



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final para optar al Título de Grado, de Ingeniero
Agrónomo.

INFLUENCIA DEL CULTIVO ANTECESOR SOBRE LA
PRODUCCIÓN DE SOJA

Matías Biset

DNI: 27.933.986

Director: Dr. de Prada Jorge D.

Río Cuarto – Córdoba

Julio - 2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**TITULO DEL TRABAJO: “INFLUENCIA DEL CULTIVO ANTECESOR
SOBRE LA PRODUCCIÓN DE SOJA”.**

Autor: Biset, Matías.

Director: Dr. De Prada, Jorge D.

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

Ing. Agr. Becerra, Víctor _____

Ing. Agr. MSc. Cerioni, Guillermo _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

Como todos, los estudiantes compartimos un “sueño”.

De los sueños, sin embargo, nos despertamos todos, y ahora estoy aquí, no delante del sueño realizado, sino de la concreta y posible forma del sueño.

En este sueño también participan quienes sueñan con uno, a quienes no quiero agradecerles, sino, más bien compartirlo. Entre ellos, mis padres Marina y Enrique quienes me enseñaron a soñar, mis hermanos Chili y Manu siempre presentes, mi director Jorge con su infinita paciencia, con Ariel por su ayuda desinteresada; y compartirlo también con los otros; amigos, profesores y compañeros por su apoyo. Sin embargo, este sueño se lo quiero regalar a dos personas muy especiales, a Ivi y Elvi, porque también lo consideraron su sueño.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| RESUMEN..... | VII |
| SUMMARY..... | VIII |
| 1-INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2- ANTECEDENTES..... | 4 |
| 2.1. Lluvia en el periodo del cultivo..... | 6 |
| 2.2. Fecha de siembra..... | 6 |
| 2.3. Grupo de madurez (GM)..... | 7 |
| 2.4. Densidad de Siembra..... | 8 |
| 2.5. Fertilización..... | 8 |
| 2.6. Influencia de Napa..... | 10 |
| 2.7. Longitud del Barbecho..... | 10 |
| 3-HIPÓTESIS..... | 12 |
| 4-OBJETIVOS..... | 12 |
| 4.1. Objetivo general..... | 12 |
| 4.2. Objetivos específicos..... | 12 |
| 5-MATERIALES Y MÉTODOS..... | 13 |
| 5.1. Materiales | |
| 5.1.1 Marco Teórico..... | 13 |
| 5.1.2 Base de datos..... | 13 |
| 5.2. Método de análisis..... | 16 |
| 5.3. Caracterización del área de estudio | |
| 5.3.1. Descripción geográfica..... | 18 |
| 5.3.2. Geomorfología..... | 18 |
| 5.3.3. Clima..... | 18 |
| 5.3.4. Suelos..... | 19 |
| 5.3.5. Precipitaciones..... | 20 |
| 5.3.6. Temperatura..... | 21 |
| 6-RESULTADOS y DISCUSIÓN..... | 22 |
| 6.1. -ANÁLISIS DESCRIPTIVO- | |
| 6.1.1. Fecha de siembra..... | 22 |
| 6.1.2. Cultivo Antecesor..... | 23 |
| 6.1.3. Grupo de Madurez..... | 24 |
| 6.1.4. Rendimiento..... | 25 |
| 6.2 -ANÁLISIS INFERENCIAL- | |
| 6.2.1. Lluvias en el Periodo del Cultivo..... | 26 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 6.2.2. Fecha de siembra..... | 26 |
| 6.2.3. Cultivo Antecesor..... | 27 |
| 6.2.4. Grupo de Madurez..... | 32 |
| 6.2.5. Densidad de siembra..... | 33 |
| 6.2.6. Influencia de Napa..... | 34 |
| 6.2.7. Fertilización con Fósforo..... | 35 |
| 6.2.8. Longitud del Barbecho..... | 36 |
| 6.3. -REGRESIÓN- | 38 |
| 6.3.1. Modelo Matemático..... | 39 |
| 7- CONCLUSIONES..... | 42 |
| 8- BIBLIOGRAFÍA..... | 45 |
| 9- ANEXOS..... | 51 |

ÍNDICE DE TABLAS, GRÁFICOS

MATERIALES Y METODOS DE ESTIMACIÓN

| | |
|---|----|
| Tabla N° 1: Representación de las variables analizadas | 16 |
| Tabla N° 2: Precipitación promedio octubre a marzo campaña 2005-2006..... | 20 |
| Gráfico N° 1: Ubicación zonal de los grupos AACREA zona centro..... | 13 |
| Gráfico N° 2: Ubicación de campos AACREA..... | 19 |
| Gráfico N° 3: Precipitación promedio desde octubre a marzo según grupo CREA..... | 20 |

ESTADISTICA DESCRIPTIVA.

| | |
|--|----|
| Tabla N° 3: Fecha de siembra Soja Campaña 2005/06..... | 22 |
| Tabla N° 4: Cultivo Antecesor, campaña 2005/06. AACREA zona Centro..... | 23 |
| Tabla N° 5: Grupos de madurez sembrados en la campaña 2005/06..... | 24 |
| Tabla N° 6: Producción de soja para la campaña 2005/06. AACREA zona Centro..... | 25 |

ESTADISTICA INFERENCIAL.

| | |
|--|----|
| Tabla N° 7: .ANOVA Maíz..... | 29 |
| Tabla N° 7.1: Estadísticos Descriptivos, ANOVA Maíz..... | 30 |
| Tabla N° 8: ANOVA Trigo..... | 30 |
| Tabla N° 8.1: Estadísticos Descriptivos, ANOVA Trigo..... | 30 |
| Tabla N° 9: ANOVA Soja..... | 31 |
| Tabla N° 9.1: Estadísticos Descriptivos, ANOVA Soja..... | 32 |
| Gráfico N° 4: Relación entre las precipitaciones promedio y el Rendimiento de la soja..... | 26 |
| Gráfico N° 5: Rendimiento promedio del cultivo de soja en función de la fecha de siembra | 27 |
| Gráfico N° 6: Rendimiento promedio del cultivo de soja en función del cultivo antecesor. | 29 |
| Gráfico N° 7: Rendimiento del cultivo de soja con antecesor Maíz..... | 30 |
| Gráfico N° 8: Rendimiento del cultivo de soja con antecesor Trigo..... | 31 |
| Gráfico N° 9: Rendimiento del cultivo de soja con antecesor Soja..... | 32 |
| Gráfico N° 10: Rendimiento promedio del cultivo de soja en función del Grupo de madurez | 33 |
| Gráfico N° 11: Rendimiento promedio del cultivo de soja en función de la densidad de plantas..... | 34 |
| Gráfico N° 12: Rendimiento promedio del cultivo de soja en función de la influencia de napa..... | 35 |

| | |
|---|----|
| Gráfico N° 13: Rendimiento promedio del cultivo de soja en función del nivel de fertilización con fosforo..... | 36 |
| Gráfico N° 14: Rendimiento promedio del cultivo de soja según la longitud del barbecho | 37 |

MODELO DE REGRESIÓN.

| | |
|---|----|
| Modelo Matemático N° 1 | 39 |
| Tabla N° 10: Resumen del modelo Regresión con todas las variables..... | 40 |
| Tabla N° 10.1: ANOVA del Modelo de Regresión con todas la variables..... | 40 |
| Tabla N° 10.2: Coeficientes del modelo de Regresión..... | 40 |
| Gráfico N° 15: Prueba de Normalidad Q-Q Plot..... | 38 |
| Gráfico N° 16: Diagrama de dispersión de los valores predichos vs los residuos del modelo de regresión | 39 |

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1: *REGRESIÓN SOLO CON LOS CULTIVOS ANTECESORES.*

| | |
|---|----|
| Modelo Matemático N° 2 | 51 |
| Tabla N° 1: Resumen del modelo Regresión solo con la variable antecesor..... | 51 |
| Tabla N° 1.1: ANOVA del Modelo de Regresión con la variable Antecesor..... | 51 |
| Tabla N° 1.2: Coeficientes del modelo de regresión | 51 |

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es, evaluar la influencia del cultivo antecesor sobre el rendimiento en el cultivo de soja (*Glycine max*), entendiendo la importancia de la rotación de cultivos como estrategia de manejo y los aportes de cada cultivo en dicha rotación. Diferentes cultivos antecesores, en conjunto con otras variables de interés agronómico, fueron utilizados para realizar un análisis de regresión lineal múltiple, con datos de productores de la zona central de Argentina. Además, se realizaron análisis inferenciales del impacto sobre el rendimiento de soja de las siguientes variables: fecha de siembra, densidad de siembra, grupo de madurez, espaciamiento entre hileras, aporte de la napa freática, fertilización, daños climáticos y biológicos, longitud del barbecho y cultivos antecesores en la rotación. Los datos fueron obtenidos desde registros de campos del Grupo AACREA Zona Centro, totalizando una superficie estudiada de 210.881 has. El área de estudio presentó características muy favorables para la producción de soja, siendo los rendimientos de la zona (Sudoeste de Córdoba) superiores a los promedios nacionales para la campaña 2005-2006. En las fechas de siembra más tempranas se lograron los mayores rendimientos, aunque con gran variabilidad. En el modelo de regresión obtenido, el antecesor maíz se relacionó positivamente con el rendimiento de soja, mientras que los demás cultivos antecesores considerados se relacionaron negativamente. La influencia de napa freática incrementó los rendimientos, como así también la fertilización fosforada. Además, mientras mayor fue la longitud del barbecho, mayores fueron los rendimientos de soja alcanzados. Este modelo explicó un 57% de la variabilidad en el rendimiento de soja. Por otro lado, se observó que la variable cultivo antecesor por sí sola tuvo un impacto del 16% sobre el rendimiento de soja, lo que refleja la importancia de esta tecnología en la producción de soja.

PALABRAS CLAVES (por orden alfabético): cultivo antecesor; fecha de siembra; fertilización; *Glycine max*; grupo de madurez; napa freática; rendimiento de soja.

SUMMARY

The aim of the present work was to evaluate the influence of the predecessor crop on the soybean (*Glycine max*) production yield, considering the relative importance of crop rotation as a management strategy and the fundamental role of selecting the crops to be involved in it correctly. Different predecessor crops, among several other variables, were considered in multiple lineal regression analysis, using registered data from the central Argentina region. Inferential analyses were also performed to assess the influence of the following variables on soybean yields: sown date, seed density, maturity group, row spacing, phreatic water, fertilization, climatic and biological damages, and predecessor crops. Data was obtained from the records of AACREA Central Region Group database, and the total study area encompassed 210.881 has. The studied area (South-west of Córdoba) is considered very suitable for soybean production and, in the 2005-2006 campaign, it reached soybean yields that were higher than the average national production. In the earliest sown dates, higher yields were achieved, though showing a great variation. Maize crop has reached more consideration as a soybean predecessor, trough years. In the regression model, maize was positively related to soybean yield, whereas all other considered crops were negatively associated. The phreatic water influence and the fertilization using phosphorus increased the soybean yield. In addition, as longer the duration of stubble, higher the soybean yields were obtained. This model accounted for a total of 50% of the soybean yield variation. On the other hand, only the predecessor variable explained a 16% of the yield variation, This may reflects the relative importance of crop rotation on soybean production yields.

KEY WORDS: predecessor crop; sown date; fertilization; *Glycine max*; maturity group; phreatic water; yield.

1- INTRODUCCIÓN

La producción agropecuaria, como todas las actividades productivas, requiere un fuerte componente de conocimiento para ser competitiva. Es aquí donde surge la importancia de la investigación científica como generadora de ese conocimiento Oesterheld *et al.*, (2007). Este estudio pretende contribuir en generar bases de conocimientos sobre las tecnologías agropecuarias más adecuadas a la hora de resolver problemas para una producción de soja eficiente, rentable y sustentable.

Oesterheld *et al.*, (2007), en su tesis “Compromiso entre ciencia y agricultura: El caso de la soja”, concluye que la Argentina genera muy poco conocimiento científico agropecuario, en proporción a la importancia de la actividad agropecuaria como generadora de recursos y divisas en el país. Las investigaciones sobre la producción de soja implican sólo el 2,7% del total de las investigaciones científicas generadas a nivel mundial. Es evidente que en nuestro país existe una clara discrepancia entre la producción de riqueza a través de este cultivo y la producción de conocimiento científico y tecnológico sobre el mismo (Oesterheld *et al.*, 2007). Esta situación en el largo plazo puede tener consecuencias negativas para el desarrollo de la producción. Este es el marco en el que se encuadra el presente trabajo, que se planteó con la finalidad de hacer un aporte al escaso conocimiento científico existente sobre la producción de soja en nuestro país.

La expansión del cultivo de soja (*Glycine max* [L.] Merr.) en Argentina ha sido la transformación más importante que ha operado en la región pampeana en las últimas décadas (Satorre, 2005; Bilenca *et al.*, 2007). Las condiciones de mercado en los últimos años, principalmente el aumento en la demanda por parte de los países asiáticos, ha convertido a la soja en el principal cultivo del país, tanto en superficie implicada como en producción total (Paruelo *et al.*, 2005). Por ejemplo, en la campaña agrícola de hace 20 años (1988/89) se sembraron 4,6 millones de hectáreas y la producción alcanzó 6,5 millones de toneladas, mientras que en la campaña pasada (2011/12) se sembraron más de diez millones más de hectáreas (18,85 millones de hectáreas.) y la producción ascendió más de diez veces (Paruelo *et al.*, 2006; Noticias Rurales, 2012). En 1996, una variedad transgénica de soja resistente a glifosato (herbicida no selectivo) se introdujo al mercado y fue rápidamente adoptada por los agricultores (Bilenca *et al.*, 2007). La soja transgénica alcanzó más del 95% de toda la producción de soja en la región (Martínez- Ghera y Ghera, 2005) y su rápida adopción se vio asociada a un mayor uso de agroquímicos y a sistemas de labranza cero o siembra directa (Satorre, 2005; Trigo, 2005). Por un lado, el sistema de siembra directa mejoró el control de la erosión de los suelos y la eficiencia de los nutrientes, permitiendo mayores rendimientos (Panigattiet al., 1998; Satorre, 2005). Por otro lado, provocó que el control de las malezas dependiera casi exclusivamente del uso de herbicidas (Satorre, 2005).

Esta transformación del escenario agrícola del país fue acompañada por la introducción de nuevas tecnologías para el diseño de planteos productivos en los cultivos. Sin embargo, en muchas situaciones se hace mal uso de las nuevas tecnologías, sin adecuarlas a las condiciones que se presentan en los distintos contextos, lo que genera ineficiencias económicas. Entre estas tecnologías entendidas como prácticas de manejo, la elección del cultivo antecesor tiene una implicancia directa sobre el rendimiento de la soja, e indirecta sobre las demás determinantes del mismo. Además, los efectos sobre los recursos productivos, principalmente los referidos al suelo, también son modificados de acuerdo al plan de rotación estipulado.

Existen escasos antecedentes de los efectos de la elección del cultivo antecesor como parte de la rotación de cultivos en los “sistemas reales de producción”, y la mayoría de los estudios se asientan sobre condiciones experimentales o muy contrastantes. En tal sentido, este trabajo pretende aprovechar la información existente de sistemas reales de producción, para evaluar y cuantificar el efecto de la rotación como sistema de producción sobre el rendimiento de la soja; considerando a éste como uno de los elementos claves para medir la productividad de los suelos y la viabilidad económica de las explotaciones agropecuarias a largo plazo.

Mercau *et al.*, (2001) remarcan la importancia de combinar los estudios experimentales con la investigación de sistemas reales, lo cual permite cuantificar la respuesta real a la combinación de factores que afectan la producción. Debido a que este tipo de investigaciones, en las que se trabaja con información recopilada de productores reales, tienen escasos antecedentes en el país, el siguiente trabajo se formuló siguiendo la metodología recomendada por Wooldridge (2001), quien explica el modo de presentar y analizar información de este tipo.

En resumen, este trabajo tuvo como propósito evaluar el comportamiento del rendimiento del cultivo de soja en relación con un conjunto de variables medidas en sistemas reales, mediante la aplicación de regresiones lineales múltiples, con particular interés en el comportamiento de la variable “cultivo antecesor”. Las demás variables evaluadas fueron: fecha de siembra, densidad de siembra, fertilización, espaciamiento, lluvia en el período del cultivo, influencia de napa, largo del barbecho y daños climáticos.

Los resultados de este estudio permitirán conocer el comportamiento y las relaciones entre las variables propuestas y el rendimiento. Además proveerá las bases para el futuro desarrollo de estudios experimentales.

Los datos utilizados, corresponden a los sistemas de producción del grupo AACREA Zona Centro involucrando las localidades de: Alejandro, Chaján, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctalamochita, Laboulaye – Buchardo, Melo Serrano, Río Cuarto, Río

Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna (provincia de Córdoba y San Luis).

