

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Proyecto

**Análisis biplot de la interacción genotipo × ambiente
en cultivares de soja**

Alumno: **BOEHLER, JULIO FEDERICO**
DNI: **31.301.299**

Director: **IBAÑEZ, MERCEDES ALICIA**

Co-director: **DI RENZO, MIGUEL ÁNGEL**

Río Cuarto – Córdoba
Diciembre 2011

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Análisis biplot de la interacción
genotipo × ambiente en cultivares de soja

Autor: Boehler, Julio Federico

DNI: 31.301.299

Director: Ibañez, Mercedes Alicia

Co-Director: Di Renzo, Miguel Ángel

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

Prof. Gabriel Espósito

Prof. Mercedes Ibañez

Prof. Natalia Bonamico

Fecha de Presentación: _____ / _____ / _____.

Aprobado por Secretaria Académica: _____ / _____ / _____.

Secretario Académico

ÍNDICE

RESUMEN	V
SUMMARY	VI
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	5
OBJETIVOS	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
RESULTADOS	9
DISCUSIÓN	15
CONCLUSIONES	19
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
ANEXOS	23

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro 1. Cultivares de soja utilizados en los ensayos comparativos de rendimiento.	-----6
Cuadro 2. Características de las localidades donde se realizaron los ensayos comparativos de rendimiento de soja durante las campañas agrícolas 2004/05, 2005/06 y 2006/07.	-----7
Cuadro 3. Rendimiento promedio (qq/ha) de grano, desvío estándar, coeficiente de variación, valor mínimo y máximo de los cultivares de soja en las localidades de evaluación durante las campañas agrícolas 2004/05, 2005/06 y 2006/07.	-----9
Cuadro 4. Análisis de la varianza combinado de los 12 cultivares de soja evaluados en 5 localidades durante las campañas agrícolas 2004/05, 2005/06 y 2006/07.	-----10
Figura 1. Biplot GGA del análisis de interacción GA para los 12 cultivares de soja en las 5 localidades del área de influencia de Río Cuarto.	-----11
Figura 2. Triplot de la correlación entre una matriz de interacción entre 12 genotipos y 5 ambientes versus una matriz de 4 covariables ambientales.	-----14
Anexo 1. Mapa con ubicación geográfica de las localidades donde se realizaron los ensayos comparativos de rendimiento durante las tres campañas agrícolas.	-----22
Anexo 2. Manejo agronómico de las macroparcelas de soja.	-----22
Anexo 3. Características del suelo y del clima durante el ciclo del cultivo desde siembra a R6 (madurez fisiológica del cultivo), en las cinco localidades evaluadas durante las tres campañas agrícolas.	-----23
Anexo 4. Rendimiento medio (qq/ha), desvío estándar, coeficientes de variación, mínimos y máximos en cada localidad durante las campañas agrícolas de evaluación.	-----24
Anexo 5. Rendimiento medio (qq/ha), valores mínimos y máximos de 12 cultivares de soja en cada ambiente de evaluación.	-----25
Anexo 6. Rendimiento en grano (qq/ha) de 12 cultivares de soja en ensayos comparativos.	-----27
Anexo 7. Precipitaciones mensuales de las tres campañas agrícolas en los cinco ambientes de evaluación.	-----28
Anexo 8. Kilogramos de granos por mm de lluvia de los 12 cultivares desde Siembra a R6 en las 5 localidades evaluadas durante las 3 campañas agrícolas.	-----30
Anexo 9. Fenología de los cultivares.	-----32

RESUMEN

La soja posee una serie de ventajas requeridas en las empresas agrícolas, como es su amplia adaptabilidad a diversos ambientes y sus menores costos de implantación; comparado por ejemplo, con el girasol y el maíz. Sin embargo muchas veces se siembran cultivares en ambientes donde no producirán el rinde óptimo. Para ello se realizan redes de ensayos multiambientales con el fin de evaluar que cultivar responde mejor en cada zona, teniendo en cuenta la interacción genotipo \times ambiente, y siempre apuntando al rendimiento en grano. En esta experiencia se evaluaron 12 cultivares durante 3 campañas agrícolas en 5 localidades diferentes del oeste de la pampa húmeda. Para el estudio de la interacción genotipo \times ambiente se utilizó el modelo de regresión de sitios (SREG) y su biplot. De dicho análisis se pudo concluir que Villa Mercedes fue el ambiente de mayor capacidad discriminante entre genotipos. Este ambiente podría aproximarse más a lo que es un “ambiente ideal” debido a que fue el más representativo. En este ambiente las diferencias encontradas entre los genotipos serían altamente consistentes con aquellas promediadas sobre todos los ambientes. El genotipo 50048, podría ser considerado como el “genotipo ideal”, debido a que presentó un alto rendimiento y demostró un comportamiento estable. Entre las covariables climáticas y edáficas evaluadas, las precipitaciones y la materia orgánica tuvieron una influencia significativa sobre la producción de grano. La aplicación de este método de análisis permitió además, detectar genotipos adaptados a ambientes específicos. El gráfico de biplot GGA mostró ser una herramienta simple para la identificación de genotipos superiores de soja, cuando estos son evaluados a través de diferentes ambientes.

Palabras clave: *soja, biplot, interacción genotipo \times ambiente, rendimiento de grano, ensayos multiambientales.*

SUMMARY

“Biplot analysis of genotype by environment interaction in soybeans cultivars”

Soybeans crops have many advantages required by agricultural companies, as this crop adapts to different environments and it has lower implantation costs; compared, for example with sunflowers and corn. However, many times cultivars are sown in environments that will not produce its best yield. To decide which cultivar fits better in a determinate environment, multienviroment trials are carried out, considering the interaction between genotype x environment, focusing on yield. In this essay, 12 cultivars, during 3 years in 5 different areas of the west of Argentina were analysed. The sites regression model (SREG) and its biplot were used for the study of genotype interaction x environment. The conclusion of this analysis was that Villa Mercedes was the environment with most discriminative capacities between genotypes. This environment could be called an “ideal environment”, because it was the most representative. In this environment the differences found between genotype were highly consistent compared with that averaged in all environments. The genotype 50048 could be considered as the “ideal genotype”, because it has had a high yield and a stable behaviour. Between the climatic and edaphic covariables, precipitation and organic matter had a significant influence over yield. The application of this method of analysis also permitted to detect genotypes adapted to specific environments. The graphic of biplot GGA demonstrated to be a simple tool to identify superior genotypes of soybeans, when this are evaluated in different environments.

Key words: *soybean, genotype by environment interaction, biplot, seed yield, multienviroment trials.*

INTRODUCCIÓN

La soja (*Glycine max* L) es actualmente la semilla oleaginosa de mayor importancia en el mundo y su cultivo es la actividad más relevante del sector agropecuario argentino, si tenemos en cuenta su rentabilidad y el área sembrada en el país. Los primeros lotes en forma extensiva fueron sembrados en nuestro país en la década del 60 en el sur de Santa Fe. A partir de los años 70 protagonizó una fuerte expansión, que continúa en la actualidad y que modificó profundamente la estructura de la producción agropecuaria y agroindustrial.

El cultivo de soja llegó a la zona oeste de la pampa húmeda hace años para quedarse. Primero, por la facilidad en el control de malezas gracias a la biotecnología que permitió la utilización de glifosato; segundo, por los bajos costos de producción al hacer semilla propia; tercero, por ser una leguminosa y fijar nitrógeno atmosférico reduciendo en gran medida los costos de fertilización nitrogenada, y por último, por la adaptabilidad a una gran diversidad de ambientes tanto ricos como pobres en nutrientes y disponibilidad hídrica. La rentabilidad del cultivo se fue incrementando año tras año debido al aumento de precios a nivel internacional. Estos factores alteraron las ecuaciones de una agricultura sustentable en algunos establecimientos, llevándolos al monocultivo de soja.

El área agroecológica de este cultivo se extiende entre 23° S y 39° S y por lo tanto crece bajo gran diversidad de condiciones climáticas, donde cultivares o variedades de una amplia gama de grupos de madurez (GM), entre II y IX, encuentran ambientes propicios para su desarrollo, pudiendo ser sembrados en un amplio rango de fechas que van desde septiembre a febrero (Baigorri *et al.*, 2002). Estas condiciones dan como resultado considerable variabilidad ambiental dentro de cada área agroecológica.

El rendimiento del cultivo de soja está relacionado con el cultivar, la época de siembra y la región de producción en que se desarrolla. El mercado de semillas de soja ofrece una amplia gama de cultivares comerciales, grupo de madurez, adaptabilidad a diferentes zonas y potencial de rendimiento. La evaluación de genotipos en diferentes ambientes se realiza con el objetivo de recomendar aquellos que se comporten mejor en la mayor cantidad de ambientes de una región determinada y que además, presenten respuesta frente a mejores condiciones ambientales. La región de producción del cultivo de soja cubre extensas áreas ecológicas con amplio rango latitudinal por lo que se observan importantes variaciones en las condiciones climáticas, en especial precipitación, radiación y temperatura. Los nuevos materiales genéticos, así como la incorporación de nuevas tecnologías de manejo del cultivo, se suman a las variaciones

climáticas, haciendo que los caracteres complejos, aquellos regidos por poligenes y afectados por el ambiente, como el rendimiento son altamente variables. Los cambios en el orden de los rendimientos de cada genotipo en los distintos ambientes indican interacción genotipo \times ambiente (GA) y falta de estabilidad del carácter bajo estudio (Yan *et al.*, 2000). La interacción GA conduce a la generación de nichos óptimos para el desarrollo y producción de genotipos diferenciables. La existencia de interacción GA reduce la correlación entre el genotipo y el fenotipo y dificulta la apreciación del potencial genético de los cultivares, manifestándose en mayor medida en caracteres de baja heredabilidad, como lo es el rendimiento de granos. Por lo tanto, la interacción GA disminuye la habilidad de los mejoradores para reconocer diferencias entre cultivares debido a que el comportamiento se hace impredecible y no puede ser interpretado basándose en la media de las variedades y la media de los ambientes. La característica que permite a los genotipos ajustarse a los cambios ambientales cuando se evalúan en distintos ambientes es la estabilidad. La estabilidad de un cultivar para cualquier carácter indica la consistencia de su comportamiento a través de los ambientes. Ante esta situación, la estrategia más usada es seleccionar genotipos de buen comportamiento en un intervalo de condiciones ambientales lo más amplio posible. Esta estrategia supone la conducción de ensayos multiambientales, es decir de ensayos repetidos en el espacio y el tiempo, y la posterior evaluación de los mismos en forma conjunta.

