

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**

“Trabajo Final para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

**EVOLUCIÓN Y COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE
SOJA RESPECTO A 5 VARIABLES AGRONÓMICAS
REGISTRADAS A CAMPO EN EL SUDESTE DE LA PROVINCIA
DE CORDOBA DURANTE 10 CICLOS AGRÍCOLAS.**

GABRIEL DARIO COTTURA

DNI: 30.782.141

Director: Ing. Agr. Guillermo Cerioni

Río Cuarto – Córdoba

Septiembre de 2007

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**EVOLUCIÓN Y COMPORTAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE SOJA
RESPECTO A 5 VARIABLES AGRONÓMICAS REGISTRADAS A CAMPO EN
EL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE CORDOBA DURANTE 10 CICLOS
AGRÍCOLAS**

Autor: Cottura, Gabriel Darío

DNI: 30782141

Director: Ing. Agr. MSc. Cerioni, Guillermo A.

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

Ing. Agr. Plevich, Omar _____

Ing. Agr. Ricotto, Alcides _____

Ing. Agr. Espósito, Gabriel _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

INDICE GENERAL

	Página
RESUMEN.....	VI
SUMMARY	VII
1- INTRODUCCIÓN	1
2- ANTECEDENTES	
2.1. Rendimiento-----	2
2.2. Fecha de Siembra	
2.2.1. Temperatura-----	4
2.2.2. Fotoperíodo-----	5
2.3. Rotación - Antecesor-----	8
2.4. Manejo del Agua	
2.4.1. Napa Freática-----	10
2.4.2. Napa Freática-Cultivo-----	11
2.5. Fertilización	
2.5.1. Fósforo-----	12
2.5.1.1. Fósforo en Siembra Directa-----	14
2.5.2. Azufre-----	16
2.5.3. Fertilización de la rotación-----	18
2.6. Grupo de Madurez-----	18
3- OBJETIVOS	
3.1. Objetivo general-----	20
3.2. Objetivos específicos-----	20
4- MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1. Marco teórico-----	20
4.2. Base de datos y análisis de la información-----	20
4.3. Caracterización del área	
4.3.1. Fisiografía-----	21
4.3.2. Clima-----	22
4.3.3. Precipitaciones-----	23
4.3.4. Temperatura-----	24
4.3.5. Balance hidrológico-----	25
4.3.6. Suelos-----	26
5- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. Suelos-----	26
5.2. Rendimiento-----	27
5.3. Fecha de Siembra-----	28
5.4. Antecesor-Rotación	
5.4.1. Antecesor-----	33
5.4.2. Rotación-----	35
5.5. Napa Freática-----	39
5.6. Fertilización-----	42
5.7. Grupo de madurez-----	45
5.8. Interacciones	
5.8.1. Antecesor- ENSO-----	47
5.8.2. Antecesor-Napa-----	48
5.8.3. Antecesor-Fecha de siembra-----	49
5.8.4. Fertilización- Antecesor-----	49
5.8.5. Napa-Fecha de siembra-----	50
6- CONCLUSIONES.....	51
7- BIBLIOGRAFIA	52

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Rendimientos promedios anuales de soja entre 1996-2005 para Argentina, EEUU, Brasil y China	2
Gráfico 2. Superficie sembrada con soja entre 1996-2005 en Argentina, EEUU, Brasil y China	3
Gráfico 3. Precipitaciones promedio mensuales para la localidad de Monte Buey período 1906-2006.....	23
Gráfico 4. Tendencia del promedio móvil de precipitaciones del período 1906-2006 en Monte Buey	24
Gráfico 5. Temperatura media, media máxima y mínima, y máxima y mínima absolutas de la localidad de Marcos Juárez (1967-2005).....	25
Gráfico 6. Porcentaje de los diferentes suelos clasificados por capacidad de uso (USDA) del total de la superficie cosechada con soja por el grupo CREA Monte Buey-Inrriville entre las localidades de : Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrriville	27
Gráfico 7. Rendimientos promedios de soja entre 1996/97-2005/06 para Argentina, Córdoba, promedio de los departamentos Marcos Juárez y Unión, y grupo CREA	28
Gráfico 8. Superficie sembrada de soja entre 1996/97-2005/06 en Argentina, Córdoba, promedio de los departamentos Marcos Juárez y Unión y grupo CREA	28
Gráfico 9. Rendimiento de soja según la fecha de siembra	29
Gráfico 10. Rendimiento de soja de primera según la fecha de siembra	29
Gráfico 11. Rendimiento de soja de segunda según la fecha de siembra	30
Gráfico 12. Fenología de cultivares en fechas de siembra de primera época	30
Gráfico 13. Fenología de cultivares en fechas de siembra de segunda época	31
Gráfico 14. Temperatura, fotoperíodo y radiación diaria entre octubre y abril en Monte Buey	31
Gráfico 15. Situación Hídrica promedio y probabilidad de ocurrencia de déficit hídrico en los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo en Monte Buey	32
Gráfico 16. Probabilidad de rendimientos según la fecha de siembra.....	33
Gráfico 17. Porcentaje de la superficie sembrada con soja de primera en los cultivos antecesores maíz y soja de primera entre 1996/97-2005/06.....	34
Gráfico 18. Porcentaje de la superficie sembrada con soja de segunda en los cultivos antecesores maíz y soja de primera entre 1996/97-2005/06.....	34
Gráfico 19. Rendimiento de soja de primera en los cultivos antecesores maíz y soja de primera	35
Gráfico 20. Rendimiento de soja de segunda en los cultivos antecesores maíz y soja de primera	35
Gráfico 21. Rendimiento de soja de primera en los cultivos antecesores maíz y soja de primera durante las campañas 1996/97-2005/06.....	36
Gráfico 22. Rendimiento de soja de segunda en los cultivos antecesores maíz y soja de primera durante las campañas 1996/97-2005/06.....	36
Gráfico 23. Años de siembra directa continua promedio de cada lote entre 1996/97-2005/06	37
Gráfico 24. Porcentaje de la superficie sembrada con los cultivos de soja de primera, soja de segunda, maíz de primera, maíz de segunda y trigo entre 1996/97-2005/06..	38
Gráfico 26. Superficie de soja de primera y soja de segunda con influencia de napa freática entre 1996/97-2005/06	39
Gráfico 27. Rendimiento de soja de primera y soja de segunda con y sin influencia de napa freática	40

Grafico 28. Diferencia de rendimiento de soja de primera y soja de segunda en lotes con influencia de napa freática respecto a lotes sin su influencia entre 1996/97-2005/06.....	41
Grafico 29. Diferencia de rendimiento de soja de primera y soja de segunda con influencia de napa freática respecto de lotes sin su influencia para los años niño y niña	41
Grafico 33. Respuesta a la fertilización en soja de primera y soja de segunda en 2004/05-2005/06.....	44
Grafico 34. Respuesta promedio de la fertilización en soja de primera y soja de segunda .	44
Grafico 35. Porcentaje de la superficie sembrada de soja con cada grupo de madurez.....	45
Grafico 36. Rendimiento de los grupos de madurez III y IV para cada promedio ambiental	47
Grafico 37. Diferencia de rendimiento de soja de primera y soja de segunda con antecesor maíz respecto de soja de primera en años niño y niña	48
Grafico 38. Diferencia de rendimiento de soja de primera con antecesor maíz respecto de soja de primera en lotes con y sin influencia de napa freática	48
Grafico 39. Diferencia de rendimiento de soja sobre cultivo antecesor maíz respecto de soja de primera en diferentes fechas de siembra.....	49
Grafico 40. Respuesta a la fertilización en soja de primera para los cultivos antecesores maíz y soja de primera.....	50
Grafico 41. Diferencia de rendimiento de soja en lotes con influencia de napa freática respecto a lotes sin su influencia en diferentes fechas de siembra	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación zonal de los lotes de producción	22
--	----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores mínimos, máximos, mediana y cuartil 1 y 3 de precipitaciones para los meses de crecimiento de soja el período 1906-2006 en Monte Buey	24
Tabla 2. Balance hidrológico climático para el período 1906-1960	25
Tabla 3. Balance hidrológico climático para el período 1961-2006	26

RESUMEN

La producción de soja es una fuente de ingreso de divisas muy importante para la Argentina, siendo Córdoba la principal provincia productora. Se evaluó la evolución y la influencia de 5 variables con fuerte incidencia en la producción de soja en la zona central del país (fecha de siembra, grupo de madurez, influencia de napa freática, fertilización, rotación-cultivo antecesor) sobre el rendimiento del cultivo de soja. La misma se realizó con una base de datos de registros de campo del Grupo CREA Monte Buey-Inrville, en la zona comprendida entre las localidades de: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville (provincia de Córdoba), mediante la utilización de estadística descriptiva y análisis de correlación entre las variables. El área de estudio presentó características muy favorables para la producción de soja. Los rendimientos de la zona (Sudeste de Córdoba) fueron superiores a los del país, y los de las empresas del grupo CREA mayor a los promedios de la zona agroecológica semejante. En las fechas de siembra más tempranas se lograron los mayores rendimientos, aunque con mayor variabilidad. Hay una creciente participación del maíz como antecesor, sobre el cual se lograron mayores rendimientos que sobre soja, además el incremento fue menor en años niño, en lotes con influencia de napa freática y en fechas de siembra tardías. La influencia de napa freática incrementó los rendimientos, en mayor medida en años niña. A partir del año 2000 se acortaron los grupos de madurez utilizados, siendo los IV corto y III largo, seguidos de IV largo y III corto los de mayor estabilidad en el rendimiento. Debido a la escala de análisis y la complejidad de factores que afectan la respuesta a la fertilización, no se extrajeron resultados sólidos sobre la misma. El análisis reveló la importancia de la caracterización de los factores que constituyen el ambiente de producción, para maximizar la producción de soja.

PALABRAS CLAVES: *Glycine max*; rendimiento; fecha de siembra; cultivo antecesor; fertilización, napa freática; grupo de madurez.

SUMMARY

Soybean production is a very important source of income in Argentina, being Cordoba the main producing province. This study analyses the evolution and the influence of five different variables with a strong influence on the production of soybeans in the central region of the country (the planting date, maturity group, the influence of water tables, fertilization and the preceding crop rotation) on the soy crop yields. This analysis was based on a field record database provided by the Monte Buey-Inriville CREA Group, which includes the towns of Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera and Inriville; and it was carried out by means of descriptive statistics and a correlation analysis among the variables. The area of study presented favorable conditions for the production of soybean.

Yields in the southeast region of Cordoba were higher than those from the rest of the country, and those yields of the CREA group companies were higher than the average yields of this agro-ecological region. The highest yields were obtained during the earliest planting period, but with greater variability. There is a growing involvement of corn as a preceding crop, on which better yields were obtained than those on soybean. Besides, the increase was smaller in periods of abundant rain, in parcels of farmlands influenced by water tables and late planting dates. The influence of water tables increased yields in years of scarce rain. Since 2000, the maturity groups used have been shortened; being the IV short and the III long followed by the IV long and the III short the ones with longer-term yields.

Due to the scale analysis and the complexity of the factors affecting the response to fertilization, significant results were not revealed after its analysis. This study showed the importance of the characterization of the factors constituting the production environment in order to maximize soybean production.

KEY WORD: *Glycine max*; yield; planting date; preceding crop rotation; fertilization; water tables; maturity group

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres Martha y Abel, y a mi hermano Germán por su constante sostén y estímulo en las etapas transitadas para alcanzar esta importante meta...el título de grado; a Guillermo, mi director, por haberme apoyado para realizar este tipo de trabajo final con escasos antecedentes en nuestra Facultad; a Elena Fernández quien de manera constante y desinteresada me alentó en este y otros trabajos; a Martín Sánchez, Sebastián Muñoz y todo el grupo CREA Monte Buey - Inrriville por haberme brindado generosamente sus bases de datos, su valioso tiempo y conocimientos del área; a la Agencia Córdoba Ciencia, por respaldar el trabajo; y a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto por posibilitarme realizar esta Carrera.

1- INTRODUCCIÓN

La soja es el cultivo que más ha crecido en las últimas décadas, representando el 91% de la producción de semillas oleaginosas y el 45% del total de granos obtenidos en Argentina. De ello, el 96% se destina a la exportación como materia prima o como productos elaborados, siendo una importante fuente de ingreso de divisas al país. En la década del '90 el ingreso de divisas por el complejo soja fue del 16 % del total de las ventas externas, mientras que en el período 2002-2005 esta cifra ascendió al 21 % (Bergero, 2006).

La realización de inversiones en la ampliación de infraestructura llevadas a cabo por exportadores e industriales posicionó a Argentina como un exportador de productos industrializados. En 1990 Argentina participaba del 20 % del comercio mundial del complejo de la soja, mientras que en el 2005 pasó al 30 % en ese rubro y a ser el proveedor dominante del aceite de soja comercializado en el mundo, con una participación del 45 % (Bergero, 2006). El incremento en la producción nacional fue analizado por Ghida Daza (2005), quien encontró que para el período 1990/91-2004/05 el aumento fue del 216 %. De ello un 176 % debido al incremento del área sembrada y un 14 % al aumento en los rendimientos promedio. Se destaca el crecimiento en el área sembrada en la provincia de Córdoba (197 %), hecho que la sitúa como la principal provincia productora del país, seguida de Santa Fe y Buenos Aires (SAGPyA, 2007).

Este proceso llevó al predominio de la elección del cultivo en los sistemas de producción, acentuando los riesgos de monocultivo, siendo cada vez más importante explorar las variables que inciden en el rendimiento a fin de sostener un ritmo importante de crecimiento de la producción de soja y mantener el liderazgo internacional alcanzado.

Mercau, *et al.* (2001) remarcan la importancia de combinar los estudios experimentales con la investigación a campo, la cual permite cuantificar la real respuesta a la combinación de factores que afectan la producción.

Este proyecto tiene como propósito evaluar el comportamiento del rendimiento del cultivo de soja en relación con: a) fecha de siembra, b) grupo de madurez, c) influencia de napa freática, d) fertilización, y e) rotación-cultivo antecesor, observado en los sistemas de producción del grupo CREA Monte Buey-Inrville entre las localidades de: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville (provincia de Córdoba) durante 10 ciclos productivos (1996/97 al 2005/06).

Para ello se propone describir y analizar una base de datos registrada por los productores agropecuarios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville.

Los resultados permitirán conocer la evolución, el comportamiento y las relaciones entre las variables propuestas y los rendimientos para el período de tiempo analizado.

2- ANTECEDENTES

2.1. Rendimiento

En la Argentina el cultivo de soja se conoce desde comienzos de siglo XX, pero fue la década del '60 la que marcó el inicio de la producción con fines comerciales. Posterior a los '70 se produjo un incremento vertiginoso en la producción nacional dado por incrementos en la superficie sembrada y en los rendimientos promedios (Giorda 1997).

Según Giorda (1997) en el período 1977/1997 los rendimientos del país se incrementaron de 1.000 a 2.000 kg ha⁻¹ con una tasa de incremento anual de 50 kg ha⁻¹. En tanto que el promedio del período fue superior al de Brasil y China e inferior al de Estados Unidos.

En la década 1996-2006 los rendimientos de Argentina aumentaron 60 kg ha⁻¹ año⁻¹, siendo el promedio del período similar al de Brasil, superior al de china e inferior al de EEUU (grafico 1). Cabe destacar que si bien la superficie sembrada fue menor a la de EEUU y Brasil y al comienzo de la serie que China, el progreso de productividad se ha dado aún con incrementos en la superficie cosechada en niveles muy superiores a EEUU y China y levemente inferior que Brasil (grafico 2).

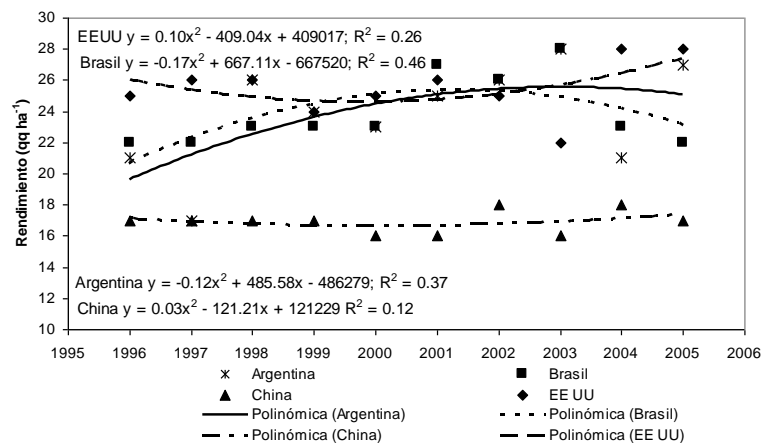


Gráfico 1. Rendimientos promedios anuales de soja entre 1996-2005 para Argentina, EEUU, Brasil y China. (Fuente: elaboración propia. Datos FAO, 2007).

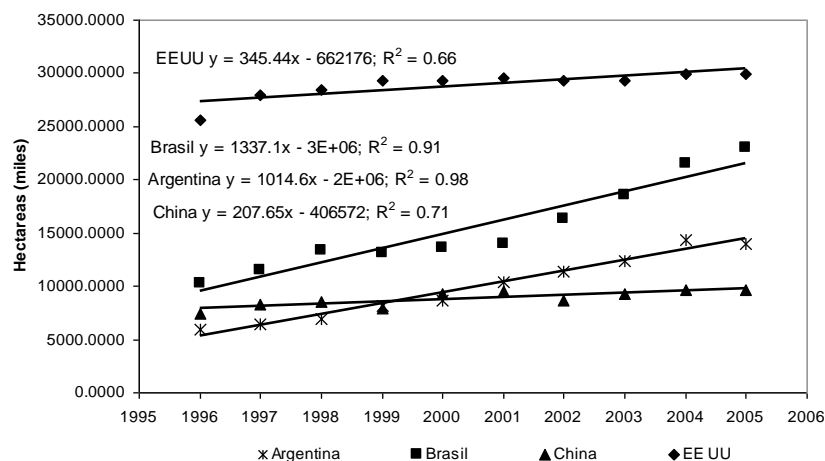


Gráfico 2. Superficie sembrada con soja entre 1996-2005 en Argentina, EEUU, Brasil y China. (Fuente: elaboración propia. Datos FAO, 2007).

Este aumento en los rendimientos estuvo asociado con el proceso de expansión del cultivo iniciado en 1997, donde la aparición y libre comercialización de variedades genéticamente modificadas con resistencia a un herbicida (glifosato) facilitó la implementación de la siembra directa (Pengue, 2001). Ocho años más tarde (2005), el 72% de la superficie de soja producida en Argentina se realizó bajo SD, técnica que por mantener y conservar en superficie importantes niveles de cobertura, permitió controlar la erosión, reducir la evapotranspiración, favorecer la infiltración y conservación de humedad, logrando hacer un uso más eficiente del agua, que acompañada de técnicas como la rotación de cultivos y la fertilización produjeron mejoras en el ambiente de producción (SAGPyA, 2007). A posterior, la incorporación de genotipos de crecimiento indeterminado (Salines, 1997), que pueden favorecer la adaptabilidad a condiciones ambientales específicas como las sequías estacionales en el período de llenado de frutos (Poffo, 2005) y ciclos más cortos, que permitieron reducir los problemas de vuelco y elevar el potencial de rendimiento debido a que su período de definición del rendimiento es más acotado (Salines, 1997), sumado al mejor conocimiento del ambiente de producción y el correcto manejo de los insumos se combinaron para mejorar los rendimientos.

El impacto de las tecnologías y estrategias de producción actuales fueron estudiadas por Salado Navarro *et al.* (2006), quienes simularon los rendimientos que se hubiesen obtenido bajo las condiciones ambientales ocurridas a lo largo de 30 campañas (1973/74-2002/03) para tres localidades utilizando variedades y fechas de siembra actuales y bajo siembra directa. Estos autores hallaron que en la localidad de Marcos Juárez el rendimiento promedio de los 30 años fue de 4.169 kg ha^{-1} con una variación de 1.219 kg ha^{-1} . Esto pone de manifiesto que las nuevas prácticas y manejos agronómicos permitieron aprovechar los recursos disponibles para la producción y demostrar que las limitantes a los altos

rendimientos en campañas anteriores estuvieron dadas por el desconocimiento de las características del ambiente de producción y el no disponer de la tecnología actual.

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, fotoperíodo, radiación, etc), las que combinadas con características del sitio (edáficas, presencia de adversidades, etc) conformarán el ambiente productivo que se plasmará según la expresión del potencial genético del cultivar en el rendimiento físico.

Cuando se pretende analizar la factibilidad de realización de un cultivo en una región se debe verificar que la oferta ambiental satisfaga sus requerimientos. Si bien en el sudeste de Córdoba la producción de soja está consolidada, es importante comprender cómo los factores ambientales influyen sobre la especie a los fines de generar estrategias más eficientes.