El alcance del estudio será determinar, basándonos en la información disponible, mediante la utilización de modelos estadísticos y diseño de las variables, planteamientos productivos con mayores certezas.

Por último, las implicancias de este estudio son importantes desde el punto de vista práctico porque, si la hipótesis de que la elección del cultivo antecesor impacta sobre el rendimiento de soja es cierta, la tendencia hacia el monocultivo podría afectar la productividad del agro-ecosistema como un todo, reduciendo su potencial productivo en el largo plazo. Mientras que si la hipótesis es falsa, la tendencia hacia el monocultivo no resultaría en una menor productividad de este cultivo.

2- ANTECEDENTES

La producción de soja en Argentina ha crecido considerablemente desde sus comienzos en la década del '70, llegando hoy en día a ser el cultivo dominante de las áreas agrícolas del país. A medida que el área agrícola se fue expandiendo, este cultivo fue reemplazando a otros, como el maíz en las áreas húmedas, el sorgo y girasol en las regiones sub-húmedas, pastizales naturales y pasturas cultivadas en zonas ganaderas y de mayor aridez.

Esta tendencia produjo que los sistemas de cultivos en la pampa central fueran cambiando gradualmente del sistema mixto tradicional a sistemas más especializados, que involucran rotaciones más simples de cultivos agrícolas con mayor uso de insumos externos (Viglizzo et al., 2001). Es importante destacar que los sistemas mixtos de producción, basados en rotaciones con pasturas permanentes en Argentina, son considerados una excelente estrategia para mantener la fertilidad de los suelos y romper el ciclo biológico de las plagas y enfermedades (Schnepp et al., 2001); lo que permite disminuir la utilización de insumos externos, pesticidas y fertilizantes. De hecho, en Estados Unidos, como así también en varios países europeos, se están promoviendo sistemas mixtos de producción para lograr una agricultura sostenible (Gold, 1999).

En contraste, las rotaciones simples y especialmente el monocultivo pueden tener profundas repercusiones negativas sobre la producción, tales como: pérdida de la fertilidad y acidificación de los suelos (Gutierrez et al., 1993), proliferación de plagas, enfermedades y malezas resistentes a pesticidas, contaminación biológica del suelo por ácaros, nemátodos y hongos entre otras adversidades biológicas (Viglizzo et al., 2001).

Numerosos autores sostienen la particular importancia de la rotación como práctica de manejo en la producción y como generadora de estabilidad en los rendimientos de los cultivos en la rotación (Webber, 1999; Kelley et al., 2003; Zulauf y Specht, 2005). Por ejemplo, varios estudios demuestran que el rendimiento de la soja es menor cuando se desarrolla en monocultivo en comparación a cuando es rotada con otro cultivo (Crookston et al., 1991; Meese et al., 1991; West et al., 1996).

En términos generales, la rotación-antecesor de los cultivos constituye una estrategia importante de manejo, ya que puede brindar alguna o varias de las siguientes ventajas: aumento en el control de plagas (Benson, 1985), mejoramiento de la agregación del suelo (Baldock y Kay, 1987), aumento en la disponibilidad de nutrientes (Adamset et al., 1970; Baldock y Musgrave, 1980; Varvel y Peterson, 1990), aumento de la calidad del grano (Asghari y Hanson, 1984) e incluso el incremento en los rendimientos (Crookston et al., 1988; Varvel y Peterson, 1990; Crookston et al., 1991). La rotación-antecesor de los cultivos

es conocida como la práctica agronómica más antigua y básica en el control de plagas (Zulauf y Specht, 2005).

En contraste, Wood (1998 y 2001) ha argumentado que existen regiones ecológicas, donde los monocultivos fueron y serán sostenibles. El autor, menciona que existen regiones donde la evolución natural del ecosistema muestra como dominante a una sola especie. Por ejemplo, en las regiones originarias de los cultivos de arroz, trigo y sorgo, las especies silvestres vinculadas a estos cultivos, han sido dominantes independientemente de la acción del hombre. Por lo tanto, Wood (2001) sostiene que la base ecológica para desarrollar el monocultivo existe naturalmente y los principios ecológicos que dominan estas regiones, pueden ser considerados para el desarrollo de cultivos de una sola especie en determinados ambientes, que pueden ocupar porciones importantes del territorio.

Por otro lado, el mismo autor, en un artículo publicado en la revista "Food Policy", argumenta que los principios ecológicos a los que adhieren los promotores de la diversidad, han sido soportados tomando ambientes muy específicos y difícilmente generalizables a todo un territorio. Por ejemplo, Wood (1998) señala que la postura de 'Conway' quien afirma "que la diversificación de cultivos mejora la productividad y estabilidad del agro-ecosistema", está basada en comparaciones entre ecosistemas agrarios muy diferentes: unos altamente intervenidos y degradados, versus sistemas agro-ecológicos desarrollados en selvas tropicales.

Esta literatura, básicamente, muestra que quizás no exista un principio ecológico universal para todos los ambientes, y que tanto la diversidad de cultivos como los monocultivos pueden darse en distintos ambientes. Debido a la discrepancia encontrada respecto de los beneficios de la rotación cultivos y su influencia sobre la producción de soja, es importante analizar las tecnologías – prácticas de manejo que mayor impacto tienen en la producción de la misma, para poder aislar el efecto de cada una de ellas.

En tal sentido en la producción de soja, el éxito está condicionado por numerosas decisiones de manejo. Entre ellas, la elección del cultivo antecesor como parte de la rotación tiene un efecto aun no esclarecido en "sistemas reales" de producción y es el principal objeto de análisis en este trabajo. Sin embargo, existen otras prácticas de manejo que tienen gran impacto en el rendimiento de la misma, entre éstas: la fecha de siembra, la elección del grupo de madurez, la densidad siembra, la fertilización y la longitud del barbecho. Por otro lado y en complemento con las decisiones de manejo, las características del ambiente de producción tiene efectos directos sobre el rendimiento de la soja, entre ellas, fueron objeto de análisis en este trabajo, la lluvia en el período del cultivo, la influencia de la napa freática y el daño producido por la sequía en las distintas etapas de desarrollo del cultivo.

A continuación se presentan algunos de los antecedentes encontrados en la literatura donde se describe a cada una de las variables antes mencionadas y su influencia sobre el

rendimiento del cultivo de soja para la región central del país. Conociendo estos antecedentes, en este trabajo además de evaluar el efecto de la rotación de cultivos en el rendimiento de la soja, también se evaluó el efecto de estas variables para la campaña 2005-2006 en los campos que comprende el grupo AACREA, Zona Centro.

2.1. Lluvia en el período del cultivo.

Las condiciones climáticas delimitan geográficamente las regiones donde pueden realizarse extensivamente los cultivos agrícolas y junto con otros factores (edáficos, tecnológicos, culturales, etc.) determinan la cantidad y calidad de las cosechas Bettolli *et al.*, (2004)

Sin embargo, la variabilidad climática condiciona en gran medida la variabilidad de los rendimientos. En este sentido Pascale *et al.*, (1995) realizaron una zonificación climática y edáfica de la región central Argentina para el cultivo de soja y computaron la probabilidad de años con distintos rangos de deficiencia hídrica como determinantes de años buenos y malos para el cultivo.

Distintos autores en Argentina han estudiado el impacto del clima sobre el rendimiento de la soja (Minetti y Lamelas, 1995; 2001; Boullon, 2002; Bettolli *et al.*, 2002; Giorda y Baigorri, 1997). Éstos concluyeron que de las variables climáticas, la precipitación es la de mayor influencia en la producción de la soja.

Bettolli *et al.*, (2002) concluyeron que el rendimiento de la soja presenta una asociación significativa con la precipitación acumulada en el ciclo de cultivo (octubre – marzo), pudiéndose explicar el 66% de la varianza del rendimiento del cultivo. Mientras que en otro trabajo publicado por Bettolli *et al.*, (2004), concluyen que en la Argentina la relación del rendimiento del cultivo de soja con la precipitación es directa y significativa en los meses de octubre a marzo indicando claramente la dependencia hídrica de este cultivo.

En tal sentido, en este trabajo se analizaron las precipitaciones durante el período del cultivo (Octubre – Marzo) para la campaña 2005-2006 del grupo AACREA, debido su influencia en la determinación del rendimiento. Esta variable fue incluida dentro del grupo de variables que se analizaron mediante una regresión lineal múltiple para poder arribar a resultados más certeros respecto a la conformación del rendimiento del cultivo de soja.

2.2. Fecha de siembra.

El rendimiento de los cultivos varía considerablemente entre diferentes zonas y ciclos productivos, siendo numerosos los factores que se conjugan para conformar el ambiente de producción. Entre ellos, la fecha de siembra (FS) determina las condiciones ambientales a las que se expondrá el cultivo en su ciclo de crecimiento (temperatura, fotoperiodo, radiación, precipitaciones, etc.). Estas condiciones, combinadas con las

características del sitio, conformarán el ambiente productivo que determinará el grado de expresión del potencial genético del cultivo.

En la región núcleo sojera del país, las fechas de siembra que permiten expresar el potencial con buena estabilidad de rendimiento son aquellas ubicadas en los meses de octubre, noviembre y principios de diciembre. En estas fechas se logra un buen crecimiento en altura, se evita el vuelco de la planta y se ubica el período crítico bajo buenas y estables condiciones ambientales. En estas situaciones el agua disponible en el suelo durante el llenado de granos tiene una alta relación con el rendimiento (Baigorri, 1997).

Desde hace unos años la tendencia ha sido adelantar las fechas de siembra debido a la expresión de rendimiento que manifiestan algunos cultivares. (Baigorri, 1997).

La fecha de siembra depende de las características climáticas (régimen térmico, régimen hídrico) y de la secuencia de cultivos utilizada. El adelantamiento de la FS permite exponer el período de llenado de granos a mayores temperaturas y radiación, aumentando su tasa de crecimiento. Por el contrario, su atraso afecta negativamente el establecimiento de vainas y granos limitando la asimilación debido a la menor temperatura y radiación incidente (Kantolic y Slafer, 2000).

En Balcarce se encontró que por cada día de atraso en la FS ocurre una pérdida promedio de 40 kg ha⁻¹ entre las FS de la primera quincena de octubre, respecto a FS de fines de diciembre (Andrade y Sadras, 2002), mientras que en la zona centro y sur de la provincia de Córdoba la misma varía entre 20 y 34 kg ha⁻¹ día⁻¹, a partir de la primera quincena de noviembre (Cottura, 2007).

2.3. Grupo de madurez (GM).

Debido a la respuesta de la soja al fotoperiodo, cambios en la latitud hacen necesarios cambios en la elección del grupo de madurez a implantar. En este sentido para la correcta elección de los cultivares se deben considerar las condiciones ecológicas locales, las características de los cultivares adoptados y las prácticas de manejo (Baigorri, 1997).

Cada grupo de madurez se adapta a una franja latitudinal específica. A pesar de esto, en los últimos años en Argentina se ha incrementado el uso de cultivares de ciclo más corto que los tradicionalmente aconsejados para esa franja latitudinal de adaptación, siendo normalmente el tipo de crecimiento indeterminado destinado a siembras de primavera (Salines, 1997).

Los grupos de madurez más cortos en general requieren fechas de siembras más tempranas, suelos con pocas limitaciones físico-químicas y un mayor control de plagas y enfermedades, permitiendo menor vuelco y mayor rendimiento en condiciones de alta fertilidad y disponibilidad hídrica. Sin embargo, suelen presentar menor estabilidad en el

rendimiento debido a un mayor consumo diario de agua durante el período de llenado de granos (Baigorri, 1997b).

El rendimiento está directamente influenciado por el largo del ciclo del cultivo (Miladinovicet al., 2006). Sin embargo a medida que se alarga el ciclo del cultivar se incrementa el crecimiento en altura y también los problemas por vuelco. Para evitar este problema los GM más largos se destinan a fechas de siembras más tardías, con lo cual se corre el período de llenado de granos hacia el otoño, recibiendo menor radiación y temperatura, con menor posibilidad de expresar su potencial de rendimiento. Los GM más cortos, presentan menor longitud de su ciclo, por lo que acumulan menor biomasa, pero su índice de cosecha es mayor al de GM más largos (Kumudiniet al., 2001).

Por otra parte, la estabilidad del rendimiento se comporta de manera inversa al potencial del mismo, asociada directamente al ciclo. En aquellos ciclos más largos, por definir el rendimiento en épocas más tardías, de menor evapotranspiración, se requiere menos agua para producir igual rendimiento, con lo cual se reduce el rango de rendimientos posibles (Baigorri, 1997).

2.4. Densidad de Siembra.

La densidad de plantas óptima es aquella que permite un buen crecimiento, reduce la incidencia de enfermedades, y que permite colocar a cada planta en las condiciones más favorables de desarrollo logrando optimizar los recursos del ambiente. Esta densidad de plantas a lograr está influenciada por la fecha de siembra, la latitud, las condiciones ambientales, las características del cultivar y el espaciamiento entre surcos. En este sentido, la soja es considerada una especie con alta plasticidad de respuesta a la densidad de siembra, debido a su alta capacidad de compensación a través del número de ramas y frutos por planta (Baigorri, 1997).

Mientras más tardía sea la fecha de siembra es recomendable aumentar la densidad de plantas. Por otro lado, en condiciones ambientales que limitan el desarrollo del cultivo también es recomendable aumentar la densidad de siembra para lograr una mejor y más rápida cobertura.

2.5. Fertilización.

Si bien las prácticas culturales de manejo han mejorado en los últimos años (variedades, fechas de siembra, control de malezas, cosecha, etc.), el uso de fertilizantes en el cultivo de soja ha sido muy escaso, limitándose a aplicaciones de fertilizantes de arranque en el mejor de los casos. Resultados de investigaciones realizadas en la región pampeana demuestran la potencialidad de respuesta del cultivo ante situaciones de deficiencia de nutrientes como por ejemplo, de fósforo (P) y azufre (S).

Por otra parte, la expansión de la soja en Argentina y la reducida aplicación de fertilizantes en el cultivo han generado balances negativos para los nutrientes del suelo. Estos desbalances nutricionales resultan en la degradación de la fertilidad de los suelos. Un ejemplo evidente lo constituye la zona centro-sur de Santa Fe donde el fuerte desarrollo del cultivo de soja, sumado a los efectos de la erosión, redujo drásticamente los contenidos de materia orgánica y fósforo disponible en los suelos (García y Echeverría, 2000).

La remoción de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) en un cultivo de soja de 4000 kg/ha de rendimiento equivale a 260, 132, 156 y 79 kg/ha de urea, superfosfato triple, cloruro de potasio y sulfato de amonio, respectivamente. La degradación resultante a partir de la descapitalización de estos nutrientes en los suelos afecta la productividad de la soja y de otros cultivos en el corto plazo en zonas con historia agrícola más prolongada, mientras que estos efectos se observarán a mediano plazo en áreas de menor "agriculturización" y fundamentalmente "sojización".

En este sentido, la fertilización en soja debería estar orientada con el objetivo, de desarrollar un cultivo con óptimo estado vegetativo a floración (Fehr y Caviness, 1980, citado por Kantolic y Slafer, 2000; Summerfield et al., 1998) que permita interceptar eficientemente la radiación incidente y maximizar la tasa de acumulación de materia seca durante el período de llenado de granos (Vasilas et al., 1995). Para alcanzar este objetivo, sin dañar el medio ambiente es necesaria la evaluación de las condiciones nutricionales del ambiente de producción.

En general, el cultivo de soja presenta mayores requerimientos nutricionales por cada kilogramo de grano producido e índices de cosecha de nutrientes superiores al de los cereales. La soja exporta 80-85% y 55-60% del P y K que absorbe, mientras que trigo y maíz exportan 70-75% y 20-25% del K absorbido.

En cuanto a los nutrientes secundarios, la soja presenta requerimientos de azufre superiores a los que requieren trigo y maíz, mientras que para una eficiente fijación biológica de nitrógeno requiere de micronutrientes como: molibdeno (Mo), cobalto (Co), níquel (Ni), boro (B), hierro (Fe) y manganeso (Mn), (Baigorri, 1997).

La fertilización del cultivo de soja en sistemas reales de producción aún no tiene un efecto esclarecido, siendo su influencia sustentada por investigaciones en micro parcelas o en ambientes muy contrastantes. Por tal motivo en este trabajo se tomó en cuenta esta variable en la regresión lineal múltiple, con el fin de conocer su impacto en sistemas reales de producción.

2.6. Influencia de Napa.

La disponibilidad hídrica es el factor ambiental más limitante de la productividad de los cultivos en nuestro país. Por tal motivo el aporte de agua desde la napa freática, adquiere gran relevancia por su potencial de contribución en el incremento del crecimiento y rendimiento en la producción de soja. En este sentido, saber aprovechar este recurso en aquellas zonas donde está disponible es fundamental para la optimización de la producción, mientras que permite incorporar nuevas zonas productivas al escenario agrícola del país.