Los ensayos multiambientales, especialmente los ensayos comparativos de rendimiento, son comunes en estudios de variación debido a la presencia de la interacción GA. Estos ensayos son especialmente diseñados y conducidos en varias localidades y por varios años y se utilizan para comparar rendimientos promedios, estabilidad de los rendimientos de los genotipos sobre varios ambientes y promedios de rendimientos en ambientes específicos. En Argentina, son amplias las variaciones estacionales en las áreas de producción de soja; por lo tanto, la estabilidad en el rendimiento es importante en el mejoramiento de la misma. Esta información es valiosa para las empresas semilleras y productores de la región como orientación para las recomendaciones del uso de los genotipos en las distintas áreas agroecológicas de nuestro país. A pesar de los numerosos ensayos multiambientales que se conducen a lo largo y a lo ancho de nuestro país para comparar rendimientos de cultivos, existe muy poca información sobre la variación ambiental en interacción con los genotipos.

El rendimiento se compone de los efectos del genotipo (G), del ambiente (A) y de la interacción genotipo \times ambiente (GA); esta última y el efecto principal de genotipo son importantes a la hora de evaluar los distintos genotipos (Yan *et al.*, 2000). El análisis de ensayos

en ambientes múltiples y de la interacción GA se ha realizado mediante distintos métodos estadísticos univariados como ANOVA y regresión lineal, y métodos multivariados como modelos de efectos aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y modelo de regresión de sitios (SREG) entre otros. La utilización de técnicas de análisis multivariado, que incluyen ANOVA y análisis de componentes principales, permiten agrupar a los genotipos según sus respuestas frente a las condiciones ambientales. El modelo SREG, que incluye en el término bilineal G más GA (GGA) proporciona un análisis gráfico del comportamiento de los genotipos de simple interpretación. Este modelo se ha empleado en distintos países para analizar el rendimiento de cultivares de maíz (Butrón *et al.*, 2004), de trigo (Yan *et al.*, 2000) y de soja (Yan y Rajcan, 2002; Lee *et al.*, 2003). En Argentina el modelo SREG se ha utilizado para el análisis de los datos provenientes de ensayos comparativos de rendimientos multiambientales en pasto llorón (Ibañez *et al.*, 2001), en maíz (Ibañez *et al.*, 2006) y en soja (Dardanelli *et al.*, 2006) entre otros.

En los ensayos comparativos de rendimiento, generalmente se evalúa un gran número de genotipos durante una considerable cantidad de años, por lo que se hace difícil determinar cómo se comporta cada genotipo según el cambio en el ambiente. El biplot GGA obtenido del análisis SREG resume gráficamente los efectos de G más GA y permite identificar el mejor genotipo en cada ambiente. Este gráfico se denomina biplot porque tanto el genotipo como el ambiente se expresan en el mismo gráfico. El biplot GGA se construye a partir de los primeros componentes principales (CP) derivados de la descomposición del valor singular (SVD) del modelo SREG. El CP1 representa la proporción del rendimiento que se debe sólo a las características del genotipo, y el CP2 representa la parte del rendimiento debida a la interacción genotipo \times ambiente. El biplot GGA permite detectar las similitudes y diferencias entre los genotipos con relación a los distintos ambientes, las semejanzas y las diferencias entre los ambientes en el descarte de genotipos y el tipo y magnitud de la interacción entre GA (Yan *et al.*, 2000).

Un genotipo puede llegar a ser categorizado como “genotipo ideal” cuando este tiene en su CP1 un coeficiente alto que le confiere elevado rendimiento y a la vez en el CP2 un valor cercano al cero brindándole estabilidad en el tiempo. Para el caso del “ambiente ideal” este debería contar con un coeficiente alto en el CP1, para tener capacidad de discriminar entre los genotipos, y un CP2 cercano a cero otorgándole representatividad (Yan *et al.*, 2001).

El biplot GGA puede utilizarse para identificar los genotipos superiores y los ambientes de producción que facilitan el reconocimiento de tales genotipos, siempre que los ambientes estén lo suficientemente caracterizados y cuando los coeficientes genotípicos del CP1 tengan una correlación casi perfecta con los efectos principales del genotipo (Yan *et al.*, 2000, 2001). Esta correlación está fuertemente determinada por la importancia relativa de G en GGA.

Generalmente en los ensayos multiambientales se toman datos para múltiples caracteres. Sin embargo, el análisis suele estar limitado al carácter más importante, usualmente el rendimiento de granos, y la información adicional es poco analizada (Yan y Tinker, 2005). La inclusión de variables ambientales, meteorológicas, edáficas, de manejo, y genotípicas, morfológicas, fisiológicas, genómicas, en el análisis, permite estudiar las asociaciones entre éstas y el rendimiento e interpretar las causas de los patrones de interacción GA (Balzarini *et al.*, 2005). El entendimiento de las causas de la interacción GA ayuda a identificar los caracteres que contribuyen al mejor comportamiento de los genotipos y los ambientes de producción que facilitan su evaluación. Recientemente, se han usado modelos estadísticos que incorporan gran número de covariables genotípicas y ambientales en el análisis de ensayos multiambientales para estudiar y explicar la interacción GA en tablas de dos y tres criterios de clasificación (Vargas *et al.*, 1998, 1999). Uno de estos modelos es la regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) (Aastveit y Martens, 1986), el cual es un método estadístico multivariado. La regresión PLS se usa cuando el número de covariables es grande y algunas de ellas pueden estar correlacionadas. Es una técnica que generaliza y combina el análisis de componentes principales y el análisis de regresión múltiple. Los resultados del PLS pueden resumirse en un gráfico similar al biplot de Gabriel (1971) con genotipos, ambientes y covariables representadas como vectores en un espacio n-dimensional (Balzarini *et al.*, 2005).

Estudios previos en soja indican que el rendimiento de grano varía entre localidades y entre fechas de siembra dentro de la misma localidad. Los datos disponibles en la actualidad en relación al rendimiento de grano en Argentina sugieren que una proporción considerable de la variación encontrada se debe a efectos ambientales (Board *et al.*, 1999; Andrade y Calviño *et al.*, 2004; Rosbaco *et al.*, 2004; Giménez *et al.*, 2006; Bodrero *et al.*, 2007). Sin embargo no se han analizado lo suficiente las interacciones entre genotipos y ambientes al oeste de Río Cuarto y centro-sur de la provincia de San Luis.

Teniendo en cuenta la existencia de numerosas variedades de soja adaptadas a diferentes épocas de siembra, otras con diferente ciclo de desarrollo, así como diferente comportamiento en dependencia al ambiente de producción, se realizaron ensayos en las campañas agrícolas 2004/05, 2005/06 y 2006/07, a fin de evaluar la consistencia a través de ambientes de los patrones de interacción a partir de ensayos multiambientales al oeste de Río Cuarto y centro-sur de San Luis.

HIPÓTESIS

Los cultivares de soja evaluados en las distintas campañas agrícolas y en diferentes localidades de producción se comportan de manera diferencial con respecto al rendimiento de grano.

OBJETIVOS

GENERAL:

- Evaluar la adaptación y el rendimiento de cultivares comerciales de soja en diferentes localidades al oeste de Río Cuarto durante tres campañas agrícolas.

ESPECÍFICOS:

- Conocer la relación entre genotipos y ambientes.
- Determinar semejanzas y diferencias entre genotipos en la respuesta a los ambientes.
- Determinar semejanzas y diferencias entre ambientes de producción en la diferenciación de los genotipos.
- Estudiar las asociaciones entre covariables ambientales y el rendimiento de grano e interpretar las causas de los patrones de interacción GA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas agrícolas de cosecha gruesa 2004/05, 2005/06 y 2006/07 se llevaron a cabo ensayos comparativos de rendimiento en las localidades Buena Esperanza, Villa Mercedes, Fraga, Juan Jorba y Sampacho. En los ensayos se evaluaron 12 cultivares transgénicos de soja (resistentes a glifosato o RR) indicados en el Cuadro 1, pertenecientes a los grupos de madurez (GM) III y IV.

Cuadro 1. Cultivares de soja utilizados en los ensayos comparativos de rendimiento.