2.2.1. Temperatura

El periodo libre de heladas - definido como el período entre la fecha de última y de primera helada - y los límites térmicos para la supervivencia de cada especie determinan la estación de crecimiento disponible. Dentro de ella, la temperatura controla la tasa de los procesos fisiológicos y consecuentemente su duración. La inversa de la relación entre la duración de una fase y la temperatura se llama tasa de desarrollo y define las temperaturas cardinales (Sadras et al., 2000).

Para la fase siembra-emergencia, la temperatura base (temperatura por debajo de la cual se detiene el desarrollo) es de 6 a 9 °C (Hesketh *et al.*, 1973, citado por Kantolic *et al.*, 2004), 9.9 °C (Sadras *et al.*, 2000) en el suelo. De Dios *et al.* (2006), en Balcarce halló que la temperatura media del aire se relaciona con la temperatura del suelo a 5 cm de profundidad, siendo la temperatura base 10.78 °C en el suelo y 5.96 °C en el aire. La temperatura óptima (donde se da la máxima tasa de desarrollo) varía entre 25 y 30 °C y la temperatura máxima (cuando se produce la detención del desarrollo) es de 40 °C.

Luego de la emergencia, la soja es susceptible a daños por bajas temperaturas, sin embargo plantas en el estado de hojas unifoliadas pueden tolerar la muerte completa de las hojas causada por una temperatura de -3.8 °C durante 2 horas y recuperarse a través del

crecimiento de la yema axilar del nudo unifoliado o del nudo cotiledonar. A posterior la aparición de hojas aumenta con incrementos de la temperatura entre los 18 y 30 °C.

En el período reproductivo los aumentos de la temperatura entre 16 y 32 °C incrementan el porcentaje de abscisión de flores y vainas, mientras que el llenado de las semillas es más rápido cuando las temperaturas se encuentran entre 26 y 30 °C comparados con 16 - 18 °C (Norman, 1978).

La influencia que ejerce la temperatura en el comportamiento de los genotipos es diferente según la etapa fenológica y las características de cada cultivar, tales como hábito de crecimiento y grupo de madurez (GM).

En el período vegetativo los cultivares de grupos de madurez V y VII de crecimiento determinado presentaron mayor sensibilidad a la temperatura que los indeterminados (Peltzer, 2006), mientras que los GM II, III y IV fueron más sensibles que GM más largos (Martignone *et al.*, 2006). Dentro de la etapa reproductiva, cultivares de GM IV presentaron mayor sensibilidad en la etapa R1-R5, y cultivares de GM II, IV y V en la etapa R5-R7 (Martignone *et al.*, 2006).

Salado Navarro *et al.* (2006) simularon el comportamiento de cultivar DM 4800 en Marcos Juárez, Oliveros y Pergamino verificando sensibilidad a la temperatura sólo en el período vegetativo.

2.2.2. Fotoperíodo

La soja es una especie de días cortos (Garner y Allard, 1920, citados por Kantolic *et al.*, 2004) con respuesta cuantitativa (Cregan y Hartwing, 1984, citados por Baigorri, 1997a). Es decir, existe un fotoperíodo crítico por debajo del cual la etapa emergencia-floración no incrementa su duración por efectos fotoperiódicos. La respuesta a este factor presenta gran variabilidad genética, y según sus requerimientos para alcanzar R1 se clasifican las variedades en 13 grupos de madurez (GM) (000 al X) (Baigorri, 1997a). En los GM menores los umbrales son más elevados y menor la sensibilidad, mientras que en GM mayores es menor el umbral y mayor la sensibilidad (Baigorri, 1997a, Kantolic *et al.*, 2004), existiendo genotipos insensibles que su floración depende solamente de la temperatura (Baigorri, 1997a).

Luego de la iniciación floral el fotoperíodo afecta la duración de la floración, de la fructificación y del llenado de los granos (Fehr y Caviness, 1980, citado por Kantolic y Slafer 2000, Summerfield *et al.*, 1998).

Según las condiciones termofotoperiódicas en que se desarrolle el cultivo y los momentos donde transcurran sus etapas, se permitirán generar los sub-componentes que determinan el número de granos (principal componente del rendimiento).

La cantidad de sitios potenciales para el establecimiento de granos esta determinado por el número de nudos por unidad de área, presentando un comportamiento similar a la altura de las plantas (Baigorri y Martíni, 2006). La cantidad diferenciada en el tallo principal depende de las condiciones fotoperiódicas previas a floración, de la sensibilidad al fotoperiodo y su hábito de crecimiento (Raper y Kramer, 1987, citados por Kantolic *et al.*, 2003).

Para la mayoría de los cultivares recomendados en cada ambiente, la mayor altura y número de nudos ocurre en FS de la segunda quincena del mes de noviembre, disminuyendo con adelantos o atrasos en la misma, en mayor magnitud y con menor reducción para los grupos de madurez más largos y en FS más tempranas en los de hábito de crecimiento indeterminado (Baigorri y Martíni, 2006).

En la localidad de Monte Buey, Sánchez y Muñoz (2006) encontraron que la altura de las plantas presentó el comportamiento descrito, sin embargo el número de nudos disminuyó linealmente al atrasar la FS. Resultados similares fueron obtenidos por Poffo (2005) en la región de Achiras (Córdoba), quien registró las mayores alturas en FS de Noviembre y el mayor número de nudos en FS más tempranas. Por su parte Peltzer (2006) halló que en FS de septiembre ocurren variaciones interanuales en el número de nudos y en la altura de las plantas debidas a las temperaturas ocurridas en la primavera, incrementándose en los años en que son frescas y disminuyendo en aquellos que son más cálidas. El efecto es más marcado en las variedades de crecimiento determinado respecto a aquellas de crecimiento indeterminado.

En función de la fertilidad de los sitios potenciales fijados se va a determinar el número de vainas por nudo. Debido a que la cantidad de primordios florales producidos por la especie es muy superior a los que puede fijar posteriormente, ésta depende del aborto de primordios, siendo la principal causa de ello la disminución del flujo diario de asimilados desde las hojas hacia los órganos reproductivos (Kantolic *et al.*, 2003). Por ello, la ocurrencia de deficiencia hídrica o de cualquier otro estrés que comprometa la fotosíntesis reduce el número de vainas por nudo.

El número de granos por vaina es un carácter de alta heredabilidad (Egli, 1998), presentando algunos cultivares una alta proporción de vainas con tres lóculos fértiles, mientras que en otros predominan las vainas con dos lóculos. El número de granos logrado por vaina puede ser modificado debido al aborto de uno o más de ellos antes de ingresar a la fase de llenado efectivo. Sin embargo, este comportamiento es mucho más estable que los demás sub-componentes del número de granos ante variaciones ambientales (Borrad *et al.*, 1999, Kantolic *et al.*, 2003).

El peso final de los granos puede describirse como una función de su tasa de crecimiento y la duración del período de llenado, ambos atributos están gobernados genéticamente y varían de acuerdo a las condiciones ambientales.

Según su hábito de crecimiento, las variedades presentan mayor o menor grado de indeterminación en el mismo, el cual le permite que a posterior del inicio de la floración continúe la aparición de hojas. Sumado a esto, la gran cantidad de sitios potenciales donde se diferencian flores y la extensión de la floración, posibilitan que restricciones en la tasa de crecimiento durante la primera parte del período reproductivo (R1-R3) puedan ser compensadas por un mayor peso de los granos, en cambio su ocurrencia en etapas posteriores (R4-R6) reduce directamente el rendimiento por reducir el número de granos sin posibilidad de compensar con un mayor peso de los mismos (Kantolic *et al.*, 2003).

En la región núcleo sojera del país las fechas de siembra que permiten expresar el potencial con buena estabilidad de rendimiento son las del mes de Noviembre y principio de Diciembre, ya que se logra buen crecimiento en altura, se evita el vuelco 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, 1997b).

Desde hace unos años la tendencia ha sido adelantar las fechas de siembra debido a la expresión de rendimiento que manifiestan algunos cultivares. En esta situación la principal limitante es la mayor dependencia de la disponibilidad hídrica durante el llenado de los granos (Baigorri, 1997b). Según Baigorri y Martini (2006) cuando no existen limitantes hídricas es posible incrementar el rendimiento en forma lineal con el adelanto de la FS, hasta la FS en la que ocurren heladas tardías que logren matar una cantidad variable de plantas. El adelantamiento de la FS permite prolongar el período de llenado de granos y exponerlo a mayor temperatura y radiación aumentando su tasa, en cambio por su atraso se afecta negativamente el establecimiento de vainas y granos y se limita la asimilación debido a la menor temperatura y radiación incidente (Kantolic y Slafer, 2000).

Kantolic y Slafer (2000), extendieron el fotoperiodo artificialmente luego de R3 sobre cultivares de GM IV y V encontrando un alargamiento en la etapa de ambos GM, con mayor sensibilidad en el GM V, que se tradujeron en ambos casos en incrementos del rendimiento. Kantolic *et al.* (2006) simularon una mayor longitud del período postfloración mediante el adelantamiento de la floración. Esto permitió incrementar el rendimiento y reducir su variabilidad interanual en condiciones de secano, siendo la radiación acumulada entre floración y madurez, la variable que mejor explicó las variaciones del rendimiento en las localidades de Laboulaye, Pergamino, Pilar y Rafaela.

Según Méndez *et al.* (2004) y (2005), en la zona sur de Santa Fé es posible incrementar los rendimientos en siembras de los primeros días de Octubre respecto a las

fechas de Noviembre en los ambientes de buena productividad y cuando no existen marcados déficit hídricos.

En Balcarce se encontró que por cada día de atraso en la FS ocurre una pérdida promedio de 40 kg ha⁻¹ entre FS de primera respecto a FS de fines de diciembre (Andrade *et al.*, 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 (Cerioni¹).

Si bien en FS más tempranas se logran los mayores rendimientos, estos registran la mayor variación entre años (Baigorri, 1997a, Fuentes *et al.*, 2006).

2.3. Rotación - Antecesor

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 degradación de suelo (Marelli, 1997).

La siembra directa (SD) cuando es complementada con la mantención de la superficie del suelo cubierta con altos volúmenes de rastrojos permite reducir los procesos de degradación edáfica. En Marcos Juárez, Marelli (1997) registró disminuciones de la pérdida de suelo en diferentes rotaciones de cultivos de entre 20 y 30 t ha⁻¹ al pasar de labranza convencional a SD, mientras que la rotación de soja con maíz (maíz-soja) redujo 20 % la pérdida respecto al monocultivo de soja en SD.

El nivel de materia orgánica de los suelos constituye el indicador más directo de la calidad de los suelos ya que influye fuertemente sobre la dinámica de nutrientes, las propiedades físicas y la dinámica y actividad microbiana (Forján, 2003; Bachmeier, 2006). La evolución de la materia orgánica del suelo está determinada en gran parte por la cantidad de residuos restituidos. Por ello la inclusión de cultivos que realicen aportes de grandes cantidades de rastrojos de alta relación carbono/nitrógeno son medidas tendientes a evitar la disminución o a incrementar los niveles de materia orgánica.

Díaz Zorita (2005) determinó que la cantidad de rastrojos de soja aportada al suelo necesaria para mantener los niveles de materia orgánica son equivalentes al aportado por un cultivo de soja de producción de grano 3,2 t ha⁻¹. En Marcos Juárez, durante 9 años de experimentación hallaron incrementos del 5,7 % en el nivel de materia orgánica en la rotación soja-maíz y 15,9 % para la rotación trigo y soja de segunda-maíz respecto al monocultivo de soja. En Manfredi luego de 12 años de monocultivo de soja se registró una

¹ Comunicación personal. Guillermo Cerioni. Departamento Producción Vegetal. FAV. UNRC

disminución de 13.250 kg ha⁻¹ de materia orgánica en la capa arable, reduciéndose 1.830 kg ha⁻¹ cuando se alternó con sorgo (sorgo-soja) (Marelli, 1997).

El aporte de restos vegetales intactos no tiene ningún efecto sobre la estructura del suelo. Solo durante su descomposición es que se forman sustancias agregantes y estabilizantes de las partículas del suelo. Con esto se incrementa la velocidad de infiltración del agua, la disponibilidad de nutrientes y se disminuye el ataque de microorganismos patógenos (Cholaky y Cisneros, 1993). Dardanelli (1998) y Marelli (1998) destacan que los sistemas que tienen mayores producciones de residuos de difícil descomposición sobre la superficie reducen el escurrimiento, la pérdida de suelo y mejoran la eficiencia en la captación del agua. Además reducen las pérdidas por evaporación directa del suelo (Dardanelli, 1994), todo lo cual permite incrementar la disponibilidad de agua para el cultivo.

Los efectos combinados de la rotación de cultivos modifican el ambiente de producción y lo hacen más productivo. En investigaciones realizadas por el INTA, se encontró que el rendimiento de soja de primera en rotación con sorgo superó al monocultivo de soja en 32 % en la localidad de Manfredi, mientras que en Marcos Juárez se obtuvo 10 % más de rendimiento en la rotación con maíz que en su monocultivo. Martellotto et al. (2006) registró 26 % más de producción de soja en rotación con maíz y aumento de la eficiencia del uso del agua de 5,6 a 7,4 kg mm⁻¹.

Además del efecto a mediano y largo plazo de la rotación de cultivos, existe un efecto sobre el cultivo inmediatamente siguiente en la rotación; por ejemplo un cultivo de soja luego de maíz se favorece por mayor agua almacenada y el maíz después de la soja por una mayor disponibilidad de nitrógeno (Marelli, 1997).

Según Díaz Zorita y Duarte (2005) existen evidencias locales en la Región Pampeana que luego de maíz pueden lograrse rendimientos de soja 10 o 15 % superiores a los obtenidos luego de soja. En Pergamino hallaron que la soja de primera sobre el cultivo antecesor maíz logró 600 kg ha⁻¹ más de rendimiento que en el antecesor soja de primera (Belloso y Lorenzatti, 2005). Por otra parte en Rafaela se logró 9 % más de rendimiento en soja de segunda cuando el antecesor en la campaña anterior fue maíz que cuando fue soja de primera (Marelli, 1997).

2.4. Manejo del Agua

La producción de cultivos en condiciones económicas requiere un ambiente edáfico adecuado en la zona de exploración radical, el que depende a su vez del régimen térmico e hídrico así como de su aireación y nivel de salinidad y fertilidad.

El agua es un recurso básico para la producción agropecuaria, por lo que el manejo integrado se constituye en uno de los ejes del Desarrollo Sustentable.

El almacenaje de agua en el suelo es la resultante del balance entre las fuentes y las pérdidas de agua en un determinado momento. En las producciones en secano las fuentes corresponden a las precipitaciones, los aportes superficiales desde otras áreas y los ascensos capilares de la napa freática, mientras que a las pérdidas pertenecen, el agua interceptada por la canopia de los cultivos, el escurrimiento superficial, la evaporación, la percolación y la transpiración de los cultivos. El rendimiento en granos depende fuertemente de la cantidad de agua que el cultivo pueda transpirar, siendo uno de los aspectos principales para mejorar los rendimientos, el incremento de la cantidad de agua para la transpiración.

2.4.1. Napa Freática

La zona sudeste de la Provincia de Córdoba es una porción de la Llanura Pampeana caracterizada por una alta diversidad de ambientes, entre los cuales existen unas dos millones de hectáreas con Napa Freática (NF) somera (Cisneros, 1994). La misma corresponde a formaciones geológicas en las que una superficie libre de agua por encima de una capa impermeable está en contacto directo con el aire (Custodio y Llamas, 1996) rellenando los poros o fisuras por gravedad conformando un espesor saturado. De allí, y dependiendo de las condiciones del suelo, el agua asciende capilarmente formando una zona de alto contenido de humedad (Cisneros *et al.*, 2004) que puede constituirse en una fuente de agua para los cultivos.

Desde un punto de vista hidrológico, el agua de la NF es aquella perdida en zonas altas que escurre subsuperficialmente hasta áreas más bajas en su camino al mar. Su balance es el resultado del equilibrio de flujos entre los aportes o recargas (percolación por lluvias, escurrimientos superficiales, escurrimientos hipodérmicos, escurrimiento freático y riego) y las pérdidas o descargas (evapotranspiración, escurrimientos hipodérmicos y freáticos, y drenaje) (Mehanni, 1988, citado por Magliano 2006). Según Cisneros (1994), la NF oscila según el balance hídrico local, produciéndose un descenso del nivel freático durante períodos donde la evapotranspiración supera a la precipitación y un ascenso durante períodos de muy baja demanda evaporativa o donde la precipitación supera la evapotranspiración. El mismo autor desarrolló un modelo conceptual y estadístico para explicar las oscilaciones de una NF somera en relación con el balance hídrico y el contenido salino, la cubierta vegetal y las propiedades hidrofísicas de los suelos.

Magliano (2006) en Laboulaye (Sudeste de Córdoba) encontró un comportamiento diferencial de la NF según la posición topográfica, hallando correlación de ésta con las precipitaciones en la loma y la media loma, y siendo más errática en la posición de bajo.

Este hecho podría atribuirse a una menor franja de suelo libre por encima del NF que produce una respuesta más rápida en la recarga, y a la existencia de posibles aportes superficiales desde otros sectores de la cuenca (Rang *et al.*, 1999). En cambio en las situaciones de loma y media loma debido al mayor espesor de suelo con mayor capacidad de retención hídrica que se encuentra por encima del NF, permitiría que a igual precipitación un porcentaje menor de la misma recargue la NF.

En la misma área de estudio, Videla Mensegue (2006) indica que no existe una respuesta directa de la oscilación de la NF con el balance hídrico, lo cual determina que la variación del nivel freático estaría más influenciado por las recargas regionales que por las locales. La tasa estimada de ascenso capilar fluctuó entre 0.4 mm día⁻¹ hasta 1 mm día⁻¹ cuando la NF se encontró a profundidad crítica y ésta aumentó hasta 3.5 mm día⁻¹ cuando la profundidad de las raíces superó el metro de profundidad (etapa de llenado de grano). Este incremento en la tasa de ascenso capilar por la vinculación con el sistema radical fue similar a lo comentado por Mueller *et al.* (2005).

2.4.2. Napa Freática-Cultivo

Distintos estudios experimentales demuestran que la existencia de una NF poco profunda puede ser una fuente subterránea de agua para los cultivos en secano (Mejia *et al.*, 2000, Kang *et al.*, 2001, Racca *et al.*, 2001 Mueller *et al.*, 2005).

Se ha determinado que la profundidad en la cual la NF permite incrementar la producción de varios cultivos (maíz, girasol, trigo y sorgo) es de 1.2 – 2 m (Kang *et al.*, 2001, Mueller *et al.*, 2005).

En alfalfa, Dardanelli y Collino (2002) midieron que el aporte de la NF al consumo de agua del cultivo bajo condiciones de campo, varió entre 15 – 25 %. Mientras tanto Mejia *et al.* (2000) citan que el efecto de la NF incrementó los rendimientos entre 5 y 10 % en maíz y 23 % en soja.

En las Pampas Argentinas, el rendimiento de soja cuando las raíces del cultivo llegaron al frente de ascenso capilar, fueron muy superiores a los esperados en base a las precipitaciones ocurridas en el ciclo (Amuchastegui *et al.*, 2006, Martínez *et al.*, 2006), variando su aporte entre 100 y 135 mm (Martini y Baigorri, 2002).

Videla Mensegue (2006) encontró que cuando la profundidad de la NF estuvo por encima de los 2 m (media de 1.62 m y extremos de 1.38 y 1.85 m), ésta contribuyó a la necesidad de agua evapotranspirada por el cultivo, concluyendo que bajo esas condición se podría aumentar los rendimientos hasta aproximarlos a los potenciales.

La influencia de la NF sobre el cultivo también genera cambios en el crecimiento y la sanidad (Baigorri, 1997b). Martínez *et al.* (2006) en la provincia de San Luis, encontraron

que en los cultivares de GM II al V evaluados, los patrones de desarrollo y crecimiento fueron muy similares al que presentan cultivos bajo riego.

Magliano (2006) halló relación entre el rendimiento del cultivo y la profundidad de la NF. En las situaciones donde la NF osciló por encima de la profundidad crítica (1-1.2 m) se generaron condicionantes a la difusión de oxígeno, en la disponibilidad de agua por alto potencial osmótico y mayores incidencias de enfermedades y plagas en las raíces en zonas menos afectadas como fue la media loma, mientras tanto en el bajo, la NF se encontró más cercana a la superficie produciéndose acumulación de sales en superficie, condiciones de anoxia para las raíces, alto potencial osmótico en el agua del suelo y acumulación temporaria de agua en superficie, que incidieron negativamente sobre el cultivo.

2.5. Fertilización

El rendimiento de los cultivos está estrechamente asociado a la biomasa total producida durante su ciclo (Dreccer *et al.*, 2003). Por lo tanto, en el manejo de cultivos de alta producción es fundamental que las hojas intercepten la mayor parte de la radiación solar incidente y que estén nutridas para generar la máxima cantidad de fotoasimilados.

