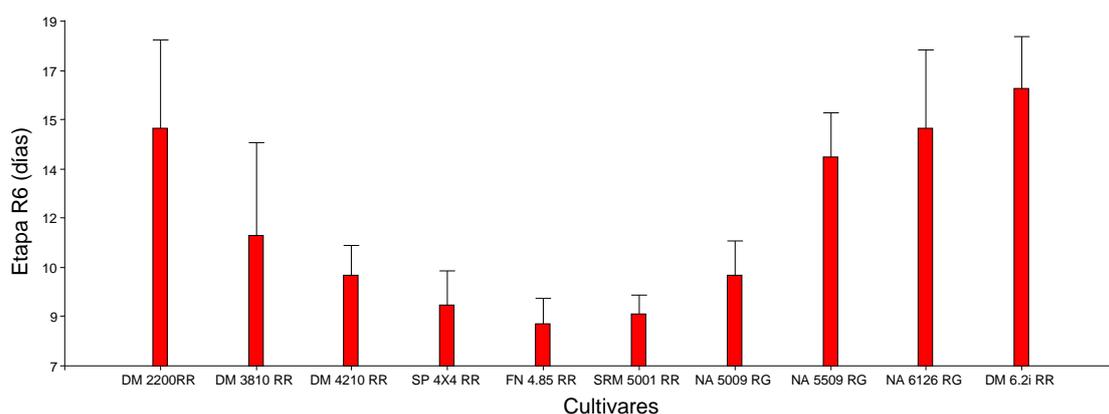


Figura 6. Días de duración en R6 de cada cultivar.

Etapa R7 es considerada como comienzo de madurez, una vaina normal ubicada en el tallo principal ha alcanzado su color típico de madurez. Como se demuestra en la Figura 7 en esta etapa el comportamiento fue distinto en cada cultivar. No encontrándose una tendencia característica.

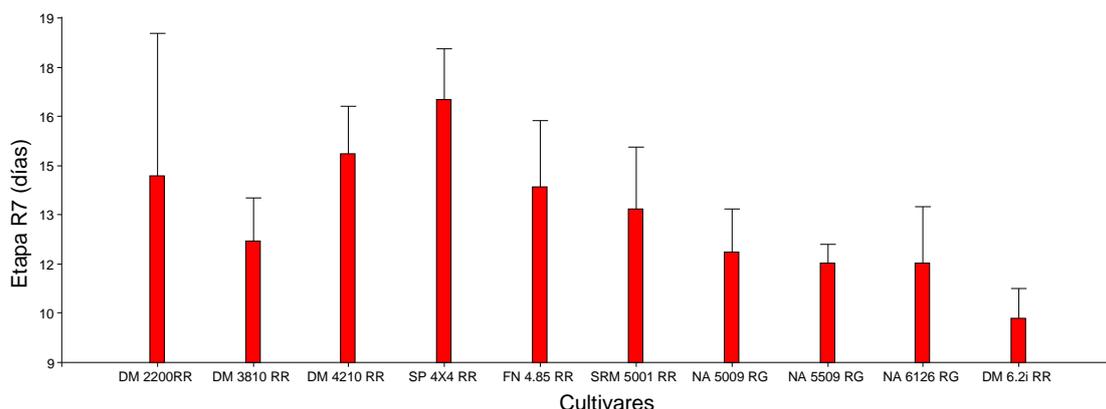


Figura 7. Días de duración en R7 de cada cultivar.

Etapa R8 se considera plena madurez, un 95% de las vainas han alcanzado su color típico de madurez. Aquí el cultivar de DM 2200 RR al ser de grupo de madurez menor y bajo las condiciones de fotoperiodo su duración en esta etapa fue menor que los demás cultivares, como se puede ver en la Figura 8. Los demás cultivares dispusieron duraciones similares, salvo el cultivar NA 6126 RG que se diferencia por ser de crecimiento determinado tuvo mayor duración que los restantes.

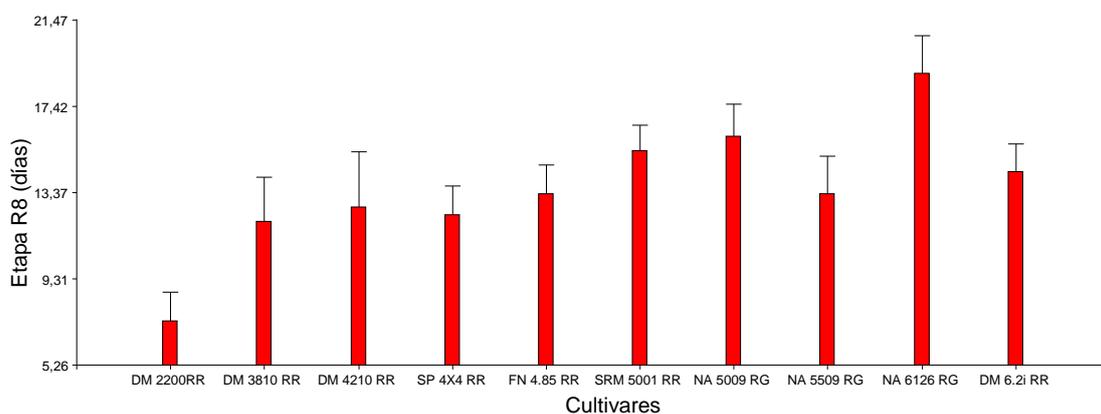


Figura 8. Días de duración en R8 de cada cultivar.