Empresa	Cultivar	Grupo Madurez	Empresa	Cultivar	Grupo Madurez
<i>Don Mario</i>	3100	III corto	<i>La Tijereta</i>	2049	IV largo
<i>Don Mario</i>	3700	III largo	<i>Nidera</i>	A 4613	IV largo
<i>Don Mario</i>	4200	IV corto	<i>Nidera</i>	A 4910	IV largo
<i>Don Mario</i>	4800	IV largo	<i>Pioneer</i>	94B73	IV largo
<i>Don Mario</i>	4870	IV largo	<i>SPS</i>	3800	III largo
<i>Don Mario</i>	50048	IV largo	<i>Ferías del Norte</i>	4.85	IV largo

Los ensayos consistieron en macroparcels de 32 surcos de 0,525 m x 100 m sembradas a una densidad de 23 plantas por metro lineal. Las parcelas se implantaron con la metodología del testigo apareado para disminuir el efecto de lote. Este método de ensayo consiste en sembrar al lado de cada variedad una parcela de testigo, es decir en el lote quedaron 12 parcelas de los cultivares a evaluar y 12 parcelas del cultivar testigo. La metodología empleada de testigo apareado, permite mejorar la evaluación de todos los cultivares, al reflejar la variabilidad que pudiese existir con respecto al suelo dentro del lote del productor, manteniendo constante la influencia del lote. Luego de la cosecha, se obtiene un promedio de las parcelas de testigo, y al rendimiento de cada parcela de testigo se le calcula el índice con respecto al promedio de todas las parcelas del testigo. Finalmente se multiplica el índice por el rendimiento de cada variedad para igualar las diferencias que se puedan observarse por efectos propios de la localización específica de cada parcela dentro del lote.

En el momento de la siembra se incorporó 50 kilos por hectárea de superfosfato triple y se inoculó con dosis simple de bacterias (Anexo 2).

El rendimiento (qq/ha) promedio de cada cultivar se estimó luego de la corrección por humedad de grano (expresado al 13,5 % de humedad). También, se tomaron datos climáticos, como precipitaciones, y se realizaron los análisis de suelo correspondientes para ser utilizados como covariables ambientales (Anexo 3).

Cuadro 2. Características de las localidades donde se realizaron los ensayos comparativos de rendimiento de soja durante las campañas agrícolas 2004/05, 2005/06 y 2006/07.

Localidad	Provincia	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
		Sur	Oeste	
Buena Esperanza	San Luis	34°19'27	65°32'55	410
Villa Mercedes	San Luis	33°22'27	65°25'31	807
Fraga	San Luis	33°33'02	65°59'07	744
Juan Jorba	San Luis	33°37'06	65°15'55	525
Sampacho	Córdoba	33°14'35	64°49'27	672

El resultado de cosecha de cada localidad se analizó mediante un análisis de la varianza (ANOVA) del rendimiento de grano, tomando a las campañas agrícolas como bloques, y las medias se compararon utilizando la prueba de Duncan con un nivel de significación del 5%. El análisis combinado de los ensayos comparativos de rendimiento multiambientales durante las tres campañas agrícolas se realizó con un modelo de ANOVA incluyendo los efectos del cultivar, campaña agrícola (o bloque), localidad (ambiente) e interacción entre cultivar y ambiente, para identificar la contribución relativa de estos factores a la variabilidad total. Posteriormente se analizaron los datos utilizando modelos estadísticos para ensayos multiambientales que permiten estudiar e interpretar la interacción GA. En este trabajo se estudió la interacción GA con el modelo SREG (Crossa y Cornelius, 1997):

$$y_{ij} = \mu + \delta_j + \sum_{n=1}^k \lambda_n \xi_{in} \eta_{jn} + \varepsilon_{ij}$$

donde y_{ij} es el rendimiento promedio de grano, medido en qq/ha, del genotipo i en el ambiente j ; μ es la media general; δ_j es el rendimiento promedio de todos los genotipos en el ambiente de producción j ; λ_n es el valor singular del componente principal k ; ξ_{in} y η_{jn} son los coeficientes del genotipo i y el ambiente j sobre el CP k , respectivamente; ε_{ij} es el residual.

Los resultados del modelo se graficaron en un biplot GGA con la finalidad de describir los patrones de interacción. El biplot se construyó a partir de los dos primeros componentes principales, en el cual se observaron la interacción de cada genotipo con cada ambiente de producción.

Los coeficientes genotípicos del CP1 y CP2 se correlacionaron con las variables ambientales utilizadas para determinar las causas de la interacción GA. El análisis exploratorio de los datos y los análisis de varianza se realizaron con el programa Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2011). El análisis estadístico utilizando el modelo SREG y el gráfico del biplot GGA se realizaron con el programa estadístico Infogen (Balzarini y Di Rienzo, 2011).

Además se utilizó PLS (Partial Least Squares) para explicar a partir de un conjunto de variables relacionadas a los ambientes (covariables) las variaciones debidas a la interacción genotipo \times ambiente. Los resultados del PLS, son presentados a través de un triplot, donde sobre un gráfico biplot además se grafican covariables para explicar la asociación entre los marcadores filas y columnas representadas en el biplot. El análisis estadístico de regresión por mínimos cuadrados, PLS, y el gráfico del triplot GGA se realizaron con el programa Infogen (Balzarini y Di Rienzo, 2011).

RESULTADOS

En el Cuadro 3 se presentan los rendimientos promedios de cada localidad durante los tres ciclos agrícolas. El rendimiento promedio de los ambientes donde participaron los mismos cultivares, osciló entre 14,95 y 33,9 quintales por hectárea (qq/ha).

Cuadro 3. Rendimiento promedio (qq/ha) de grano, desvío estándar, coeficiente de variación valor mínimo y máximo de los cultivares de soja en las localidades de evaluación durante las campañas agrícolas 2004/05, 2005/06 y 2006/07.

Localidad	Media (qq/ha)	DE	CV (%)	Mínimo	Máximo
Buena Esperanza	14,95	3,37	22,56	8,80	21,60
Villa Mercedes	22,39	6,06	27,07	11,90	32,80
Fraga	21,60	6,38	29,54	10,70	34,10
Juan Jorba	33,90	6,42	18,92	23,20	45,80
Sampacho	32,49	6,57	20,21	19,40	44,50

A su vez, se observó la variabilidad de los rendimientos promedios a lo largo de las tres campañas agrícolas dentro de cada localidad lo que mostró que el potencial de rendimiento en Villa Mercedes y en Fraga, es altamente dependiente de la cantidad y momento en que ocurrieron las precipitaciones en cada campaña (Anexo 4 y 7).

Al realizar un análisis del comportamiento de todos los cultivares a través de las tres campañas agrícolas en las diferentes localidades se observó que los materiales de ciclo IV largo, en especial el cultivar Don Mario 50048, tuvieron un mejor comportamiento en sitios de menor calidad (Buena Esperanza, Villa Mercedes y Fraga). Por otro lado, los cultivares de ciclo IV corto y III (Don Mario 4200 y 3700 principalmente), se expresaron mejor en lotes de mejor calidad (Juan Jorba y Sampacho) (Anexo 5). En estos últimos lotes se observaron plantas volcadas debido al excesivo crecimiento vegetativo de los ciclos más largos.

En el análisis de la varianza combinado de las tres campañas agrícolas (Cuadro 4) se observó que el término de interacción fue estadísticamente significativo entre localidades (ambientes) y cultivares. Además se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre

ambientes de producción y diferencias altamente significativas entre cultivares y bloques dentro de ambientes.

Cuadro 4. Análisis de la varianza combinado de los 12 cultivares de soja evaluados en 5 localidades durante las campañas agrícolas 2004/05, 2005/06 y 2006/07.

FV	GL	CM	p-valor
Localidad>Bloque	10	451,06	<0,0001
Cultivar	11	26,55	0,0001
Localidad	4	2291,80	0,0170
Localidad*Cultivar	44	11,15	0,0255
Error	110	6,97	
Total	179		

FV: Fuentes de variación; GL: Grados de libertad, CM: Cuadrados Medios.

R²: 0,95.

CV: 10,53.

En el análisis de la varianza para el rendimiento de los cultivares el efecto del ambiente o localidad explicó un 92,13% de la variación de la suma de los efectos G + A + GA, el del genotipo o cultivar sólo el 2,94%, y la interacción GA el 4,93% restante. Si bien el ambiente fue el principal factor de variación de los rendimientos, tanto el genotipo como la interacción GA resultaron también significativas. Además, este alto porcentaje explicado por el ambiente justifica la utilización del modelo SREG que evalúa los datos descontando el efecto de ambiente. Por otro lado, el mayor efecto relativo de la interacción GA con respecto a G sugiere la posible existencia de subgrupos de ambientes con capacidades discriminatorias similares.

El comportamiento de los cultivares a través de los distintos localidades de producción evaluadas se analizó con el gráfico obtenido del análisis SREG (Figura 1) con las localidades participantes y los cultivares de los GM III, IV evaluados en estos ensayos comparativos de rendimiento.

El biplot GGA (Figura 1) resultante del análisis de las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2) de los datos, descontando el efecto de ambiente, explicó el 92% de la variabilidad total del rendimiento de grano para todas las campañas agrícolas analizadas. En el biplot GGA cada genotipo y cada ambiente son representados por un punto denominado

“marcador”, que queda definido al graficar los coeficientes de cada genotipo y de cada ambiente en la CP1 (utilizado como eje x) contra los respectivos coeficientes en la CP2 (utilizado como eje y). Los ambientes son presentados además como vectores que se originan en la coordenada (0,0) del biplot y se extienden hasta el marcador correspondiente a cada uno de ellos.