Los nutrientes afectan la cantidad de fotoasimilados generados por regular los procesos de intercepción de la radiación a través de alteraciones en el crecimiento de las hojas y en la duración del área foliar, y por determinar la capacidad de transformar cada unidad de radiación interceptada en biomasa.

La soja por el carácter proteico oleaginoso de sus granos demanda altas cantidades de nutrientes en relación con otros cultivos. A pesar de ello la fertilización en Argentina se postergó debido a su capacidad de obtener N atmosférico mediante el proceso de fijación biológica del nitrógeno y a que el nivel crítico de P es más bajo que el de otros cultivos (Martínez *et al.*, 2006). Sin embargo, su creciente participación en los ambientes de producción y los aumentos en los rendimientos de los cultivos que integran la rotación, elevaron la extracción de nutrientes y ésta técnica ha crecido considerablemente en los últimos años. Según Castino (2006), la frecuencia de fertilización pasó del 9 % en el año 1999 al 52 % para el año 2004.

2.5.1. Fósforo

El fósforo (P) cumple un rol fundamental en las plantas ya que es constituyente de ácidos nucleicos, vitaminas, enzimas, fosfolípidos y es indispensable donde hay transformaciones de energía (Bernardo *et al.*, 2004).

La soja es el cultivo más extractivo de P por tonelada de grano producida comparado al resto de los cultivos integrantes en la rotación de la zona núcleo sojera (maíz y trigo). Por cada tonelada de grano extrae 8 kg ha⁻¹, exportando a través de ellos el 85 % (Gutiérrez Boem, 2003).

Su deficiencia puede reducir el crecimiento, inducir producción de hojas más pequeñas, disminuir el área foliar y la eficiencia de conversión. Consecuentemente no se captura la máxima cantidad de radiación, y por cada unidad capturada se produce menor biomasa, limitando directamente el rendimiento del cultivo.

Existen diversas metodologías para determinar el contenido de P en el suelo. Para el manejo de la fertilización de los cultivos el método utilizado deberá determinar el P disponible en el suelo y posible de aprovechar por la planta. En los suelos de la región pampeana la metodología generalmente utilizada es Bray I (García, 2002, Maddonni *et al.*, 2003). Ésta solución se utiliza cuando la disponibilidad de P para la planta depende de los fosfatos de Calcio, consistiendo en la hidrólisis de cationes vinculados con P, es decir una solución ácida que disuelve los fosfatos de Calcio, ya que los de Hierro y Aluminio a pH ácido están precipitados (Blotta, 1995).

Se reconocen dos criterios para la fertilización fosforada: el de suficiencia, que pretende satisfacer los requerimientos del cultivo; y el de reconstrucción, que realiza mayores aportes para elevar el nivel de P disponible.

En soja el diagnóstico de la fertilización fosforada se basa en establecer un valor crítico de P según el método Bray por debajo del cual el cultivo comienza a sufrir una deficiencia nutricional.

De numerosos ensayos realizados en la región pampeana, Melgar *et al.* (1995, citado por Baigorri *et al.*, 1997) determinó que entre 9 y 14 ppm existe probabilidad de respuesta media, por encima de ese rango (> 14 ppm) es baja, y por debajo (< 9 ppm) es alta. Por su parte Echeverría *et al.* (2002) encontraron que entre 8 y 12.5 ppm se logra un rendimiento relativo del 90-95 %, siendo alta y baja la probabilidad de respuesta por encima (> 12.5 ppm) y por debajo (< 8 ppm) de ese rango. Díaz Zorita (2002), analizó 28 sitios experimentales en la Región Pampeana determinando el nivel crítico para soja de primera en 13 ppm.

En soja de segunda (2°) no se encontraron diferencias de rendimiento si se aplica el fertilizante fosforado requerido por a secuencia trigo/soja 2° en el trigo o si se aplica en cada cultivo (Salvaiotti *et al.*, 2003). Fontanetto *et al.* (2002) en la región central de Santa Fe encontraron incrementos en el rendimiento de la soja de segunda cuando se aplicó P al trigo en ambientes con bajos niveles de P (11 ppm). Boxler *et al.* (2006) en la misma zona de estudio, analizaron durante 4 campañas 24 sitios, hallando incrementos de rendimiento de soja 2° por efecto de la fertilización con P en el trigo, cuando el nivel de P a la siembra

de este último estaba por debajo de 13 a 18 ppm. Fontanetto *et al.* (2003) en un suelo con 11 ppm del sur de Santa Fe aplicaron dos niveles de P al trigo (20 y 40 kg ha⁻¹) verificando incremento en el rendimiento de soja 2º de 81 y 220 kg ha⁻¹ para cada tratamiento respecto del testigo sin P. El incremento se manifestó además sobre la soja de primera y el maíz siguientes en la rotación.

Cuando se analiza la respuesta del cultivo a la fertilización, una alternativa es considerar el incremento absoluto del rendimiento ante la aplicación de una misma dosis de fertilizante en suelos con diferentes niveles de P disponible. Con esto se construye una función de ajuste y se puede realizar un análisis económico de la conveniencia de fertilizar. Así, conociendo la respuesta ante diferentes dosis de fertilizantes se podría calcular la dosis óptima económica para cada nivel de disponibilidad de P del suelo (Gutiérrez Boem, 2003).

2.5.1.1. Fósforo en Siembra Directa

“La siembra directa (SD) es un sistema capaz de colocar la semilla en contacto con el suelo a través de la capa de residuos vegetales que quedan de la cosecha anterior” (Kirschbaum, 2004). La no remoción del suelo permite la acumulación de los residuos de cosecha en la superficie y reduce su velocidad de descomposición, por lo cual, en la medida en que el aporte de carbono orgánico supere a las pérdidas, se puede incrementar la cantidad de materia orgánica de los suelos. Para ello es básico el manejo de la cobertura del suelo mediante la rotación de cultivos que permitan aportar en cantidad y en calidad los rastrojos necesarios.

Martelotto *et al.* (2006) encontraron que en un sistema de soja continua con labranza reducida, debido a la baja cantidad de rastrojos aportados anualmente y a su baja relación C/N, se perdieron alrededor de 13.000 kg ha⁻¹ de materia orgánica en 11 años, en cambio cuando se incorporó el aporte de una gramínea estival a la rotación (sorgo-soja), las pérdidas no superaron los 2.000 kg ha⁻¹. Por otra parte, González Montaner (2002) simuló la evolución de carbono total para tres rotaciones agrícolas, encontrando menor aumento del carbono total cuando existía mayor frecuencia del cultivo de soja de primera en la rotación.

Aunque los principales constituyentes de la materia orgánica son C, H, O y N (Darwich, 1989), también existen compuestos orgánicos de P que contienen fosfatos ligados al carbono a través de uniones éster, los cuales comprenden entre el 10 y 60 % del P total del material vegetal (Tiessen, 2003).

A medida que la materia orgánica se descompone va liberando P orgánico, el que puede estar disponible para las plantas según las reacciones químicas y los sitios de absorción que compiten por su disponibilidad. La principal vía de pérdida de P ocurre por

el escurrimiento que lleva partículas de suelo en suspensión y el P asociado a ellas (Terry, 2003). En Oklahoma la conversión de la mitad de una cuenca a SD redujo la concentración total de P en la escorrentía en más del 80 % (PPI, 1999). Esto también genera variabilidad de P a nivel local, siendo mayores los niveles de P disponible en las posiciones más bajas. Echeverría *et al.* (1980, citado por Blotta, 1995), encontró que la misma varió de 5.5, 10 y 38 ppm para la secuencia loma, media loma y bajo.

Según Berardo (2003) el empobrecimiento de P en los suelos de la Región Pampeana se debe a la pérdida de la fracción orgánica que es la reserva principal de este nutriente en la mayoría de los suelos.

El % de las fracciones orgánicas e inorgánicas de P es muy variable. Luedecke (1962, citados por Darwich, 1989) graficó el nivel de P total y las fracciones orgánicas e inorgánicas en los primeros 30 cm de suelos para diferentes promedios de lluvias anuales de Nueva Zelanda. Encontró mayores niveles de P total en regiones con menores precipitaciones anuales, conformado más del 50 % por P inorgánico. A medida que se incrementan las precipitaciones el P total tendió a disminuir e incrementarse la proporción del P orgánico. Para suelos desarrollados sobre loess en el estado de Iowa (EEUU), Pearson y Simonson (1939, citados por Darwich, 1989) midieron en los primeros 10 cm de suelo un 38 % de P orgánico y 62 % de P inorgánico. Por su parte, Navarro (1973, citados por Darwich, 1989) en Argentina encontró valores de 70 % orgánico y 30 % inorgánico para la capa arable de suelos Argiudoles de Balcarce; 66 % orgánico y 34 % inorgánico para Pergamino y 50 % orgánico y 50 % inorgánico para Marcos Juárez.

Según Selles (2003), la acumulación de residuos orgánicos en superficie bajo SD reduce la velocidad de descomposición y genera formas disponibles de P orgánico cerca de la superficie de suelo, en cambio por la remoción generada en labranza convencional se permite un íntimo contacto de los residuos con las partículas del suelo que se descomponen rápida y totalmente formando complejos insolubles de poca disponibilidad para las plantas. Además, en SD generalmente se aplica fertilizante fosforado en la línea de siembra en lugar de aplicarlo al voleo e incorporado durante las operaciones de labranza, reduciéndose el contacto del fertilizante con los coloides del suelo, disminuyendo la fijación y aumentando la disponibilidad para los cultivos. Esto se manifestó en una reducción del 37 % al 31 % del P residual encontrado en labranza convencional y SD respectivamente, y una mayor absorción de P en la estación de crecimiento de maíz bajo SD respecto de labranza convencional, indicando en ambos casos la mayor disponibilidad de P generada por el sistema de SD. Este autor concluye que en los sistemas de manejo que tiendan a incrementar el P orgánico, los métodos de análisis para determinar los requerimientos de fertilizante deberán considerar además de las fracciones de P inorgánico, el P orgánico fácilmente disponible.

Según Maddonni *et al.* (2003), la profundidad de muestreo de lotes con varios años de SD se debería calibrar a fin de poder evaluar aquellas capas más enriquecidas.

Zamuner *et al.* (2003) estudiando el nivel crítico de P para trigo en sistemas de SD, hallaron variaciones en los niveles críticos en las distintas profundidades de muestreo realizadas, sin embargo el nivel crítico 0-20 cm tuvo el mayor ajuste con el rendimiento del cultivo, no siendo conveniente alterar la profundidad de muestreo.

2.5.2. Azufre

El azufre (S) es imprescindible en la formación de proteínas por ser constituyente de tres aminoácidos esenciales (metionina, cistina y cisteína), además es requerido en el proceso de formación de clorofila y participa en la formación de componentes de aceites y síntesis de vitaminas (García, 2002). En leguminosas promueve el crecimiento y fijación de nitrógeno (Mengel y Kirkby, 2000).

En los últimos años, debido a la intensificación de la agricultura se han observado deficiencias de este nutriente en algunas situaciones (García, 2002). A pesar de ello no se dispone de una metodología confiable para el diagnóstico de su deficiencia, debido a la falta de ajuste entre los resultados de los análisis de algunas formas de S en el suelo y la respuesta de los cultivos (García, 2006; Cordone y Martinez, 2007). Algunas redes de ensayos han permitido determinar umbrales críticos de S-sulfatos a 0-20 cm en presiembra, en valores cercanos a 10 mg kg^{-1} , por debajo del cual la respuesta es altamente probable (García, 2006).

García *et al.* (2007) conduciendo ensayos en la región sur de Santa Fe durante 6 años encontraron que el nivel de S-sulfatos 0-20 cm fue buen predictor de la respuesta a S en soja de segunda.

Sánchez y Ascheri (2006) en la localidad de Villa María, no hallaron respuesta a la fertilización azufrada, en suelos con 14.1 ppm en soja de primera y 12.3 ppm en soja de segunda, mientras que en Monte Buey, aunque el nivel de sulfatos era menor al umbral crítico (8.4 ppm) no obtuvieron respuesta, posiblemente porque se había realizado fertilización azufrada en las dos campañas anteriores y a la influencia de napa freática que pudo haber aportado sulfatos.

Gentiletti y Gutierrez Boem (2006) en la región del centro sur de Santa Fe midieron incrementos del rendimiento de 230 a 1.200 kg ha^{-1} en 13 de los 19 sitios evaluados (17 soja de primera y 2 de soja de segunda) con dosis de entre 14 y 24 kg S ha^{-1} , no variando según el momento de aplicación (antes, durante y posterior a la siembra). No se relacionaron con los niveles de sulfatos a la siembra a 0-20 y 0-40 cm medidos con dos extractantes diferentes (fosfato de potasio y acetato de amonio) y tampoco con el nivel de

materia orgánica o los años de agricultura, siendo la única herramienta para detectar sitios deficientes, la medición de la respuesta del cultivo al agregado de S para cada sitio.

Boxler *et al.* (2006) analizaron la respuesta de la soja de segunda a la aplicación de S en el trigo en la región sur de Santa Fe, encontrando que la misma se relacionó con la concentración de S-sulfatos a 0-20 cm a la siembra de trigo y con la cantidad de S-sulfatos 0-60 más el S aplicado como fertilizante al trigo, midiendo respuestas superiores a 300 kg ha⁻¹ en el 75 % de los sitios con niveles de S-sulfatos menores a 10 mg kg⁻¹.

En la misma área de estudio Fontanetto *et al.* (2003), al fertilizar al trigo con dosis de 12, 24 y 36 kg S ha⁻¹ obtuvieron aumentos de 375, 525 y 561 kg ha⁻¹ en el cultivo siguiente (soja de segunda) y 85, 552 y 1.008 kg ha⁻¹ en el tercer cultivo (soja de primera).

Salvagiotti (2004) en dos localidades del sur de Santa Fe halló incrementos en el rendimiento de soja de primera de entre 15 % y 35 % por el agregado, luego de la siembra, de 8 kg S ha⁻¹. Además determinó que el modelo “lineal plateau” es más aceptable que los modelos cuadráticos para la predicción de las necesidades de S en soja.

Bianchini *et al.* (2007) no encontraron correlación del rendimiento relativo de soja de primera en 15 sitios del sudeste de la Provincia de Córdoba, sur de Santa Fe y Norte de Buenos Aires con el nivel de S-sulfatos en el suelo.

En una red de ensayos que comprendió las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, Díaz Zorita (2002) midió incrementos medios de la producción de soja de primera de 53.5 kg ha⁻¹ ante la aplicación de 15 kg S ha⁻¹ en 20 % de los sitios estudiados, siendo un adecuado indicador de la respuesta de soja a este elemento la determinación de los niveles mineralizables de sulfatos mediante incubación.

Gutiérrez Boem *et al.* (2006), analizaron muestras de grano de soja de ensayos de fertilización azufrada en 20 sitios de la región pampeana para detectar sitios deficientes en S mediante el análisis de los granos. Aunque encontraron variaciones en las concentraciones de nutrientes de los granos entre sitios, éstas no se relacionaron a la fertilización azufrada, concluyendo en que ésta metodología no es útil para detectar sitios deficientes.

Cordone y Martinez (2007) para el diagnóstico de la deficiencia de S generaron el criterio de “ambiente deficiente”, definido como ambientes en donde se ha obtenido respuesta a la fertilización con S. Los mismos se agrupan en ambientes de bajo rendimiento de los cultivos o de rendimientos medio-altos. Las características de los primeros son: bajos contenidos de materia orgánica, erosión, compactaciones subsuperficiales y siembra directa, mientras que los segundos están caracterizados por sistemas de altos rendimientos en los últimos 5-10 años, con bajos niveles de materia orgánica, cultivos con sus raíces en capas superficiales, aportes de residuos vegetales que inmovilizan S o fertilización desbalanceada. Este criterio se basa en que a través de las características mencionadas se

puedan identificar los ambientes con probabilidad de respuesta en donde se recomendará la fertilización con S en soja o en otro cultivo.

2.5.3. Fertilización de la rotación

Cuando se analiza el manejo de la nutrición de los cultivos en general se evalúan los efectos directos a corto plazo. Analizando la residualidad del fósforo, Berardo y Grattone (1998, citado por García 2001) encontraron que la aplicación de 88 kg ha⁻¹ de P en una única aplicación en una rotación continua de trigo logró rendimientos similares a la aplicación de 22 kg ha⁻¹ P durante 4-5 años, y durante 7 años los rendimientos fueron superiores al testigo sin fertilizar.

Bianchini *et al.* (2007) en lotes de producción de las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe en sistemas de siembra directa estabilizados bajo rotación: maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda, analizaron la fertilización en la rotación de cultivos durante 7 años. De 20 sitios-años de soja de segunda, 3, 7 y 2 sitios-años mostraron respuesta a NP, S y KCl respectivamente, mientras que de 17 sitios-años de soja de primera encontraron respuestas en 6, 6 y 2 sitios para NP, S y KClMg respectivamente.

García *et al.* (2007) realizando una fertilización balanceada con los nutrientes típicamente deficientes en el área del sur de Santa Fe (N, P y S) en dos rotaciones: 1) maíz, soja de primera, trigo y soja de segunda y 2) maíz, trigo y soja de segunda bajo sistemas de siembra directa estabilizados, en los primeros 6 años de evaluación obtuvieron respuestas de 49, 65, 7 y 20 % para los cultivos de maíz, trigo, soja de primera y soja de segunda respectivamente. Además se encontró un aumento en los niveles de materia orgánica en tres de los cinco sitios bajo la rotación 2 y fertilizados con los tres elementos.

2.6. Grupo de Madurez

La difusión experimentada por el cultivo de soja a posterior de la década del '70 fue posible gracias a la mayor plasticidad adaptativa de las variedades producto de la introducción de germoplasma de origen extranjero. En la campaña 1996/97 se inició una nueva etapa en la evolución del germoplasma Argentino, debido al registro y comercialización de las sojas transgénicas con resistencia al herbicida glifosato (Giorda, 1997), lo que permitió que a través de un eficiente control de malezas se difundiera la siembra directa (Santos *et al.*, 2006). Esta transformación productiva asentada en la biotecnología, la siembra directa y las modernas modalidades de gerenciamiento permitieron un avance de la frontera agrícola (Kirschaum, 2004), siendo la soja el principal cultivo asociado a este proceso.

Actualmente no existe diferenciación por calidad del poroto de soja, por lo cual el carácter más importante buscado por los productores es el potencial de rendimiento y su estabilidad. Este carácter responde a la herencia cuantitativa y es fuertemente influenciado por factores ambientales, con una heredabilidad muy baja y variable. En función de ello, los programas de mejoramiento están orientados a aumentar la diversidad genética en búsqueda de disminuir la vulnerabilidad a los factores adversos de la producción (Salines, 1997). Santos *et al.* (2006) confirman que los rendimientos de Argentina no están limitados por el potencial de rendimiento de sus variedades, sino por factores relacionados con el ambiente y el manejo agronómico.

Para la correcta elección de los cultivares se deben considerar las condiciones ecológicas locales, las características de los cultivares adaptados y las prácticas de manejo (Baigorri, 1997b). Los GM de cada cultivar se adaptan a una faja latitudinal dentro de cada región donde se comportan como cortos, medios o largos. 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 faja latitudinal de adaptación, siendo normalmente de tipo de crecimiento indeterminado destinado a siembras de primavera (Salines, 1997). Los GM más cortos en general requieren fechas de siembras más tempranas, suelos con pocas limitaciones físico-químicas y mayor control de plagas y enfermedades, permitiendo menor vuelco y mayor rendimiento en condiciones de alta fertilidad y disponibilidad hídrica, aunque presentan menor estabilidad en el rendimiento debido a un mayor consumo diario de agua en llenado de granos (Baigorri, 1997b).

El rendimiento está directamente influenciado por el largo del ciclo del cultivo (Miladinovic *et 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 siembra más tardía, 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 (Kumudini *et al.*, 2001).

Por otra parte, la estabilidad del rendimiento se comporta de manera inversa al potencial del mismo, asociada directamente al ciclo. En aquellos 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, 1997b).

3- OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento del rendimiento del cultivo de soja en relación con: a) fecha de siembra, b) grupo de madurez, c) influencia de napa freática, d) fertilización, y e) rotación, observado en los sistemas de producción del grupo CREA Monte Buey-Inriville durante los ciclos productivos 1996/97 al 2005/06.

3.2. Objetivos específicos

- Analizar la evolución de los rendimientos de soja en el período en estudio.
- Analizar la influencia y evolución de las variables analizadas en relación con el rendimiento.
- Identificar para cada variable las posibles interacciones relevantes con otras variables.

4- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Marco teórico

Se realizó una revisión bibliográfica sobre algunas de las variables más discutidas por investigadores y técnicos que se destacan actualmente por incidir sobre la producción de soja en la zona central del país, mediante este procedimiento se seleccionaron las siguientes variables que motivaron el estudio:

- fecha de siembra
- grupo de madurez
- influencia de napa freática
- cultivo antecesor
- efecto de fertilización

4.2. Base de datos y análisis de la información

De la base de datos creada por el equipo de asesores del Grupo CREA Monte Buey-Inriville a partir de registros de campo, se seleccionaron los lotes que contaban con mayor continuidad en el seguimiento de los registros localizados en un área agroecológicamente semejante.

Según ese criterio se eligieron los campos propios (por mayor continuidad en los registros respecto a aquellos en arrendamiento) de la zona comprendida entre las localidades de: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville (provincia de Córdoba), durante las campañas 1996/97 a 2005/06, lo cual totalizó 2.348 casos (lotes) de soja en una superficie de de 148.926 has.

Los registros de precipitaciones utilizados fueron extraídos de Romagnoli (2003), para los años entre 1906 y 2002, y de los campos Los Algarrobos y La Bélgica para los años 2003 y 2004. Mientras que la EEA INTA Marcos Juárez proporcionó las mediciones de temperatura.

Se utilizó el modelo BALUBA para el calculo del balance hidrológico, el Programa de cálculo de parámetros astronómicos para determinar los valores de fotoperíodo y radiación y el Balance Hidrológico Seriado para la situación hídrica mensual, de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (Hurtado *et al.*, 2006).

Las simulaciones de los estadíos fenológicos del cultivo se realizaron con el programa Programador de Siembra, Campaña 2003/2004 de la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja (Baigorri *et al.*, 2003).

El procedimiento mediante el cual se analizó la evolución del rendimiento en el período y su comportamiento en relación con las variables: fecha de siembra, grupo de madurez, influencia de napa freática, cultivo antecesor y efecto de fertilización fue la utilización de estadística descriptiva y análisis de correlación entre las variables.

4.3. Caracterización del área de estudio

4.3.1. Fisiografía

El área se encuentra en la región geomorfológica de la provincia de Córdoba definida como Pampa loésica plana, constituida por sedimentos eólicos de textura franco limosa con pendientes inferiores a 0.5%. En general el relieve es muy plano y las lomadas (planos altos) y los bajos del pie de escalones se encuentran disectados por una serie de vías de escurrimiento paralelas con rumbo NE-SO las cuales indican un control estructural en el relieve debido al ascenso y descenso de los bloques que componen el basamento profundo. La capa freática normalmente es de características salinas se encuentra a unos 5 m de la superficie y fluctúa según las épocas del año y los aportes de las precipitaciones (figura 1) (INTA. 1978, INTA 1993).

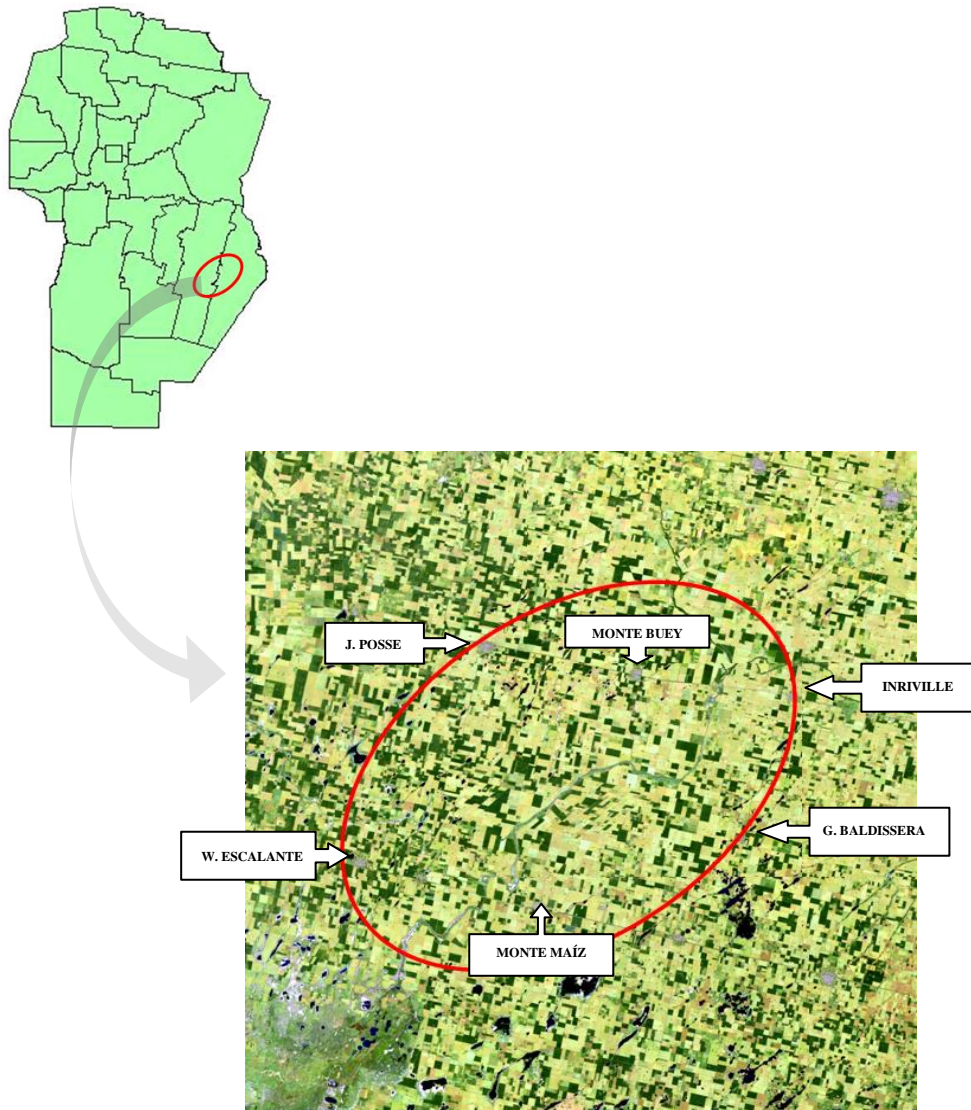


Figura 1. Ubicación zonal de los lotes de producción. (Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de CONAE, 2007).

4.3.2. Clima

El clima en la región es templado y subhúmedo con estación seca en invierno. La precipitación promedio anual del período 1906-2006 es de 875 mm, con distribución de tipo monzónica, ocurriendo más del 80% de las mismas entre los meses de octubre y abril (gráfico 3).

La temperatura promedio anual del período 1971-2006 es de 17.5 °C con una amplitud de 14.2 °C entre el mes más cálido (enero, 24.5 °C) y el más frío (Julio 10.3 °C) (gráfico 5).

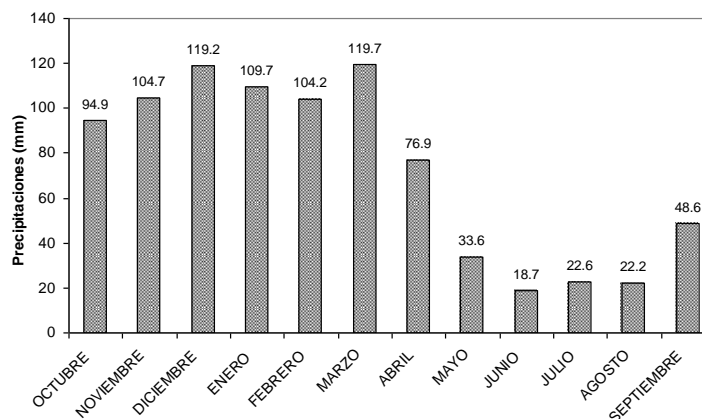


Grafico 3. Precipitaciones promedio mensuales para la localidad de Monte Buey período 1906-2006. (Fuente: elaboración propia con Datos de Romagnoli (2003) y Registros de los campos Los Algarrobos y La Bélgica).

4.3.3. Precipitaciones

La tendencia del promedio móvil para 3 años del período 1906-2006 muestra un comportamiento cíclico.

Según Sierra y Pérez, 2006, existen numerosos testimonios históricos y trabajos de investigación que sugieren que podría existir un ciclo hídrico de larga duración con fases húmedas y secas separadas por fases de transición. La teoría del ciclo hídrico marca las siguientes fases: entre 1901 y 1925, una fase de transición donde las lluvias fueron disminuyendo, entre 1926 y 1950 una fase seca, entre 1951 y 1975 una fase de transición, y a partir de 1976 hasta aproximadamente el año 2000 una fase húmeda, presentando un fuerte paralelismo con el observado en la localidad de Monte Buey en los períodos posteriores a 1926 (grafico 4).

Para el ciclo de soja (octubre-marzo) el promedio de precipitaciones fue de 652 mm. Andriani (1997) indica para la región núcleo 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.

En general los valores de lluvia promedios no representan a los más frecuentes, debido a la existencia de variabilidad inter e intranual. En el Tabla 1 se detallan cinco medidas de dispersión de las precipitaciones en los meses donde se desarrolla el cultivo de soja (octubre-marzo). El mínimo valor registrado; el cuartil 1, o sea el valor que deja el 25 % de las observaciones menores que él; la mediana o cuartil 2; el cuartil 3, que es superado por el 25 % de las observaciones; y el valor máximo. Analizando el período 1906-2006, las precipitaciones ocurridas en el ciclo del cultivo (octubre-marzo) en el 75 % de los años fueron superiores a 570 mm, lo cual satisface totalmente las demandas hídricas del cultivo,

y en el 25 % de los años restantes se encontraron entre 283 y 570 mm, situación que expondría el cultivo a estrés hídrico. Esto indicaría que la zona bajo estudio presenta muy buenas condiciones hidrológicas para el desarrollo y producción de este cultivo.

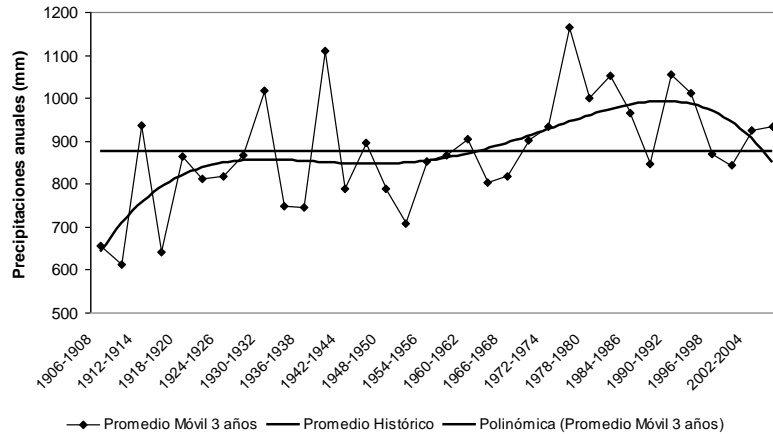


Gráfico 4. Tendencia del promedio móvil de precipitaciones del período 1906-2006 en Monte Buey. (Fuente: elaboración propia con Datos de Romagnoli (2003) y Registros de los campos Los Algarrobos y La Bélgica)

Tabla 1. Valores mínimos, máximos, mediana y cuartil 1 y 3 de precipitaciones para los meses de crecimiento de soja el período 1906-2006 en Monte Buey. (Fuente: elaboración propia con Datos de Romagnoli (2003) y Registros de los campos Los Algarrobos y La Bélgica)

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Prom. Anual
Mínimo	5	17	13	3	5	11	283
Cuartil 1	62.5	68.5	75.25	63	67	69	570
Mediana	90	102	102	105	94	120	652.29
Cuartil 3	115.5	138	161.5	142.5	134	160	737.5
Máximo	307	252	415	323	347	295	1090

4.3.4. Temperatura

La estación de crecimiento disponible para el cultivo de soja en la localidad de Marcos Juárez comienza en el mes de Octubre finalizando en Mayo, a partir de donde existen posibilidades de ocurrencia de temperaturas por debajo de 0 °C (grafico 5).

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 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 ocurren heladas tardías que

logran matar una cantidad variable de plantas (Baigorri y Martín, 2006), por lo cual sería posible la siembra en el mes de septiembre, ya que si bien existe la posibilidad de ocurrencia de temperaturas bajo cero, las mismas son de $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, y podrían dañar al cultivo, aunque tiene la posibilidad de recuperarse, debido al estado de hojas unifoliadas que puede tolerar temperaturas extremas de $-3.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2 horas.

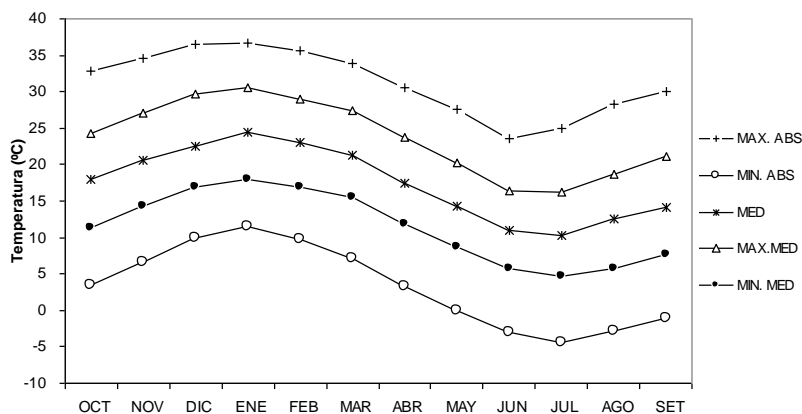


Gráfico 5. Temperatura media, media máxima y mínima, y máxima y mínima absolutas de la localidad de Marcos Juárez (1967-2005). (Fuente: elaboración propia. Datos EEA INTA Marcos Juárez). (MAX. ABS: máxima absoluta, MIN ABS: mínima absoluta, MED: media, MAX MED: máxima media, MIN MED: mínima media).

4.3.5. Balance hidrológico

En la tabla 2 se muestra el balance hidrológico del período 1906-1960; caracterizado por precipitaciones promedios inferiores al promedio histórico (1906-2006). Allí la evapotranspiración real (ER) se halló muy próxima a la evapotranspiración potencial (EP) en la mayoría de los meses, registrándose déficit mínimos en los meses de junio, agosto y enero, mientras que en noviembre y marzo se superó la capacidad del almacenaje del suelo y se generaron leves excesos.

Tabla 2. Balance hidrológico climático para el período 1906-1960. Pp: precipitación; EP: evapotranspiración potencial; DP: déficit de precipitación; ALM: almacenaje de agua; diferencia de almacenaje; ER: evapotranspiración real; DEF: déficit de agua; EXC: exceso de agua.

	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	ANUAL
Pp	18	27	24	48	92	96	105	101	97	110	69	35	820
EP	27	25	35	45	70	89	109	118	97	94	63	45	817
DP	-10	2	-11	2	22	7	-4	-17	0	16	5	-10	
ALM	141	144	134	136	159	160	156	140	141	157	160	150	
D Alm	-9	2	-9	2	22	1	-4	-15	0	16	3	-10	
ER	26	25	33	45	70	89	109	117	97	94	63	45	813
DEF	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4
EXC	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	2	0	7

Por otra parte, en el período 1961-2006 las precipitaciones promedios superaron al promedio histórico. En este período ocurrieron déficit mínimos en junio, julio, agosto y mayo, y excesos en los meses de noviembre, diciembre, febrero, marzo y abril (tabla 3)

Tabla 3. Balance hidrológico climático para el período 1961-2006. Pp: precipitación;EP: evapotranspiración potencial; DP: déficit de precipitación; ALM: almacenaje de agua; diferencia de almacenaje; ER: evapotranspiración real; DEF: déficit de agua; EXC: exceso de agua.

	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	ANUAL
Pp	20	17	20	49	98	116	139	118	114	131	89	32	943
EP	27	25	35	45	70	89	109	118	97	94	63	45	817
DP	-7	-8	-15	4	27	27	30	0	17	38	26	-13	
ALM	141	134	122	125	153	160	160	160	160	160	160	147	
D Alm	-7	-7	-12	4	27	7	0	0	0	0	0	-13	
ER	26	23	32	45	70	89	109	118	97	94	63	44	811
DEF	1	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
EXC	0	0	0	0	0	20	30	0	17	38	26	0	132

4.3.6. Suelos

Los principales sub-grupos de suelos presentes en la región son: Argiudoles típicos en lomas y medias lomas planas, Hapludoles típicos y Haplustoles údicos en lomas suavemente onduladas, Argialboles típicos en áreas intermedias, y Natralboles típicos y Natracualf típicos en pie de pendiente y planos deprimidos (Gorgas y Tassile, 2003).

5- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Suelos

En el análisis de la base de datos del grupo CREA Monte Buey-Inrville (MB-I) se observa que los suelos pertenecientes a sus lotes de producción presentan características productivas muy diversas, encontrándose desde clases I a VI (USDA) con limitantes de clima, suelo y excesos de agua. Sin embargo el 97 % de la superficie pertenece a tierras arables (I al IV) y de este el 86 % a clases I y II (grafico 6).

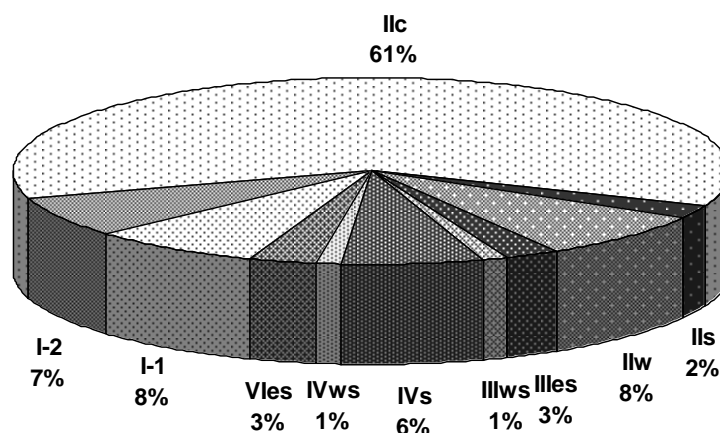


Gráfico 6. Porcentaje de los diferentes suelos clasificados por capacidad de uso (USDA) del total de la superficie cosechada con soja por el grupo CREA Monte Buey-Inrville entre las localidades de : Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005-2006.

5.2. Rendimiento

El grupo CREA Monte Buey-Inrville en el área ubicada entre los departamentos Marcos Juárez y Unión, durante las campañas 1996/97 a 2005/06 obtuvo rendimientos promedios de soja superiores a los nacionales, provinciales y al promedio de los departamentos Marcos Juárez y Unión, siendo en la última campaña (2005/06) muy próximo al de los departamentos (gráfico 7).

En Argentina y la provincia de Córdoba, no se produjo una tendencia de incremento constante, como la observada en los departamentos Marcos Juárez y Unión y en el Grupo CREA MB-I debido a que se incorporaron nuevos ambientes de menor productividad (SAGPyA, 2007) o áreas marginales, que no permitieron aumentar sustancialmente los rendimientos ha^{-1} , gráfico 8.

Es de destacar el aumento sostenido en los rendimientos en los departamentos Marcos Juárez y Unión, que ocurrieron aún con aumentos en la superficie sembrada y cosechada anualmente. Esto puede deberse a que los nuevos ambientes presentan características productivas semejantes a los antes explotados.

En el grupo CREA MB-I la superficie cosechada con soja en el área analizada sufrió una caída del 3% anual, debido a la estabilización e intensificación de las rotaciones con mayor participación de gramíneas (gráfico 8 y gráfico 23). Esta intensificación de las rotaciones hizo que aumente la proporción de soja 2° en relación a soja 1° (gráfico 24), lo

cual explicaría el menor incremento anual de los rendimientos promedio de soja del grupo CREA MB-I en la últimas campañas.

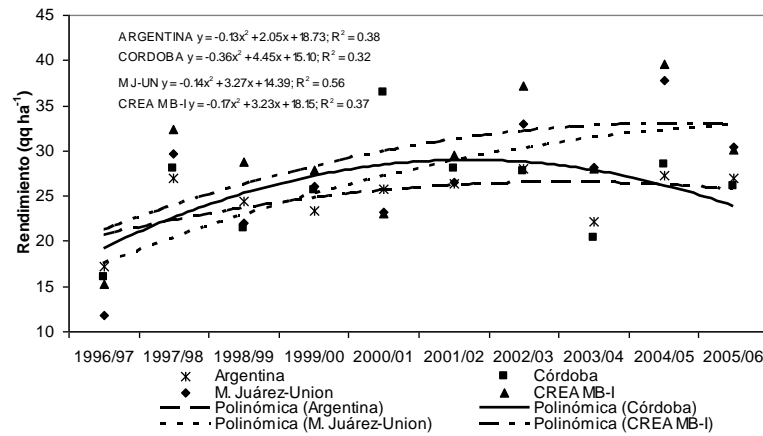


Gráfico 7. Rendimientos promedio de soja entre 1996/97-2005/06 para Argentina, Córdoba, promedio de los departamentos Marcos Juárez y Unión y grupo CREA. (Fuente: Rendimientos de: Argentina, Córdoba y Departamentos Marcos Juárez y Unión: SAGPyA, 2007; CREA: base de datos analizada).