### Variable número de vainas por plantas.

De las 30 observaciones de la variable dependiente número de vainas por plantas (N° vainas/pl), el 35% ( $R^2$ ) de la variabilidad total de la variable respuesta

se puede explicar conociendo las características de cada cultivar y su comportamiento en la zona. El error experimental fue de 34,25% (CV) del valor medio de la variable respuesta. El cuadro de ANOVA indicó que no existe un efecto de cultivar estadísticamente significativo ( $p= 0,3609$ ) respecto al N° de vainas/plantas (kg/ha).

Tabla 3. Medias calculadas por el ANOVA de los cultivares con respecto a número de vainas por plantas.

Cultivar	Medias
NA 6126 RG	56,67
FN 4.85 RR	49,67
DM 6.2i RR	47,33
SRM 5001 RR	45,67
SP 4X4 RR	43,33
DM 4210 RR	43,00
NA 5009 RG	39,00
DM 3810 RR	36,67
NA 5509 RG	31,33
DM 2200RR	26,00

En la Figura 9, se confirma que no prevalece diferencia significativa entre los cultivares, ya que la variación que existe entre ellos es baja. Se resaltó a los cultivos DM 2200 RR y NA 5009 RG, que resultaron tener el menor número de vainas por plantas. Y por otro lado al cultivar NA 6126 RG con el mayor número de vainas por plantas. Los demás cultivares poseen valores cercanos.

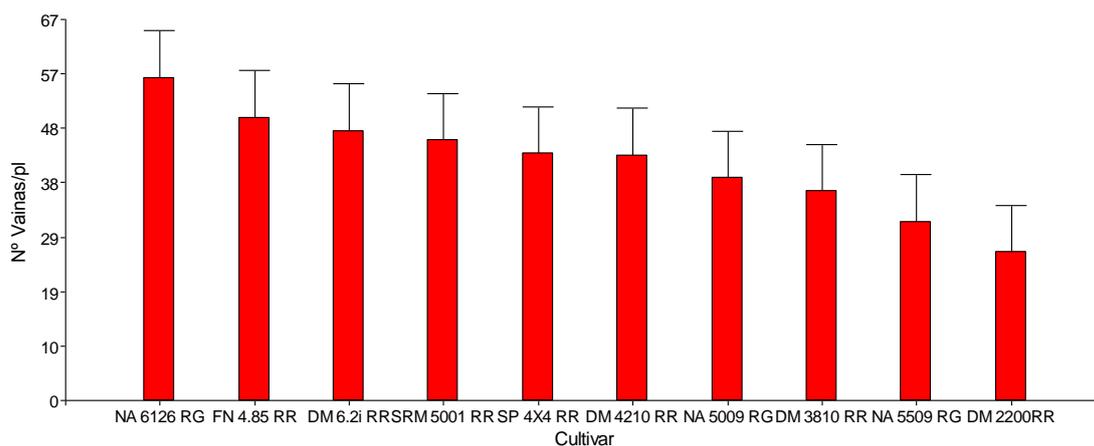


Figura 9. Comparación de medias de cultivares respecto a número de vainas por plantas.

## Variable número de granos por vainas.

De las 30 observaciones de la variable dependiente número de granos por vainas (n° de granos/vainas), el 33% ( $R^2$ ) de la variabilidad total de la variable respuesta se puede explicar conociendo las características de cada cultivar y su comportamiento en la zona. El error experimental fue del 42,68 % (CV) del valor medio de la variable respuesta. El análisis del cuadro de ANOVA indicó que no existe un valor significativo ( $p= 0,4082$ ) del cultivar con respecto al rendimiento (kg/ha).

Tabla 4. Medias calculadas por el ANOVA de los cultivares con respecto a número de granos por vaina.

Cultivar	Medias
SP 4X4 RR	2,51
NA 5509 RG	2,11
DM 3810 RR	1,91
SRM 5001 RR	1,60
FN 4.85 RR	1,56
DM 4210 RR	1,54
DM 6.2i RR	1,46
NA 5009 RG	1,45
DM 2200RR	1,17
NA 6126 RG	1,13

Como se demostró en el ANOVA no existe una diferencia estadística entre los cultivares en cuanto a esta variable. Los números de granos por vaina están en un rango entre 1 y 3, y a la vez se obtuvo mucha variabilidad entre las repeticiones de los cultivares. Se identifica a los cultivares DM 2200 RR y NA 6126 RG con menos de 1,5 granos por vaina. Los cultivares SP 4X4 RR, NA 5509 RG y DM 3810 RR fueron los que resultaron con un mayor número de granos por vaina, los demás cultivares adquirieron un valor intermedio. Figura 10.