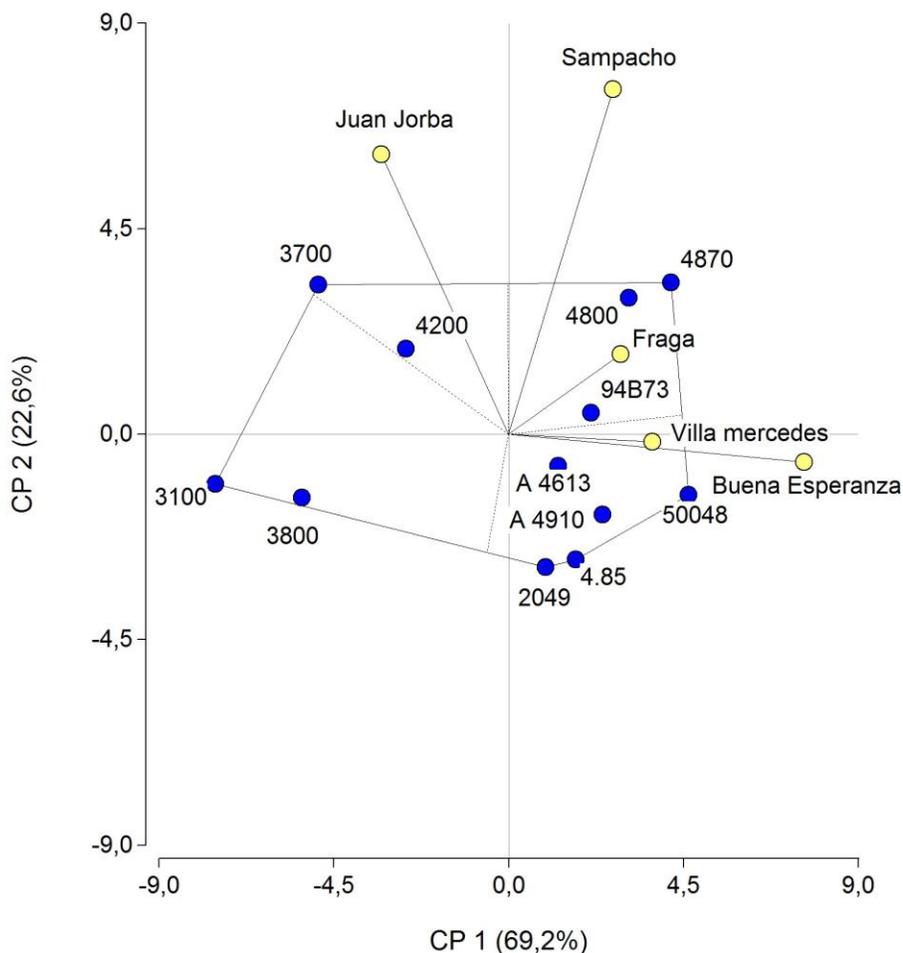


Figura 1. Biplot GGA del análisis de interacción GA para los 12 cultivares de soja en las 5 localidades del oeste de la pampa húmeda argentina.

Para la identificación de los mejores genotipos en cada ambiente, la propuesta de Yan y Hunt (2002) de interpretación de los biplot GGA específica que en primer lugar se debe graficar un polígono envolvente de identificadores de genotipo, este es automáticamente obtenido con el programa estadístico InfoGen (Balzarini y Di Rienzo, 2011). En la base de datos analizada los cultivares de comportamiento extremo que definen el polígono envolvente fueron los genotipos 3700, 4870, 50048, 4.85, 2049 y 3100. Estos son genotipos de comportamiento extremo, tanto

positivo como negativo, i.e. los de mejor o peor rendimiento en algunos ambientes. A continuación, para cada uno de los lados del polígono se trazan líneas rectas que pasan por el origen y son perpendiculares a cada uno de los lados del polígono. De esta forma el polígono queda dividido en sectores, cada uno conteniendo un genotipo en el vértice. En este caso el polígono se subdividió en seis sectores, de los cuales los ambientes quedaron incluidos sólo dentro de tres sectores. Además, en la Figura 1 la línea de corte sobre el eje X (0) indica el rendimiento medio de los cultivares en quintales/hectárea (qq/ha), siendo el valor de 25,1 qq/ha el rendimiento promedio de toda los ensayos multiambientales. Por lo tanto, los cultivares ubicados a la derecha de esta línea tuvieron un rendimiento superior a la media general de todos los ensayos comparativos de rendimiento, mientras que aquellos ubicados a la izquierda presentaron un rendimiento promedio menor a la misma.

Las localidades se ubicaron en sectores formando tres grupos: Juan Jorba, Sampacho + Fraga y Villa Mercedes + Buena Esperanza. La relación entre localidades respecto al ordenamiento de los genotipos fue más fuerte dentro de grupos que entre grupos. El primer grupo, Juan Jorba, estuvo asociado negativamente con el tercer grupo, Villa Mercedes y Buena Esperanza, indicando que el ordenamiento de los cultivares en estos grupos fue diferente. El segundo grupo; Sampacho y Fraga, estuvo débilmente relacionado con las localidades del primer grupo, Juan Jorba, y del tercer grupo, Villa Mercedes y Buena Esperanza.

Los genotipos que quedan en el vértice son los de mejor comportamiento en los ambientes que quedan encerrados en el sector. Se observa que en el sector que tiene como vértice al genotipo 3700 se encuentra la localidad Juan Jorba. Este genotipo seguido por el 4200 son los de mayor rinde en esta localidad. El sector cuyo vértice está determinado por el genotipo 4870 involucra a las localidades de Sampacho y Fraga. Al genotipo 4870 le siguen en rendimiento el genotipo 4800 y el 94B73. Por su cercanía en el biplot los dos primeros cultivares tienen rendimientos muy parecidos en estos sitios. El siguiente cuadrante queda determinado por la proyección de la línea que une a los genotipos 4870 y 50048 y por la proyección de la perpendicular hacia el origen de la línea que une 2049 y 3100. En este cuadrante el marcador del genotipo 50048 es el vértice del sector que contiene a las localidades Villa Mercedes y Buena Esperanza, y a los cultivares 50048, A 4910, 4.85, 2049, A 4613 de mayor a menor rendimiento en estas localidades. Los dos ambientes, o en este caso localidades, que quedaron en un mismo sector pueden ser considerados como pertenecientes a un único ambiente; al igual que Sampacho y Fraga en el sector contiguo. Los cultivares 3100 y 3800 correspondientes a vértices del

polígono que quedaron alejados de los ambientes de evaluación, fueron los que manifestaron el peor comportamiento en todos ellos.

El eje Y de la Figura 1 es la componente usada para modelar la interacción GA, es el eje que explica la variación del rendimiento debida a la interacción. Por lo tanto, los cultivares que se ubicaron cercanos al 0 fueron aquellos de comportamiento más estable (94B73), mientras que los más alejados al 0 fueron los que tuvieron mayor interacción con el ambiente (3700 y 4870).

El genotipo 50048 con el más alto coeficiente en la CP1 asociado a elevados niveles de rendimiento de grano de soja/ha, y relativamente bajos valores de CP2, indicando un comportamiento estable a través de ambientes podría ser considerado un “genotipo ideal” (Yan *et al.*, 2001) (Figura 1). Contrariamente al genotipo 50048, que demostró una adaptación general a los ambientes de evaluación, el material 3700 presentó una adaptación específica al ambiente de Juan Jorba, ya que allí se registró el mayor registro de producción de toda la red de ensayos comparativos de rendimiento de grano de soja (Anexo 6).

El ambiente Buena Esperanza fue el de mayor capacidad discriminante entre genotipos, ya que estuvo representado por un vector de elevada magnitud sobre la CP1. Además, tuvo un bajo valor absoluto en la CP2. Por lo tanto, este ambiente podría aproximarse más a lo que constituiría un “ambiente ideal” debido a que fue el más discriminante (coeficiente alto en la CP1) y más representativo (coeficiente próximo a cero en la CP2). En este ambiente de producción las diferencias encontradas entre los genotipos serían altamente consistentes con aquellas promediadas sobre todos los ambientes (Figura 1 y Anexo 6).

Los resultados del PLS se muestran en la Figura 2. La interacción GA se explicó casi en su totalidad por las dos primeras CP (99%). Al correlacionar la matriz de residuos de la interacción con las covariables ambientales, las covariables con mayor inercia sobre el eje 1 del triplot resultaron ser MO (materia orgánica), PP (precipitaciones), y pH. Luego las interacciones detectadas en este conjunto de datos, desde el punto de vista ambiental, son principalmente atribuidas a estos dos grupos de variables. Por otro lado, P (fósforo) fue la covariable con mayor inercia en el eje 2. Valores de PP (precipitaciones promedio durante el ciclo de los cultivos), relativamente altos se registraron en Juan Jorba y Sampacho, éstos podrían explicar el mejor desempeño que tuvieron los genotipos 3700 y 4200 respecto a los otros en estas localidades. Los cultivares 50048 y A4910 se desempeñaron mejor en Fraga y Buena Esperanza que presentan un menor contenido de MO y menores PP que los otros sitios. En la segunda dimensión del triplot se observaron valores altos de P en Buena Esperanza, Fraga y Juan Jorba y muy bajos en Villa Mercedes.

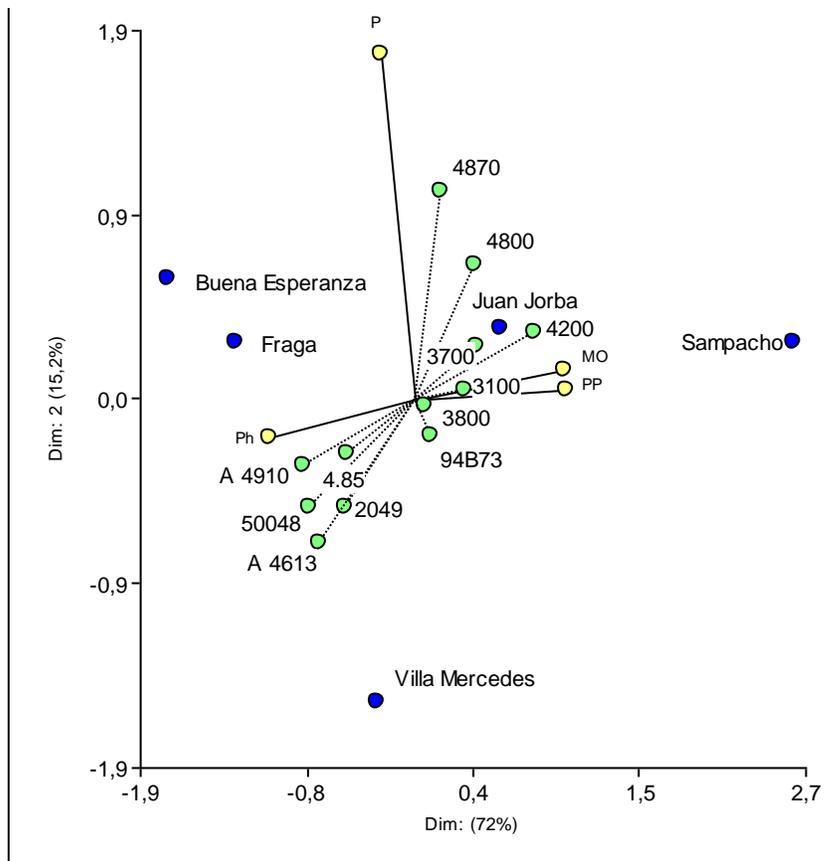


Figura 2. Triplot de la correlación entre una matriz de interacción entre 12 genotipos y 5 ambientes versus una matriz de 4 covariables ambientales. (P: Fósforo ppm, Pp: precipitación desde siembra a R6(madurez fisiológica), MO: materia orgánica).