En los casos en los que el aporte de la napa freática evita el estrés hídrico, es posible aprovechar la mayor potencialidad productiva de las fechas de siembra tempranas (mes de octubre) y la mayor capacidad de expresión del potencial de rendimiento de los cultivares de ciclo más corto. Las fechas de siembra tempranas a su vez otorgan la posibilidad de adelantar la fecha de cosecha y asegurar la disponibilidad de piso, en regiones donde se presenta esta limitante.

Es importante destacar que existen infinitas combinaciones de profundidad de napa, de su frente de ascenso capilar, de la calidad y contenido de sales. De acuerdo a la combinación de estas características pueden ocurrir diferentes efectos sobre el cultivo de la soja (Baigorri *et al.*, 2002).

Baigorri *et al.*, (2002), en un trabajo desarrollado en Jovita concluyen que “*en muchos casos es posible revertir una situación que se planteaba como altamente problemática en una condición beneficiosa, que su solución depende del conocimiento y del uso que se le dé a éste*”.

En este trabajo la influencia de napa es evaluada como otro de los factores de gran influencia en la producción de soja. Sin embargo dentro de la información que se analizó contamos sólo con los estados de presencia y ausencia de napa. Es necesario destacar que para arribar a conclusiones más precisas del impacto de esta variable sobre el rendimiento de la soja sería conveniente contar con información más detallada, como la profundidad efectiva y la calidad del agua.

2.7. Longitud del Barbecho.

El término *barbecho* hace referencia al período durante el cual se deja descansar la tierra, entre dos ciclos productivos. Durante el período en el que no se implantan cultivos, se realizan una serie de labores con el objeto de mejorar la condición futura para el cultivo de la rotación. Esta mejora consiste principalmente en acumular agua en el perfil, lo que permitirá al cultivo siguiente emerger y crecer en sus primeras etapas vegetativas. Por otro lado, el barbecho sirve para incrementar la disponibilidad de nitratos en el suelo, liberar el lote de la presión de malezas, mantener la cobertura, entre otros beneficios.

En los planteos agrícolas actuales, la longitud y calidad del barbecho toma gran importancia, condicionando el punto de partida para el éxito en la producción. Entre los factores que determina podemos mencionar el nivel de almacenamiento de agua en el perfil, la población de malezas, el nivel de cobertura y la disponibilidad de nitratos. Lograr un buen barbecho determina en parte estos factores y tiene un efecto directo en la producción del cultivo. Actualmente, los barbechos se orientan exclusivamente al uso de agroquímicos manteniendo las virtudes que nos otorga la siembra directa en nuestra región. Sin embargo existes ocasiones donde es necesario implementar algún tipo de labranza para solucionar problemas edáficos (piso de arado y encostramiento superficial).

La longitud del barbecho, se determina por el tiempo transcurrido entre la primera labor después de la cosecha y la implantación del cultivo. De este modo existen barbechos largos cuando el tiempo de descanso de la tierra está dado por dos cultivos estivales y barbechos cortos cuando existe un cultivo invernal previo al cultivo estival, determinando un descanso del lote mucho menor.

Existen numerosos estudios que hablan de la correlación entre esta variable y el rendimiento de la soja, aunque los resultados obtenidos han sido muy contrastantes. Por ejemplo Ross y Carpaneto (2007) encontraron que la duración del período de barbecho afectó el rendimiento del cultivo de soja cuando el antecesor fue un verdeo de invierno. Barbechos cortos de 20 días, disminuirían el rendimiento de soja a través de su efecto sobre el crecimiento del cultivo. Por otro lado, De Battista y Arias (2009) concluyeron que la disponibilidad hídrica para el cultivo de soja no fue afectada por la duración del barbecho y en consecuencia no hubo diferencias en el rendimiento.

Dada la discrepancia observada sobre la influencia de esta variable en el rendimiento de la soja, en este trabajo también se incluyó la duración del barbecho dentro del modelo de regresión lineal múltiple para evaluar su influencia en este caso particular.

3- HIPÓTESIS

La elección del cultivo antecesor, genera respuesta sobre el rendimiento de la soja, variando esta respuesta según cuál sea el antecesor seleccionado.

4- OBJETIVOS

4.1. Objetivo general:

Evaluar el impacto del cultivo antecesor sobre la producción de soja en la región pampeana. Con datos provenientes de sistemas reales de producción otorgados por el grupo AACREA Zona Centro.

4.2. Objetivos específicos:

* Determinar cuál es el modelo conceptual de los factores de la producción que mejor explica el efecto del cultivo antecesor sobre la producción de soja en sistemas reales de producción.

*Estimar y analizar el efecto cuantitativo del cultivo antecesor sobre la producción de soja controlando los factores: lluvia en el período del cultivo (octubre-marzo), Fecha de siembra, espaciamiento entre surcos, grupo de madurez, fertilización fosforada, influencia de napa, longitud del barbecho previo a la siembra, daños climáticos por sequía.

5- MATERIALES Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN.

5.1. Materiales

5.1.1 Marco teórico

Bibliografía existente sobre el tema. Se realizó una revisión bibliográfica de las variables más influyentes en el rendimiento de la soja en el área central del país (Antecedentes).

5.1.2 Base de datos

Descripción de datos

Se utilizaron datos recopilados por el equipo de asesores del Grupo AACREA Zona Centro, correspondiendo a la campaña 2005-2006. Dicho organismo cuenta con una importante recopilación de información de productores de la zona. En este sentido, la planilla de datos AGRIZOCE 2005-2006 es justamente una recopilación de los resultados productivos obtenidos por un centenar de productores de la zona, en donde se encuentra información sobre las distintas tecnologías de producción y resultados productivos. En este caso en particular se tomo la información de 869 lotes donde se sembró soja en la campaña 2005-2006.

Es importante destacar que la información provista por la planilla de datos AGRIZOCE 2005-2006 cuenta con información “real” tomada por productores y revisada por asesores del grupo AACREA zona centro.

La Zona Centro del AACREA está compuesta por 13 grupos y comprende las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctalamochita, Laboulaye– Buchardo, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria y Washington Mackenna (entre las provincias de Córdoba y San Luis). La superficie regional abarcada es de 210.881 has. de las cuales 112.529 has. son destinadas a ganadería y 95.651 has. son destinadas a agricultura.

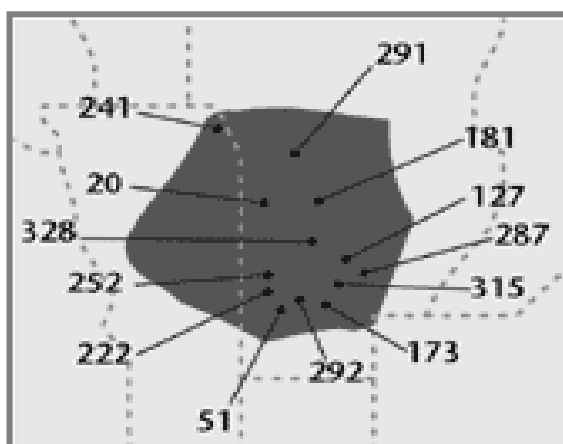


Gráfico N° 1. Ubicación zonal de los grupos AACREA zona centro. (Fuente: www.aacrea.org.ar, 2008).

En la campaña 2005/06 se sembraron en el grupo AACREA zona centro, 54.400 hectáreas de soja sobre un total de 210.881 hectáreas lo que significó un 26% de la superficie total, mientras que al mismo tiempo significó el 57% del área agrícola. La producción de soja para esa campaña se realizó en 869 lotes con un promedio de 62,5 has. por lote.

Descripción de las Variables

Las variables analizadas en este trabajo, fueron incluidas debido a su influencia sobre el rendimiento en la producción de soja, hallada dentro del marco de una profunda revisión bibliográfica. Wooldridge (2001) menciona que la importancia de describir información que no es estándar y que no ha sido empleada previamente por otros investigadores, radica en permitirle al lector poder reproducir su análisis.

Es importante destacar que la información de las variables recopilada por los productores del grupo AACREA zona centro, fue registrada de la siguiente manera: i) de modo cuantitativo, las variables: rendimiento, fertilización, grupo de madurez, densidad de siembra y lluvia; ii) de modo cualitativo las variables: cultivo antecesor, influencia de napa y daño por adversidades iii) por ultimo de modo temporal las variables: fecha de siembra y longitud de barbecho. Debido a la naturaleza de la información, las variables cualitativas y temporales fueron codificadas numéricamente para poder desarrollar análisis estadísticos más complejos, como así también, poder introducirlas dentro de la regresión lineal múltiple propuesta.

De este modo, las variables fueron:

Lluvia en el período del cultivo: Se registraron las precipitaciones mensuales en milímetros totales. Esta variable se midió durante el período que comprende el desarrollo del cultivo de la soja en la región central de Argentina, siendo el rango de meses comprendidos entre octubre y marzo.

Fecha de siembra: Esta variable fue registrada dividiendo los 30 días de cada mes, a partir de septiembre, en 3 decenas. Así, del 1 al 10 se correspondió con la primera decena, del 11 al 20 con la segunda y del 21 al 30 con la tercera. Luego, la variable se codificó con los valores comprendidos entre 1 y 11 en relación con la decena en que se efectuó la siembra. Así, si el cultivo fue sembrado en los primeros 10 días de septiembre, a la variable le correspondió el valor 1, y sucesivamente para cada decena.

Grupo de Madurez (GM): Esta variable fue registrada según la variedad de soja sembrada. Para los 869 lotes sembrados con soja en la campaña 2005-2006, se registró el grupo de madurez con el valor numérico que representa el ciclo. Así, se determinaron los

grupos de madurez III, IV, V y VI. Siendo las marcas comerciales que comprendieron estos ciclos para la campaña 2005-2006: **GM. III:** DM 3700, A 3901 RG. **GM. IV:** DM 4600, DM 4800, A 4910 RG. **GM. V:** DM 50048, A 5409 RG. **GM. VI:** A 6445 RG.

Espaciamento entre hileras: Esta variable fue registrada como centímetros entre surcos, para la campaña 2005-2006 del grupo AACREA zona centro.

Fertilización con Fósforo: En este caso se registraron los kilogramos de fertilizante por hectárea incorporados al cultivo para la campaña 2005-2006. Como el objeto de análisis en este trabajo es el impacto del fósforo sobre el rendimiento de la soja y debido a que la composición de los distintos fertilizantes varía en la proporción de fósforo que contiene, la variable fertilización fue calculada como partes por millón de fósforo aportado por hectárea.

Influencia de napa: Esta variable fue registrada para los 869 lotes bajo estudio, de manera cualitativa y sus estados fueron “lotes con influencia de napa” y “lotes sin influencia de napa”. La variable se codificó de forma binaria asignándole los valores 1 y 0 a cada estado, respectivamente.

Longitud de barbecho: Esta variable fue registrada a partir de la diferencia entre la fecha en que se realizó la primera labor en el lote y la fecha de siembra de soja para la campaña 2005-2006. La longitud del barbecho, al igual que la fecha de siembra, se codificó por decena de días.

Cultivo antecesor: Para registrar esta variable se tomó la información del cultivo precedente en aquellos lotes destinados a la siembra de soja. La información cualitativa (maíz, soja, trigo, etc) de esta variable fue codificada de manera binaria. Así, cada cultivo antecesor fue valorado con “1” en caso de presencia y “0” en caso de ausencia. Es importante aclarar que para el análisis de la regresión lineal múltiple, ciertos cultivos antecesores fueron agrupados debido a su baja frecuencia, tratando de mantener las características que aportan al lote. Así, se agrupó el cultivo antecesor maíz con sorgo, el trigo con los verdeos de invernales, la condición natural con el pasto llorón.

Daños por sequía: Esta variable se registró tomando información de los daños producidos por la sequía durante alguna de las etapas del ciclo del cultivo, categorizándola según su impacto, de modo que cada categoría tomó la siguiente numeración: 0 = sin daño, 1 = daño leve, 2 = daño moderado y 3 = daño severo.

En la siguiente tabla se resumen las variables, sus unidades y tipología.

Tabla 1: Representación de las variables analizadas

| <i>Variable</i> | <i>Unidad</i> | <i>Tipo</i> |
|----------------------------------|--|-----------------------|
| Rendimiento | Kg /ha. | Cuantitativa continua |
| Lluvia en el Período del cultivo | mm de lluvia | Cuantitativa discreta |
| Fecha de siembra | Decenas de días | Cuantitativa nominal |
| Espaciamiento entre Hileras | Centímetros. | Cuantitativa discreta |
| Grupo de Madurez | III – IV – V – VI. | Cuantitativa nominal |
| Fertilización Fosforada | Ppm de P/ha. | Cuantitativa continua |
| Influencia de Napa | 1 = con influencia, 0 = sin | Cuantitativa Binaria |
| Longitud del Barbecho | Décadas de días en Barb. | Cuantitativa |
| Cultivo Antecesor | 1= presencia, 0= ausencia | Cuantitativa Binaria |
| Daño por Sequia | 0= sin daño, 1=daño leve, 2=moderado y 3=severo | Cuantitativa ordinal |

5.2. Método de análisis

En primer lugar, se realizó un análisis estadístico descriptivo de los datos obtenidos sobre los sistemas de producción, identificando cada variable y su comportamiento para el período 2005-2006.

En segundo lugar, se estudió mediante análisis estadísticos inferenciales cómo las distintas variables influyeron sobre el rendimiento. Estos análisis permitieron inferir el comportamiento del rendimiento de la soja según la influencia de cada variable en particular.

Por último, se identificó un modelo explicativo del rendimiento de la soja que aisló el efecto del cultivo antecesor (como sistema de producción) sobre el rendimiento. Para ello, los datos fueron tratados mediante un **análisis de regresión lineal múltiple**, considerando el rendimiento de soja como variable respuesta o no controlada (y) y el cultivo antecesor como **una** de las variables explicativas. El término “lineal” de la regresión, hace referencia a que la ecuación es lineal en sus parámetros (ya que el modelo general acepta relaciones no lineales), y el término “múltiple”, se refiere a que se incorpora más de una variable explicativa. Para llevar a cabo este análisis es necesario cumplir con dos supuestos, el primero asume la hipótesis de homocedasticidad la cual establece que la variabilidad de los residuos es independiente de las variables explicativas (Rojo, 2007), en otras palabras la homocedasticidad establece que este error (residuo) es una variable aleatoria y que tomará un valor distinto cada vez que usemos el modelo de regresión, asumiendo siempre la misma varianza; para evaluar el cumplimiento de este supuesto se graficaron los

valores predichos versus los residuos de la variable respuesta. En segundo lugar, el supuesto que establece la hipótesis sobre la normalidad de la variable respuesta, la cual fue evaluada gráficamente mediante un Q-Q plot.

Para aislar el efecto de los distintos cultivos antecesores sobre la producción de soja, se incluyeron las variables control: lluvias en el período del cultivo, daño por sequía, la influencia napa, cultivo antecesor (maíz, soja, alfalfa, trigo), fecha de siembra, espaciamiento entre surcos, grupo de madurez, fertilización fosforada y longitud del barbecho.

De acuerdo con Wooldridge (2001) en su manual de econometría, la regresión múltiple permite al investigador imitar la situación de haber tomado los datos al azar con ciertos factores homogeneizados, pero sin restringir los valores de alguna de las variables independientes (explicativas). Así, esta técnica permite mantener fijos ciertos factores aparte del de interés, facilitando al investigador trabajar como lo hacen los científicos en los entornos controlados de laboratorio (Wooldridge, 2001).

La representación empírica de la regresión, vincula estas variables según la siguiente ecuación:

$$\textbf{Ecuación: } y = \beta_0 + \beta_1 x + \sum_i \beta_i z_i + u$$

Donde β son los parámetros del modelo a estimar, y la variable respuesta (rendimiento de soja), x nuestra variable de interés (Antecesor), z_i representa las variables de control y u el “término de error”, donde además i es un subíndice para identificar las diferentes variables de control (1 fecha de siembra, 2 longitud del barbecho y así sucesivamente).

El coeficiente de determinación R^2 (resultado de la regresión) permite identificar la fracción de la variación de la muestra de y (rendimiento de soja) que es explicada por el modelo. En otras palabras el coeficiente de determinación R^2 es el coeficiente que nos indica el porcentaje del ajuste que se ha conseguido con el modelo de regresión lineal múltiple.

Caracterización del área de estudio

5.3.1. Descripción Geográfica

Los 13 grupos CREA pertenecientes a la Zona Centro del AACREA se encuentran en un área geográfica compuesta por cinco departamentos: Río Cuarto, Juárez Celman, Presidente Roque Sáenz Peña, General Roca (Córdoba) y Gobernador Dupuy (San Luis). Se trata de una zona ubicada en llanuras con bajas pendientes. Como consecuencia de ello, en la porción sur de la región se destacan numerosos bañados y lagunas formadas por los abundantes cursos temporarios que no logran formar redes hídricas jerarquizadas. Cabe señalar que este espacio geográfico presenta problemas de erosión hídrica y eólica.