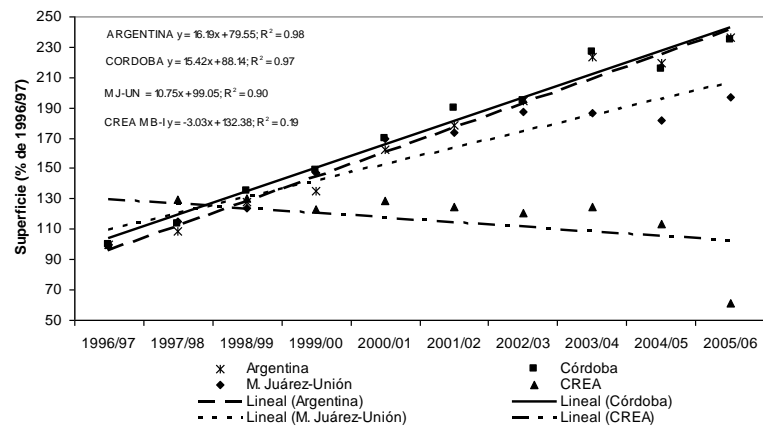


Gráfico 8. Superficie sembrada de soja entre 1996/97-2005/06 en Argentina, Argentina, Córdoba, promedio de los departamentos Marcos Juárez y Unión y grupo CREA. (Fuente: Superficie de: Argentina, Córdoba y Departamentos Marcos Juárez y Unión: SAGPyA, 2007; CREA: base de datos analizada).

5.3. Fecha de Siembra

En las fechas de siembra (FS) de fines de octubre y principios de noviembre se obtienen los rendimientos más altos y estables. 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 (grafico 9), comportamiento análogo al mencionado por Baigorri (1997²) y Fuentes *et al.* (2006).

El promedio de reducción de rendimiento por el atraso de la FS es de 16.1 kg ha⁻¹ día⁻¹ (grafico 9), sin embargo en las FS de primera (que no preceden a un cultivo invernal en el mismo año) la misma es de 11 kg ha⁻¹ día⁻¹ y en FS de segunda (que preceden a un cultivo invernal en el mismo año) es de 21 kg ha⁻¹ día⁻¹ (graficos 10 y 11). En todos los casos los valores son inferiores a los mencionados por Andrade *et al* (2002) y Cerioni ², posiblemente debido al gran número de valores obtenidos de múltiples situaciones en donde son numerosos los factores que afectan la cantidad de granos cosechados. Sin embargo las tendencias son semejantes a las mencionadas por la bibliografía.

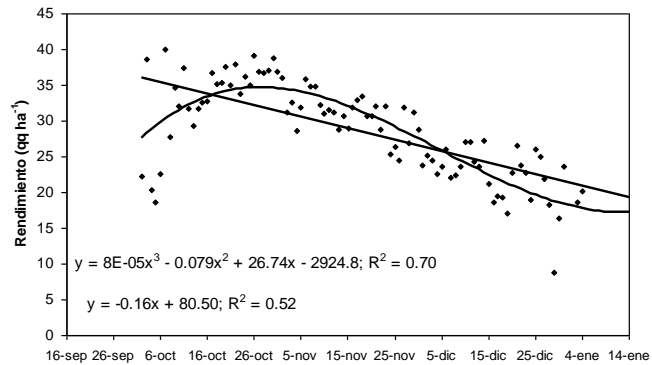


Grafico 9. Rendimiento de soja (1° y 2°) según la fecha de siembra en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville entre las localidades de : Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

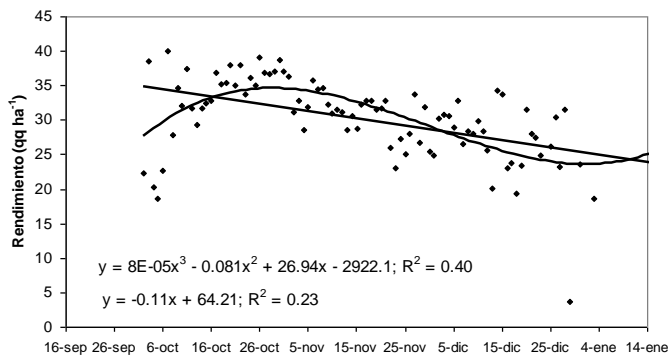


Grafico 10. Rendimiento de soja de primera según la fecha de siembra en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville entre las localidades de : Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

² Comunicación personal. Guillermo Cerioni. Departamento Producción Vegetal. FAV. UNRC

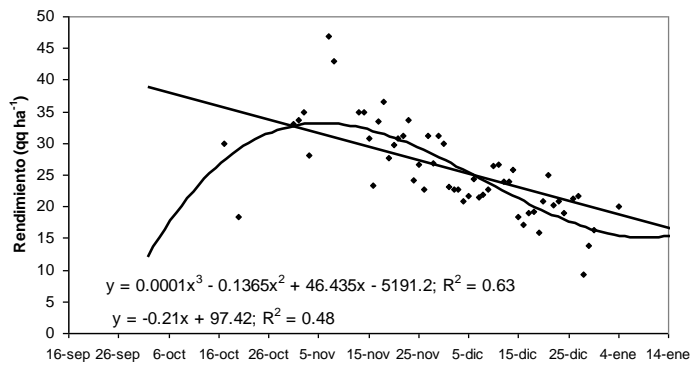


Grafico 11. Rendimiento de soja de segunda según la fecha de siembra en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville entre las localidades de : Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

Esta disminución del rendimiento en Monte Buey estaría explicada por variaciones en la radiación acumulada entre floración y madurez (Kantolic *et al.*, 2006). Al simular la ocurrencia del momento central del período crítico (R5) para el rango de grupos de madurez más sembrados actualmente en el grupo CREA (III y IV) en las FS más comunes de primera y de segunda (gráficos 12 y 13), se registran niveles de radiación 6% menores en esta etapa para la soja más tardía (grafico 14).

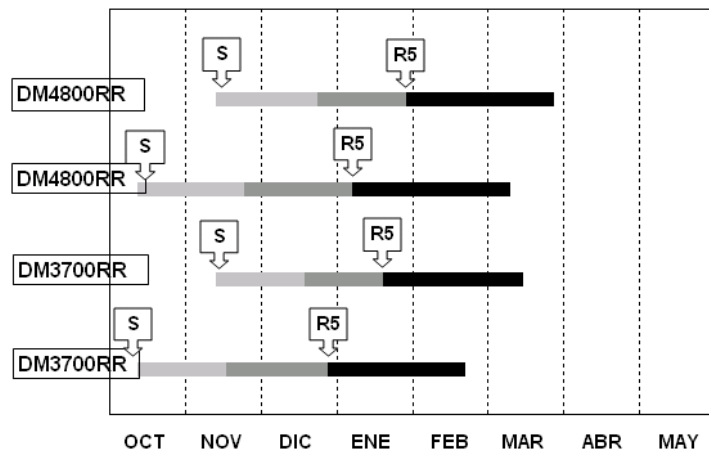


Grafico 12. Fenología de cultivares en fechas de siembra de primera época. (Fuente: elaboración propia utilizando el programa “Programador de Siembra”).

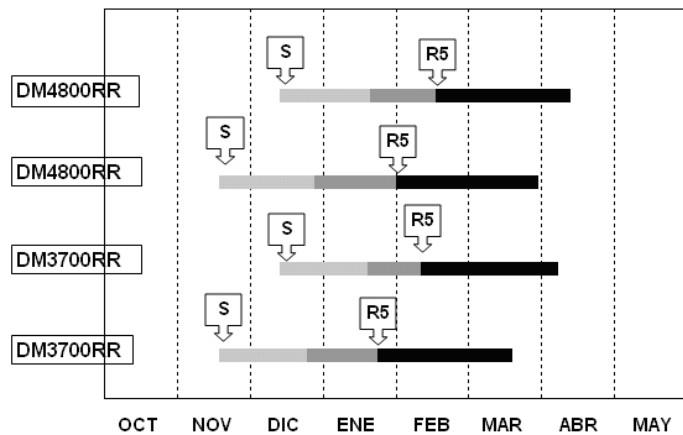


Grafico 13. Fenología de cultivares en fechas de siembra de segunda época. (Fuente: elaboración propia utilizando el programa “Programador de Siembra”).

En la simulación del momento central del período crítico (R5) para los mismos grupos de madurez (III y IV) en FS de primera, se observa que al adelantar FS normales (15 de noviembre) al mes de octubre (15 de octubre), se logra correr el momento central del período crítico de los últimos días de enero a los últimos días de diciembre - comienzos de enero (grafico 12), logrando valores de radiación 4 a 5 % superiores (grafico 14), lo cual explicaría el incremento del rendimiento al adelantar la FS. Sin embargo la situación hídrica promedio y la probabilidad de ocurrencia de estrés hídrico en el período crítico de las FS de Octubre (enero) es mayor a las FS de Noviembre (febrero), siendo el factor que determina la mayor variabilidad de los rendimientos en FS más tempranas (grafico 15).

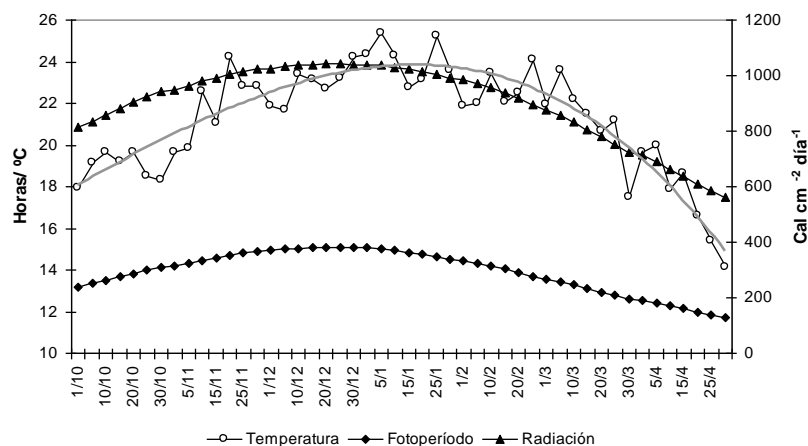


Grafico 14. Registro de Temperatura (EEA INTA Marcos Juárez) y Fotoperíodo y Radiación diaria calculada con el programa de cálculo de parámetros astronómicos (Hurtado *et al.*, 2006) entre los meses de octubre a abril en Monte Buey.

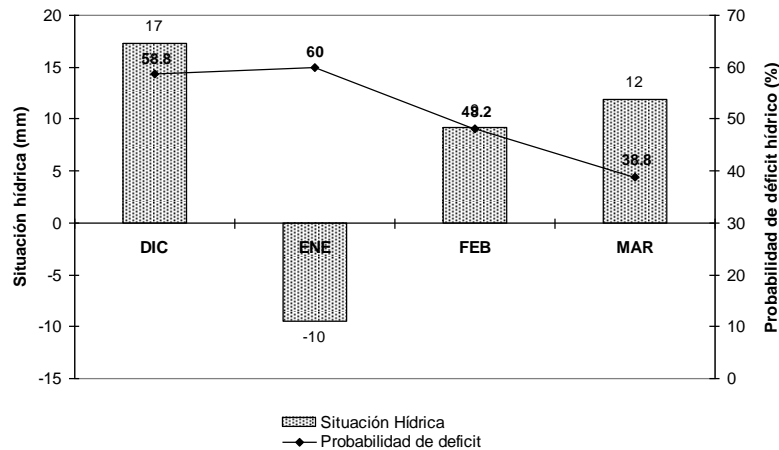


Grafico 15. Situación Hídrica promedio y probabilidad de ocurrencia de déficit hídrico en los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo en Monte Buey calculados con el programa de Balance Hidrológico Seriado (Hurtado *et al.*, 2006) y Datos de precipitaciones de Romagnoli (2003) y Registros de los campos Los Algarrobos y La Bélgica)

Para los mismos grupos de madurez (III y IV) en FS de segunda, con el adelanto de la misma de FS normales (15 de diciembre) a fines de noviembre (20 de noviembre), se corre el momento central del período crítico de mediados-fin de febrero a fines de enero - comienzos de febrero (grafico 13), obteniendo valores de radiación 5 a 7 % superiores (grafico 14), en cambio la situación hídrica para el mes donde transcurre el período crítico de estas FS (febrero) es positiva y con menor probabilidad de déficit por lo cual éste no sería el factor que afectaría en mayor medida los rendimientos para éstas FS.

A partir de los niveles de productividad registrados, se calcularon los valores de probabilidad de diferentes rendimientos en cada FS (cada 10 días) (gráfico 16). Se observa que la misma sigue una forma de campana, con valores máximos para la mayoría de los rendimientos en las siembras de la 3° decádica del mes de octubre. De su interpretación surge por ejemplo, que en un 94 % de los años se obtuvo un rendimiento de 20 qq ha⁻¹ o más para las siembras de la 3° decádica de octubre, disminuyendo al adelantar o al atrasar la FS. Este comportamiento es similar para los rendimientos iguales o mayores que 20, 30, 35, 40 y 45 qq ha⁻¹, y la obtención de rendimientos iguales o mayores a 50 qq ha⁻¹ sólo son posibles en las FS de la 1° y 3° decádica de octubre con 8.3 y 7.8 % de probabilidad respectivamente.

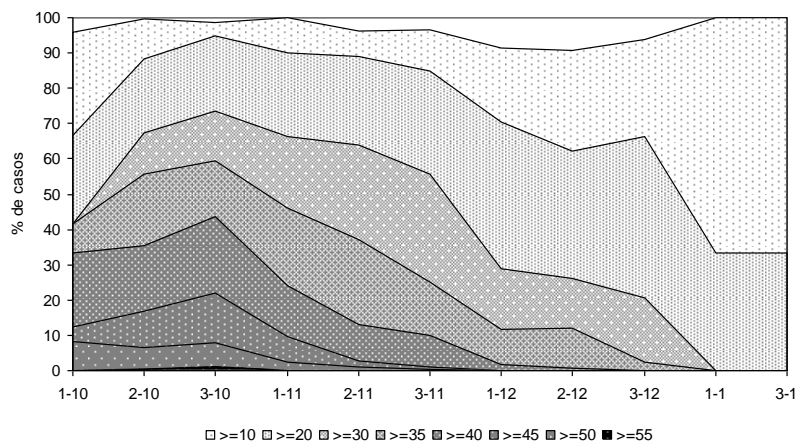


Grafico 16. Probabilidad de rendimientos según la fecha de siembra en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville entre las localidades de : Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

5.4. Antecesor-Rotación

5.4.1. Antecesor

En el período 1996-2006 la superficie de soja de primera (1°) sobre antecesor soja 1° se redujo anualmente en un 6.25 %, mientras tanto la proporción de soja 1° sobre cultivo anterior maíz se incrementó en la misma magnitud (grafico 17).

En el análisis de soja de segunda (2°) no se incluyeron las campañas 2000/01 y 2003/04 por falta de datos. El grafico 18 muestra la evolución de la proporción de la superficie de este cultivo según su cultivo antecesor. Puede visualizarse la ocurrencia de dos períodos contrastantes: 1) de la campaña 1996/97 a la 2001/02 con reducción de la superficie sobre maíz e incremento de la misma sobre soja 1° en un 10.26 % anual y 2) de la campaña 2002/03 a la 2005/06 un incremento sobre maíz y reducción sobre soja 1° en 11.84 % anual.

Para soja 1° se obtuvieron 500 kg ha⁻¹ más y se redujo en desvío estándar cuando su cultivo antecesor fue maíz respecto que si era soja 1° (gráficos 19 y 20), siendo este incremento del 16.4 %, valor muy próximo al citado por Díaz Zorita y Duarte (2005) para la Región Pampeana y al incremento hallado en Pergamino por Belloso y Lorenzatti (2005). El efecto es debido a la mayor disponibilidad de nutrientes y humedad en el suelo que permite un rápido crecimiento inicial y a la menor disponibilidad de N inicial, producto de la inmovilización causada por los microorganismos al tener que descomponer un rastrojo de alta relación C/N, lo que permite una alta y eficiente nodulación en soja (Belloso y Lorenzatti, 2005). Santos y Studdert, 2000, y López, *et al.*, 2000, encontraron

que en los sistemas de siembra directa, por un menor contenido de nitrógeno inicial y mayor humedad edáfica se favorece la nodulación y por ende se mejora la nutrición nitrogenada en el cultivo respecto a los sistemas de labranza convencionales.

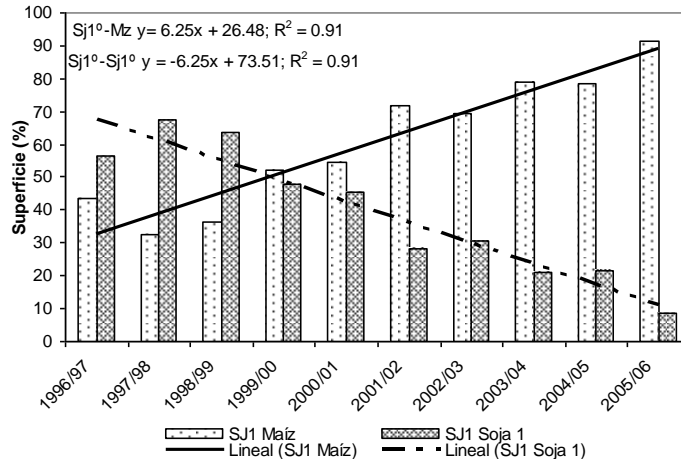


Grafico 17. Porcentaje de la superficie sembrada con soja de primera en los cultivos antecesores maíz y soja de primera entre 1996/97-2005/06. (SJ1: soja de primera, Mz: Maíz) en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville.

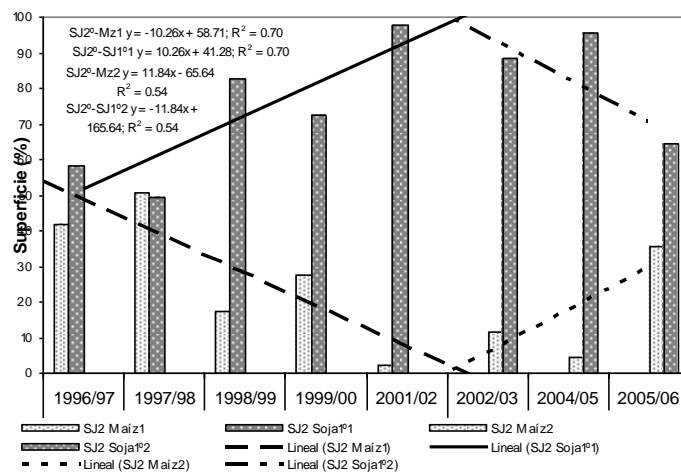


Grafico 18. Porcentaje de la superficie sembrada con soja de segunda en los cultivos antecesores maíz y soja de primera entre 1996/97-2005/06. (SJ1: soja de primera, Mz: Maíz) en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville.

En soja 2° el comportamiento fue inverso, siendo mayor el rendimiento sobre el antecesor soja 1° en 280 kg ha⁻¹ y con menor desvío estándar respecto al antecesor maíz (grafico 20).

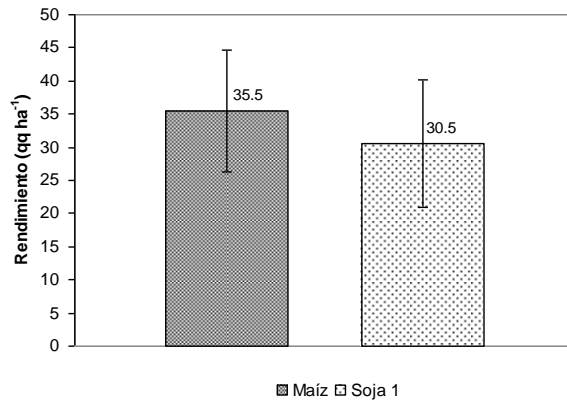


Grafico 19. Rendimiento de soja de primera en los cultivos antecesores maíz y soja de primera. (Soja 1: soja de primera) en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

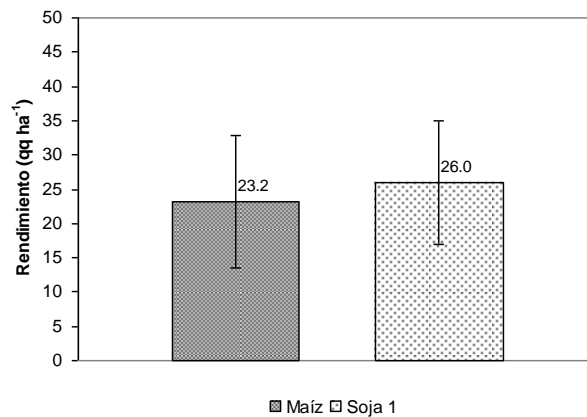


Grafico 20. Rendimiento de soja de segunda en los cultivos antecesores maíz y soja de primera. (Soja 1: soja de primera) en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

5.4.2. Rotación

La evolución del rendimiento de soja 1° muestra un incremento para los antecesores maíz y soja 1° (grafico 21), siendo de mayor magnitud y menor variabilidad en el primer caso.