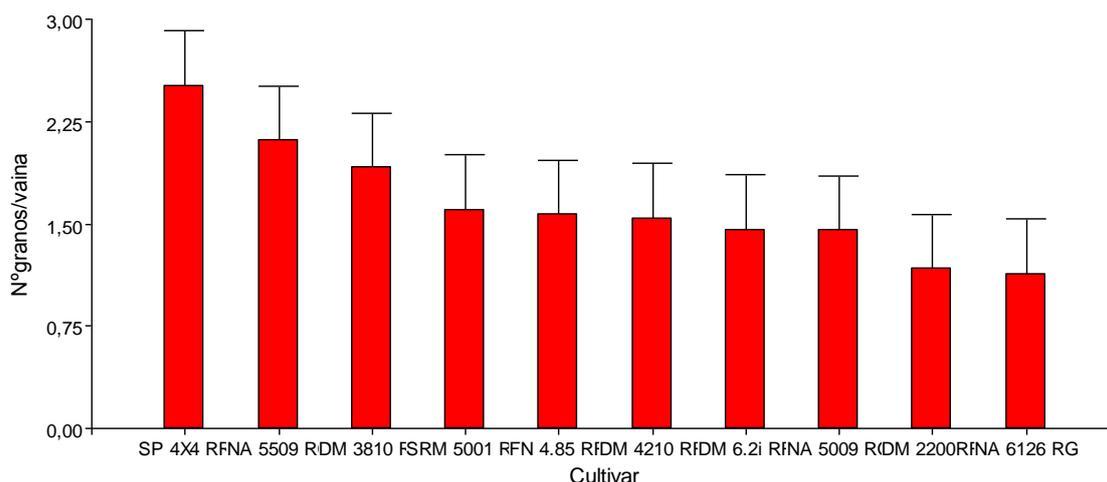


Figura 10. Comparación de medias de cultivares respecto a número de granos por vainas.

### Variable número de granos por m<sup>2</sup>.

De las 30 observaciones de la variable dependiente granos por metro cuadrado (nº de granos/m<sup>2</sup>), el 56% (R<sup>2</sup>) de la variabilidad total de la variable respuesta se puede explicar conociendo las características de cada cultivar y su comportamiento en la zona. El error experimental fue del 27,81% (CV) del valor medio de la variable respuesta. El análisis del cuadro de ANOVA indicó que existe un valor significativo (p=0,0256) del peso de mil granos entre los cultivares.

Tabla 5. Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=950,53926

Cultivar	Medias	n	E.E.		
SP 4X4 RR	2876,33	3	322,22	A	
FN 4.85 RR	2300,00	3	322,22	A	B
NA 6126 RG	2282,33	3	322,22	A	B
NA 5509 RG	2216,67	3	322,22	A	B
DM 4210 RR	2153,00	3	322,22	A	B
DM 6.2i RR	2078,67	3	322,22	A	B
NA 5009 RG	2006,00	3	322,22	A	B
SRM 5001 RR	1704,33	3	322,22		B C
DM 3810 RR	1639,67	3	322,22		B C
DM 2200RR	814,67	3	322,22		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Analizando la figura 11, se destaca al cultivar SP 4X4 RR por ser el de mayor resultado, con una diferencia representativa por sobre el resto de los cultivares. Posteriormente se considera un grupo de cultivares con una respuesta intermedia compuesto por seis cultivares. Los cultivares SRM 5001 RR y DM 3810

RR se los diferencia por menores índices. Y por último encontramos a DM 2200 RR con el registro más bajo en número de granos por m<sup>2</sup>.

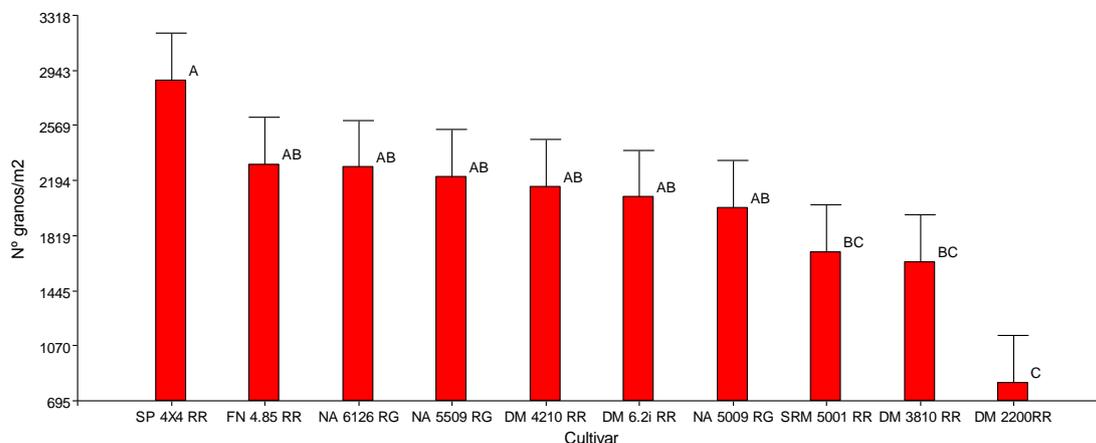


Figura 11. Prueba LSD Fisher para comparación de medias de cultivares respecto a número de granos por m<sup>2</sup>. Cultivares con una letra en común no tienen diferencias estadísticamente significativa.