5.3.2. Geomorfología

Las geoformas del relieve de los Departamentos del Sur de la Provincia de Córdoba y San Luis son el producto de una larga evolución que abarca unos 650 millones de años.

En el modelado del relieve han participado, fundamentalmente, procesos de origen tectónicos, sedimentarios, volcánicos y climáticos, que definieron la superficie actual. Las geoformas de relieve dominante en la región son las planicies. Estas son superficies, esencialmente planas, que ocupan la mayor parte de la provincia, con suaves pendientes del terreno.

El área bajo estudio se divide básicamente por dos ambientes geomorfológicos, que se definen por aspectos geomórficos y estructurales. Estos ambientes son:

- a- La planicie periserrana distal, conformada por relieve suavemente ondulado y constituida por sedimentos eólicos franco arenosos finos. La red de drenaje está bien definida siguiendo una pendiente sudeste, donde se atenúan considerablemente, perdiendo su dinámica erosiva y derramando sedimentos finos en los sectores bajos. La erosión hídrica en general es poco significativa, mientras que la erosión eólica es más significativa a medida que avanzamos hacia el sur de la región.
- b- La pampa medanosa, ubicada al sudoeste de la provincia de Córdoba y San Luis, constituida por materiales franco arenosos y arenosos de origen eólico. El relieve es generalmente ondulado a suavemente ondulado, de lomas y lomas medanosas, con drenaje excesivo y capas freáticas profundas. La dinámica erosiva eólica es muy alta con importantes acumulaciones de “medanos activos”.

5.3.3. Clima

Características generales

Los Departamentos de Río Cuarto, Juárez Celman, Presidente Roque Saenz Peña, Gral. Roca y Gobernador Dupuy, presentan, en línea generales, las características climáticas propias del sur oeste de la Provincia de Córdoba y sur este de la Provincia de San Luis. Se trata, específicamente, de un clima templado. La temperatura del mes más caliente es superior a 22°C (veranos muy calurosos). Frío en invierno, con temperaturas medias menores a los 18°C. Precipitación escasa en invierno, con una media anual de entre 600 y 800 mm., que permite el cultivo de carácter extensivo en ciertas épocas del año.

Desde el punto de vista dinámico, el clima de Córdoba es típico de la zona templada. Es de una gran uniformidad térmica, con un período de lluvias que se extiende de octubre a marzo y otro seco, entre abril y septiembre. El verano se presenta cálido y con aumento en la humedad relativa, mientras que el invierno es seco y no muy riguroso, aunque un poco más acentuado en las Sierras y el extremo Sur de las Provincias. En otoño y primavera, en general, se presenta buen tiempo, con marcada amplitud térmica.

Los vientos preponderantes son del sector Norte, Nordeste y Sur, siendo agosto y los meses de primavera el período de mayor actividad eólica. Similar, pero más frío es el clima de la región serrana.

5.3.4. Suelos

En los suelos de los departamentos del Sur de la Pcia. de Córdoba y San Luis se observan dos grandes dominios:

A. De Los Suelos Serranos.

Dominio De Los Suelos Serranos. Abarca parte del Norte y Noreste del Departamento Río Cuarto, constituido por la Sierra Chica, Pendiente oriental, Pampa loessica alta, Planicie periserrana proximal y distal. Dado que corresponden al área de los cordones montañosos de Córdoba. El clima y una fuerte influencia del relieve (pampas de altura, valles intermontañosos, etc.) generan tipos de suelos como: Haplustoles típicos, haplustoles enticos y suelos aluviales.

B. De los suelos de las planicies orientales.

Dominio de los suelos de las planicies orientales. Abarca toda la planicie sureña, constituido por pampa arenosa, pampa medanosa y la pampa arenosa anegable donde se encuentran en síntesis lo siguientes suelos; Molisoles como: Haplustoles típicos y údicos, Haplustoles enticos, Argiustoles típicos; Entisoles como: Ustipsamment típico, Husthortent lítico, paralítico; Alfisoles como: Natralboles típicos y Natracualf típicos en pie de pendiente y planos deprimidos (Gorgas et al, 2003).



Gráfico N° 2. Ubicación de campos AACREA con los lotes en producción de soja 2005-2006. (Fuente: elaboración propia, a partir de imagen google earth., 2008).

5.3.5. Precipitaciones

Analizando el clima para la campaña 2005-2006 se observaron las precipitaciones promedios desde octubre a marzo (período de desarrollo del cultivo), por grupo CREA según su localidad obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2: Precipitación promedio octubre a marzo campaña 2005-2006

| CREA | Lluvia Promedio Cultivo |
|-----------------------|-------------------------|
| Alejandro - Chajan | 640 mm |
| Buena Esperanza | 410 mm |
| Cañada Seca | 568 mm |
| Carnerillo | 554 mm |
| Laboullaye - Buchardo | 554 mm |
| Melo Serrano | 581 mm |
| Rio IV | 719 mm |
| Valle del Conlara | 585 mm |
| Villa Valeria | 482 mm |
| Washington Mackenna | 393 mm |
| Promedio | 549 mm |

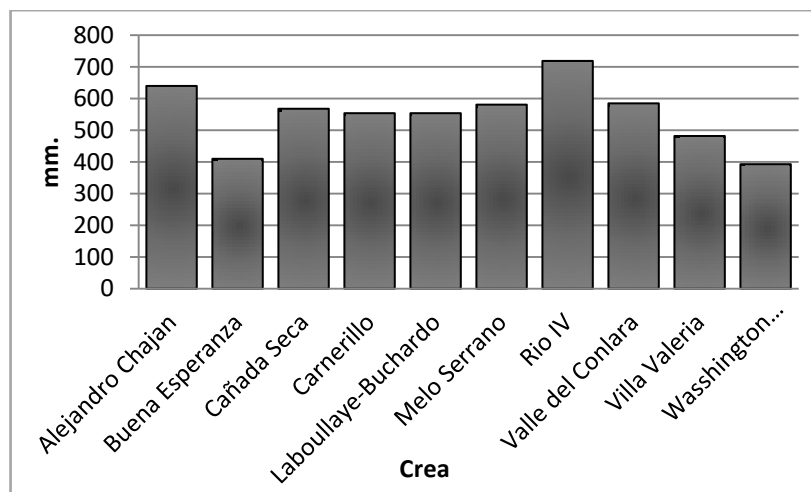


Gráfico N° 3: Precipitación promedio desde octubre a marzo según grupo CREA (Fuente: elaboración propia a partir de datos planilla AACREA Zona Centro).

Para el ciclo de desarrollo de soja (octubre-marzo) el promedio de precipitaciones para todas las localidades que componen el grupo AACREA zona centro, fue de 549 mm.

Andriani (1997) indica que en la región núcleo sojera del país, existe un consumo de agua de 500 a 650 mm para soja de primera y 350 a 550 mm para soja de segunda, por lo cual con los promedios registrados se satisfacen las necesidades de agua de ambos cultivos.

5.3.6. Temperatura

El régimen térmico de la región es templado, con una temperatura media anual de 16 °C, con valores medios para el mes más cálido de 23 °C (enero), y del más frío de 9 °C (julio). El período libre de heladas para la región es de 256 días y se extiende desde mediados de septiembre a mediados de mayo. Sin embargo estos promedios generales son muy variables dependiendo el grupo CREA, así por ejemplo para el grupo CREA de Buena Esperanza (la región más al sur) el período libre de heladas será mucho menor.

Las siembras más tempranas de la zona se inician en el mes de Octubre, donde la temperatura media supera sustancialmente la temperatura base del aire necesaria para la fase siembra-emergencia mencionada por De Dios *et al.*, (2006). Sin embargo, existen evidencias que ante la inexistencia de limitantes hídricas es posible incrementar el rendimiento en forma lineal con el adelanto de la fecha de siembra, hasta aquellas en que exista probabilidad de ocurrencia de heladas tardías (Baigorri y Martini, 2006).

6- RESULTADOS y DISCUSIÓN

6.1. -ANÁLISIS DESCRIPTIVO-

El registro de observaciones es una práctica común en el marco de la investigación. Este registro surge como resultado de un proceso de observación bajo condiciones preestablecidas o dentro del proceso experimental (Di Rienzo et al., 2001). En este caso en particular las observaciones fueron llevadas a cabo por los propios productores bajo la supervisión de los técnicos asesores en los distintos grupos AACREA.

Generalmente la información registrada en un proceso de observación, es tratada en un primer momento, con el objetivo de describir y resumir sus características más sobresalientes. Esto se conoce como *estadística descriptiva* y es lo que se desarrollará a continuación sobre las variables más importantes que impactan en el rendimiento sobre la producción de soja.

6.1.1. Fecha de siembra

La fecha de siembra para la campaña 2005-2006 registrada en 869 casos de la zona centro de Argentina, se ubicó en un 60 % entre el 10 de octubre y el 20 de noviembre, sin embargo existieron siembras tempranas de septiembre y muy tardías hasta el 31 de enero. Es importante resaltar que el 97% de la siembra se efectuó en el período comprendido entre el 1^o de Octubre y el 31 de diciembre (3 meses).

Tabla 3. Fecha de siembra para la de soja 2005-2006. AACREA zona Centro

| Fecha de Siembra | Frecuencia Relativa | n |
|------------------|---------------------|-----|
| 1-30Setiembre | 1,51 | 13 |
| 1-10 Octubre | 7,18 | 62 |
| 11-20 Octubre | 12,27 | 106 |
| 21-31 Octubre | 11,11 | 96 |
| 1-10 Noviembre | 24,19 | 209 |
| 11-20 Noviembre | 14,58 | 126 |
| 21-30 Noviembre | 7,06 | 61 |
| 1-10 Diciembre | 8,10 | 70 |
| 11-20 Diciembre | 9,84 | 85 |
| 21-31 Diciembre | 2,89 | 25 |
| 1-30 Enero | 1,28 | 11 |
| Total | 100 | 864 |

6.1.2. Cultivo Antecesor

Los sistemas de cultivos en la pampa central han ido cambiando gradualmente del sistema mixto tradicional a sistemas más especializados, que involucran rotaciones más simples de cultivos agrícolas con mayor uso de insumos externos (Viglizzo et al., 2001). La expansión del área sembrada con soja en los últimos años se debió en parte al desplazamiento de la frontera agrícola hacia zonas marginales y a su predominio en la secuencia de cultivos. Al no existir alternancia de especies, el monocultivo de la oleaginosa acentúa los problemas de enfermedades y la degradación del suelo (Marelli, 1997).

Sin embargo en un trabajo realizado en la región este del centro de Córdoba, analizando los datos del Grupo CREA Monte Buey-Inrville, se concluye que para el período 1996-2006 la superficie de soja de 1^{ra}, sobre antecesor soja de 1^{ra} (monocultivo) se redujo anualmente en un 6.25 %, mientras tanto, la proporción de soja de 1^{ra} sobre cultivo antecesor maíz se incrementó en la misma magnitud, (Cottura, 2007).

Para la serie de datos estudiada, el cultivo antecesor en la producción de soja para la campaña 2005/06, fue dominado por maíz en un 40,5% de los casos, seguido por trigo en un 25% de los casos y soja en un 21% (soja de 1° y 2°). Es importante destacar que en un 29% de los casos el antecesor fue leguminosa (maní, alfalfa y soja). Por otro lado y si sumamos las gramíneas como cultivos antecesores vemos que el porcentaje asciende al 66% de los casos.

Por otra parte, en la campaña 2005/06 del AACREA zona centro, se observa que se sembraron 54.400 hectáreas de soja sobre un total de 95.651 hectáreas agrícolas, lo que significó un 57% del área, aspecto que da cuenta de la clara tendencia a rotaciones simples, con predominancia de ciertos cultivos y manejos más intensos de los recursos, comportamiento ya señalado por Viglizzo *et al.*, (2001).

Tabla 4. Cultivo antecesor en la producción de soja para la campaña 2005-2006. AACREA zona Centro.

| Antecesor | n | % |
|------------------|------------|------------|
| Girasol | 19 | 2 |
| Maíz | 340 | 40,5 |
| Maní | 21 | 2 |
| Natural | 26 | 3,4 |
| Alfalfa | 50 | 6 |
| Soja | 138 | 16 |
| Soja de 2da | 38 | 5 |
| Trigo | 211 | 25 |
| Total | 843 | 100 |

6.1.3. Grupo de Madurez

Para la evaluación del grupo de madurez se deben considerar tres criterios o estrategias: 1) priorizar la máxima estación de crecimiento a fin de lograr mayor intercepción de radiación, y por ende mayor acumulación de biomasa, 2) priorizar la ubicación de los períodos críticos para la definición del rendimiento en momentos de buena disponibilidad de recursos, 3) permitir escapar a las adversidades (De la Vega y De la Fuente, 2003).

En este sentido para el Grupo AACREA zona centro se observa una tendencia clara hacia la elección de grupos de madurez cortos o intermedios cortos. Al respecto puede observarse en la Tabla 5 que en el 76 % de los casos el grupo de madurez sembrado fue el grupo IV debido a su adaptabilidad zonal y potencial de rendimiento.

Tabla 5. Grupo de madurez sembrado en la campaña 2005-2006 para la producción de Soja . AACREA zona Centro.

| Grupo | N | % |
|-------|-----|-------|
| III | 135 | 15,53 |
| IV | 662 | 76,17 |
| V | 58 | 6,67 |
| VI | 14 | 1,61 |
| Total | 869 | 100 |

La utilización de grupos de madurez más cortos se justifica en que, si bien logran interceptar una menor cantidad de radiación total en su ciclo y por lo tanto producir menor biomasa, en una misma fecha de siembra, consiguen anticipar sus etapas y exponer el período crítico para la definición del rendimiento en momentos de mayor radiación y temperatura diaria, incrementándose así la tasa de crecimiento en este período. Además los GM más cortos presentan una mayor partición de biomasa hacia los órganos reproductivos (mayor índice de cosecha) (Baigorri y Martini, 2006), lo cual le permite lograr un mayor potencial de rendimiento que GM más largos.

Por otro lado, se ha modificado el hábito de crecimiento de los cultivares utilizados, siendo los actuales de tipo de crecimiento indeterminado respecto a los determinados utilizados anteriormente. Esta característica permite que en los cultivares de GM más cortos las etapas reproductivas no sufran un acortamiento proporcional al del ciclo total del cultivo.

El reemplazo de los antiguos GM más largos por los actuales GM más cortos, fue posible por el mejoramiento de la condición ambiental generada por medio de las rotaciones, la siembra directa, la fertilización, etc., que incrementan el crecimiento del cultivo siendo posible adelantar la FS. y/o utilizar cultivares de ciclo más corto, que reducen los problemas sanitarios y el vuelco, teniendo mayores posibilidades de expresar su potencial genético (Baigorri y Martini, 2006).

6.1.4. Rendimiento

El rendimiento promedio para la campaña 2005-2006 del cultivo de soja en la zona centro del grupo AACREA, sobre 54400 hectáreas de producción fue de 27,3 quintales, el cual supera al promedio regional y nacional para la misma campaña. Es importante destacar el tamaño promedio de los lotes en producción de soja de 62,5 hectáreas, lo que infiere en el carácter productivo, revelando la tendencia a la intensificación de la producción agrícola en el país.

Tabla 6. Producción de soja para la campaña 2005-2006. AACREA zona Centro.

| Superficie total Soja | Tamaño Promedio de lote | Kg. Totales | Rto. Promedio por ha. |
|-----------------------|-------------------------|-------------|-----------------------|
| 54389,55 has. | 62, 5 has | 2376317 | 2734,54 |

6.2. -ANÁLISIS INFERENCIAL-

Con este análisis se busca observar el comportamiento de la variable respuesta (rendimiento) en función de cada variable control (lluvia en el período del cultivo, fecha de siembra, cultivo antecesor, grupo de madurez, densidad de siembra, influencia de napa y fertilización y longitud del barbecho). En este sentido podemos realizar las primeras inferencias del efecto de cada una de ellas sobre el rendimiento. Sin embargo el error acarreado con este tipo de análisis radica en el supuesto de un “efecto aislado” de cada variable sobre el rendimiento, lo que podría llevar a conjeturas equivocadas.

6.2.1. Lluvias en el Período del Cultivo.

En el siguiente análisis se intenta mostrar la fuerte respuesta del cultivo a las precipitaciones según la región AACREA correspondiente. Se puede observar con claridad como la curva de precipitaciones promedio es seguida en igual proporción por los promedios de rendimiento del cultivo de soja según la región. En tal sentido para la campaña 2005-2006 la localidad que recibió menos precipitación fue Villa Valeria y Washington Mackenna con un promedio de 400 mm. de lluvia, obteniendo un rendimiento promedio de 2000 Kg/ha. Mientras que Rio IV fue la localidad más favorecida, con un promedio de precipitaciones de 720 mm. obteniendo un rendimiento 3400 kg/ha. en promedio.