DISCUSIÓN

Los ensayos tuvieron igual manejo agronómico en las macroparcels de soja, densidad a la siembra, espaciamiento entre hileras, control químico de malezas durante el barbecho y ciclo del cultivo, control de insectos, fertilización a la siembra, inoculación, fecha de siembra; aunque este último factor no fue exacto en las 3 campañas debido a la variabilidad en las precipitaciones necesarias para poder hacer una siembra correcta en las diferentes localidades, pero todos los ensayos fueron sembrados alrededor del $25/10 \pm 7$ días de diferencia, por lo que no influiría considerablemente en la producción a final de ciclo.

Los factores en estos ensayos fueron las 3 campañas agrícolas, las 5 localidades y los 12 cultivares. Al tomar distintas campañas agrícolas, implica tres regímenes pluviométricos y demás condiciones agrometeorológicas diferentes. Cultivar los materiales en diferentes localidades, trae aparejado cinco tipos de suelos, estructuras, texturas y fertilidades. La utilización de los 12 cultivares es otra de las variables a tener en cuenta en esta red de ensayos multiambientales analizada.

La variación en los rendimientos promedio de los ambientes indica la existencia de ambientes de distinta productividad, y/o condiciones hídricas más favorables en algunas localidades respecto de otras. Como destacan Martini y Baigorri (2004) en su informe acerca de los ambientes con influencia de napa, la respuesta de la soja en este tipo de lotes se asemeja a la situación de lotes bajo riego; por otro lado están los lotes sin influencia de napa freática, donde el potencial de rinde va aparejado primero de la precipitación antes y durante el cultivo, y en segundo lugar a la capacidad de retener agua útil en el perfil. En estos ensayos se observaron las diferencias en potencial de rendimiento de cada ambiente, siendo Juan Jorba la localidad de mayor rendimiento, por haberse realizado el ensayo comparativo de rendimiento en un lote con influencia de napa, seguido por Sampacho, Villa Mercedes, Fraga y por último Buena Esperanza, debido a la menor precipitación, y menor capacidad de retención de agua por ser un suelo con alta proporción de arena, y por ende baja capacidad de retención de agua para el cultivo (Cuadro 3).

La variabilidad de las diferentes localidades se analizó en base a los resultados en las tres campañas agrícolas (Anexo 4). De esta forma se evidenció que gran parte de la variabilidad se debió a las grandes diferencias de rendimientos entre años. A pesar de que el rendimiento final de un cultivo es el resultado de una ecuación donde existen una serie de factores, en este caso, la diferencia de rendimientos podría ser explicada en parte con el régimen pluviométrico.

Las medias de rindes en la campaña 2005/06 fueron significativamente inferiores en los cinco ambientes de producción por una menor precipitación.

Si observamos las marcas pluviométricas de las tres campañas agrícolas en general (Anexo 7), sin detenernos en los detalles de cada localidad, podemos decir que la campaña 2004/05 fue un año promedio en precipitaciones, la 2005/06 fue irregular, con un marcado estrés hídrico en diciembre y enero; período en el cual el cultivo se desarrolla tanto vegetativa como reproductivamente. Este estrés se reflejó en una marcada disminución en los rendimientos de todos los cultivares en las 5 localidades. Dentro de los cultivares, los de ciclo más corto (GM III y IV corto) fueron los que sufrieron más este estrés hídrico debido a que su periodo crítico para definir el rendimiento es más acotado. En cambio los cultivares de ciclo IV largo toleraron de una mejor manera las inclemencias del clima (Martínez Álvarez *et al.*, 2002). La campaña agrícola 2006/07 estuvo influenciada por una muy buena distribución de las precipitaciones en la mayoría de las localidades evaluadas, pudiendo así los cultivares expresar su potencial de rendimiento. Los altos potenciales de rendimiento de los GM III quedaron demostrados, especialmente en las localidades de mayor productividad como Sampacho y Juan Jorba; cabe destacar que el lote evaluado en Juan Jorba tiene una alta influencia de la napa freática, la cual otorga un aporte extra de agua por capilaridad que permite lograr rindes extraordinarios. Esta influencia de napa se puede ver a lo largo del cultivo, cuando plantas en partes más altas del lote sufren estrés hídrico, en el bajo están con buena turgencia (Martínez Álvarez *et al.*, 2002). También se pudo medir este aporte extra de agua calculando los kilogramos de soja producida por cada mm de agua de lluvia, y se pudo ver que en Juan Jorba supera los 7 kg/mm de lluvia, lo que implica un aporte extra de agua por parte de la napa (Martini y Baigorri, 2004) (Anexo 8). Por otro lado, este aporte extra de agua en años húmedos como en la campaña agrícola 2006/07, provoca vuelcos en las sojas de grupo largo por un excesivo crecimiento vegetativo que dificulta la cosecha e incluso provoca pérdidas mayores a los porcentajes normales (Bodrero *et al.*, 2007).

Al realizar ensayos en diversas localidades, se presentan los cultivares a distintos sitios agroecológicos que tienen una marcada influencia en los mismos. Cada lote tiene aspectos positivos y negativos en mayor o menor medida. Por ejemplo, el aporte de fósforo es muy bueno (mayor a 25 ppm) en los campos ubicados al sur de la ruta nacional 7 como son las localidades de Fraga y Buena Esperanza (Anexo 3 y Figura 2). Las mejores estructuras de suelo se encontraron en los lotes de Sampacho, Juan Jorba y Fraga; debido a que Sampacho y Juan Jorba tienen un mayor contenido de materia orgánica (Anexo 3 y Figura 2) y los tres presentan una textura con un mayor porcentaje de arcilla y limo respecto a Buena Esperanza y Villa Mercedes.

Esto implicó que en años muy húmedos o normales como las campañas agrícolas 2006/07 y 2004/05 respectivamente, los suelos con granulometría más fina tengan mayor capacidad de retención de agua útil; pero en años secos, la poca agua presente en el suelo no estaba disponible para el cultivo, ya que se encontraba en los microcapilares retenida a más de 15 bares.

La interacción GA significativa afectó la respuesta genotípica y la estabilidad de la producción de grano en soja. La información obtenida por Giménez *et al.* (2006) y Bodrero *et al.* (2007) en distintas regiones del país confirma que la interacción GA afecta a distintos tipos de cultivares de soja. En este estudio el análisis del biplot con dos CP muestra que la variación debida a GA fue mayor que la variación de G para la producción de grano.

El análisis biplot mostró que los cultivares se pudieron dividir en 2 grupos, por un lado las de grupo III y IV corto con un rendimiento promedio menor a la media de la red y los cultivares del grupo de madurez IV largo con un rendimiento superior a la media general. De este último grupo el cultivar 50048 fue el más estable mostrando adaptabilidad general en el área agroecológica evaluada y adaptación específica para las localidades de Villa Mercedes y Buena Esperanza (Figura 1). El cultivar 4870 mostró adaptación específica a las localidades de Fraga y Sampacho y el cultivar 3700 a la localidad de Juan Jorba. El agrupamiento de los cultivares según los grupos de madurez en base al rendimiento y la estabilidad en el comportamiento de este carácter concuerda con los obtenidos por Bodrero *et al.* (2007) en diferentes ambientes del sur de la provincia de Santa Fe.

Desde el punto de vista morfológico, se observó que las plantas que correspondían al grupo III y IV corto presentaban menor talla, entrenudos más cortos, menor ramificación, inserción de primera vaina baja, ciclos entre 12 y 25 días más cortos que las de grupo IV largo (Anexo 9). Lo contrario sucedió con estos últimos cultivares, los IV largo, tenían mayor altura, más ramificaciones, entrenudos más largos, mayor despeje del suelo de la primera vaina (datos no mostrados).

El comportamiento de los cultivares de los GM III y IV evaluados en las distintas localidades de producción también se analizó con un gráfico obtenido del análisis SREG, teniendo en cuenta localidades, campañas agrícolas y cultivares. El gráfico mostró que el comportamiento varió mucho más entre localidades que entre campañas agrícolas. Las variaciones en el patrón de respuesta dentro de la localidad fue poco evidente, principalmente en las localidades de Buena Esperanza, Villa Mercedes y Fraga, ya que los marcadores de las campañas agrícolas dentro de cada localidad se hallaron cercanos entre sí indicando un comportamiento similar a través de las tres campañas agrícolas. En las localidades de Juan Jorba

y Sampacho, las campañas agrícolas 2004/05 y 2006/07 tuvieron un comportamiento opuesto a la campaña 2005/06 que se ubicó muy cerca de las primeras tres localidades mencionadas. Posteriormente, también se analizó el PLS con las covariables, las localidades, las campañas agrícolas y los cultivares para interpretar las variaciones debidas a la interacción GA. El comportamiento entre campañas agrícolas dentro de las localidades en relación con las covariables fue semejante al detectado en el biplot, es decir los marcadores de las tres campañas agrícolas estuvieron ubicados próximos entre sí.