### Variable peso de 1000 granos.

De las 30 observaciones de la variable dependiente peso de mil granos (peso de 1000 granos g), el 89% (R<sup>2</sup>) de la variabilidad total de la variable respuesta se puede explicar conociendo las características de cada cultivar y su comportamiento en la zona. El error experimental tiene una magnitud que es equivalente al 6,61% (CV) del valor medio de la variable respuesta. El análisis del cuadro de ANOVA indicó que existe un valor significativo (p=0,0001) del peso de mil granos con respecto a los cultivares.

Tabla 6. Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=13,61783

Cultivar	Medias	n	E.E.					
NA 5509 RG	158,07	3	4,62	A				
DM 6.2i RR	151,00	3	4,62	A				
NA 6126 RG	126,49	3	4,62		B			
NA 5009 RG	121,04	3	4,62		B	C		
DM 3810 RR	114,83	3	4,62		B	C	D	
SP 4X4 RR	113,89	3	4,62		B	C	D	E
DM 4210 RR	112,56	3	4,62			C	D	E
DM 2200RR	106,92	3	4,62				D	E
SRM 5001 RR	104,68	3	4,62				D	E
FN 4.85 RR	100,67	3	4,62					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En la figura 12, se representó el peso de mil granos para cada cultivar, distribuidos según las letras asignadas en el análisis del ANOVA. Se identifica diferentes grupos. Primer grupo, representado únicamente por el cultivar FN 4.85 RR, que fue el que obtuvo menor peso de mil granos. Segundo grupo, incluye a SRM 5001 RR, y DM 2200 RR con similares valores entre ellos, pero bajos. En los siguientes dos grupos se incluyen a los cultivares con valores intermedios de peso de mil granos. Tercer grupo, constituido por DM 4210 RR, SP 4X4 RR, DM 3810 RR. Cuarto grupo, integrado por NA 5009 RG y NA 6126 RG. Y por último se distingue al quinto grupo, con los valores más altos de peso de mil semillas, y lo conforman DM 6.2i RR y NA 5509 RG.

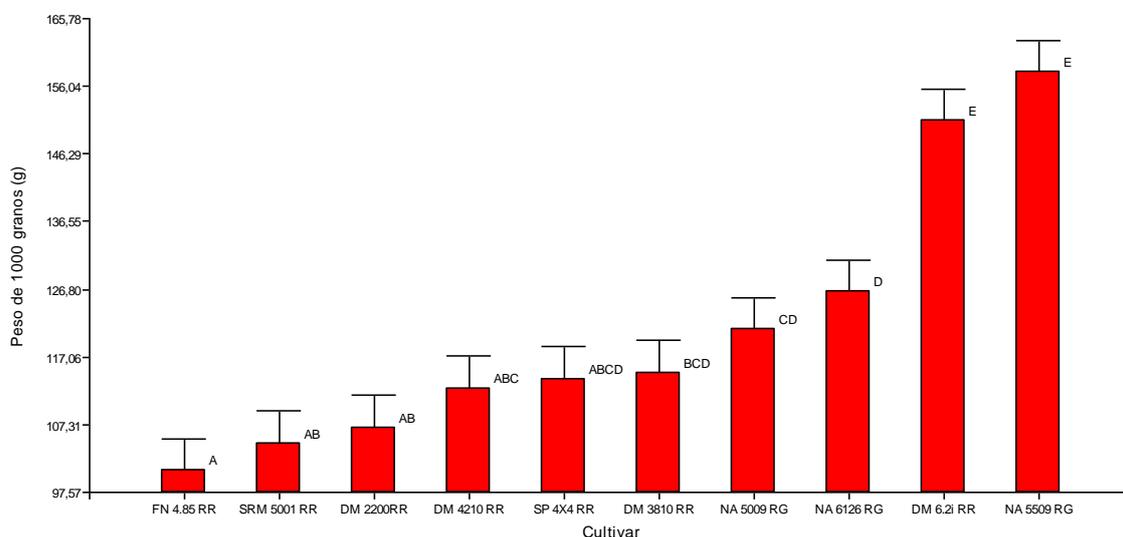


Figura 12. Prueba LSD Fisher para comparación de medias de cultivares respecto a peso de mil granos. Cultivares con una letra en común no tienen diferencias estadísticamente significativa.

### Variable índice de cosecha.

De las 30 observaciones de la variable dependiente índice de cosecha (IC), el 54% (R<sup>2</sup>) de la variabilidad total de la variable respuesta se puede explicar conociendo las características de cada cultivar y su comportamiento en la zona. El error fue del 22,37 % (CV) del valor medio de la variable respuesta. El análisis del cuadro de ANOVA indicó que existe un valor significativo ( $p= 0,0349$ ) del índice de cosecha con respecto a los cultivares.