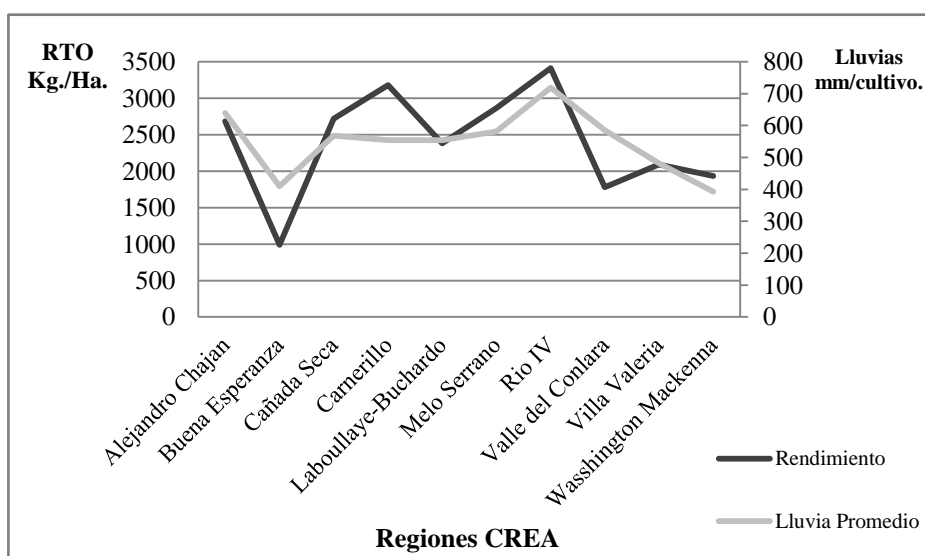


Gráfico 4: Relación entre las precipitaciones promedio desde octubre a marzo (período cultivo) según grupo CREA y el Rendimiento de la soja (Fuente: elaboración propia a partir de datos planilla AACREA Zona Centro).

6.2.2. Fecha de siembra

Al analizar esta variable, del AACREA zona centro, se encontró evidencia de que los mayores rendimientos, corresponden a las fechas de siembra tempranas, principalmente entre

el 10 de octubre y el 10 de noviembre. A medida que se atrasa la FS. los rendimientos disminuyen, y aunque aumenta la variabilidad con el adelantamiento de la misma, allí se logran los rendimientos promedios más altos (Gráfico 5), comportamiento que ha sido señalado por Baigorri (1997) y Fuentes *et al.*, (2006).

En síntesis, en las fechas de siembra de mediados de octubre y principios de noviembre se obtienen los rendimientos promedios más altos y con menor variabilidad.

Por otro lado, es importante destacar que el promedio de reducción de rendimiento por el atraso de la FS a partir del 10 de noviembre, es de 13.4 kg ha⁻¹ día⁻¹ (Gráfico 5). En otras palabras la diferencia de rendimiento entre el 10 de noviembre y el 31 de enero es de 805,5 kg ha⁻¹ promedio.

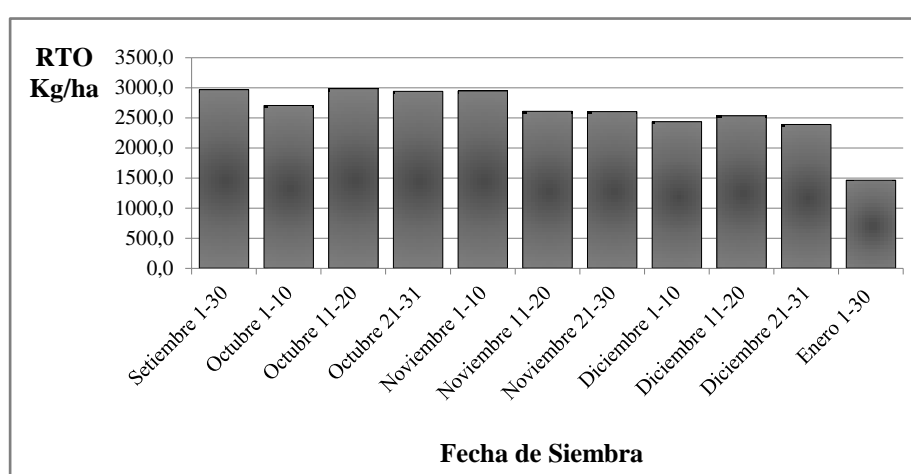


Gráfico N° 5. Rendimiento promedio del cultivo de soja en función de la fecha de siembra, registrada en los campos del Grupo AACREA Zona Centro entre las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctlamochita, Laboulaye – Buchardo, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna; Campaña 2005/2006.

6.2.3. Cultivo Antecesor

Para la campaña 2005-2006 el cultivo antecesor que mayor rendimiento arrojó fue el maíz, lo cual infiere en la importancia de las rotaciones con gramíneas. El antecesor soja de segunda arrojó diferencia en relación a la soja de primera con lo cual se puede estar pensando en una rotación compuesta por: **año 1-** Trigo-soja de segunda, **año 2-** Soja de primera, donde nuevamente puede destacarse la importancia del uso de una gramínea en la rotación. En este caso con el antecesor soja de 2^a se obtuvieron en promedio 133 kg ha⁻¹ más que para soja de 1^a como cultivo antecesor (Gráfico 6), significando este incremento el 5.1 % de producción.

Por otro lado puede observarse en el Gráfico 6 el alto rendimiento obtenido con maní como cultivo antecesor, este efecto puede ser debido a las condiciones en las que deja el lote este cultivo y a la mayor disponibilidad de agua residual que deja el maní como cultivo

antecesor (Baigorri, 1997), sin embargo no existen estudios donde este demostrado algún beneficio del maní como cultivo antecesor de soja a largo plazo. Por el contrario no es conveniente usar una secuencia en que participen solo maní y soja; por la mayor degradación del suelo, la muy escasa cantidad de residuos de cosecha y la mayor probabilidad de propagación de enfermedades comunes (Baigorri, 1997).

La alfalfa como cultivo antecesor, en la producción de soja, produce una clara reducción sobre el rendimiento, esta reducción en el rendimiento ha sido explicada por numerosos autores, quienes mencionan, que el efecto se debe a las condiciones en que deja el lote esta pradera. Entre ellas, la baja humedad en el perfil del suelo parece ser la más importante (Zuil, 2006), sin embargo esta disminución del rendimiento también es agravada por otros factores, entre ellos, el complejo de insectos que afectan en común a ambos cultivos y la baja fertilidad del suelo pueden explicar gran parte de esta reducción del rendimiento, mientras que otros autores indican que existe un efecto de las raíces de alfalfa que provoca una disminución del poder germinativo de la soja y una disminución de supervivencia de las plántulas, conocido como efecto alelopático (Zuil, 2006), lo cual exacerbaría aun más la problemática. Para este caso en particular sobre el registro de datos AACREA zona centro campaña 2005-2006 se contabilizaron 50 lotes con este cultivo como antecesor, arrojando en promedio 1950 kg./ha (Gráfico 6). sobre un promedio general de 2754 kg./ha. significando una reducción de 805 kg./ha. equivalente a un 30% menos de rendimiento promedio.

En aquellos los lotes en que existió el cultivo de girasol como antecesor de soja también se puede observar una fuerte reducción en el rendimiento, este fenómeno ha sido observado por Baigorri (1997), sin embargo no existe bibliografía referente sobre las causas de la reducción. Para los 21 lotes del grupo AACREA zona centro con girasol como antecesor, el promedio del rendimiento del cultivo de soja fue de 2150 kg/ha. Sobre un promedio general de 2754 kg./ha. Lo que implica una reducción de 590 kg./ha. equivalente a un 21% de disminución sobre el rendimiento promedio.

Aquellos lotes que provenían de la condición natural (Gráfico 6), es decir sin historia agrícola, sumados a los lotes con pasto llorón (situación similar), se pudo observar de nuevo una gran disminución del rendimiento promedio en la producción de soja. Esta disminución del rendimiento estaría explicada por numerosas causas, entre ellas, la que parece tener mayor implicancia es la dificultad para lograr buenas nodulaciones sobre la soja en estos lotes (García y Echeverría, 2000), mientras que otras causas podrían ser: la problemática de malezas principalmente las de ciclo perenne, la condición del suelo debido al uso ganadero de esos lotes, la baja humedad del perfil debido a la falta de barbechos prolongados y los insectos del suelo. Para la campaña 2005/06 del grupo AACREA zona centro, se contabilizaron 44 lotes con esta condición y arrojaron en promedio 2320 kg./ha.

que implica una reducción de 430 kg./ha. respecto el promedio general. En otras palabras significa un 16% menos de rendimiento sobre un promedio general de 2754 kg./ha.

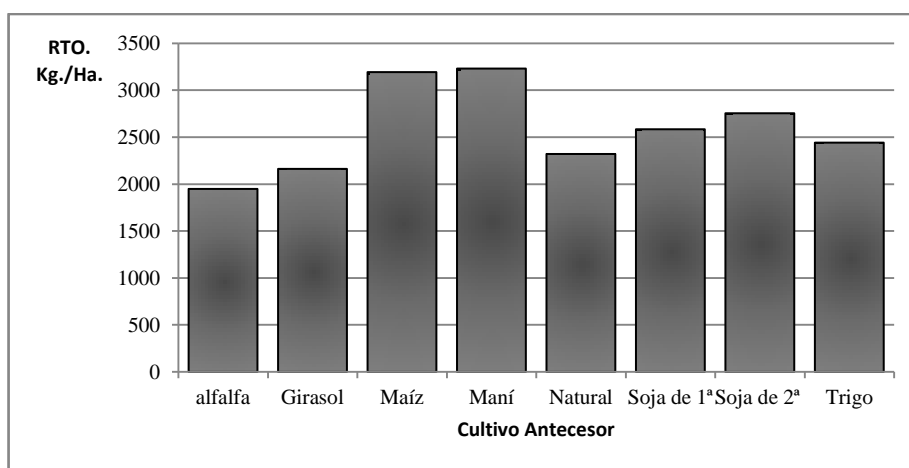


Gráfico N° 6. Rendimiento promedio del cultivo de soja en función del cultivo antecesor, registrado en los campos del Grupo CREA Zona Centro entre las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctlamochita, Laboulaye – Buchardo, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna; Campaña 2005/2006.

Para poder conocer con mayor precisión la influencia que tuvieron los cultivos antecesores sobre el rendimiento de soja para la campaña 2005/06 del grupo AACREA zona centro, se realizó un análisis ANOVA sobre los más abundantes, maíz, soja y trigo. Este tipo de análisis nos permite comparar las medias según los tratamientos, otorgándole una probabilidad “*F*”, y una significancia. En otras palabras esta herramienta estadística nos permitirá conocer como varia el rendimiento (de aquí análisis de la varianza), en función del cultivo antecesor utilizado. En este caso, cada cultivo antecesor es un tratamiento y toma dos estados, presencia y ausencia.

Antecesor Maíz

El análisis mediante un ANOVA del maíz como cultivo antecesor de soja para la campaña 2005/06 del grupo AACREA zona centro, arrojó clara evidencia de los beneficios de la gramínea en la rotación. Sobre un total de 344 casos con maíz presente como antecesor de soja, se encontró en promedio una diferencia de 729 Kg/ha cuando este cultivo estuvo presente. La significancia (Sig.) del análisis fue muy alta, lo que a esta diferencia en el rendimiento le otorga validez estadística Tabla 7, 7.1 y Gráfico 7.

Tabla 7: ANOVA Maíz

| | Suma de cuadr. | Gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------------|----------------|-----|------------------|----------------|--------------|
| Inter-grupos | 110400000 | 1 | 110400000 | 129,225 | 0,000 |
| Intra-grupos | 740700000 | 867 | 854292,334 | | |
| Total | 851100000 | 868 | | | |

Tabla 7.1: Estadísticos Descriptivos.

| Antecesor | n | Rto. Promedio | Desviación | Error típico | Mín. | Máx. |
|---------------------|------------|----------------|------------|--------------|------|------|
| 0 = Sin Maíz | 525 | 2467,38 | 932,511 | 40,698 | 0 | 4850 |
| 1 = Con Maíz | 344 | 3196,21 | 911,56 | 49,148 | 700 | 5353 |
| Total | 869 | 2755,89 | 990,198 | 33,59 | 0 | 5353 |

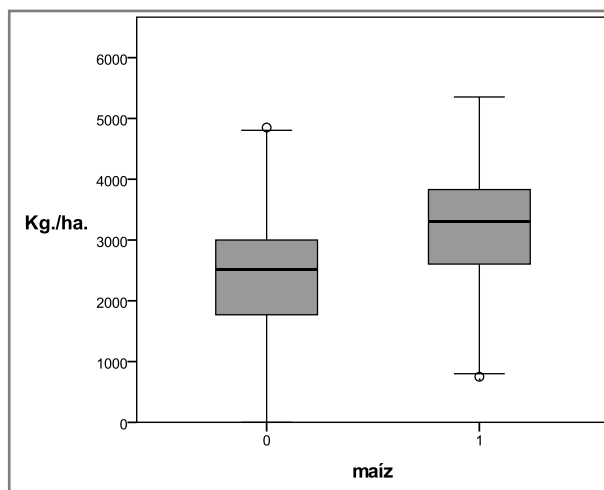


Gráfico N° 7. Rendimiento promedio del cultivo de soja con maíz como cultivo antecesor. Registrado en los campos del Grupo CREA Zona Centro entre las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctalamochita, Laboulaye– Buchardo, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna; Campaña 2005/2006.

Antecesor Trigo

Analizando el caso del trigo, se observa con claridad que su impacto sobre el rendimiento de soja es negativo. Esta diferencia de rendimiento fue de -414 Kg/ha. en promedio para los lotes con este cultivo como antecesor, Tabla 8, 8.1 y Gráfico 8. y estaría asociada al efecto de las fechas de siembras tardías en que obliga a sembrar este antecesor. Sin embargo, los beneficios de la gramínea en la rotación se observarían en el segundo año de la rotación.

Tabla 8: ANOVA Trigo.

| | Suma de cuadr. | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------------|----------------|-----|------------------|----------------|-------------------|
| Inter-grupos | 27432129,39 | 1 | 27432129,4 | 28,8765 | 9,9194E-08 |
| Intra-grupos | 823634940,8 | 867 | 949982,631 | | |
| Total | 851067070,2 | 868 | | | |

Tabla 8.1: Estadísticos Descriptivos.

| Antecesor | n | Rto. Promedio | Desviación | Error típico | Mín. | Máx. |
|---------------------|------------|---------------|------------|--------------|------|------|
| 0= Sin Trigo | 658 | 2856,5 | 1043,5 | 40,681 | 0 | 5353 |
| 1= Con Trigo | 211 | 2442,1 | 717,8 | 49,413 | 400 | 4250 |
| Total | 869 | 2755,9 | 990,2 | 33,590 | 0 | 5353 |

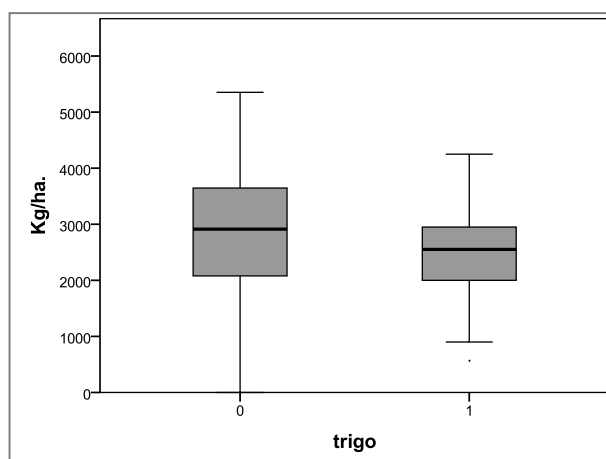


Gráfico N° 8. Rendimiento promedio del cultivo de soja con Trigo como cultivo antecesor. Registrado en los campos del Grupo CREA Zona Centro entre las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctalamochita, Laboulaye– Buchardo, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna; Campaña 2005/2006.

Antecesor Soja

Siguiendo con la metodología ANOVA, el análisis sobre el monocultivo de soja, también fue significativo. Se encontró que en promedio existe una disminución en el rendimiento de -204 Kg./ha., sobre aquellos lotes con soja como cultivo antecesor. Existen investigaciones que han demostrado que está perdida en el rendimiento sería acumulativa a través de los años (Baigorri, 1997), sin embargo no existen certezas al respecto. La evidencia que nos otorga este análisis, da cuenta del resentimiento que sufre la producción de soja en condiciones de monocultivo.

Por otro lado debemos tener presente su impacto sobre el agro-ecosistema; donde ya existen investigaciones que han demostrado que el monocultivo produce degradación en los suelos debido a su bajo aporte de rastrojo, acidificación debido a la extracción continua de los mismos nutrientes, endemia de plagas, proliferación de enfermedades, problemáticas en el manejo de malezas y nuevas tolerancias a herbicidas, principalmente a glifosato.