En soja 2° no se incluyó la campaña 2000/01 por falta de datos. En el resto de los años las diferencias de rendimiento para los antecesores son menores que en soja 1°, sin embargo el comportamiento de la tasa de incremento fue similar, siendo mayor sobre el antecesor maíz, y a partir del 4° año los rendimientos de soja 2° son mayores sobre este cultivo que sobre soja 1°, similar a lo mencionado por Marelli (1997) (grafico 22).

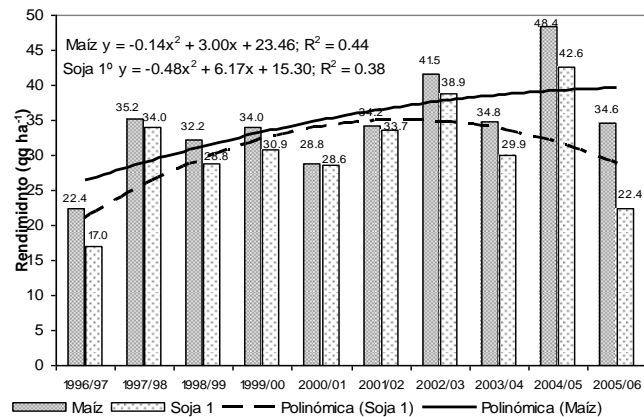


Grafico 21. Rendimiento de soja de primera en los cultivos antecesores maíz y soja de primera durante las campañas 1996/97-2005/06. (Mz: maíz, Soja 1: soja de primera) en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

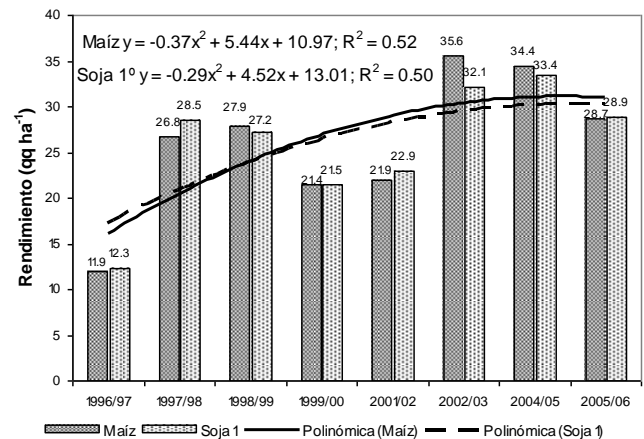


Grafico 22. Rendimiento de soja de segunda en los cultivos antecesores maíz y soja de primera durante las campañas 1996/97-2005/06. (Mz: maíz, Soja 1: soja de primera) en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

El grafico 23 representa la evolución del promedio de años de siembra directa continua en los lotes analizados, pudiendo verse una estabilización del sistema de labranza al progresar los años.

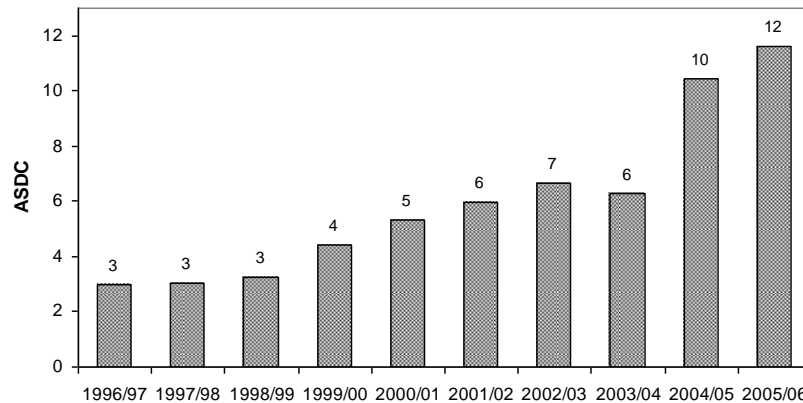


Grafico 23. Años de siembra directa continua promedio de cada lote entre 1996/97-2005/06. (ASDC: años de siembra directa continua) en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

Abril *et al.* (2005) evaluaron la evolución de la materia orgánica y el contenido del nitrógeno del suelo en un período de 10 años, encontrando que en siembra directa los valores superaban a los de labranza convencional y las diferencias se incrementaban a través del tiempo. Además en la rotación de cultivos de maíz y soja se aumentaron los niveles de cobertura del suelo respecto al monocultivo de soja.

Por otra parte Shaver *et al.* (2003) mencionan que en la región este de Colorado (EEUU) la inclusión de la SD permitió intensificar la rotación de cultivos, con lo cual se incrementó la cantidad de residuos devueltos al suelo.

En período 1996-2006 se modificó la participación de los cultivos integrantes de la rotación en el grupo CREA (gráfico 24), disminuyendo la soja 1° y aumentando la secuencia trigo-soja 2° y maíz.

Dado que las especies presentan una relación muy estable entre la biomasa total generada y la cantidad de granos producidos, el rendimiento promedio anual de cada lote de producción puede tomarse como un estimador del volumen de rastrojos generado por la rotación, el cual se incrementó en 2.38 qq año⁻¹ (grafico 25), y consecuentemente también la cantidad de rastrojos.

Este proceso de intensificación de la rotación de cultivos con aumentos en los niveles de cobertura de los suelos en sistemas bajo SD fue estudiado para el este de Colorado (EEUU) por Shaver *et al.*, (2003), hallando reducción de la densidad aparente y aumento de

la porosidad en 0.01 g cm^{-3} y 0.3% por cada 1.000 kg ha^{-1} de aporte extra de biomasa. Además se incrementó el C orgánico y la proporción de macroagregados, resultados similares a los obtenidos por Abril *et al.*, (2005) en la región semiárida argentina.

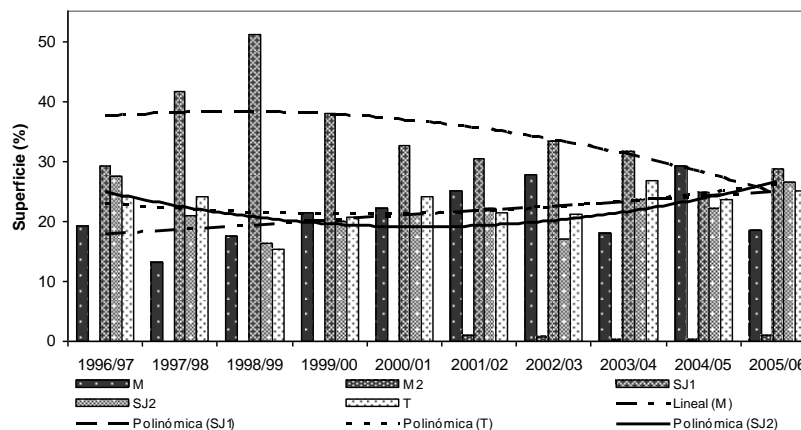


Gráfico 24. Porcentaje de la superficie sembrada con los cultivos de soja de primera, soja de segunda, maíz de primera, maíz de segunda y trigo en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006. (M: maíz de primera, M2: maíz de segunda, SJ1: soja de primera, SJ2: soja de segunda, T: trigo)

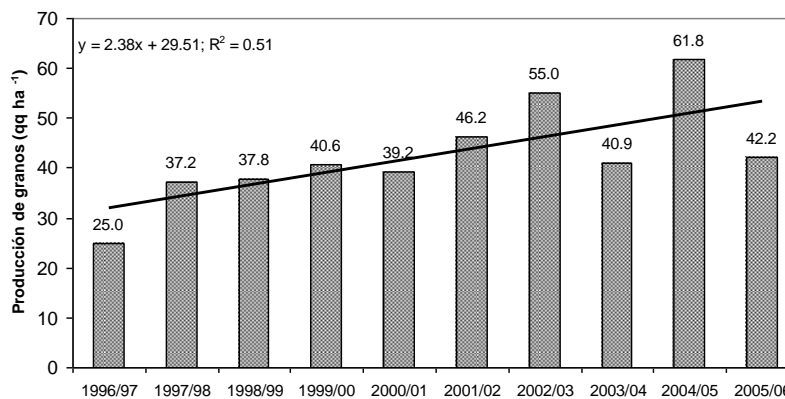


Gráfico 25. Producción promedio de granos por lote en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

El proceso de estabilización de la SD, con rotación de cultivos de mayor aporte de rastrojos de menor velocidad de descomposición, la intensificación de la rotación por mayor participación del doble cultivo en el año (trigo-soja) y el aumento en la cantidad de residuos devueltos al suelo, habrían permitido mejorar el ambiente de producción a lo largo

de las campañas explicando el mayor incremento anual de rendimientos de soja 1° y 2° sobre el cultivo antecesor maíz de los gráficos 21 y 22.

5.5. Napa Freática

Existen numerosos antecedentes del beneficio de la napa freática (NF) como fuente complementaria de agua para la transpiración de los cultivos cuando se encuentra a una profundidad aproximada de 1.5 y 2 m de la superficie (Mejia *et al.*, 2000, Kang *et al.*, 2001, Racca *et al.*, 2001 Mueller *et al.*, 2005). En el área en estudio - según la descripción fisiográfica - se cita que la NF oscila a una profundidad de 5 m, por lo que no contribuiría a las necesidades de agua del cultivo de soja. Sin embargo resulta de la base de datos que en el período analizado el 23 % de la superficie de soja 1° y el 72 % de la de soja 2° (grafico 26) tuvieron aportes extra de agua de la NF. Considerándose que la misma aportó agua al cultivo cuando el frente de la zona de ascenso capilar de la NF se encontró por encima de 1.5 m (Sánchez³).

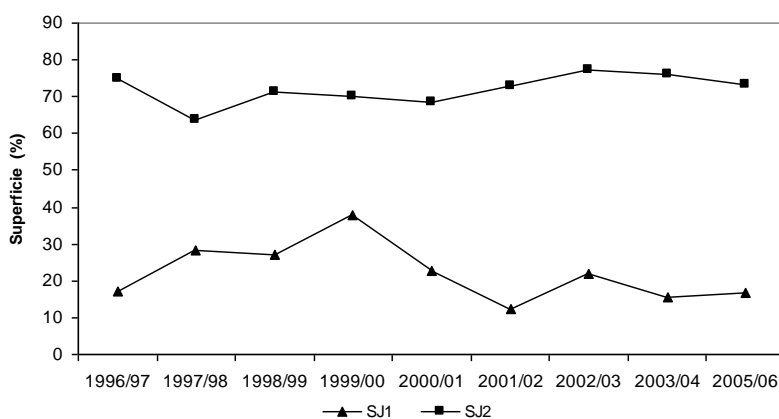


Grafico 26. Superficie de soja de primera y soja de segunda con influencia de napa freática en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inriville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inriville. Campañas 1996/1997-2005/2006. (SJ1: soja de primera, SJ2: soja de segunda).

Esta elevación del nivel freático respecto a la descripción fisiográfica realizada previo al año 1993 (INTA, 1993) es semejante a la ocurrida en numerosas localidades y sectores rurales del sur de Córdoba, el cual se debió al cambio en el régimen de precipitaciones que generó excesos hídricos, tal como se observa en la tabla 3, que al acumularse en sistemas de llanura elevaron el nivel freático (Blarasin y Cabrera, 2005).

³ Comunicación personal. Martín Sánchez. Asesor grupo CREA Monte Buey-Inriville.

Blarasin *et al.* (2005) realizaron una estimación del ascenso del nivel freático para la localidad de Coronel Moldes mediante una ecuación que permite evaluar la recarga en períodos cortos, encontrando que el ascenso promedio según su régimen de precipitaciones, infiltración eficaz y porosidad efectiva era de 0.28 m año⁻¹.

En este análisis, se encontró que los lotes con aportes de NF obtuvieron rendimientos superiores, en 560 kg ha⁻¹ en soja 1° y 780 kg ha⁻¹ en soja 2° (grafico 27). El promedio del incremento del rendimiento fue de 28 %, muy próximo al mencionado por Mejia *et al.* (2000) (23 %).

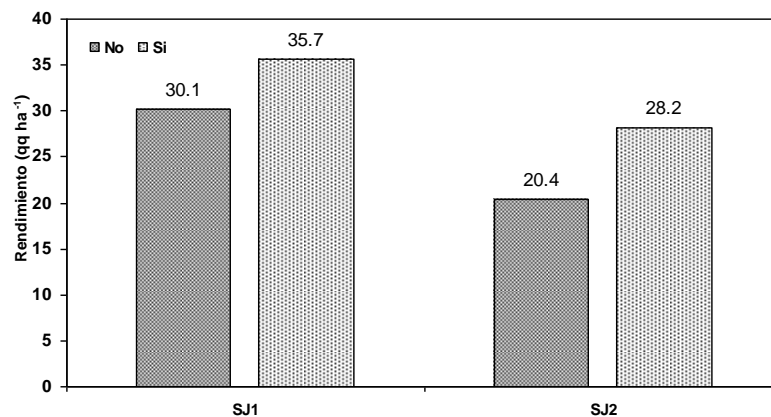


Grafico 27. Rendimiento de soja de primera y soja de segunda con y sin influencia de napa freática en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inriville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inriville. Campañas 1996/1997-2005/2006. (SJ1: soja de primera, SJ2: soja de segunda, NO: sin influencia de napa freática, SI: con influencia de napa freática).

En la evolución de los rendimientos de soja 1° y soja 2° con influencia de NF y sin influencia de NF (grafico 28) no se percibe una tendencia definida al avanzar las campañas, sino que su efecto esta asociado con las condiciones hídricas ocurridas en cada ciclo agrícola (grafico 29).

El fenómeno del ENSO (el Niño-Oscilación del sur) es una de las principales fuentes de variación interanual de las precipitaciones, el cual se relaciona con cambios en la temperatura de la superficie del mar en el este del Océano Pacifico Ecuatorial. En la Región Pampeana, cuando su temperatura aumenta (años niño) las precipitaciones tienden a ser superiores a lo normal de noviembre a enero, y cuando disminuye (años niña) tienden a ser inferiores al promedio entre octubre y diciembre (Magrin *et al.*, 1998).

De la base de datos analizada, surge que en los años en donde las precipitaciones fueron inferiores a lo normal (años niña) la NF permitió incrementar en 800 kg ha⁻¹ el

rendimiento en soja 1° y 880 kg ha⁻¹ en soja 2°. En cambio en los años que las mismas superaron la media (años niño) el rendimiento de soja 1° fue superior en 70 kg ha⁻¹ y se redujo en soja 2°.

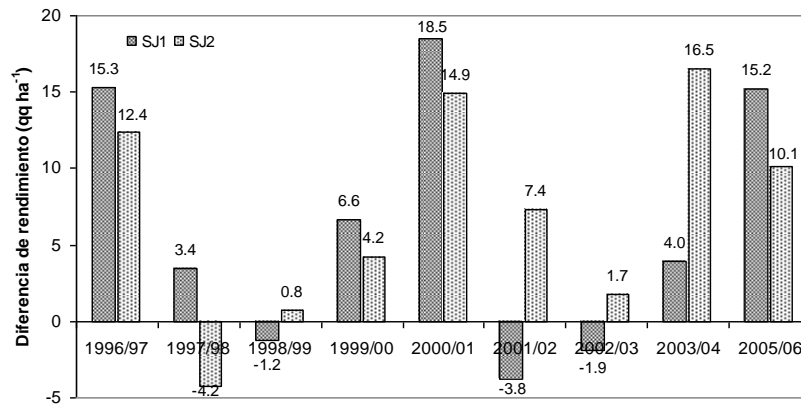


Grafico 28. Diferencia de rendimiento de soja de primera y soja de segunda en lotes con influencia de napa freática respecto a lotes sin su influencia en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006. (SJ1: soja de primera, SJ2: soja de segunda).

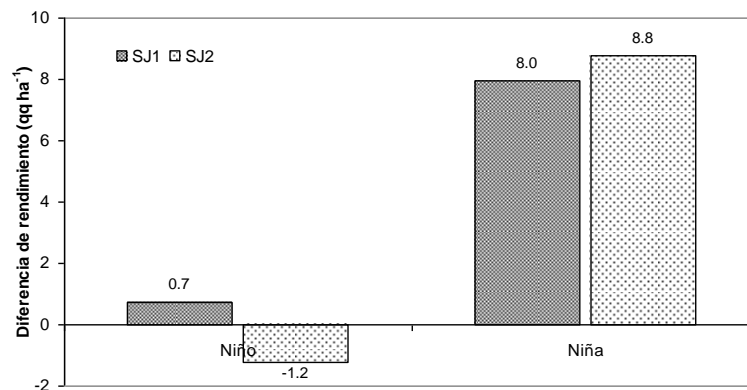


Grafico 29. Diferencia de rendimiento de soja de primera y soja de segunda con influencia de napa freática respecto de lotes sin su influencia para los años niño y niña en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006. (SJ1: soja de primera, SJ2: soja de segunda).

Dado que las oscilaciones de la NF se corresponden con el balance hídrico local (Cisneros, 1994), los excesos hídricos registrados en los meses de febrero, marzo y abril (tabla 3) serían responsables de la elevación del NF por encima de la profundidad crítica

que limitaría el normal funcionamiento radical de soja 2° y por lo tanto el rendimiento, o bien dificultaría su recolección durante la cosecha.

5.6. Fertilización

La fertilización sobre el cultivo de soja en el grupo CREA comenzó en la campaña 2000/01 en el 13 % de la superficie de soja de primera (1°) y 8 % de soja de segunda (2°), para luego incrementarse y llegar a la campaña 2005/06 al 55 % de la soja 1° y 53 % de soja 2° (grafico 30). Esta evolución manifestó un comportamiento semejante al desarrollado por la Argentina, que pasó del 9 % al 52 % entre 1999 y 2004 (Castino, 2006).

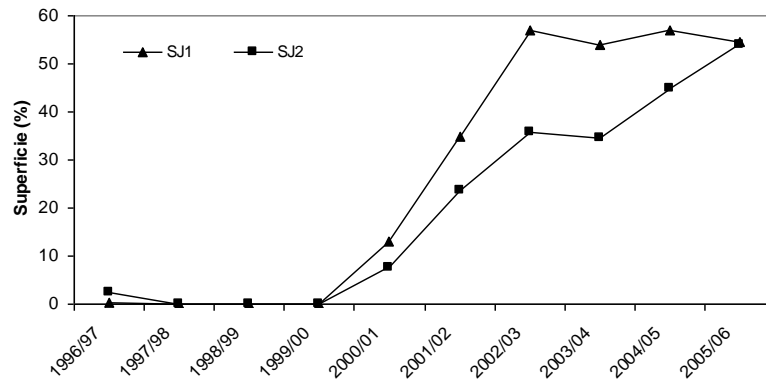


Grafico 30. Porcentaje de la superficie sembrada con soja de primera y soja de segunda fertilizada en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006. (SJ1: soja de primera, SJ2: soja de segunda).

La misma se basó en aportes de fertilizantes fosforados, azufrados y nitrogenados. En soja 1° la dosis inicial de P (campaña 2001/02) fue de 0.8 kg ha^{-1} con un incremento anual de 1 kg ha^{-1} , en cambio los aportes de S comenzaron en la campaña anterior (2000/01), con 1 kg ha^{-1} para luego aumentar a una tasa de $1.5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. En soja 2° los momentos de comienzo fueron similares a soja 1°, sin embargo las dosis de P iniciales fueron más bajas (0.67 kg ha^{-1}) con incrementos anuales superiores ($1.16 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y en S una mayor dosis inicial (1.18 kg ha^{-1}) con menor incremento anual ($0.83 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Para ambos casos las dosis de N utilizadas no manifestaron una tendencia definida (gráficos 31 y 32), dado que el aporte de N fue consecuencia de la utilización de fuentes de P y S que contenían este nutriente.

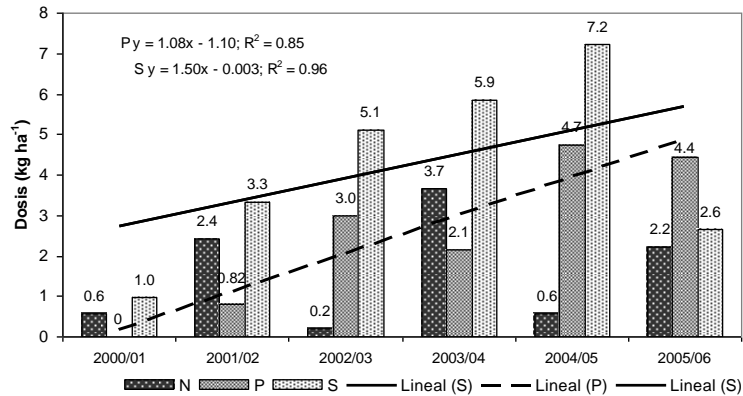


Grafico 31. Dosis de nitrógeno, fósforo y azufre aplicado vía fertilizantes en soja de primera en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 2000/2001-2005/2006. (N: nitrógeno; P: fósforo; S: azufre).