Tabla 7. Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=0,10923

Cultivar	Medias	n	E.E.			
SP 4X4 RR	0,39	3	0,04	A		
NA 5509 RG	0,35	3	0,04	A	B	
NA 6126 RG	0,35	3	0,04	A	B	
DM 3810 RR	0,29	3	0,04	A	B	C
DM 6.2i RR	0,28	3	0,04		B	C
NA 5009 RG	0,26	3	0,04		B	C
FN 4.85 RR	0,26	3	0,04		B	C
SRM 5001 RR	0,24	3	0,04			C
DM 4210 RR	0,24	3	0,04			C
DM 2200RR	0,21	3	0,04			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

A través del ANOVA y como se muestra en la tabla 7 y en la figura 13, queda demostrado diferentes grupos con comportamientos diferentes. Separado de los demás distinguimos al cultivar SP 4X4 RR con el mayor índice de cosecha, siguiéndole los cultivares NA 5509 RG y NA 6126 RG. Posteriormente se destaca un grupo con índices de cosecha intermedios conformado por cuatro cultivares. Y los cultivares con baja respuesta a esta variable fueron SMR 5001 RR, DM 4210 RR y DM 2200 RR.

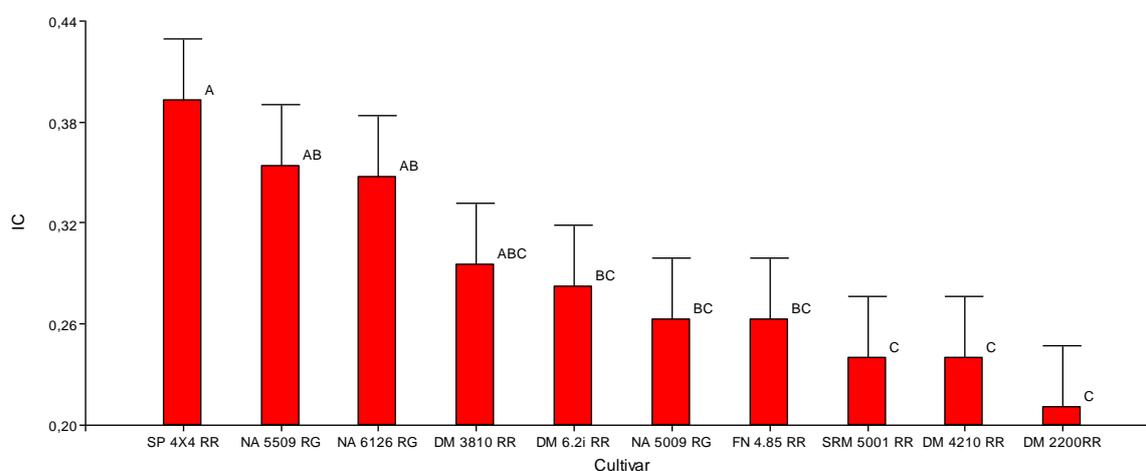


Figura 13. Prueba LSD Fisher para comparación de medias de cultivares respecto a índice de cosecha. Cultivares con una letra en común no tienen diferencias estadísticamente significativa.

### Variable altura al final del ciclo.

De las 30 observaciones de la variable dependiente altura al final del ciclo (Altura1), el 61% (R2) de la variabilidad total de la variable respuesta se puede explicar conociendo las características de cada cultivar y su comportamiento en la

zona. El error fue del 19,42 % (CV) del valor medio de la variable respuesta. El análisis del cuadro de ANOVA indicó que existe un valor significativo ( $p= 0,0098$ ) de la altura al final del ciclo con respecto a los cultivares.

Tabla 8. Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=21,86229

Cultivar	Medias	n	E.E.		
DM 6.2i RR	96,67	3	7,41	A	
NA 6126 RG	75,00	3	7,41	A	B
DM 4210 RR	68,33	3	7,41		B
SRM 5001 RR	66,67	3	7,41		B
SP 4X4 RR	65,00	3	7,41		B
NA 5509 RG	64,33	3	7,41		B
FN 4.85 RR	63,33	3	7,41		B
DM 3810 RR	60,67	3	7,41	B	C
NA 5009 RG	59,67	3	7,41	B	C
DM 2200RR	41,33	3	7,41		C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

El cultivar con mayor altura la final de ciclo fue DM 6.3i RR, como se observa en la figura 14, por las condiciones fototérmicas a la cual fue expuesto y por tener un hábito de crecimiento indeterminado y un GM alto, era de esperarse tal comportamiento. Luego se encuentra el cultivar NA 6126 RG, con el mismo GM pero con hábito de crecimiento determinado. Un grupo de cultivares resultaron con una altura intermedia, agrupados por la letra en común B. Los cultivares DM 3810 RR y NA 5109 RG obtuvieron una menor altura que estos, pero el cultivar con altura más baja fue DM 2200 RR, que al ser el de menor GM por las condiciones fototérmicas fue el que antes terminó su desarrollo vegetativo y el primero en entrar en R1.