CONCLUSIONES

En soja el rendimiento es significativamente afectado por el efecto del genotipo, del ambiente y de la interacción genotipo \times ambiente.

Los cultivares de soja de ciclo corto (grupo de madurez III y IV corto) tienen alto potencial de rendimiento en los ambientes de producción en que obtiene sus requerimientos, principalmente el agua y en segundo lugar los nutrientes, y el espacio físico para desarrollarse, cuando son requeridos; pero sufren disminuciones de rendimiento ante eventuales estreses hídricos. Por otro lado los cultivares de ciclo largo (grupo de madurez IV largo), en especial el cultivar 50048, presentaron una mayor estabilidad a lo largo de los años y ambientes, probablemente debido al mayor tiempo que dura su período crítico para definición de rendimiento.

Los ambientes forman tres grupos cuyas diferencias pueden ser explicadas por las covariables ambientales, de clima y suelo. Los ambientes, Juan Jorba y Sampacho son los de mayor potencial; a pesar de ello, Buena Esperanza es el ambiente de mayor capacidad discriminante entre genotipos y el más representativo por lo que se constituiría en un “ambiente ideal”.

Se destaca la simplicidad del gráfico de biplot GGA para la identificación de genotipos superiores de soja, al ser evaluados en diferentes ambientes. Con estos resultados analizados, cada productor elegirá que cultivar va a sembrar, evaluando las características de su campo o cada lote de producción en particular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASTVEIT, A.H., y H. MARTENS. 1986. ANOVA interactions interpreted by partial least squares regression. *Biometrics* 42: 829-844.
- ANDRADE, F. y P. CALVIÑO. 2004. Tecnología: soja de segunda. INTA Balcarce.
- BAIGORRÍ, H.E., C. GHIDA DAZA, M. CUNIBERTI, R. HERRERO, J. ARAGÓN, S. VALLONE, L. SALINES, E. GUILLÍN, A. KLOSTER, M. DÍAZ ZORITA, R. MELCHIORI, A. PERTICARI, M. BRAGACHINI, A. VON MARTINI y A. MÉNDEZ. 2002. Evolución y perspectivas de la producción y de la investigación en soja en Argentina. p. 84–95. In *Anais do II Congresso Brasileiro de Soja e Mercosoja*. Foz do Iguacu PR Brasil. June 2002. EMBRAPA (Ed.) Londrina, PR Brazil.
- BALZARINI, M.G. y J.A. DI RIENZO. 2011. InfoGen versión 2011. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.info-gen.com.ar>.
- BALZARINI, M.G., C. BRUNO y A. ARROYO. 2005. Análisis de Ensayos Agrícolas Multiambientales. Ejemplos en Infogen. Ed. Grupo de Editores. Córdoba, Argentina. 141 pp.
- BOARD, J.M., M.S. KANG, y B.G. HARVILLE. 1999. Path analyses of the yield formation process for late-planted soybean. *Agron. J.* 91: 6-12.
- BODRERO, M., S. BACIGALUPPO y J. ANDRIANI 2007. Evaluación de cultivares de soja de los grupos de madurez III, IV, V y VI en siembras de primera época en diferentes ambientes del sur de Santa Fe. Campaña 2006/07. Soja para mejorar la producción 36. INTA EEA Oliveros. pp. 14-23.
- BUTRÓN, A., P. VELASCO, A. ORDÁS y R.A. MALVAR. 2004. Yield evaluation of maize across environments with different levels of pink stem borer infestation. *Crop Sci.* 44: 741-747.
- CROSSA, J. y P.L. CORNELIUS. 1997. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variance. *Crop Sci.* 37: 405-415.
- DARDANELLI J.L., M. BALZARINI, M.J. MARTÍNEZ, M. CUNIBERTI, S. RESNIK, S.F. RAMUNDA, R. HERRERO y H. BAIGORRI. 2006. Soybean maturity groups, environments, and their interaction define mega-environments for seed composition in Argentina. *Crop Sci.* 46: 1939-1947.

- DI RIENZO J.A., F. CASANOVES, M.G. BALZARINI, L. GONZALEZ, M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- GABRIEL, K.R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- GIMÉNEZ, F., P.C. GÓMEZ y J.C. TOMASO. 2006. Estabilidad de cultivares de soja cultivados en la region pampeana sur para rendimiento de grano. **Congreso Mercosoja**. Rosario, Argentina.
- IBAÑEZ, M.A., M.A. DI RENZO, S.S. SAMAME, N.C. BONAMICO y M.M. POVERENE. 2001. Genotype-environment interaction of lovegrass forage yield in the semi-arid region of Argentina. *J. Agric. Sci.* 137: 329-336.
- IBAÑEZ, M.A., M.M. CAVANAGH; N.C. BONAMICO y M.A. DI RENZO. 2006. Análisis gráfico mediante "biplot" del comportamiento de híbridos de maíz. *RIA, Rev. Investig. Agrop.* 35: 83-93.
- LEE, S.J., W. YAN, J.K. AHN y I.M. CHUNG. 2003. Effects of year, site, genotype and their interactions on various soybean isoflavones. *Field Crops Res.* 81: 181-192.
- MARTÍNEZ ALVAREZ, D., H. BAIGORRI, S. BOLOGNA, M BONGIOVANNI y R. LUCERO. 2002. Crecimiento de doce cultivares de GM II al VII en FS de octubre a diciembre, en Villa Mercedes (San Luis), Campaña 2000/01. En: Manejo del cultivo de la soja en Argentina - Actualizaciones. *Revista Agro 10* del INTA Centro Regional Córdoba (EEA Marcos Juárez). pp. 80-85.
- MARTINI, E. y H.E.J. BAIGORRÍ. 2004. Claves para la caracterización de un ambiente con influencia de napa freática. En: Soja Actualización 2004. Información para la Extensión N° 89. INTA Marcos Juárez, pp. B41-46.
- ROSBACO, I., V. BISARO, M. ROMAGNOLI y R. MARTIGNONE. 2004. Métodos estadísticos para la caracterización de ambientes climáticos y evaluación de respuestas de cultivares de soja. *Rev. Inv. Fac. Cs. Agr.* 6: 27-40.
- VARGAS, M., J. CROSSA., K. SAYRE, M. REYNOLDS, M.E. RAMÍREZ y M. TALBOT. 1998. Interpreting genotype x environment interaction in wheat using partial least squares regression. *Crop Sci.* 38: 679-689.

- VARGAS, M., J. CROSSA, F.A. van EEUWIJK, M.E. RAMÍREZ y K. SAYRE. 1999. Using partial least squares, factorial regression, and AMMI models for interpreting genotype x environment interaction. *Crop Sci.* 39: 955-967.
- YAN, W. y L.A. HUNT. 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop Sci.* 42: 21-30.
- YAN, W. y I. RAJCAN. 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42: 11-20.
- YAN, W. y N.A. TINKER. 2005. An integrated biplot analysis system for displaying, interpreting, and exploring genotype x environment interaction. *Crop Sci.* 45: 1004-1016.
- YAN, W., L.A. HUNT, Q. SHENG y Z. SZLAVNICS. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.
- YAN, W., L.A. HUNT, Q. SHENG y Z. SZLAVNICS. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Sci.* 41: 19-25.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa con ubicación geográfica de las cinco localidades en donde se realizaron los ensayos comparativos de rendimiento de 12 cultivares de soja durante tres campañas agrícolas.



Anexo 2. Manejo agronómico de las macroparcels de soja.

Fecha	Labor	Insumos utilizados
20/08/06	Pulverización	1 kg round up ultra max – 0,1 lt. cipermetrina – 0,3 l 2,4D
23/10/06	Pulverización	1 kg round up ultra max- 0,1 l cipermetrina
25/10/06	Siembra	50 kg/ha superfosfato triple, 23 sem/m, inoculante
05/12/06	Pulverización	1,1 kg round up ultra max – 0,15 cipermetrina-0,5 l pivot
20/01/07	Pulverización	500 cc clorpirifos – 25 cc lambdacialotrina (25%) – 50 cc treat
11/03/07	Cosecha	Grupos III y IV corto
28/03/07	Cosecha	Grupos IV largo

Anexo 3. Características del suelo y del clima durante el ciclo del cultivo desde siembra a R6 (madurez fisiológica del cultivo), en las cinco localidades evaluadas durante tres campañas agrícolas.

Localidad	Campaña		PP (mm)		
	Agrícola	MO (%)	P (ppm)	Ph	ciclo S-R6
Sampacho	2004/05	2,01	13	5,70	547,5
	2005/06	2,01	13	5,70	467,0
	2006/07	2,12	11	5,90	661,0
Villa Mercedes	2004/05	1,20	5	6,03	442,0
	2005/06	1,20	5	6,03	261,5
	2006/07	1,20	5	6,03	547,0
Juan Jorba	2004/05	1,45	18	5,85	524,0
	2005/06	1,45	18	5,85	288,0
	2006/07	1,45	18	5,85	536,0
Fraga	2004/05	1,04	22	6,20	497,0
	2005/06	1,04	22	6,20	264,0
	2006/07	1,04	22	6,20	497,0
Buena Esperanza	2004/05	0,98	25	6,08	275,5
	2005/06	0,98	25	6,08	331,5
	2006/07	0,98	25	6,08	347,0

MO: Materia Orgánica, P: Fósforo, PP: Precipitación.