Tabla 9: ANOVA Soja.

| | Suma de cuadr. | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------------|----------------|-----|------------------|-------------|---------------|
| Inter-grupos | 4898024,419 | 1 | 4898024,42 | 5,01 | 0,0253 |
| Intra-grupos | 846169045,8 | 867 | 975973,525 | | |
| Total | 851067070,2 | 868 | | | |

Tabla 9.1: Estadísticos descriptivos.

| Antecesor | n | Media | Desviación | Error típico | Min. | Máx. |
|--------------------|------------|----------------|------------|--------------|------|------|
| 0= Sin Soja | 729 | 2788,79 | 972,75 | 36,03 | 289 | 5353 |
| 1= Con Soja | 140 | 2584,57 | 1063,82 | 89,91 | 0 | 4850 |
| Total | 869 | 2755,89 | 990,20 | 33,59 | 0 | 5353 |

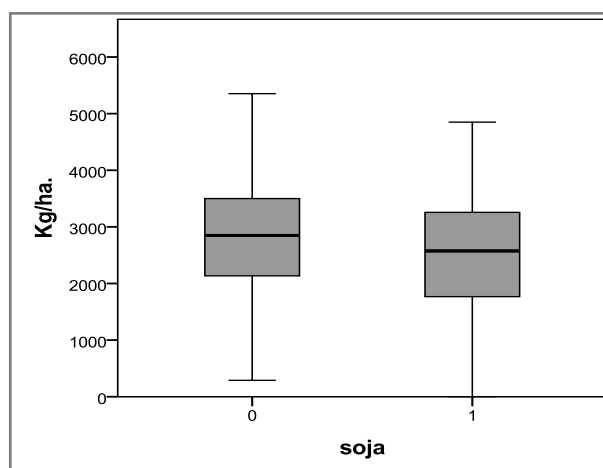


Gráfico N° 9. Rendimiento promedio del cultivo de soja con Soja como cultivo antecesor. Registrado en los campos del Grupo CREA Zona Centro entre las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctalamochita, Laboulaye– Buchardo, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna; Campaña 2005/2006.

6.2.4. Grupo de Madurez

Se puede observar en el Gráfico 10, para la campaña 2005/06 del grupo ACREA Zona Centro, que el impacto que tiene sobre el rendimiento la elección al grupo de madurez de la soja es muy bajo, explicando una variabilidad menor al 5% del mismo.

Al respecto Ascheri (2006), sostiene que los GM explican sólo el 5% de la variación del rendimiento de soja, el ambiente el 77 % y la interacción ambiente-GM el 18%. Con esto se pone de manifiesto la importancia de la caracterización del ambiente de producción y el conocimiento del comportamiento de los diferentes cultivares en cada uno de ellos a los fines de poder generar la mejor estrategia de producción.

Por su parte Cotura (2007) concluye que “en aquellos ambientes de menor producción, los GM IV largo, IV corto y III largo tienen rendimientos muy similares y próximos al promedio ambiental, mientras que los GM III corto se encuentran muy por debajo del mismo”.

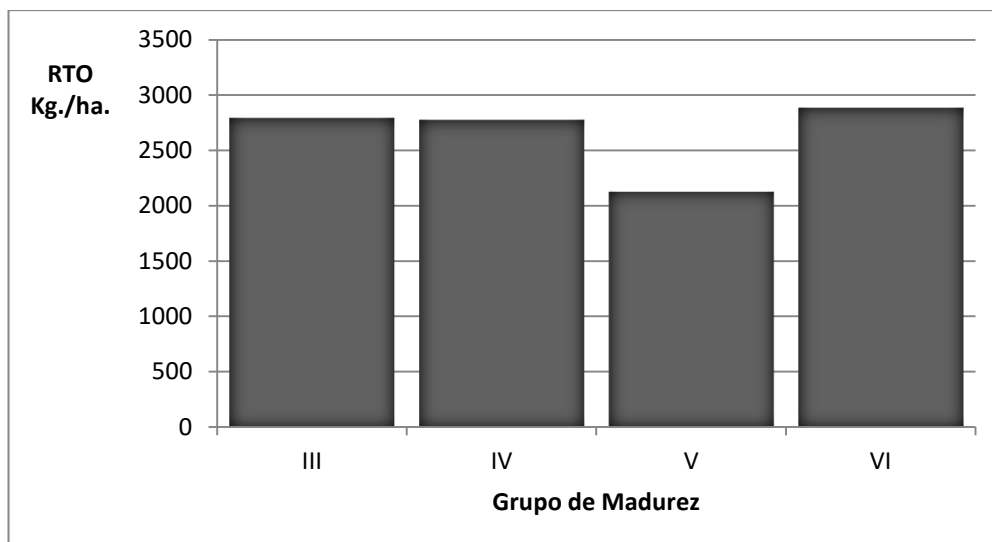


Gráfico N° 10. Rendimiento promedio del cultivo de soja en función del Grupo de madurez, registrado en los campos del Grupo CREA Zona Centro entre las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctalamochita, Laboulaye– Buchardo, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna; Campaña 2005/2006.

6.2.5. Densidad de siembra

La soja es una especie con alta plasticidad de respuesta a la densidad de siembra, debido a que tiene una alta capacidad de compensación a través del número de ramas y frutos por planta (Baigorri, 1997).

La densidad de plantas óptima es aquella que permite un buen crecimiento, baje la incidencia de enfermedades, y que permita colocar a cada planta en las condiciones más favorables de desarrollo logrando optimizar los recursos del ambiente. Esta densidad de plantas a lograr está vinculada con la fecha de siembra, la latitud, las condiciones ambientales, las características del cultivar y el espaciado entre surcos.

Para la serie de datos analizada se puede observar (Gráfico 11) que el mayor rendimiento promedio, vinculado con esta variable se logró con densidades que van desde las 400.000 a 700.000 semillas por hectárea, observando una mayor diferencia cuando se trata del rango comprendido entre 600-700 mil semillas por ha.

Al respecto, Baigorri (1997) señala que el efecto de la densidad de siembra no afecta a todos los cultivares por igual; y que es una variable muy dependiente del ambiente de producción.

Por su parte, Ferraris (2003) al evaluar el efecto densidad de siembra sobre los rendimientos y el vuelco de las plantas, concluye que los cambios en la densidad no produjeron diferencias significativas en los rendimientos en ninguna de las variedades estudiadas. Sin embargo resalta que las densidades muy bajas de siembra generan un aumento de ramificaciones secundarias que tienen mayor susceptibilidad al vuelco.

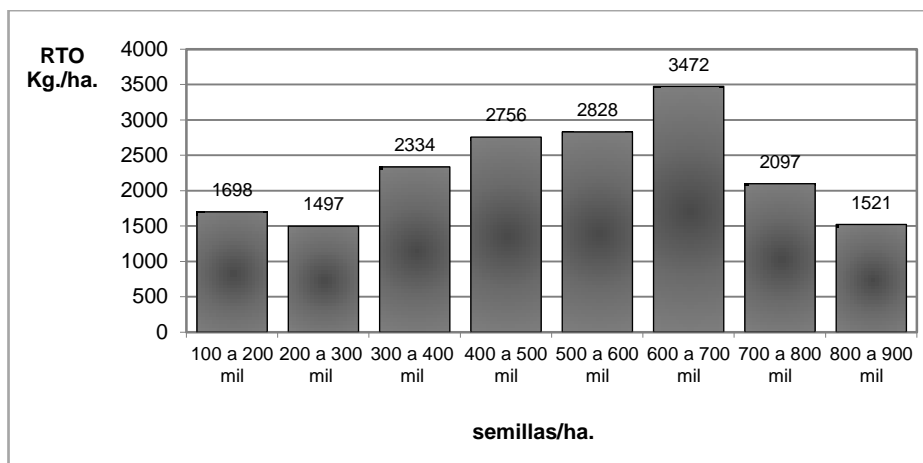


Gráfico N° 11. Rendimiento promedio del cultivo de soja en función de la densidad de plantas, registrado en los campos del Grupo CREA Zona Centro entre las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctlamochita, Laboulaye- Buchardo, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna; Campaña 2005/2006.

6.2.6. Influencia de Napa

Existen numerosos antecedentes del beneficio de la napa freática (NF) como fuente complementaria de agua para el desarrollo de los cultivos cuando se encuentra a una profundidad aproximada de 1.5 y 2 m de la superficie (Mejiaet al., 2000; Kanget al., 2001; Raccaet al., 2001; Muelleret al., 2005). En el área bajo estudio, existen 66 lotes con influencia de napa. Sin embargo estos lotes tienen aportes extra-freaticos provenientes de las precipitaciones, por lo que es muy difícil estimar los aportes de cada recurso.

En este análisis, se encontró que los 66 lotes con aportes de NF obtuvieron rendimientos superiores, en $248,1 \text{ kg ha}^{-1}$ en promedio, lo que significa un incremento del rendimiento del 9,2 %, gráfico N° 12. Es aquí donde surge la necesidad de conocer la verdadera influencia de la napa sobre los lotes en producción debido al mayor potencial de los mismos y a las distintas practicas de manejo que deberían llevarse a cabo en estos sistemas.

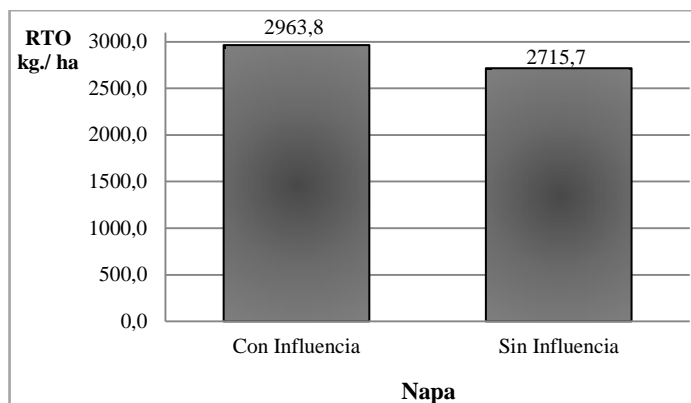


Gráfico N° 12. Rendimiento promedio del cultivo de soja en función de la influencia de napa, registrado en los campos del Grupo CREA Zona Centro entre las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctalamochita, Laboulaye– Bucharado, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna; Campaña 2005/2006.

6.2.7. Fertilización con Fósforo

La respuesta de los cultivos a la fertilización fosforada depende del nivel de fósforo (P) disponible en el suelo, pero también es afectada por factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante. Entre los factores del suelo, se destacan la textura, la temperatura, el contenido de materia orgánica y el pH; mientras que entre los del cultivo deben mencionarse los requerimientos y potencial de rendimiento.

El diagnóstico de la fertilización fosforada se basa en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial utilizando un extractante adaptado a los suelos del área en evaluación. En la región pampeana, en general, el extractante utilizado es Bray 1.

Los suelos de la región pampeana muestran deficiencias de P como resultado de la baja disponibilidad nativa y/o de la baja reposición vía fertilizantes u abonos orgánicos. Los mayores rendimientos obtenidos en los últimos años han resultado en una mayor demanda de P con respuestas en rendimiento en suelos de mayor nivel de P disponible (Parra, 1997; Avellaneda et al., 1999; Melgar y Lavandera, 1999; Sanchez y Lizondo, 1999; Scheiner et al., 1999; Vivas, 1999).

La soja se caracteriza por presentar respuesta de rendimiento ante niveles críticos de P en suelo, por debajo de los cuales se observan respuestas significativas a la fertilización, según distintos estudios el nivel crítico es a partir de 13 y 14 ppm de P en los primeros veinte centímetros de suelo, donde la respuesta a la fertilización fosforada es igual a cero (García y Echeverría, 2000).

En el Gráfico 13 al observar la línea de tendencia se observa como la fertilización con fósforo impacta sobre el rendimiento, aquí los mayores rendimientos promedios se vinculan con los mayores niveles de fertilización fosforada. Sin embargo, la información registrada por el grupo AACREA zona centro, no presentaba el nivel de fósforo disponible

en el suelo al momento de fertilizar; información necesaria para arribar a conclusiones más certeras.

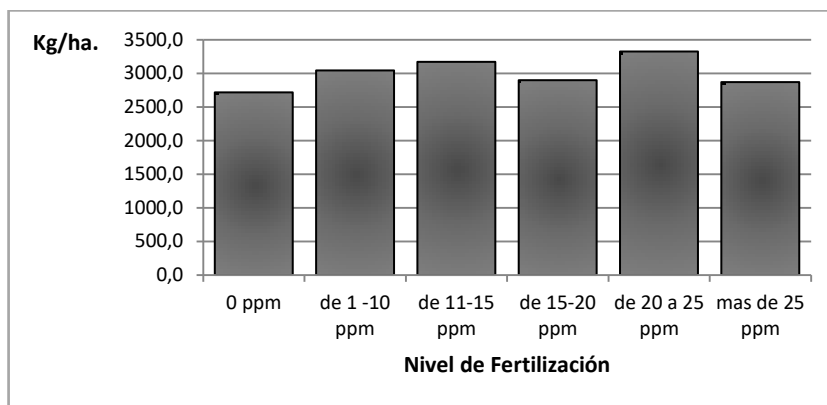


Gráfico N° 13. Rendimiento promedio del cultivo de soja en función del nivel de fertilización con fósforo expresado como ppm. de fósforo por ha., registrado en los campos del Grupo CREA Zona Centro entre las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctlamochita, Laboulaye–Buchardo, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna; Campaña 2005/2006.

Por otro lado para determinar las dosis de fertilizante fosforado a aplicar se debe considerar el poder buffer del suelo y el índice de retención de P, que está relacionado al porcentaje de arcillas y óxidos libres, por la diferencia de P entre la cantidad disponible en el suelo y el nivel objetivo (Quintero et al., 2003).

Además de la diversidad de situaciones posibles, de cantidades disponibles y texturas de suelos; la respuesta está influenciada por el tipo de fertilizante aplicado, la dosis de los mismos y las aplicaciones anteriores.

6.2.8. Longitud del Barbecho

La importancia del barbecho dentro de las rotaciones agrícolas actuales radica en generar las condiciones óptimas para la implantación del cultivo, así la acumulación de humedad en el perfil parece ser la más importante, sin embargo con esta práctica se logran otros beneficios, como liberar el lote de problemáticas de malezas e insectos, favorecer la disponibilidad de nitratos y acumular rastrojo en superficie.

El análisis de la información recopilada por el grupo AACREA zona centro, campaña 2005/06, arroja clara evidencia del impacto de la longitud del barbecho sobre el rendimiento de la soja, obteniéndose una diferencia de 1880 kg./ha. entre aquellos lotes que se sembraron sin barbechar y aquellos de mayor longitud en barbecho (6 meses). En el Gráfico 14 se observa claramente como cada diez días de incremento en barbecho arroja resultados significativos sobre rendimiento de la soja.

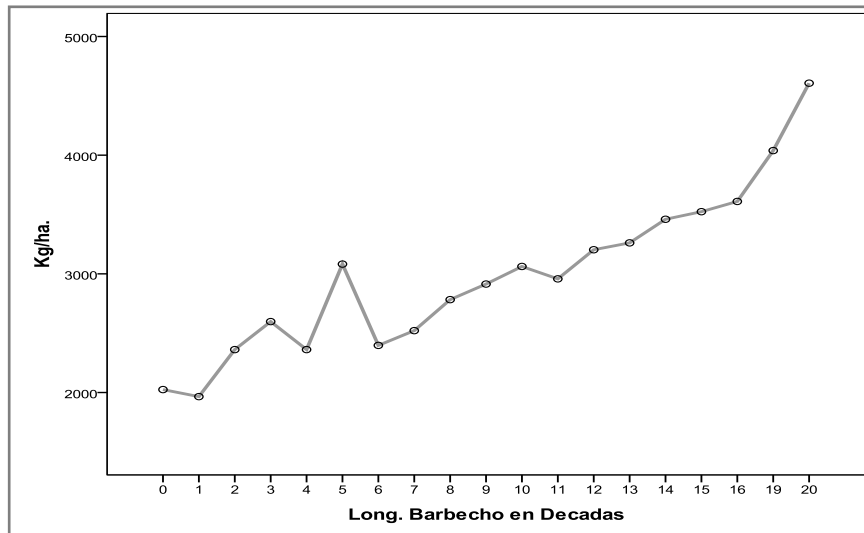


Gráfico N° 14. Rendimiento promedio del cultivo de soja en función de la longitud del barbecho. Registrado en los campos del Grupo CREA Zona Centro entre las localidades de: Alejandro, Chajan, Buena Esperanza, Cañada Seca, Carnerillo, Ctalamochita, Laboulaye– Buchardo, Melo Serrano, Rio Cuarto, Rio Quinto, Tambero Laboulaye, Valle Del Conlara, Villa Valeria, Washington Mackenna; Campaña 2005/2006.