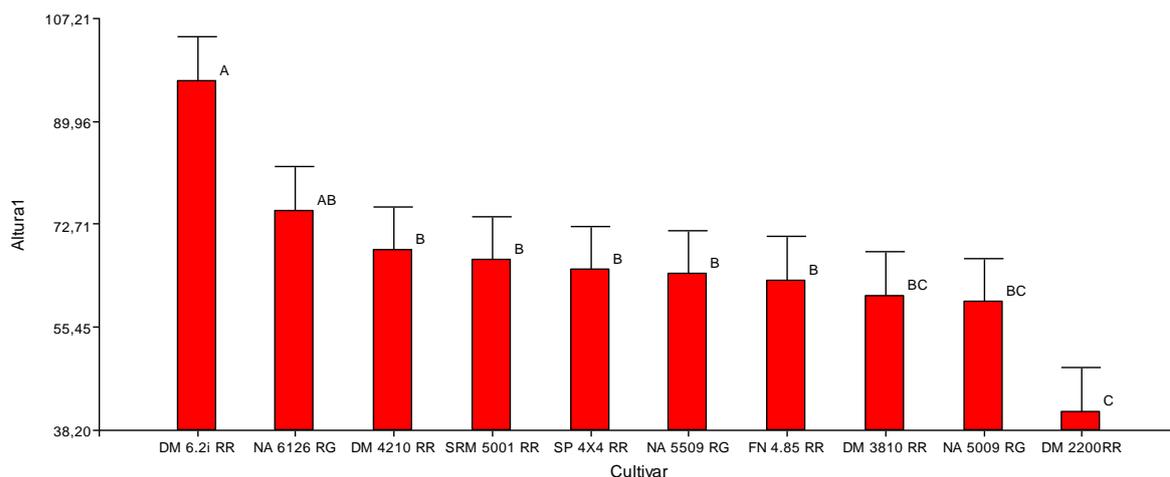


Figura 14. Prueba LSD Fisher para comparación de medias de cultivares respecto a altura al final del ciclo. Cultivares con una letra en común no tienen diferencias estadísticamente significativa.

### Variable Rendimiento.

De las 30 observaciones de la variable dependiente rendimiento (RTO kg/ha), el 69% (R<sup>2</sup>) de la variabilidad total de la variable respuesta se puede explicar conociendo las características de cada cultivar y su comportamiento en la zona. El error experimental fue del 25,43% (CV) del valor medio de la variable respuesta. El análisis del cuadro de ANOVA indicó que existe un valor significativo ( $p=0,0015$ ) del cultivar con respecto al rendimiento (kg/ha).

Tabla 9. Test LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=1192,23147

Cultivar	Medias	n	E.E.						
DM 2200RR	971,25	3	404,15	A					
SRM 5001 RR	1998,75	3	404,15	A	B				
DM 3810 RR	2115,00	3	404,15	A	B	C			
FN 4.85 RR	2613,75	3	404,15		B	C	D		
DM 4210 RR	2726,25	3	404,15		B	C	D		
NA 5009 RG	2756,25	3	404,15		B	C	D	E	
NA 6126 RG	3247,50	3	404,15			C	D	E	
DM 6.2i RR	3525,00	3	404,15				D	E	
SP 4X4 RR	3633,75	3	404,15				D	E	
NA 5509 RG	3933,75	3	404,15					E	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

En la figura 15 se observa la variabilidad de los diferentes cultivares con respecto a la variable rendimiento. Se identificaron grupos de acuerdo a las letras que se le asignaron a los cultivares luego de realizar el ANOVA. Primer grupo, cultivares de bajos rendimientos DM 2200 RR, SRM 5001 RR y DM 3810 RR.

Segundo grupo con rendimientos medios donde se encuentran a los cultivares FN 4.85 RR, DM 4210 RR y NA 5009 RG. Y el último grupo identificado fue el de altos rendimientos, cultivares NA 6126 RG, DM 6.2I, SP 4x4 RR y NA 5009 RG. A su vez se destaca al cultivar con mayor rendimiento, NA 5509 RG, seguido por SP 4X4 RR. Se observó una gran diferencia en el cultivar DM 2200 RR, el cual fue el de menor rendimiento y tiene una discrepancia muy relevante en cuanto al resto de los cultivares.

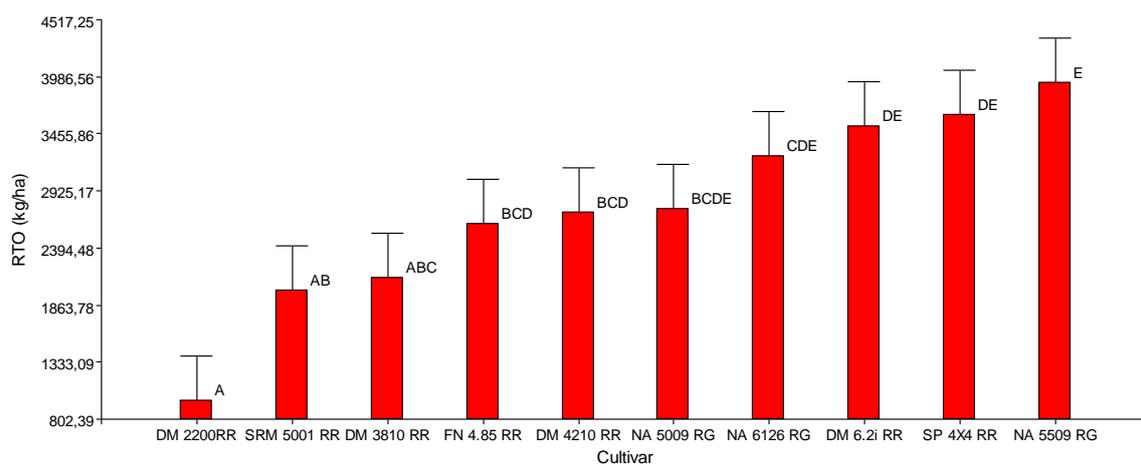


Figura 15. Prueba LSD Fisher para comparación de medias de cultivares respecto a rendimiento. Cultivares con una letra en común no tienen diferencias estadísticamente significativa.