R6: Madurez fisiológica.

Anexo 4. Rendimiento medio (qq/ha), desvío estándar, coeficiente de variación, valores mínimos y máximos en cada localidad durante las campañas agrícolas de evaluación.

Localidad	Campaña					
	Agrícola	Media	DE	CV (%)	Mínimo	Máximo
Buena Esperanza	2004/05	15,06	2,63	17,5	10,4	18,1
	2005/06	13,37	2,66	19,94	8,8	16,7
	2006/07	16,43	4,13	25,11	9,1	21,6
Villa Mercedes	2004/05	20,91	2,86	13,67	15,9	24,7
	2005/06	16,51	2,63	15,91	11,9	19,4
	2006/07	29,76	1,56	5,25	27,5	32,8
Fraga	2004/05	19,17	2,32	12,10	15,6	22,1
	2005/06	15,92	2,41	15,11	10,7	18,1
	2006/07	29,73	2,17	7,29	26,3	34,1
Juan Jorba	2004/05	38,56	3,32	8,60	34,0	45,1
	2005/06	26,26	1,94	7,40	23,2	29,4
	2006/07	36,88	4,37	11,85	30,9	45,8
Sampacho	2004/05	34,48	4,09	11,86	27,0	41,7
	2005/06	25,14	3,39	13,49	19,4	28,7
	2006/07	37,87	3,78	9,99	32,4	44,5

Anexo 5. Rendimiento medio (qq/ha), valores mínimos y máximos de 12 cultivares de soja en cada ambiente de evaluación.

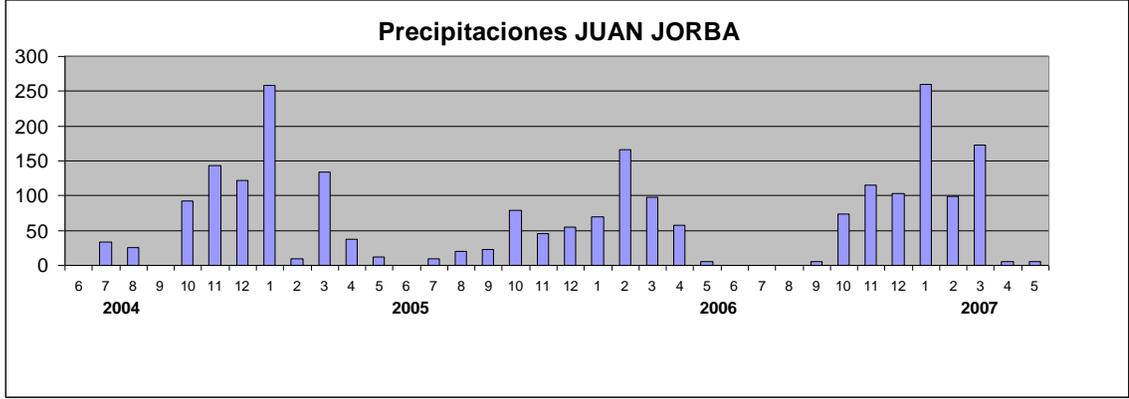
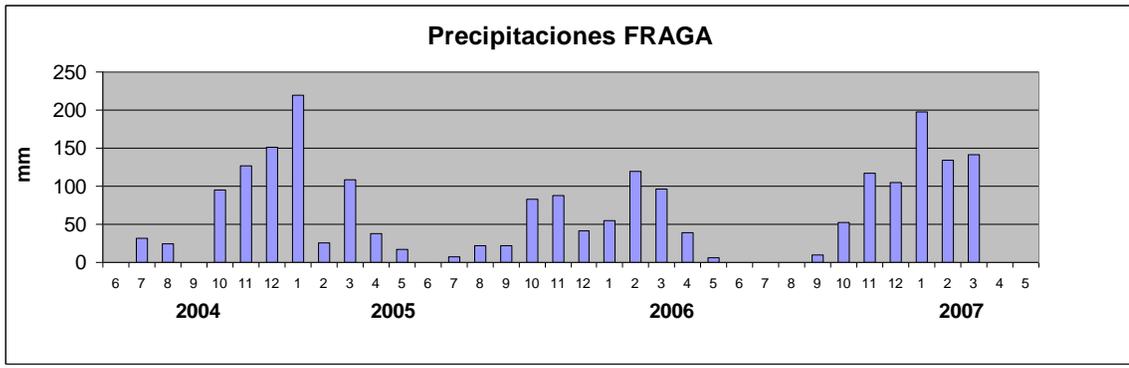
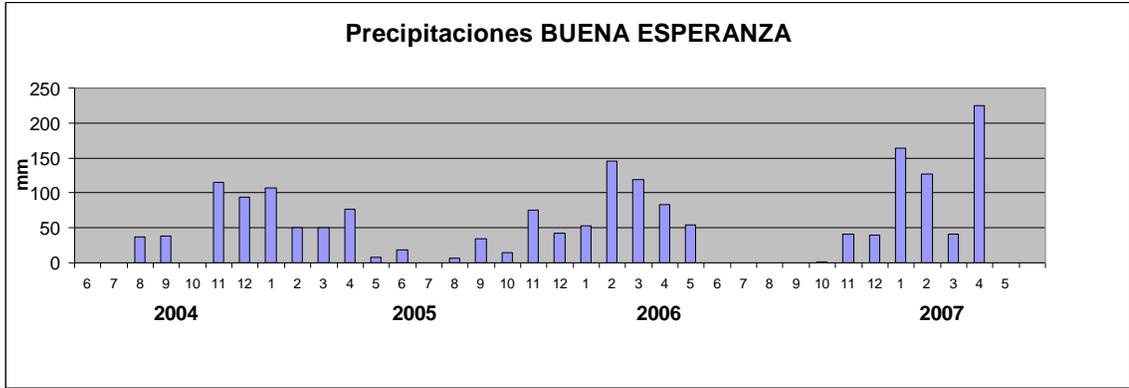
Localidad	Cultivar	Media	Mínimo	Máximo
Buena Esperanza	2049	15,60	13,9	17,5
	3100	9,43	8,8	10,4
	3700	11,13	10,0	12,0
	3800	11,17	10,3	11,6
	4,85	16,40	14,6	18,5
	4200	12,13	11,0	13,0
	4800	17,30	15,8	19,2
	4870	18,20	16,2	20,3
	50048	18,77	16,7	21,6
	94B73	16,20	13,9	18,7
	A4613	15,93	14,0	17,9
	A4910	17,17	15,2	19,0
Villa Mercedes	2049	22,43	17,6	27,5
	3100	19,50	11,9	29,6
	3700	21,10	14,0	31,4
	3800	20,53	12,9	32,8
	4,85	22,47	16,8	28,3
	4200	20,87	13,8	30,7
	4800	23,57	18,3	29,2
	4870	23,27	17,5	30,00
	50048	25,13	19,3	31,4
	94B73	23,17	18,3	29,3
	A4613	23,20	18,3	28,6
	A4910	22,95	17,5	28,4
Fraga	2049	20,93	16,7	26,3
	3100	18,80	10,7	30,1
	3700	21,50	13,5	34,1
	3800	20,43	12,7	32,1
	4,85	21,07	15,8	26,7

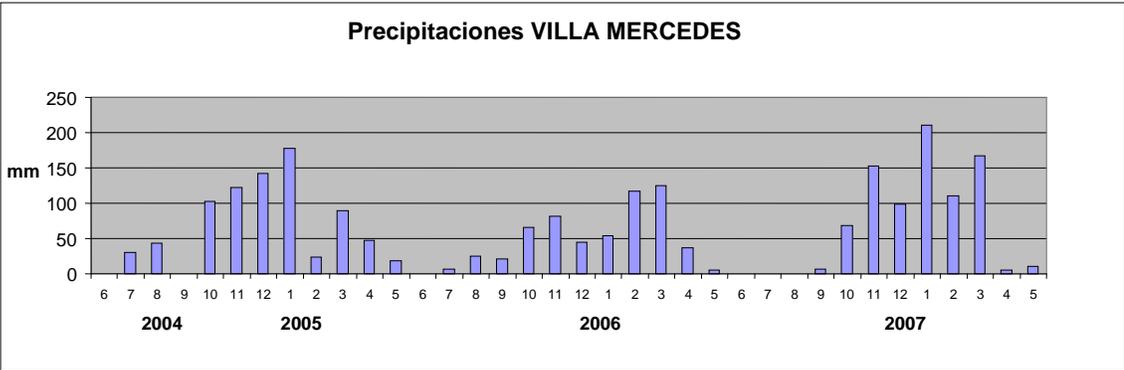
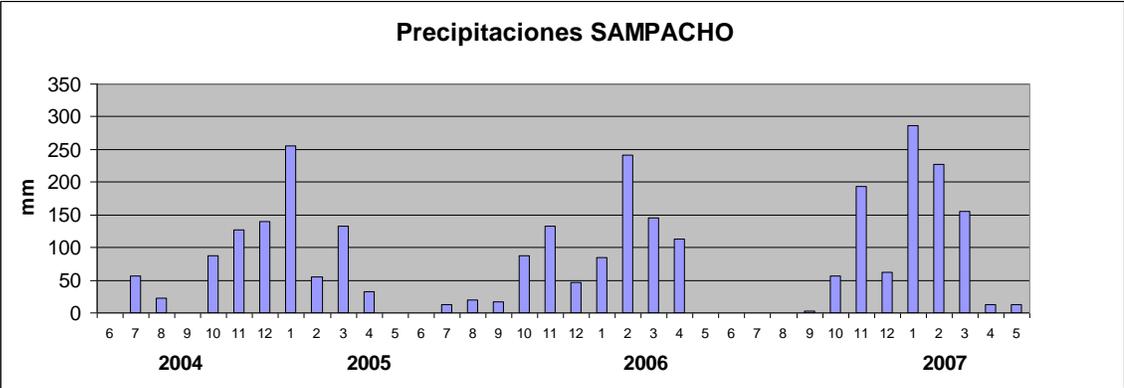
	4200	20,47	15,5	30,0
	4800	22,60	17,5	28,8
	4870	23,50	18,1	30,3
	50048	23,57	18,1	31,2
	94B73	21,80	17,1	28,8
	A4613	22,00	17,6	28,5
	A4910	22,57	17,7	29,8
Juan Jorba	2049	30,97	26,8	34,0
	3100	35,80	24,0	43,2
	3700	38,47	24,5	45,8
	3800	35,47	24,6	42,2
	4,85	30,90	26,4	35,4
	4200	34,33	23,2	41,1
	4800	34,80	27,3	39,1
	4870	34,50	29,4	37,5
	50048	32,83	28,2	35,8
	94B73	32,77	25,5	37,8
	A4613	33,27	26,6	38,1
	A4910	32,70	28,6	36,9
Sampacho	2049	31,27	25,2	36,1
	3100	29,67	19,4	38,8
	3700	32,77	20,6	44,5
	3800	29,33	19,9	41,1
	4,85	31,57	26,7	35,6
	4200	34,60	24,1	41,2
	4800	35,67	27,3	41,0
	4870	36,20	27,9	41,7
	50048	31,53	28,7	34,0
	94B73	34,10	28,7	37,7
	A4613	32,10	26,7	36,2
	A4910	31,13	26,5	36,0