6.3. -REGRESIÓN-

La regresión es el procedimiento estadístico mediante el cual se trata de determinar si existe o no relación de dependencia entre dos o más variables. En este caso en particular se buscó encontrar las relación entre la variable “cultivo antecesor” (Variable Predictora X_i) y el rendimiento de la soja (Variable Respuesta y), para esto fue necesario incorporar otras variables predictoras.

Este análisis nos permite generar un modelo matemático que explica dichas relaciones y que podrá ser utilizado para predecir el rendimiento de la soja. Los datos del movimiento AACREA zona centro, fueron tratados mediante una regresión lineal múltiple. El término “lineal” de la regresión, hace referencia a que la ecuación es lineal en sus parámetros (ya que el modelo general acepta relaciones no lineales), mientras que el término “múltiple”, se debe a que incorpora más de una variable explicativa.

En este sentido el modelo de regresión encontrado que mejor explicó la variabilidad en el “Rendimiento” para los datos analizados de la Campaña 2005-2006 del grupo AACREA zona centro, fue estadísticamente significativo y estuvo conformado por doce variables predictoras. Entre éstas, tres fueron variables ambientales: lluvias en el período del cultivo, daño por sequía y la influencia de napa, mientras que el resto fueron variables de manejo o tecnológicas: cultivo antecesor (maíz, soja, alfalfa, trigo), fecha de siembra, espaciamiento entre surcos, grupo de madurez, fertilización fosforada y longitud del barbecho. La gran mayoría de las variables incluidas fueron significativas al 5% y explicaron, en conjunto, un 57% de la variación del rendimiento de la soja para la campaña 2005-2006 del grupo AACREA zona centro (R^2 corregida = 0.571, $n = 674$). La variable respuesta responde a una distribución normal (Gráfico 15) y cumple también con el supuesto de homocedastidad (Gráfico 16).

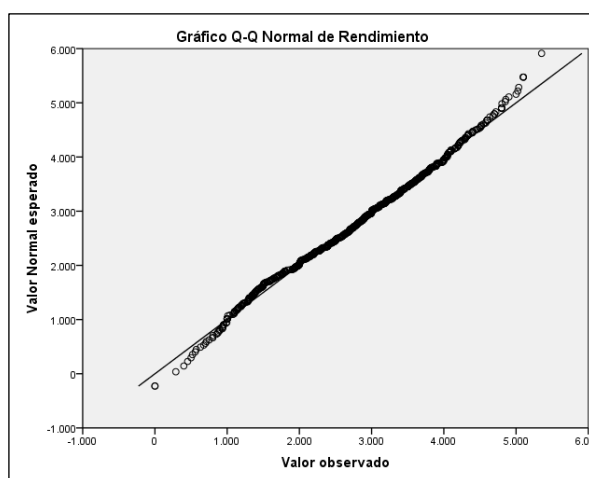


Gráfico N° 15: Prueba de Normalidad Q-Q Plot. Valores observados vs esperados de la variable rendimiento. Campaña 2005-2006 del grupo AACREA zona Centro.

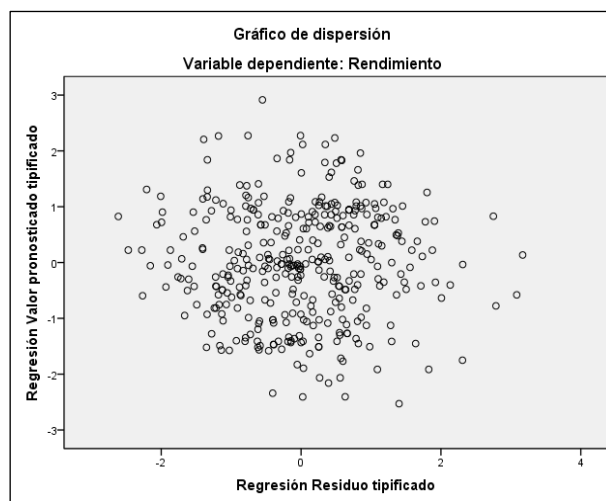


Gráfico N° 16: Diagrama de dispersión de los valores predichos vs los residuos del modelo de regresión para la variable rendimiento de soja Campaña 2005-2006 del grupo AACREA zona Centro.

Los coeficientes de los parámetros del modelo y su significación se presentan en la Tabla 10, 10.1 y 10.2.

La ecuación matemática del modelo encontrado, para explicar la variabilidad del rendimiento en soja, quedó expresada de la siguiente manera:

6.3.1. Modelo Matemático

$$\left. \begin{aligned}
 y \text{ (Rendimiento de Soja)} = & 1283,73 + 2,06 * \text{Lluvia cultivo} - 407,365 * A. \text{alfalfa} - 215,888 * A. \\
 & \text{Trigo} - 205,164 * A. \text{Soja} + 367,327 * A. \text{Maíz} - 12,022 * (F. \text{Siembra})^2 + 4,6 * \text{Espaciamiento} - \\
 & 89,17 * \text{Grupo de Madurez} + 53,45 * \text{Long. Barbecho} + 35,75 * \text{Fert. Fósforo} + 337,063 * \text{Napa} - \\
 & 324,765 * \text{Daño Sequia} + 663,112
 \end{aligned} \right\}$$

Dentro de las variables incluidas en el modelo podemos extraer las siguientes significancias. De los cultivos antecesores, sólo el maíz se asoció positivamente con el rendimiento, mientras que como era de esperar, los demás cultivos antecesores (soja, alfalfa, trigo) tuvieron un impacto negativo sobre el mismo.

La fecha de siembra tuvo una asociación negativa con el rendimiento, es decir que mientras más tardíamente fue sembrada la soja, el rendimiento de la misma. Por otro lado, el espaciamiento entre hileras y la fertilización fosforada fueron variables tecnológicas que impactaron positivamente sobre la producción de soja, mostrando que cualquier aumento en ellas produjo un incremento sobre el rendimiento de la soja. La última de las variables de manejo agronómico de este modelo, fue la longitud del barbecho y también se asoció positivamente sobre el rendimiento de soja, mostrando que por cada década de incremento

en el mismo la respuesta en rendimiento de soja es positiva, lo que otorga una clara evidencia del beneficio de realizar barbechos largos en esta producción.

De las variables ambientales, la lluvia en el período del cultivo muestra claramente la dependencia de este cultivo a las precipitaciones, se puede observar como impacta positivamente en el rendimiento de soja, por su parte, la influencia de la napa también tuvo un claro impacto positivo y con gran significancia. Mientras que el impacto de la variable Daño por Sequía como era de esperar muestra un claro impacto negativo sobre el rendimiento (tabla 10, 10.1 y 10.2).

Tabla 10: Resumen del Modelo.

| R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|-------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 0,761 | 0,579 | 0,571 | 663,112 |

Tabla 10.1: ANOVA del Modelo

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadr. | F | Sig. |
|-----------|-------------------|-----|--------------|--------|------------------|
| Regresión | 400003600,8 | 13 | 30769507,75 | 69,978 | 7,76E-115 |
| Residual | 290653617,2 | 661 | 439718,029 | | |
| Total | 690657217,9 | 674 | | | |

Tabla 10.2: Coeficientes y estadísticos descriptivos del modelo.

| Variables Predictoras | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | t | Sig. |
|------------------------------|--------------------------------|------------|--------------------------|---------|-------|
| | B | Error típ. | Beta | | |
| (Constante) | 1283,73 | 313,7 | | 4,093 | ,0000 |
| Lluvia Período Cultivo | 2,0568 | 0,3 | ,217 | 7,980 | ,0000 |
| Antecesor Maíz | 367,327 | 86,9 | ,177 | 4,228 | ,0000 |
| Antecesor Soja | -205,164 | 100,7 | -,071 | -2,037 | ,0421 |
| Antecesor Trigo | -215,888 | 112,9 | ,096 | 1,912 | ,0563 |
| Antecesor Alfalfa | -407,365 | 126,5 | -,101 | -3,221 | ,0013 |
| Fecha Siembra | 90,545 | 49,3 | ,211 | 1,838 | ,0665 |
| (Fecha Siembra) ² | -12,022 | 4,5 | -,333 | -2,699 | ,0071 |
| Espaciamiento | 4,660 | 2,5 | ,049 | 1,845 | ,0655 |
| Grupo de Madurez | -89,177 | 53,5 | -,043 | -1,665 | ,0963 |
| Long. Barbecho | 53,451 | 6,6 | ,271 | 8,120 | ,0000 |
| Fertilización P | 35,750 | 4,1 | ,230 | 8,717 | ,0000 |
| Influencia Napa | 337,063 | 87,3 | ,100 | 3,860 | ,0001 |
| Daño Sequía | -324,765 | 22,8 | -,383 | -14,227 | ,0000 |

Por otro lado se realizó una regresión solo con los cultivos antecesores, entre ellos los incluidos fueron: alfalfa, trigo, soja, maíz, condición natural y girasol, todos ellos significativos al 95%. El modelo muestra claramente que dentro de los antecesores analizados, sólo el maíz tuvo un impacto positivo sobre la producción de soja, mientras que alfalfa, trigo, soja, condición natural y girasol impactaron negativamente sobre la producción de la misma. El grado de influencia de cada antecesor sobre el rendimiento y su significancia están especificados en los coeficientes del modelo, Anexo 1 (tabla 1, 1.1, 1.2 y Modelo N°2)

El modelo explicó una variación del 16% del rendimiento (Anexo N°1), solo con la variable de manejo “Cultivo Antecesor”, y da cuenta del impacto que tiene esta tecnología, sobre la producción de soja. Su importancia sobre el sistema como un todo ya fue explicada con anterioridad; pero más allá de los beneficios ecológicos sobre el sistema, debemos además considerar este beneficio en términos económicos. Aquí es donde radica la importancia de conocer el verdadero impacto de “cada” cultivo antecesor sobre el rendimiento de la soja. Este trabajo, da cuenta de que su impacto es innegable, e incorpora posibles tendencias del comportamiento del rendimiento de la soja según sea el cultivo antecesor.

7- CONCLUSIONES

El punto de partida de este trabajo fue la inquietud generada sobre la posibilidad de desarrollar una investigación con escasos antecedentes. Finalizado el proceso, podemos dar cuenta de lo enriquecedor que fue poder dar forma y extraer conclusiones con validez estadística, sobre información recopilada por los propios productores agropecuarios.

Durante el desarrollo de esta investigación, que partió con información de sistemas reales de producción, pertenecientes al grupo AACREA zona centro, se han logrado obtener algunas certezas, algunas inferencias sobre las cuales se debería seguir trabajando, pero fundamentalmente se ha podido demostrar la validez que tiene la información recolectada por los propios productores, sirviendo de base para pensar en una agricultura eficiente y sostenible en el tiempo. Es importante remarcar que se debería generar una relación de continua alimentación, entre el conocimiento empírico (generado con bases experimentales) y el conocimiento generado a partir de información recopilada por los productores.

Se pudo concluir que la hipótesis planteada “La elección del cultivo antecesor, genera respuesta sobre el rendimiento de la soja”, es verdadera y dicha respuesta varió según el cultivo antecesor utilizado en la producción de soja.

Por su parte del análisis de las distintas variables, es importante mencionar que:

- La fecha de siembra condicionó el rendimiento, lográndose los mejores resultados a comienzos de octubre, para disminuir $13,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ al atrasar la fecha de siembra a partir del 10 de noviembre.
- La participación del cultivo de maíz como antecesor en la producción de soja arrojó 729 kg ha^{-1} más que sin su presencia en la rotación.
- Los lotes con influencia de napa freática obtuvieron 248 kg ha^{-1} más que aquellos sin influencia.
- Existe una clara tendencia a utilizar grupos de madurez más cortos que los adaptados a esta franja latitudinal, fundamentalmente los pertenecientes al grupo IV, esta tendencias parece deberse al desarrollo indeterminado de los nuevos materiales.
- Mediante las doce variables predictoras: Lluvia en el período del cultivo, Daño por sequia, influencia de napa, cultivo antecesor (maíz, soja, alfalfa, trigo), fecha de siembra, densidad de siembra, espaciamento entre surcos, fertilización fosforada y longitud del barbecho. Se pudo explicar un **57%** de la variabilidad del rendimiento de la soja para la campaña 2005/06 del grupo AACREA zona centro. Por su parte se pudo cumplir con el objetivo de encontrar un modelo conceptual para los factores de la producción que mejor explican el efecto del cultivo antecesor sobre la producción de soja en sistemas reales de producción, al tiempo que el mismo fue estadísticamente significativo y cumplió con los supuestos, la variable respuesta

responde a una distribución normal y las varianzas de los residuos presentaron homocedastidad.

- De los cultivos antecesores analizados mediante ANOVA, solo el maíz generó una respuesta positiva sobre el rendimiento de soja, mientras que soja y trigo evidenciaron un impacto negativo. En todos los casos del análisis se encontró validez estadística.

Como ingenieros agrónomos y dentro del ámbito de la investigación se deberían seguir estudiando estas tecnologías para dar respuestas a interrogantes más específicas: como el efecto puntual de cada cultivo antecesor sobre el agro-ecosistema, su aporte a la sustentabilidad, el grado de disminución de riesgo ambiental, el aporte al suelo como base del sistema, y específicamente conocer con mayores certezas la verdadera influencia de los distintos antecesores sobre el rendimiento de la soja.

Limitaciones y calendario futuro:

Por otra parte resulta importante resaltar que aunque los resultados son consistentes con la bibliografía y apreciaciones previas del modelo estadístico, se advierte al lector algunas limitaciones que deben considerarse en la futura agenda de investigación.

En primer lugar, el modelo estadístico asumió linealidad y comportamiento normal del error estadístico considerando solo las variables medidas y consideradas en la base de datos. Este resultado exploratorio puede contener algún sesgo y por lo tanto los estadísticos ser algo diferentes al resultado reportado. Ya que por ejemplo, no se considera la habilidad del productor y sus operarios para realizar las actividades o el nivel de utilización de otros insumos y afectación de adversidades biológicas, etc. Por ello, dado el resultado, la magnitud e importancia que tienen los cultivos antecesores se sugiere establecer un ensayo experimental controlando las variables y considerando mayor cantidad de cultivos antecesores.

En segundo lugar, notamos como otra posible limitación en nuestro resultado la utilización de datos de una sola campaña y por lo tanto los resultados pueden variar entre años (por ejemplo, si el año es seco tener un resultado o si el año es muy húmedo otro). Por ello, recomendamos y reconocemos la importancia de mantener la base de datos recolectados y revisar permanentemente el efecto entre años, esto permitiría agregar más valor a nuestro análisis.

En tercer lugar, este trabajo ha sido exploratorio con datos de productores, que posiblemente no son representativos del conjunto de productores de la región, en términos productivos, habilidades, secuencia de cultivo y por lo tanto las extrapolaciones de los resultados deben ser realizadas cuidadosamente.

De todos modos, considerando estas limitaciones los resultados empíricos constituyen una contribución importante dado que emergen de datos propios de los productores y hasta no tener mayores precisiones experimentales pueden servir de guía a recomendaciones técnicas.

8- BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, E., H.D. MORRIS y R.N. DAWSON. 1970. Effect of cropping systems and nitrogen levels on corn (*Zea mays*) yields in the southern piedmont region. **Agron. J.**, 62: 655-659.
- ANDRADE, F y V. SADRAS. 2002. **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja**. Ed EEA INTA Balcarce, Balcarce.
- ASCHERI, L. 2006. Factores influyentes en el rendimiento en soja, Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2000-2006. **Región CREA Sur de Santa Fe, Soja 2005/06**: 11-17.
- ASGHARI, M. y R.G. HANSON. 1984. Nitrogen, climate, and previous crop effect on corn yield and grain N. **Agron. J.**, 76: 536-542.
- AVELLANEDA J., A. AVELLANEDA, L. CABALLERO y F. GARCÍA. 1999. Ensayo de fertilización de soja Establecimiento "San Marcelo", Teodelina (Santa Fe). Campaña 1998/99. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja". **INPOFOS Cono Sur**. Acassuso, Buenos Aires.
- BAIGORRÍ, H y E. MARTINI. 2006. Criterios para el manejo de cultivares en la campaña 2006/2007. En: www.planetasoja.com/trabajos. Consultado: 06-10-2006.
- BAIGORRÍ, H. 1997a. Ecofisiología del cultivo. En: Giorda, L y H. Baigorri. **El cultivo de la soja en Argentina**. 2:31-48. EEA INTA, Marcos Juárez, Argentina.
- BAIGORRÍ, H. 1997b. Elección de cultivares. En: Giorda, L y H. Baigorri. **El cultivo de la soja en Argentina**. 5:107-114. EEA INTA, Marcos Juárez, Argentina.
- BAIGORRÍ, H.F. PIATTI, J. VILLAR, M. BODRERO, L. MACOR, O. GENTILI, R. VICENTINI, L. IRIARTE, E. WEILENMANN, F. GUTHIM, S. VALLONE, J. GILLI, L. GADBAN, B. MASIERO, A. POCHETTINO, L. SALINES, M. FRANCIONE, D. SOLDINI y F. SPONTON. 2002. **Resultados de la red nacional de evaluación de cultivares de soja en la región pampeana norte y pampeana sur. Campañas 1999/2000 a 2001/02**. En: Baigorri, H y L. Segura (Ed). Soja, Actualización 2002. A1. EEA INTA Marcos Juárez, Argentina.
- BALDOCK, J.A. y B.D. KAY. 1987. Influence of cropping history and chemical treatments on the water-stable aggregation of a silt loam soil. **Can. J. Soil Sci.**, 76: 501-511.
- BALDOCK, J.O. y R.B. MUSGRAVE. 1980. Manure and mineral fertilizer effects in continuous and rotational crop sequences in Central New York. **Agron. J.**, 72: 511-518.
- BENSON, G.O. 1985. Why the reduced yields when corn follows corn and possible management responses?. 161-174. En: **D. Wilkerson** (ed.), Proc. 40th Annual Corn and Sorghum Research Conference. Chicago, IL., Dec. 11-12. Am. Seed Trade Assoc., Washington, DC.