## Variabilidad entre cultivares y correlación entre variables

Como queda representado en la figura 16, la primer componente (CP 1) del ACP realizado sobre las variables morfológicas explica el 53,7% de la variabilidad fenotípica observada, la segunda componente (CP 2) un 23,9%. A partir de la CP 1 quedan bien representadas todas las variables, observando al cultivar DM 2200 RR el cual se encuentra apartado de todos los demás, y el cual obtuvo los mas bajos valores de todas las variables representadas en el grafico. Luego se diferencia a los cultivares SRM 5001 RR, FN 4,85 RR, DM 4210 RR, NA 5009 RG, y DM 3810 RR, obteniendo valores intermedios para las variables en cuestión. Y por ultimo se encuentran los cultivares NA 6126 RG y DM 6.2i RR estando bien relacionados con la variable número de vainas por plantas, y los cultivares NA 5509 RG y SP 4X4 RR relacionados con las variables rendimiento e índice de cosecha.

En particular, las variables número de vainas/plantas y número de granos/vainas son variables bien representadas en la CP2. Altos valores de CP2 están asociados a un número alto vainas por plantas, encontrándose aquí los cultivares NA 6126 RG, FN 4,85 RR, DM 6.2i RR, SMR 5001 RR, y DM 4210 RR. En sus opuestos bajos valores de CP2 asociados a un alto número de granos por vainas, teniendo aquí a los cultivares SP 4X4 RR, NA 5509 RG y DM 3810 RR.

En cuanto a las correlaciones entre variables se deduce que, número de vainas/plantas y número de granos/vainas no se encuentran correlacionadas ya que el ángulo entre los vectores que representan a dichas variables es de aproximadamente 90°. Las demás variables están positivamente correlacionadas, ya que el ángulo entre ambas es cercano a 0°. Se observa que rendimiento esta mas correlacionada positivamente con peso de mil granos e índice de cosecha.

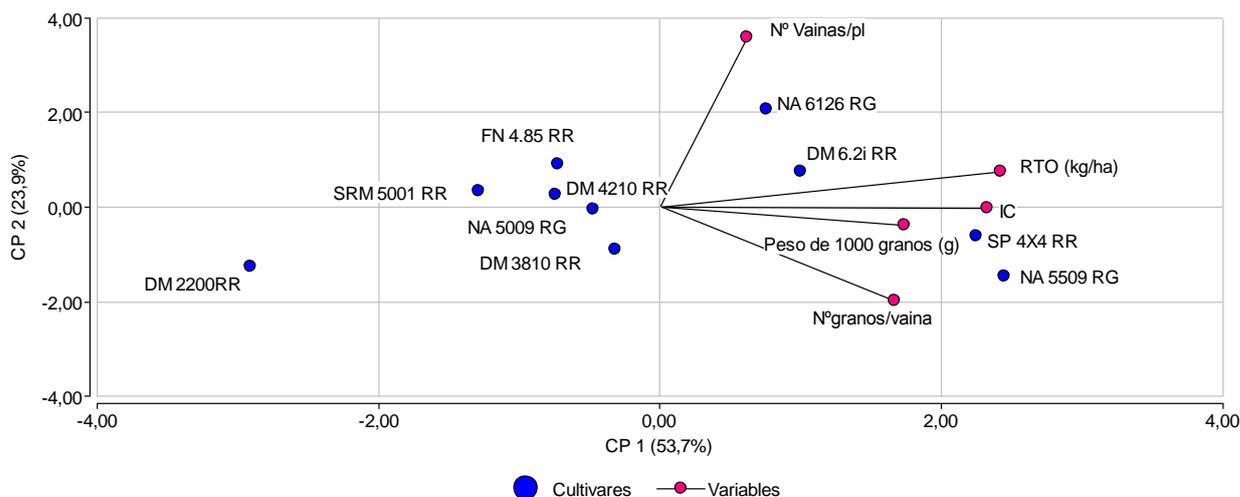


Figura 16. Biplot generado por el análisis de componentes principales, sobre diferentes variables medidas en 10 cultivares de soja.

Para el análisis de sendero de los componentes de rendimiento se seleccionaron aquellas variables exógenas relacionadas directamente con la variable endógena (Rendimiento de gran en kg/ha) como número de vainas por plantas (N° Vainas/pl), número de vainas por m<sup>2</sup> (N° vainas/m<sup>2</sup>), número de granos por vaina (N° granos/vaina), número de granos por metro cuadrado (N° granos/m<sup>2</sup>), y peso del grano (peso de 1000 granos). (Tabla 10)

Tabla 10. Análisis de sendero (path analysis).