Anexo 6. Rendimiento en grano (qq/ha) de 12 cultivares de soja en ensayos comparativos.

Localidad	Campaña agrícola	Cultivares											
		3100	3700	3800	4200	4800	4870	50048	2049	A4613	A4910	94b73	FN 4.85
Sampacho	04/05	30,8	33,2	27,0	38,5	38,7	41,7	31,9	36,1	33,4	30,9	35,9	35,6
	05/06	19,4	20,6	19,9	24,1	27,3	27,9	28,7	25,2	26,7	26,5	28,7	26,7
	06/07	38,8	44,5	41,1	41,2	41,0	39,0	34,0	32,5	36,2	36,0	37,7	32,4
Villa Mercedes	04/05	17,0	17,9	15,9	18,1	23,2	22,3	24,7	22,2	22,7	22,7	21,9	22,3
	05/06	11,9	14,0	12,9	13,8	18,3	17,5	19,3	17,6	18,3	19,4	18,3	16,8
	06/07	29,6	31,4	32,8	30,7	29,2	30,0	31,4	27,5	28,6	28,3	29,3	28,3
Juan Jorba	04/05	43,2	45,1	42,2	38,7	38,0	37,5	35,8	34,0	38,1	36,9	37,8	35,4
	05/06	24,0	24,5	24,6	23,2	27,3	29,4	28,2	26,8	26,6	28,6	25,5	26,4
	06/07	40,2	45,8	39,6	41,1	39,1	36,6	34,5	32,1	35,1	32,6	35,0	30,9
Fraga	04/05	15,6	16,9	16,5	15,9	21,5	22,1	21,4	19,8	19,9	20,2	19,5	20,7
	05/06	10,7	13,5	12,7	15,5	17,5	18,1	18,1	16,7	17,6	17,7	17,1	15,8
	06/07	30,1	34,1	32,1	30,0	28,8	30,3	31,2	26,3	28,5	29,8	28,8	26,7
Buena Esperanza	04/05	8,8	10,0	10,3	11,0	15,8	16,2	16,7	13,9	14,0	15,2	13,9	14,6
	05/06	10,4	12,0	11,6	13,0	16,9	18,1	18,0	15,4	15,9	17,3	16,0	16,1
	06/07	9,1	11,4	11,6	12,4	19,2	20,3	21,6	17,5	17,9	19,0	18,7	18,5

Anexo 7. Precipitaciones mensuales de las tres campañas agrícolas en los cinco localidades de evaluación.

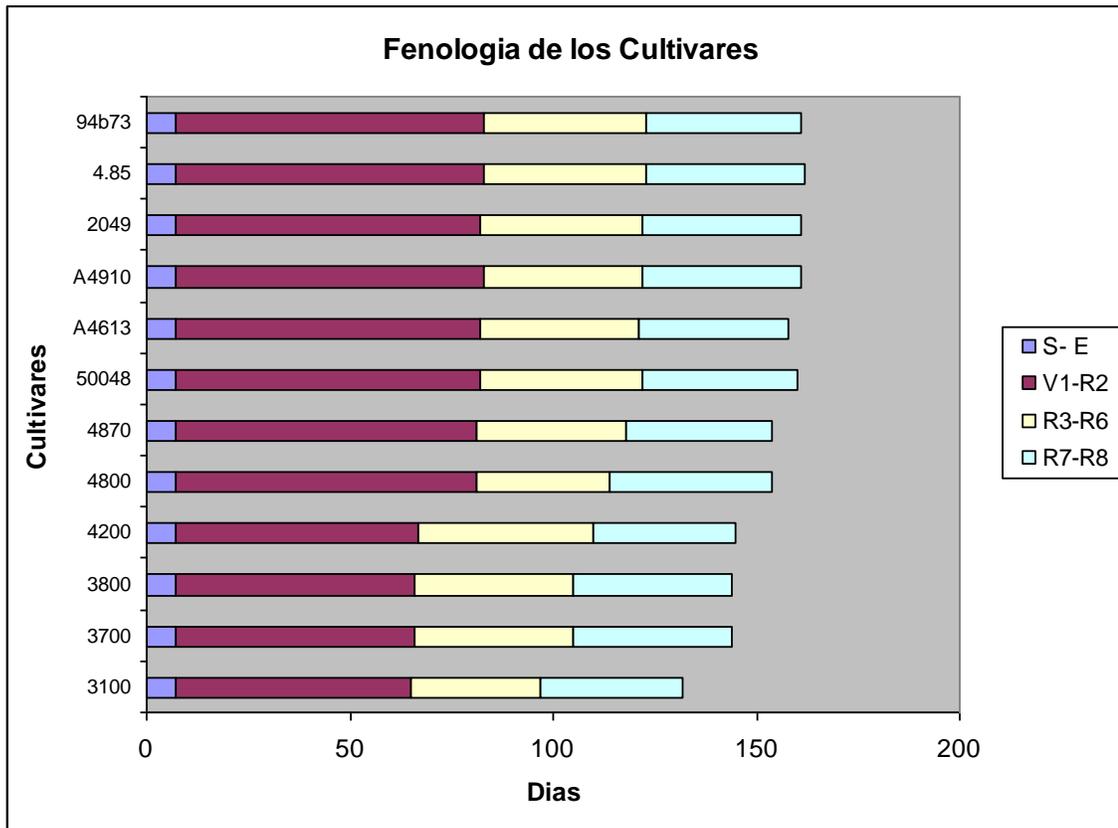




Anexo 8. Kilogramos de granos por mm de lluvia de los 12 cultivares desde Siembra a R6 en las 5 localidades evaluadas durante las 3 campañas agrícolas.

Localidad	Campaña agrícola	Cultivares												mm lluvia
		3100	3700	3800	4200	4800	4870	50048	2049	4613	4910	94b73	4.85	
Sampacho	04/05	5,6	6,1	4,9	7,0	7,1	7,6	5,8	6,6	6,1	5,6	6,6	6,5	547,5
	05/06	4,2	4,4	4,3	5,2	5,8	6,0	6,1	5,4	5,7	5,7	6,1	5,7	467
	06/07	5,9	6,7	6,2	6,2	6,2	5,9	5,1	4,9	5,5	5,4	5,7	4,9	661
Villa Mercedes	04/05	3,9	4,1	3,6	4,1	5,2	5,0	5,6	5,0	5,1	5,1	5,0	5,1	442
	05/06	4,5	5,4	4,9	5,3	7,0	6,7	7,4	6,7	7,0	7,4	7,0	6,4	261,5
	06/07	5,4	5,7	6,0	5,6	5,3	5,5	5,7	5,0	5,2	5,2	5,4	5,2	547
Juan Jorba	04/05	8,3	8,6	8,1	7,4	7,3	7,2	6,8	6,5	7,3	7,0	7,2	6,8	524
	05/06	8,3	8,5	8,5	8,1	9,5	10,2	9,8	9,3	9,2	9,9	8,9	9,2	288
	06/07	7,5	8,5	7,4	7,7	7,3	6,8	6,4	6,0	6,6	6,1	6,5	5,8	536
Fraga	04/05	3,1	3,4	3,3	3,2	4,3	4,4	4,3	4,0	4,0	4,1	3,9	4,2	497
	05/06	4,1	5,1	4,8	5,9	6,6	6,8	6,9	6,3	6,7	6,7	6,5	6,0	264
	06/07	6,1	6,9	6,5	6,0	5,8	6,1	6,3	5,3	5,7	6,0	5,8	5,4	497
Buena Esperanza	04/05	3,2	3,6	3,7	4,0	5,7	5,9	6,1	5,1	5,1	5,5	5,0	5,3	275,5
	05/06	3,1	3,6	3,5	3,9	5,1	5,5	5,4	4,6	4,8	5,2	4,8	4,8	331,5
	06/07	2,6	3,3	3,3	3,6	5,5	5,9	6,2	5,0	5,2	5,5	5,4	5,3	347

Anexo 9. Fenología de los cultivares.



S-E: Siembra-Emergencia

V1-R2: 1era hoja trifoliada- Floración completa

R3-R6: Inicio de formación de vainas-Madurez fisiológica

R7-R8: Fin de ciclo-Madurez de cosecha