- BETTOLLI, M. L., O.C. PENALBA y W.M. VARGAS 2002. Asociación entre el rendimiento de la soja y extremos de precipitación acumulada. **IX Reunión Argentina de Agrometeorología**. 18-20 de septiembre, Vaquerías, Córdoba.
- BETTOLLI, M. L., O.C. PENALBA y W.M. VARGAS 2004. Cuantificación de la relación rendimiento de la soja – precipitación; enfoque regional. **X Reunión Argentina de Agrometeorología**. 13-15 de Octubre, Mar del Plata.
- BILENCA, D.N., C.M. GONZÁLEZ-FISCHER, P. TETA y M. ZAMERO. 2007. Agricultural intensification and small mammal assemblages in agroecosystems of the Rolling Pampas, central Argentina. **Agriculture Ecosystems and Environment**, 121: 371-375.
- BOULLON, D., 2002. Evaluación del riesgo en la Región Pampeana. **SAGPyA** (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación) Oficina de Riesgo Agropecuario.
- COTTURA, G.D. 2007. **Evolución y comportamiento del rendimiento de soja respecto a 5 variables agronómicas registradas a campo en el sudeste de la provincia de Córdoba durante 10 ciclos agrícolas**. Tesis. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC, Argentina.
- CROOKSTON, R.K., J.E. KURLE, P.J. COPELAND y W.E. LUESHEN. 1988. Relative ability of soybean, fallow, and triacontanol to alleviate yield reductions associated with growing corn continuously. **Crop Sci.**, 28: 145-147.
- CROOKSTON, R.K., J.E. KURLE, P.J. COPELAND, J.H. FORD y W.E. LUESCHEN. 1991. Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean. *Agron. J.*, 83: 108-113.
- DE BATTISTA, J.J. y N. ARIAS 2009. Cultivos de cobertura: **Efecto de la duración del barbecho sobre el aporte de rastrojo y rendimiento de la soja**. INTA EEA Concepción del Uruguay. 4-5.
- DE DIOS, M., J. BODEGA y M. PEREYRA IRAOLA. 2006. Efectos de la temperatura del aire y del suelo sobre la duración de la etapa siembra-emergencia en soja. **3º Congreso de Soja del Mercosur**. Mesas Científico-Técnicas, Resúmenes Expandidos. 51-52. Rosario, Argentina.
- DE LA VEGA, A. y E. DE LA FUENTE. 2003. Elección de genotipos. En: Satorre, E.R, Vence Arnold. G, Slafer. E, De la Fuente. D, Miralles. M, Otegui R, Savin. **Producción de granos, Bases funcionales para su manejo**. 14: 319-349. ed: Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- DI RIENZO, J.A., M.G.BALZARINI, F.CASANOVE, L.GONZÁLEZ, M.TABLADA, W.GUZMÁN y C.W.ROBLEDO 2001 **InfoStat. Estadística y Biometría y de Diseño**

- de Experimentos.** Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC).
- FEHR, W. y C. CAVINESS. 1980. Stages of soybean development. Spec. **Report No. 80. Coop. Ext. Ser.**, Iowa State University. Ames, Iowa, EE.UU.
- FERRARIS G., L. COURETOT y N. GONZÁLEZ 2003. Densidad de siembra y espaciamientos en soja: Efecto sobre los rendimientos y la estructura de la planta. **Proyecto Regional Agrícola**, campaña 2002-2003.
- FUENTES, F.B. MASIERO, L. SALINES y L. KOVALESKI. 2006. Efecto de épocas de siembra y grupos de madurez de soja sobre variables de crecimiento y desarrollo en la región pampeana norte. **3° Congreso de Soja del Mercosur. Mesas Científico-Técnicas, Resúmenes Expandidos.** 53-56. Rosario, Argentina.
- GARCÍA F.O. y H.E. ECHEVERRÍA., 2000. **Fertilidad de los suelos y fertilización de los cultivos.**
- GIORDA, L.M., BAIGORRI, H.E. 1997. El cultivo de la soja en la Argentina. **Centro Regional Córdoba.** Córdoba.
- GOLD, M. V. (1999), Sustainable Agriculture: Definitions and Terms, Alternative Farming Systems Information Center, **Agricultural Research Service**, U.S. Department of Agriculture.
- GUTIERREZ, N., R. GUTIERREZ, C. VENIALGO y J. PETCOFF. 1993. Efectos de diferentes sistemas de labranza y de cultivos sobre el K, Ca y Mg en un natrustol típico. En: **Memorias De La Segunda Reunión Bienal De La Red Latinoamericana De Labranza Conservacionista.**
- KANG, S., F. ZHANG, X. HU, J.P. y L. ZHANG. 2001. Effects of shallow water table on capillary contribution, evapotranspiration, and crop coefficient of maize and winter wheat in a semi-arid region. **Aust. J. Agric. Res.** 52: 317-327.
- KANTOLIC, A. y G. SLAFER. 2000. Cambios en el número de granos asociados a la respuesta fotoperiódica en postfloración en dos genotipos de soja. **Actas XXIII Reunión Argentina de fisiología vegetal.** 276-277. Ed. UNRC. Río Cuarto, Argentina.
- KELLEY, K.W., J.H. LONG JR. y T.C. TODD. 2003. Long-term crop rotations affect soybean yield, seed weight, and soil chemical properties. **Field Crops Research.** 83: 41-50.
- KUMUDINI, S. D. HUME y G. CHU. 2001. Genetic Improvement in Short Season Soybeans: I. Dry Matter Accumulation, Partitioning, and Leaf Area Duration. **Crop Sci.** 41:391-398.
- MARELLI, H. 1997. Secuencia de cultivos y sistemas de labranza. **En:** Giorda, L. y H. Baigorri. **El cultivo de la soja en Argentina.** 8: 155-183. EEA INTA, Marcos Juárez, Argentina.

- MARTÍNEZ-GHERSA, M.A. y C.M. GHERSA. 2005. Consecuencias de los recientes cambios agrícolas. **Ciencia Hoy**. 15 (87): 37-45.
- MEESE, B.G., P.R. CARTER, E.S. OPLINGER y J.W. PENDLETON. 1991. Corn-soybean rotation effect as influenced by tillage, nitrogen, and hybrid-cultivar. **J. Prod. Agric.** 4: 74- 80.
- MEJIA, M.N., C.A. MADRAMOOTOO y R.S. BROUGHTON. 2000. Influence of water table management on corn and soybean yields. **Agric. Water Manage.** 46: 73-89.
- MELGAR, R. y J. LAVANDERA. 1999. Resultados de los ensayos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja". **INFOFOS Cono Sur**. Acassuso, Buenos Aires. 39 pág.
- MERCAU, J., V. SADRAS, E. SATORRE, C. MESSINA, C. BALBIA, M. URIBELAREA y A. HALLA. 2001. On-farm assessment of regional and seasonal variation in sunflower yield in Argentina. **Agric. Systems**. 67:83-103
- MILADINOVIC, J., H. KUROSAKI, J. BURTON, M. HRUSTIC y D. MILADINOVIC. 2006. The adaptability of shortseason soybean genotypes to varying longitudinal regions. **Europ. J. Agronomy**. 25:243–249.
- MINETTI, J. L. y C. M. LAMELAS, 1995: Respuesta regional de la soja en Tucumán a la variabilidad climática. **RIAT 72 (1-2)**. 63-68. EEAOC. S.M. de Tucumán.
- MUELLER, L., A. BEHRENDT, G. SCHALITZ y U. SCHINDLER. 2005. Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. **Agric. Water Manage.** 75: 117-136.
- NOTICIAS RURALES. 2012. en: www.noticiasrurales.com.uy/. Consulta: 22-7-2012.
- OESTERHELD, L., V. BOLLANI, M. OTEGUI y M. SEMMARTIN1. 2007. **Compromiso entre ciencia y agricultura: El caso de la soja**. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires/CONICET.
- PANIGATTI, J.L., H. MARELLI y R. GIL (Eds.). 1998. Siembra Directa. **Ed. Hemisferio Sur S.A.** Buenos Aires.
- PARRA, R. 1997. Fertilización fosfatada en el cultivo de soja y residualidad en una secuencia de cultivos en el norte santafesino. **Pub. Misc. No. 12**. EEA INTA Reconquista. Santa Fe, Argentina.
- PARUELO, J.M., J.P. GUERSCHMAN y S.R. VERÓN. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. **Ciencia Hoy**. 15 (87): 14-23.
- PARUELO, J.M., J.P. GUERSCHMAN, G. PIÑEIRO, E.G. JOBBÁGY, S.R. VERÓN, G. BALDI y S. BAEZA. 2006. Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis. **Agrociencia Vol. X**. 2: 47-61.

- PASCALE, A.J., DAMARIO, E.A. y FORTE LAY, J.A, 1995. Zonificación por aptitud meso-agroclimática de la subregión oriental para el cultivo de la soja. **Primer Congreso Nacional de Soja y Segunda Reunión Nacional de Oleaginosos, I:** 9-16. Pergamino, Argentina.
- QUINTERO, C.E. BOSCHETTI, N.G. y BENAVIDEZ R.A. 2003. Effect of soil buffer capacity on soil test phosphorus interpretation and fertilizer requirement. **Comm. Soil Sci, Plant Ana.** 34 (9 y 10): 1435 – 1450
- RACCA, R., D. COLLINO, J.L. DARDANELLI, D. BASIGALUP, N. GONZÁLEZ, E. BRENZONI, N. HEIN y M. BALZARINI. 2001. Contribución de la fijación biológica de nitrógeno a la nutrición nitrogenada de la alfalfa en la Región Pampeana. **Ediciones INTA.** Buenos Aires, Argentina.
- ROJO ABUÍN J. M. 2007. Regresión Lineal Múltiple. Instituto de Economía y Geografía Madrid. En: http://humanidades.cchs.csic.es/cchs/web_UAE/tutoriales/PDF/Regresion_lineal_multiple_3.pdf
- ROSS F. y CARPANETO B. 2007. Soja Sobre Verdes de Invierno. **EEA INTA Balcarce,** Argentina.
- SALINES, L. 1997. Mejoramiento. **En:** Giorda, L y H. Baigorri. **El cultivo de la soja en Argentina.** 3:55-81. EEA INTA, Marcos Juárez, Argentina.
- SANCHEZ H. y R.M. LIZONDO. 1999. Respuesta de la soja a la fertilización fosfatada en el área de granos de la Provincia de Tucumán. **Actas Merco-soja 99 CIASF-AIANBA.** Rosario, Santa Fe, Argentina.
- SATORRE, E. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura Argentina actual. **Ciencia Hoy.** 15 (87): 24-31.
- SCHEINER J., F. GUTIÉRREZ BOEM y R. LAVADO. 1999. Experiencias de fertilización de soja en el centro norte de Buenos Aires. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja". **INFOFOS Cono Sur.** Acassuso, Buenos Aires.
- SCHNEPF, R., ERIK N.D., y CHRISTINE B. 2001. Agriculture in Brazil and Argentina: Developments and prospects for major field crops. **WRS-01-3.** USDA-ERS
- SUMMERFIELD, R. H. ASUMADU, R. ELLIS y A. QI. 1998. Characterization of the photoperiodic response of post-flowering development in maturity isolines of soybean. **Ann. Bot.** 82:765-771.
- TRIGO, E., 2005. Consecuencias económicas de la transformación agrícola. **Ciencia Hoy.** 15 (87): 46-51.
- VARVEL, G.E. y T.A. PETERSON. 1990. Residual soil nitrogen as affected by continuous, two-year, and four-year crop rotation systems. **Agron. J.** 82: 958- 962.

- VASILAS B. R. NELSON, J. FUHRMANN y T. EVANS. 1995. Relationship of nitrogen utilization patterns with soybean yield and seed-fill period. **Crop Sci.** 35:809-813.
- VIGLIZZO, E. F., F. LECTORA, A.J. PORDOMINGO, J.N. BERNARDOS, Z.E. ROBERTO y H. DEL VALLE. 2001. Ecological Lessons and Applications from One Century of Low External-Input Farming in the Pampas of Argentina. **Agriculture, Ecosystems & Environment.** 83 (1-2): 65- 81.
- VIVAS H. 1999. Residualidad de la fertilización fosfatada y su influencia en la producción de soja y en la rotación. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja". **INPOFOS Cono Sur.** Acassuso, Buenos Aires.
- WEBBER C.L. 1999. Effect of Kenaf and Soybean Rotations on Yield Components. Perspectives on new crops and new uses. J. Janick (ed.), **ASHS Press,** Alexandria, VA.
- WEST, T.D., D.R. GRIFFITH, G.C. STEINHARDT, E.J. KLADIVKO y S.D. PARSONS. 1996. Effect of tillage and rotation on agronomic performance of corn and soybean: twenty-year study on dark silty clay loam soil. **J. Prod. Agric.** 9: 241–248.
- WOOD, D. 1998. "Ecological principles in agricultural policy: but which principles?" **Food Policy** 23. 5: 371-381.
- WOOD, D. 2001. "En defensa de los monocultivos". **LEISA Revista de Agroecología** 16. 4: 8-9.
- WOOLDRIDGE, J.M. 2001. **Introducción a la econometría. Un enfoque moderno.** Ed. Thomson Learning. México.
- ZUIL, S. 2006. Evaluación del efecto alelopático de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sobre la germinación y la supervivencia de plántulas de soja (*Glycine max* L.). **XXVII Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas.** INTA EEA Reconquista. Argentina
- ZULAUF, C. y A. SPECHT. 2005. **Corn-soybean rotation: its impact on acreage decisions.** Department of Agricultural, Environmental, and Development Economics. Ohio State University.

9- ANEXOS

ANEXO N° 1: REGRESIÓN SOLO CON LOS CULTIVOS ANTECESORES.

Modelo Matemático N° 2

$$\left\{ \begin{aligned} y \text{ (Rendimiento de Soja)} &= 2895,759 - 946,679 * A. \text{alfalfa} - 909,439 * A. \text{Natural} - 453,627 * A. \\ &\text{Trigo} - 273,731 * A. \text{Soja} + 288,670 * A. \text{Maíz} - 732,391 * A. \text{Girasol} + 902,099 \end{aligned} \right\}$$

Tabla 1: Resumen del modelo de regresión con solo la variable “Cultivos Antecesores”.

| Modelo | R | R ² | R ² corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|---------|----------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1 | ,411(a) | ,169 | ,163 | 902,099 |

Tabla 1.1: ANOVA del modelo.

| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------|-----------|-------------------|-----|------------------|---------------|----------------|
| 1 | Regresión | 141251402,644 | 6 | 23541900,441 | 28,929 | ,000(a) |
| | Residual | 695784505,446 | 855 | 813783,047 | | |
| | Total | 837035908,089 | 861 | | | |

Tabla 1.2: Coeficientes del modelo encontrado.

| Variables Predictoras | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | T | Sig. |
|-----------------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|--------|------|
| | B | Error típ. | Beta | | |
| (Constante) | 2895,759 | 101,494 | | 28,531 | ,000 |
| Antecesor ALFALFA | -946,679 | 163,024 | -,225 | -5,807 | ,000 |
| Antecesor TRIGO | -453,627 | 118,987 | -,198 | -3,812 | ,000 |
| Antecesor SOJA | -273,731 | 127,271 | -,102 | -2,151 | ,032 |
| Antecesor MAÍZ | 288,670 | 112,670 | ,143 | 2,562 | ,011 |
| Antecesor C. NATURAL | -909,439 | 207,008 | -,155 | -4,393 | ,000 |
| Antecesor GIRASOL | -732,391 | 230,503 | -,109 | -3,177 | ,002 |

Variable Respuesta: **Rendimiento**