Variable dependiente: RTO (kg/ha); n=30

Efecto	Vía	Coeficientes	p-valor
N° Vainas/pl	Directa	0,0151	
N° Vainas/pl	N° Vainas/m2	0,0088	
N° Vainas/pl	N°granos/vaina	-0,0111	
N° Vainas/pl	N° granos/m2	0,3716	
N° Vainas/pl	Peso de 1000 granos (g)	-0,0134	
r total		0,3709	0,0436
N° Vainas/m2	Directa	0,0105	
N° Vainas/m2	N° Vainas/pl	0,0126	
N° Vainas/m2	N°granos/vaina	-0,0125	
N° Vainas/m2	N° granos/m2	0,4044	
N° Vainas/m2	Peso de 1000 granos (g)	0,0452	
r total		0,4602	0,0105
N°granos/vaina	Directa	0,0224	
N°granos/vaina	N° Vainas/pl	-0,0075	
N°granos/vaina	N° Vainas/m2	-0,0058	
N°granos/vaina	N° granos/m2	0,2520	
N°granos/vaina	Peso de 1000 granos (g)	0,0299	
r total		0,2910	0,1187
N° granos/m2	Directa	0,8085	
N° granos/m2	N° Vainas/pl	0,0069	
N° granos/m2	N° Vainas/m2	0,0053	
N° granos/m2	N°granos/vaina	0,0070	
N° granos/m2	Peso de 1000 granos (g)	0,0601	
r total		0,8878	<0,0001
Peso de 1000 granos (g)	Directa	0,4598	
Peso de 1000 granos (g)	N° Vainas/pl	-0,0004	
Peso de 1000 granos (g)	N° Vainas/m2	0,0010	
Peso de 1000 granos (g)	N°granos/vaina	0,0015	
Peso de 1000 granos (g)	N° granos/m2	0,1057	
r total		0,5676	0,0011

$R^2 = \text{Efectos directo} * r \text{ total}$

$$R^2 = (0,0151 * 0,3709) + (0,0105 * 0,4602) + (0,0224 * 0,2910) + (0,8085 * 0,8878) + (0,4598 * 0,5676) = 0.995$$

Sin duda alguna la determinación del sistema estimada en 99,5% (representado por  $R^2$ ) constituye una excelente descripción del rendimiento mediante sus componentes. Como se contempla en la Tabla 10, la variable número de granos por  $m^2$  es la que mayor efecto directo tiene sobre el rendimiento resultando con un efecto del 80,8%. Luego se distingue la variable peso de mil granos con un efecto sobre el rendimiento de un 45,9%. Las restante variables tienen un efecto directo bajo sobre el rendimiento, entre 10% y 15%.

Se analizó los efectos indirectos a través de las variables para con el rendimiento. Se enfatizó las variables que influyen indirectamente sobre la variable

de mayor efecto directo, número de granos por m<sup>2</sup>. Entre ellas se posee número de vainas por m<sup>2</sup> con efecto indirecto de 40,4%, número de vainas por plantas con un 37,1% y número de granos por vainas con un efecto de 25,2%.

Existen algunos efectos indirectos negativos, muy bajos, como ser número de vainas por plantas y número de vainas por m<sup>2</sup> sobre número de granos por vainas.

## **Conclusión.**

Se pudo concluir que, en la zona de investigación, por los resultados obtenidos el cultivar DM 2200 RR no es propicio para este sitio, ya que por las condiciones fototérmicas a la que fue expuesto no consiguió un buen desarrollo fenológico, siendo el primero en entrar en la etapa R1, por lo que su desarrollo vegetativo fue menor, terminando el ciclo con la menor altura. Además obtuvo los más bajos resultados tanto en rendimientos como en todos sus componentes.

El cultivar que mejor respuesta obtuvo fue NA 5509 RG, ya que el mismo tuvo los números más altos en cuanto a rendimiento. A su vez también obtuvo valores altos para peso de mil granos. No fue el que mejor respondió en cuanto a número de vainas por planta, pero esta variable no tuvo un valor significativo entre cultivares, por lo que la alteración que podría provocar en el rendimiento no sería relevante.

## **Bibliografía.**

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.

Balzarini M.G., Di Rienzo J.A., Tablada M., Gonzalez L., Córdoba M., Robledo C.W., Casanoves F. 2012. Estadística y biometría Ilustraciones del uso de Infostat en Problemas de Agronomía. 1ª ed. Córdoba: Brujas.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W., Díaz M.P. 2008. Estadísticas para las Ciencias Agropecuarias. 7ª ed. Córdoba: Brujas.

Giorda L., Baigorri H., 1997. El cultivo de la Soja en Argentina. Ed: Editar. Córdoba.

Mariotti, J.A. 1986. Fundamentos de genética biométrica. Aplicaciones al mejoramiento genético vegetal. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C.

Satorre E., Benech R., Slafer G., De la Fuente E., Miralles D., Otegui M., Savin R., 2003. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Ed: A. Pascale. Buenos Aires.