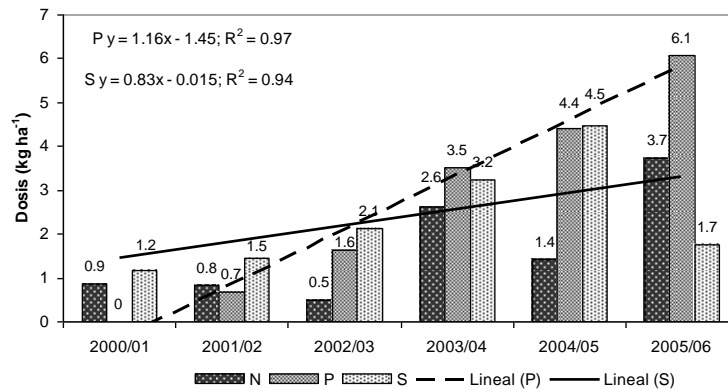


Grafico 32. Dosis de nitrógeno, fósforo y azufre aplicado vía fertilizantes en soja de segunda en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 2000/2001-2005/2006. (N: nitrógeno, P: fósforo, S: azufre).

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, 2003). Además de la diversidad de situaciones posibles de cantidades disponibles y texturas de suelos, la respuesta está influenciada por tipo de fertilizante aplicado, la dosis de los mismos, aplicaciones anteriores, etc.

Para el caso del S, aún no existe una metodología totalmente confiable para el diagnóstico de su deficiencia, y las respuestas encontradas son aleatorias y dependientes de diversos factores.

Dado que las dosis de fertilizantes variaron entre las campañas (se incrementaron), no se podrían extraer resultados consistentes en los primeros años de la fertilización, pudiendo

compararse solamente las dos últimas campañas, por mayor estabilización de las dosis aportadas.

La menor respuesta en el ciclo 2004/05 respecto al 2005/06, podría explicarse por la condición hídrica del año, debido a que en 2004/05 se desarrolló un episodio niño y en 2005/06 niña (grafico 33). Así podría afirmarse que la respuesta se debió en mayor medida a P, ya que éstas son mayores en años secos, por promover el desarrollo radicular permitiéndole al cultivo extraer agua a mayores profundidades del suelo (Darwich, 1989).

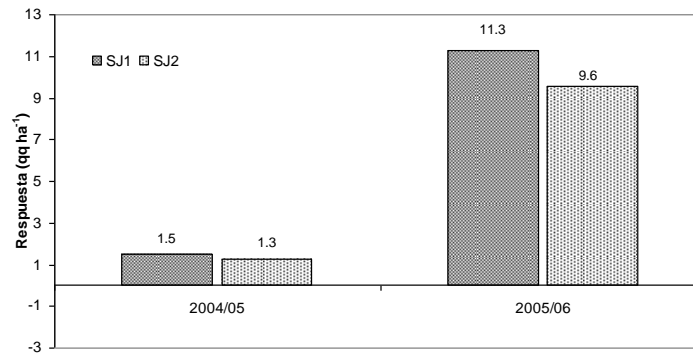


Grafico 33. Respuesta a la fertilización en soja de primera y soja de segunda en 2004/05-2005/06 en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. (SJ1: soja de primera, SJ2: soja de segunda).

Como se mencionó, si bien se incluyen múltiples situaciones de fertilización complejas de analizar con la información disponible, se encontró que en promedio la fertilización permitió incrementar los rendimientos de soja 1° en 260 kg ha⁻¹ y en soja 2° en 210 kg ha⁻¹ (grafico 34).

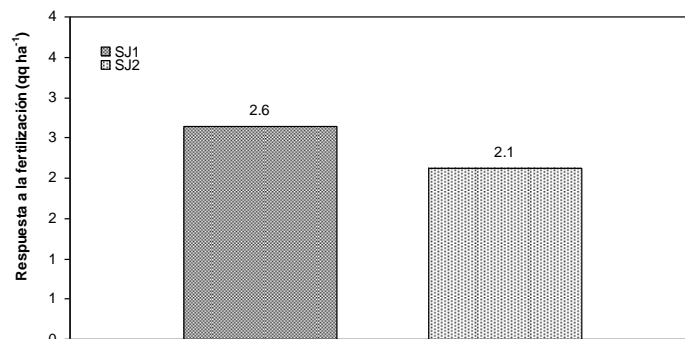


Grafico 34. Respuesta promedio de la fertilización en soja de primera y soja de segunda en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006. (SJ1: soja de primera, SJ2: soja de segunda).

5.7. Grupo de madurez

Entre las campañas 1999/00 y 2000/01 se ha producido un cambio en los grupos de madurez (GM) utilizados, pasando de la predominancia de GM VI, V y IV largo a GM IV y III (grafico 35). Este proceso es similar al ocurrido para la mayor parte de las regiones productoras Argentinas, donde la tendencia a sido una mayor utilización de GM más cortos a los adaptados a cada faja latitudinal.

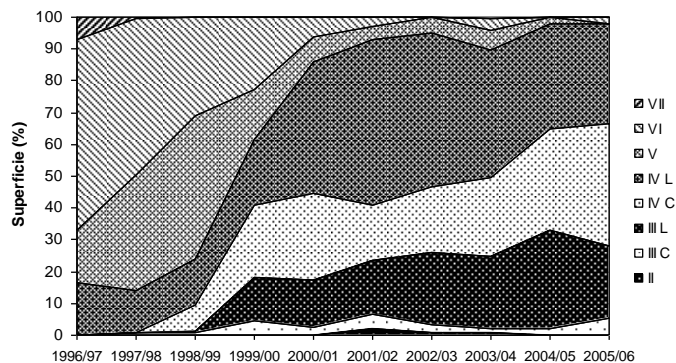


Gráfico 35. Porcentaje de la superficie sembrada de soja con cada grupo de madurez en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inriville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inriville. Campañas 1996/1997-2005/2006. (C: corto, L: largo).

En la elección de los cultivares se pueden considerar tres criterios o estrategias: 1) priorizar la máxima estación de crecimiento a fin de lograr mayor interceptación de la 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 de algunas adversidades (de la Vega y de la Fuente, 2003).

La utilización de grupos 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 Martín, 2006), lo cual le permite lograr mayor rendimiento que GM más largos.

También se ha modificado el hábito de crecimiento de los cultivares utilizados, siendo los actuales de tipo 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 rotaciones, siembra directa, 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 y tienen mayores posibilidades de expresar su potencial de rendimiento (Baigorri y Martíni, 2006).

Si bien en los últimos años la oferta de variedades de soja se incrementó en forma notable, 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 estrategias de alta producción.

Para poder extraer conclusiones sobre el comportamiento de los GM, se realizó una combinación de las diferentes variables analizadas, a partir de la cual se generaron “ambientes” caracterizados por el rendimiento promedio de todos los cultivares para ese ambiente. En el gráfico 36, se presentan las regresiones del rendimiento de los GM más adoptados (III y IV) con el promedio ambiental.

Los GM pueden presentar rectas paralelas al promedio ambiental, las cuales son indicativas de estabilidad del rendimientos para los diferentes ambientes, mayor o menor potencial de rendimiento que el promedio, si ésta se encuentra por encima o por debajo del mismo, y en la medida que la pendiente es mayor al promedio ambiental, los GM presentan mayor adaptación a ambientes de alta productividad (Baigorri *et al.*, 2002). En base a ello se observa 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; en los ambientes de entre 20 y 30 qq ha⁻¹, los GM IV corto y III largo van superando al promedio, mientras que los GM IV largo quedan por debajo.

En ambientes de entre 33 y 38 qq ha⁻¹ los GM III corto, superan levemente el promedio y obtienen rendimientos muy próximos a los GM III largo y IV corto. Por último se destaca que en ambientes de rendimientos promedio mayores a 40 qq ha⁻¹ los GM III corto, obtienen rendimientos muy superiores a los III largo y IV corto que se encuentran por encima del promedio, y los GM IV largo con rendimientos promedios muy inferiores al promedio.

Las rectas de regresión planteadas explican en más del 50 % la variabilidad de los valores, lo cual por ser datos de campo son un buen indicador del comportamiento de las variables.

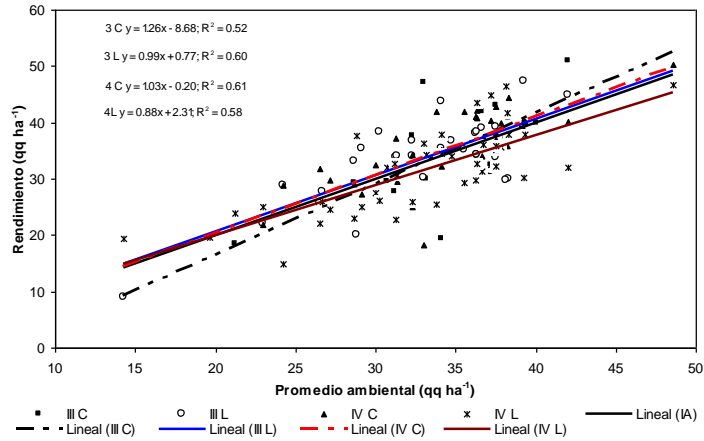


Gráfico 36. Rendimiento de los grupos de madurez III y IV para cada promedio ambiental en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inriville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inriville. Campañas 1996/1997-2005/2006. (C: corto, L: largo).

5.8. Interacciones

5.8.1. Antecesor- ENSO

El gráfico 37 muestra las diferencias de rendimiento promedio de soja 1° y soja 2° en el cultivo antecesor maíz respecto de soja 1°, para los años caracterizados como niño y niña.

En soja 1° los rendimientos siempre fueron superiores sobre el antecesor maíz, y éstas se incrementaron en los años niña, probablemente por la mayor disponibilidad hídrica de los lotes sembrados sobre maíz que permiten que la soja 1° dependa en menor medida de las precipitaciones durante su ciclo.

En soja 2°, el efecto del cultivo antecesor fue de menor magnitud, y menos variable para las condiciones de mayores o menores precipitaciones (niño y niña), posiblemente porque el recurso hídrico no sea el principal limitante de su rendimiento (ver 5.1).

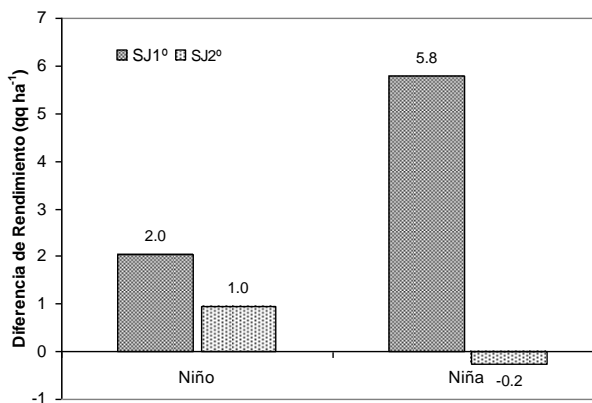


Grafico 37. Diferencia de rendimiento de soja de primera y soja de segunda con antecesor maíz respecto de soja de primera en años niño y niña en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

5.8.2. Antecesor-Napa Freática

En el grafico 38 se muestra la diferencia de rendimiento promedio de soja 1° sobre el cultivo antecesor maíz respecto de soja 1° para las situaciones con influencia de NF y sin influencia de NF.

En aquellos lotes que no han tenido la influencia de la NF el antecesor maíz permitió lograr 680 kg ha^{-1} más que en los lotes precedidos por soja 1°, en cambio donde hubo influencia de NF el incremento fue de 250 kg ha^{-1} .

Estos resultados permitirían suponer que la mayor cantidad de agua disponible para el cultivo de soja 1° precedida por maíz contribuiría a la transpiración del cultivo en mayor medida en aquellas situaciones en donde no se cuenta con el aporte extra de agua de la NF.

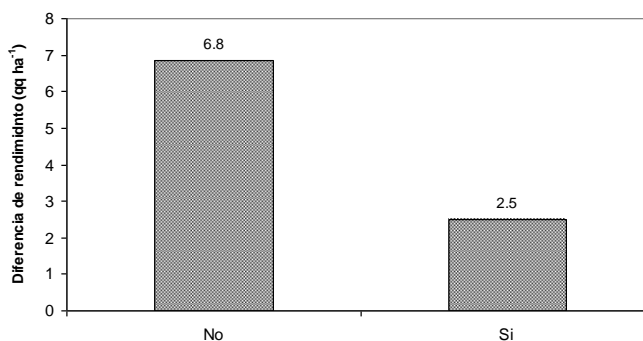


Grafico 38. Diferencia de rendimiento de soja de primera con antecesor maíz respecto de soja de primera en lotes con y sin influencia de napa freática en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006. (NO: sin influencia de napa freática, SI: con influencia de napa freática).

5.8.3. Antecesor-Fecha de siembra

Al relacionar las diferencias de rendimiento de soja 1° sobre el cultivo antecesor maíz respecto de soja 1° y la fecha de siembra, se puede visualizar que los mayores beneficios del antecesor maíz se logran en las fechas de siembra más tempranas de la soja 1° (grafico 39). Esto estaría dado porque la mayor disponibilidad de agua en el suelo debido al antecesor maíz, permitiría a la soja 1° sembrada en los primeros días de octubre, mayor independencia de las lluvias, que son las responsables de la mayor variabilidad en los rendimientos en las fechas de siembra tempranas según lo descrito por Baigorri (1997).

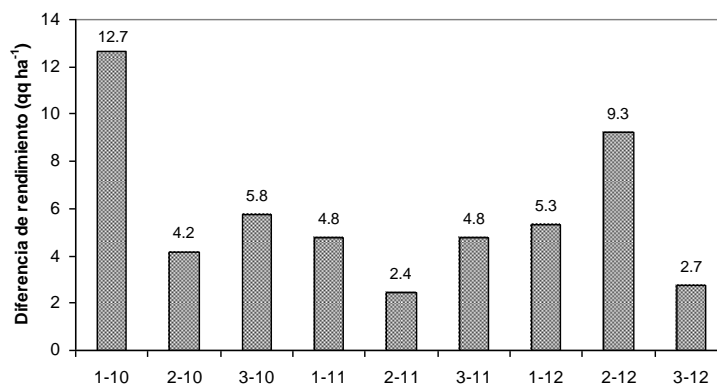


Grafico 39. Diferencia de rendimiento de soja sobre cultivo antecesor maíz respecto de soja de primera en diferentes fechas de siembra en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006.

5.8.4. Fertilización- Antecesor

La respuesta promedio de la fertilización en soja 1° es mayor cuando ésta es precedida por soja 1° y menor cuando sucede a maíz (grafico 40). La menor respuesta sobre maíz podría deberse a la existencia de residualidad del fertilizante aplicado en la gramínea y una mejor nodulación debido a la menor disponibilidad de N edáfico promovida por la inmovilización generada por los microorganismos durante la descomposición de los residuos de maíz (Belloso y Lorenzatti, 2005).

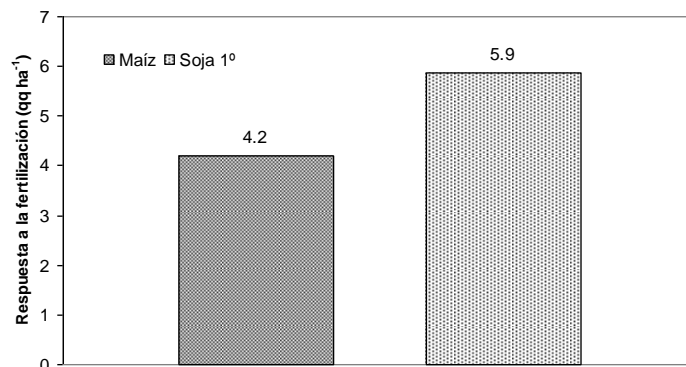


Grafico 40. Respuesta a la fertilización en soja de primera para los cultivos antecesores maíz y soja de primera en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006..

5.8.5. Napa-Fecha de siembra

La tendencia de la diferencia de rendimiento de soja 1º en lotes con influencia de NF es mayor para las fechas de siembra más tempranas, disminuyendo este efecto al retrasarse la FS (grafico 41).

Estos resultados permiten sostener que las sojas en FS tempranas son más dependientes de las lluvias que en FS más tardías, y la contribución hídrica al cultivo por la NF es un factor que permite independizarse de las mismas. En cambio en FS tardías la NF no contribuiría a las necesidades hídricas del cultivo, sino que se constituiría en una limitante que deprime el rendimiento.

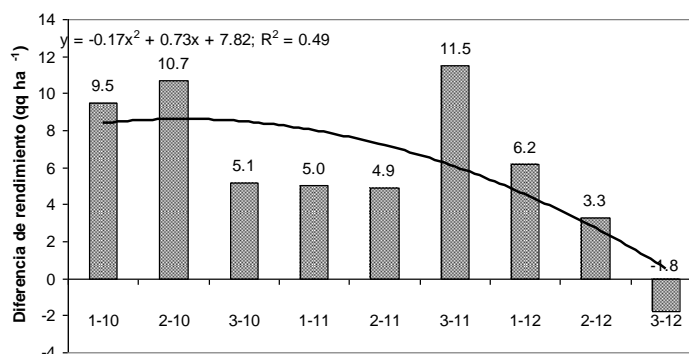


Grafico 41. Diferencia de rendimiento de soja en lotes con influencia de napa freática respecto a lotes sin su influencia en diferentes fechas de siembra en los campos propios del Grupo CREA Monte Buey-Inrville de la zona comprendida entre: Monte Buey, Justiniano Posse, Wenceslao Escalante, Monte Maíz, General Baldissera e Inrville. Campañas 1996/1997-2005/2006..

6- CONCLUSIONES

- El área de estudio presenta una longitud en la estación de crecimiento, temperaturas y recursos hídricos y edáficos muy favorables para la producción de soja.
- Argentina fue el país con mayor progreso en los rendimientos promedios entre los principales productores mundiales, mientras que las empresas del grupo CREA Monte Buey-Inrriville lograron rendimientos mayores al del país y a los promedios de la zona agroecológica en donde desarrollan su producción.
- La fecha de siembra condicionó el rendimiento, lográndose los mayores a comienzos de octubre para disminuir $16 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ al atrasar la fecha de siembra. Esta disminución fue mayor en soja 2° respecto a soja 1°.
- Hay una tendencia a mayor participación del cultivo antecesor maíz. En soja 1° se lograron 500 kg ha^{-1} más y se redujo la variabilidad sobre la gramínea, mientras que en soja 2° no hubo un efecto directo. Los efectos variaron con los eventos ENSO, la influencia de napa freática y la fecha de siembra. El incremento de los rendimientos fue a mayor tasa en el antecesor maíz, aumentando así las diferencias al progresar las campañas en soja 1° y soja 2°.
- En los lotes con influencia de napa freática se lograron mayores rendimientos (560 kg ha^{-1} en soja 1° y 780 kg ha^{-1} en soja 2°). Su influencia estuvo asociada a los eventos ENSO y la fecha de siembra.
- La evolución de la superficie fertilizada fue similar a la de Argentina. La escala de análisis y la complejidad de factores que afectan la respuesta a la fertilización no permitieron extraer resultados sólidos sobre la misma.
- A partir del año 2000 se produjo un acortamiento de los grupos de madurez utilizados. Los más estables fueron los IV corto y III largo, seguidos de IV largo y III corto.

Se verificó la gran importancia de los factores que constituyen el ambiente de producción para el cultivo de soja, siendo importante continuar la investigación y experimentación de estos aspectos, destacándose el análisis del efecto de la rotación y eventos del ENSO con los GM y FS. Se acentúa además el importante rol de un enfoque holístico de los sistemas para generar estrategias cada vez más eficientes en la utilización de los recursos disponibles y fomentar sistemas de producción más sustentables como se encontró en este análisis donde el grupo CREA Monte Buey-Inrriville incrementa la producción de grano de sus lotes y no solamente de soja.

7- BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, F y V, SADRAS, 2002. **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja.** ed EEA INTA Balcarce, Balcarce.
- ABRIL, A. P. SALAS, E. LOVERA, S. KOPP Y N. CASADO-MURILLO. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas variables características del suelo en la región central de la Argentina. **Ci. Suelo.** 23: 179-188.
- AMUCHASTEGUI, A. H. TROSSERO, O. HARISPE y A. RIQUELME. 2006. Crecimiento de cultivares de GM III y IV en FS de Octubre a Diciembre en Godeken, Pcia de Santa Fe. 2005/06. **Región CREA Sur de Santa Fe, Soja 2005/06:** 59-71.
- ANDRIANI, J. 1997. Uso del agua y riego. En: Giorda, L y H. Baigorri. **El cultivo de la soja en Argentina.** 7:143-150. EEA INTA, Marcos Juárez, Argentina.
- 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.
- BACHMEIER, O. 2006. Efecto de la monocultura de soja sobre ña condición fisico-química del suelo. En: www.planetasoja.com/trabajos. Consulta: 06-10-2006.
- 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. 1997¹. 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. 1997². 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. D. CROATTO, M. BODRERO, L. MACOR, F. PIATTI, R. VICENTINI, B. MASIERO, F. MOORE, D. DIBENEDETTO, G. SANCHEZ y A. DEL PINO. 2003. Programador de Siembra. Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja.
- BAIGORRI, 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.
- BAIGORRÍ, H. H. ECHEVERRÍA, H. FONTANETTO, C. GALARZA, S. GAMBAUDO, F. GARCÍA y R. MELGAR. 1997. Fertilidad y Fertilización. En: Giorda, L y H.

- Baigorri. **El cultivo de la soja en Argentina**. 10:201-212. EEA INTA, Marcos Juárez, Argentina.
- BAIGORRI, H. y E. MARTINI. 2006. Recomendación de elección y manejo de cultivares por regiones de cultivo. En: www.planetasoja.com/trabajos. Consultado: 06-10-2006.
- BELLOSO, C Y S, LORENZATTI. 2005. Maíz y su importancia en la rotación. En: www.fyo.com. Consulta: 30-08-2005.
- BERARDO, A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. **Simposio "El Fósforo en la Agricultura Argentina"**: 39-44. Rosario, Argentina.
- BERGERO, P. 2006. La cadena de la soja Argentina, una de las más competitivas. **3º Congreso de Soja del Mercosur. Conferencias plenarias, Foros, Workshops**: 69-72. Rosario, Argentina.
- BERNARDO, I. E. BONADEO, I. MORENO, M. BONGIOVANNI y R. MARZARI. 2004. **Apoyo didáctico sobre el Tema: Fósforo**. Manual de Sistema Suelo-Planta: 142-143. UNRC.
- BIANCHINI, A. A. SYLVESTRE BEGNIS, D. PERUZZI, M. MAGNELLI, S. LORENZATTI, J. RABASA y F. GARCÍA. 2007. Red de ensayos de nutrición de cultivos de AAPESID. **Simposio Fertilidad 2007**: 28-34. Rosario, Argentina.
- BLARASIN, M y A. CABRERA. 2005. Aguas subterráneas: hidrolitología, hidrodinámica e hidrogeoquímica regional. En: Blarasin, M. S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas (comp). **Aguas superficiales y subterráneas en el sur de Córdoba: Una perspectiva geoambiental**. 41-52. ed: UNRC. Rio Cuarto, Argentina.
- BLARASIN, M. A. CABRERA, E. MATTEODA y M. GÓMEZ. 2005. Ascenso del nivel freático y cambios ambientales: Diagnostico hidrogeológico y propuesta de manejo en Coronel Moldes, Córdoba. En: Blarasin, M. S. Degiovanni, A. Cabrera y M. Villegas (comp). **Aguas superficiales y subterráneas en el sur de Córdoba: Una perspectiva geoambiental**. 163-172. ed: UNRC. Rio Cuarto, Argentina.
- BLOTTA, 1995. Muestreo de suelos con el propósito de diagnóstico de fertilidad. **Curso de actualización: Interpretación de análisis de suelo para diagnóstico de la fertilidad**. EEA INTA Pergamino, Argentina.
- BOARD, J. M. KANG y B. HAVIELLE. 1999. Path analyses of the yield process for late-planted soybean. **Agron. J.** 91: 128-135.
- BOXLER, M. F. GARCÍA, J. MINTEGUIAGA, L. FIRPO, G. DEZA MARTIN, R. POZZI y A. BERARDO. 2006. Red de ensayos en nutrición de cultivos región CREA Sur de Santa Fe. **Región CREA Sur de Santa Fe, Soja 2005/06**: 59-71.
- CASTINO, E. 2006. Características y tendencias de uso de fertilizantes en Argentina para el cultivo de soja y su referencia en la región. **3º Congreso de soja del mercosur. Conferencias plenarias, Foros, Workshops**: 89-92. Rosario. Argentina.

- CHOLAKY, C. y J. CISNEROS. 1993. **Apoyo didáctico sobre el Tema Manejo de la condición biológica y bioquímica de los suelos.** Manual de Uso y Manejo de Suelos. UNRC. 1-24 pp.
- CISNEROS, J. J. 1994. Caracterización del hidromorfismo en ambientes representativos del centro - sur de Córdoba. Tesis Magíster Scientiae en Ciencias de Suelo. Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- CISNEROS, M. A. CANTERO, C. CHOLAKY, M. REYNERO y J. GONZÁLEZ. 2004. **Apoyo didáctico sobre el Tema Manejo de la condición física de los suelos: Manejo del Agua.** Manual de Uso y Manejo de Suelos. UNRC. 1-38 pp.
- CONAE, 2007. Imágenes elaboradas. En: www.conae.gov.ar. Consulta: 01-08-2007.
- CUSTODIO, E. y M. LLAMAS. 1996. Los acuíferos o embalses subterráneos. **Hidrología subterránea**. 5.2:259-264. ed. Omega, Barcelona.
- DARDANELLI, J. 1998. Eficiencia del uso del agua según sistemas de labranza. En: Panigatti, J.L., Marelli, H., Buschiazio, D. y R. Gil (Editores). **Siembra Directa**. 107-115. ed. Hemisferio Sur – INTA, Buenos Aires.
- DARDANELLI, J. L. Y D. COLLINO. 2002. Estimation of the water table contribution to alfalfa crops in the Argentinean Pampa Region. **Agriscientia**. 19: 11-18.
- DARDANELLI, J. O. BACHMEIR, H. SALAS, E. LOVERA y F. NUÑEZ VAZQUEZ. 1994. Evaporación en un suelo Haplustol éntico bajo dos sistemas de labranza. **Ciencia del Suelo**. 12: 17-21.
- DARWICH, N. 1989. Fósforo. **Manual de fertilidad de suelos**. 5: 54-83. Balcarce, Argentina.
- DARWICH, N. 1989. Materia Orgánica. **Manual de fertilidad de suelos**. 17-18. Balcarce, Argentina.
- 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.
- DÍAZ ZORITA, M. 2002. La fertilización de soja y trigo soja en la región pampeana: Red del proyecto fertilizar INTA. **Jornada de Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad 2002”**. 37-42. Rosario, Argentina.

- DÍAZ ZORITA, M. 2005. El cultivo en la rotación: Manejo de los recursos para la alta productividad de los sistemas agrícolas. En: www.planetasoja.com/trabajos. Consulta: 06-10-2006.
- DÍAZ ZORITA, M. y G. DUARTE. 2005. Rotación de cultivos y producción de soja. En: www.planetasoja.com/trabajos. Consulta: 06-10-2006.
- DRECCER, M. R. RUIZ, G. MADDONNI y E. SATORRE. 2003. En: Satorre, E. R, Vence Arnold. G, Slafer. E, de la Fuente. D, Miralles. M, Oteguiy R, Savin. **Producción de granos, Bases funcionales para su manejo**. 18:481-497. ed: Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Buenos Aires. Buenos Aires.
- ECHEVERRÍA, E. G. FERRARIS, G. GESTER, F. GUTIERREZ BOEM y F. SALVAGIOTTI. 2002. Fertilización en soja y trigo – soja; respuesta a la fertilización en la región pampeana. **Resultados de la red de ensayos del proyecto fertilizar-INTA campaña 2000/2001 y 2001/2001**. EEA INTA Pergamino.
- EGLI, D. 1998. Seed biology and yield grain crop. CAB, International Oxford. p 178.
- FAO. 2007. Faostat. En: www.fao.org. Consulta: 01-08-2007.
- FONTANETTO, H. H. VIVAS, O. KELLER, R. ALBRECHT, J. HOTIAN y J. BORSARELLI. 2002. Fertilización del doble cultivo trigo/soja. **Jornada de Actualización Técnica para Profesionales “Fertilidad 2002”**. 51-52. Rosario Argentina.
- FONTANETTO, H. H. VIVAS, R. ALBRECHT y J. HOTIAN. 2003. La fertilización con N, P y S y su residualidad en una secuencia agrícola de la región central de Santa Fe. Efecto sobre el rendimiento de granos. **Simposio: El Fósforo en la Agricultura Argentina**. 91-93. Rosario, Argentina.
- FORJÁN, H. 2003. Un cultivo necesario en la rotación. En:www.inta.gov.ar/barrow. Consulta: 06-10-2006.
- 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. **3º Congreso de Soja del Mercosur. Mesas Científico-Técnicas, Resúmenes Expandidos**. 53-56. Rosario, Argentina.
- GARCÍA, F. 2001. Balance y manejo de nutrientes en rotaciones agrícolas. **Publicación técnica AAPRESID: Rotación de cultivos en siembra directa. Diciembre 2001**. 59-68. Rosario, Argentina.
- GARCÍA, F. 2002. Soja: Nutrición del cultivo y fertilización. En: Baigorri, H y L. Segura (Ed). **Soja Actualización 2002**. EEA INTA, Marcos Juárez, Córdoba.
- GARCÍA, F. 2006. ¿Es negocio fertilizer soja?. En: www.ppi.ppic.org. Consulta: 06-10-2006.

- GARCÍA, F. M. BOXLER, J. MINTEGUIAGA, R. POZZI, L. FIRPO, G. DEZA MARÍN y A. BERARDO. 2007. Red de nutrición CREA Sur de Santa Fe-IPNI-ASP: Síntesis de resultados de los primeros seis años. **Simposio: Fertilidad 2007**. 36-39. Rosario, Argentina.
- GENTILETTI, A y F. GUTIÉRREZ BOEM. 2006. Fertilización azufrada del cultivo de soja en el centro-sur de Santa Fe. En: www.ppi.ppic.org. Consulta: 06-10-2006.
- GHIDA DAZA, C. 2005. Evolución del cultivo de soja en Argentina según zonas en el período 1990-1, 2004-5. En: www.inta.gov.ar/mjuarez. Consulta: 06-10-2006.
- GIORDA, L. 1997. La soja en la Argentina. En: Giorda, L y H. Baigorri. **El cultivo de la soja en Argentina**. 1:13-26. EEA INTA, Marcos Juárez, Argentina.
- GONZÁLEZ MONTANER, J. 2002. Cambios en el razonamiento es siembra directa: la visión sistémica aplicada a la nutrición y sus consecuencias sobre el balance de carbono. **Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2002"**. 12-18. Rosario, Argentina.
- GORGAS, G. y J. TASSILE. 2003 (comp). **Recursos naturales de la provincia de Córdoba: Los suelos**. EEA INTA Manfredi y Agencia Córdoba Ambiente.
- GUTIÉRREZ BOEM, F. 2003. Respuesta del cultivo de soja a la fertilización fosforada. **Simposio: El fósforo en la Agricultura Argentina**. 62-65. Rosario, Argentina.
- GUTIÉRREZ BOEM, F. F. SALVAGIOTTI, G. FERRARIS, A. QUIROGA, M. BARRACO, H. VIVAS, P. PRYSTUPA y H. ECHEVERRÍA. 2006. Identificación de sitios deficientes en azufre mediante el análisis de grano de soja. **3º Congreso de Soja del Mercosur. Mesas Científico-Técnicas, Resúmenes Expandidos**. 570-73. Rosario, Argentina.
- INTA. 1978. **Carta de suelos de la Republica Argentina**. Hoja 3363-17, Marcos Juarez.
- INTA. 1993. **Carta de suelos de la Republica Argentina**. Hoja 3363-21, Pascanas.
- 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.
- KANTOLIC, A. J. MERCAU, G. SLAFER y V. SADRAS. 2006. Simulación de la contribución al rendimiento de una mayor duración del período postfloración en soja. **3º Congreso de Soja del Mercosur. Mesas Científico-Técnicas, Resúmenes Expandidos**. 61-64. Rosario, Argentina.

- KANTOLIC, A. P. GIMENEZ y E. de la FUENTE. 2003. Ciclo ontogenico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en soja. En: Satorre, E. R, Vence Arnold. G, Slafer. E, de la Fuente. D, Miralles. M, Oteguiuy R, Savin. **Producción de granos, Bases funcionales para su manejo.** 9:167-201. ed: Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- KIRSCHAUM, R. 2004 (ed). Agricultura del siglo XXI. **El gran libro de la siembra directa.** 1:10-18. Clarín-UBA. Buenos Aires, Argentina.
- 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.
- LÓPEZ, S. N. GONZÁLEZ, G. STUDDERT y D. SANTOS. 2000. Soja: tipo de labranza, nitrógeno edáfico y nodulación. **Actas XXIII Reunión Argentina de fisiología vegetal.** 88-89. ed: UNRC. Río Cuarto, Argentina.
- MADDONNI, G. R. RUIZ, P. VILLARIÑO e I. GARCÍA de SALAMONE. 2003. Fertilización en los cultivos para granos. En: Satorre, E. R, Vence Arnold. G, Slafer. E, de la Fuente. D, Miralles. M, Oteguiuy R, Savin. **Producción de granos, Bases funcionales para su manejo.** 19:501-553. ed: Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Buenos Aires. Buenos Aires.
- MAGLIANO, V. 2006. Productividad de la sojabajo diferentes profundidades de napa freática en la región de Laboulaye. **Tesina de Grado.** UNRC. Río Cuarto, Argentina.
- MAGRIN, G. M. GRONDONA, M. TRAVASSO, D. BOULLON, G. RODRÍGUEZ y C. MESSINA. 1998. Impacto del fenómeno “El Niño” sobre la producción de cultivo en la Región Pampeana. INTA, Instituto de Clima y Agua, Cautelar, Argentina.
- 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.
- MARELLI, H. 1998. La siembra directa como práctica conservacionista. En: Panigatti, J.L., Marelli, H., Buschiazio, D. y R. Gil (Editores). **Siembra Directa.** 127-139. ed. Hemisferio Sur – INTA, Buenos Aires.
- MARTELLOTTO, E. H. SALAS y E. LOVERA(2006). El monocultivo de soja y la sustentabilidad de la agricultura cordobesa. En: www.fertilizando.com/articulos. Consulta: 06-10-2006.
- MARTIGNONE, R. M. ROMAGNOLI, I. BOSBACO y G. TUTTOLOMONDO. 2006. Efecto de la fecha de siembra sobre el comportamiento fenológico y agronómico en cultivares de soja de diferentes grupos de maduración. **3º Congreso de Soja del Mercosur. Mesas Científico-Técnicas, Resúmenes Expandido.:** 47-50. Rosario, Argentina.

- MARTÍNEZ, D. S. BOLOGNA, M. BONGIOVANNI, V. AMITRANO y S. ESCUDERO. 2006. Desarrollo y crecimiento de cultivares de soja en función de la napa freática en función de la fecha de siembra, en un ambiente con influencia de napa freática. **3º Congreso de soja del mercosur. Conferencias plenarias, Foros, Workshops.** 37-41, Rosario. Argentina.
- MARTÍNEZ, F. G. CORDONE y V. GUDELJ 2006. Fertilización en soja. Situación actual y perspectivas en Argentina, Bolivia y Uruguay. **3º Congreso de soja del mercosur. Conferencias plenarias, Foros, Workshops.** 93-98. Rosario. Argentina.
- MARTINI, E. y H. BAIGORRI. 2002. Manejo del cultivo de soja en suelos con influencia de Napa Freática. En: Baigorri, H y L. Segura (Ed). **Soja, Actualización 2002.** A1:9-13. EEA INTA Marcos Juárez, Argentina.
- 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.
- MELCHIORI, R. 2002. Fertilización de trigo, soja y maíz en Entre Ríos. **Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2002"**. 24-30. Rosario, Argentina.
- MÉNDEZ, J. O. GENTILI, M. BODRERO, J. ENRICO, J. ANDRIANI, S. BACIGALUPPO y A. MANLLA. 2004. Evaluación de cultivares de soja III y IV en siembra temprana. Campaña 2003/04. **Soja: para mejorar la producción. Campaña 2003/2004.** 27: 34-39. EEA INTA Oliveros, Argentina.
- MÉNDEZ, J. S. BACIGALUPPO, M. BODRERO, J. ENRICO, J. ANDRIANI, J. CAPURRO, O. GENTILI, N. TRENTINO y C. GONZÁLEZ. 2005. Siembra anticipada de soja GM III, IV y V indeterminados en el sur de la provincia de Santa Fe. Campaña 2004/05. **Soja: para mejorar la producción 2005.** 30: 18-23. EEA INTA Oliveros, Argentina.
- MENGEL, K. y E. KIRKBY. 2000. **Principios de nutrición vegetal.** 8: 339-350. Instituto Internacional del potasio. Basilea, Suiza.
- 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.
- 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.

- NORMAN, A. 1978. **Fisiología, mejoramiento, cultivo y utilización de la soja**. Ed. Hemisferio sur, Argentina.
- PELTZER, H. 2006. Efecto de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de genotipos de soja en siembra de primavera. **3º Congreso de Soja del Mercosur. Mesas Científico-Técnicas, Resúmenes Expandidos**. 5-8. Rosario, Argentina.
- PENGUE, W. 2001. Expansión de la soja en Argentina. Globalización, Desarrollo Agropecuario e Ingeniería Genética: Un modelo para armar. En: www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/. Consulta: 09-08-2007.
- POFFO, G. 2005. Comportamiento de cultivares de soja de diferentes grupos de madurez en relación a la fecha de siembra en la región de Achiras. **Tesina de Grado**. UNRC. Río Cuarto, Argentina.
- PPI 1999. Phosphorus for agricultura. Better Crops with Plant Food 83:37-39.
- QUINTERO, C. 2003. Capacidad de fijación de P del suelo y su efecto sobre la dosis a aplicar. **Simposio: El Fósforo en la Agricultura Argentina**. 73-75. Rosario, Argentina.
- 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.
- RANG, S., CISNEROS, J., MILANESIO, A., GIL, H. Y A. DEGIOANNI. 1999. Propuesta de Creación del Distrito de Ordenamiento Ambiental para el área al Sur de Laboulaye - Rosales - Leguizamón. **Informe de Becas para el Sector Productivo de Conicor**.
- ROMAGNOLI, J. 2003. *Inundaciones. Causas y consecuencias, su implicancia con la Siembra Directa*. **4º Fiesta Nacional de la Siembra Directa**. Agosto de 2003. Monte Buey, Córdoba.
- SADRAS, V. M. FERREIRO, F. GUTHEIM y A. KANTOLIC. 2000. Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo. En: Andrade, H y V. Sadras (Ed). **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja**. 2:29-69. Editorial medica Panamericana, Argentina.
- SAGPyA. 2007. Estimaciones Agrícolas Soja . En: www.sagpya.mecon.gov.ar/. Consulta: 06-05-2007.
- SALADO NAVARRO, L. T. SINCLAIR, R. RODRÍGUEZ y M. DILASCIO. 2006. Simulaciones de soja en Argentina. I. Variación interanual del rendimiento. **3º Congreso de Soja del Mercosur. Mesas Científico-Técnicas, Resúmenes Expandidos**. 25-28. Rosario, 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.
- SALVAGIOTTI, F. 2004. Análisis de la respuesta a la fertilización con azufre en soja de primera. **Soja: para mejorar la producción. Campaña 2003/2004**. 80-83. EEA INTA Oliveros, Argentina.
- SALVAGIOTTI, F. G. GERSTER, S. BACIGALUPPO, J. CASTELLARÍN, C. GALARZA, N. GONZÁLES, V. GUDELJ, O. NOVELLO y P. VALLONE. 2003. Evaluación del momento de aplicación de fósforo y azufre en la secuencia trigo/soja. **Simposio: El Fósforo en la Agricultura Argentina**. 97-98. Rosario, Argentina.
- SÁNCHEZ, M y S. MUÑOZ. 2006. Desarrollo y crecimiento de cultivares de soja de GM III al V en 9 fechas de siembra. Monte Buey (Córdoba). Campaña 05/06. . **Región CREA Sur de Santa Fe, Soja 2005/06**. 34-38.
- SANCHEZ, M. y ASCHERI, L. 2006. Explorando Deficiencias de Azufre en Soja en el Sudeste de Córdoba. En: www.planetasoja.com/trabajos. Consulta: 06-10-2006.
- SANTOS, D y G. STUDDERT. 2000. Soja: crecimiento compensatorio y nutrición nitrogenada bajo siembra directa. **Actas XXIII Reunión Argentina de fisiología vegetal**. 86-87. ed: UNRC. Río Cuarto, Argentina.
- SANTOS, D. B. FERRARI, D. FRESOLI, P. BERET, R. BENAVIDEZ, R. VICENTIN, M. DELLA, M. MONDINO, G. SALAS, S. LUSTIG, M. ANTONGIOVANI, M. DEVANI, F. LEDESMA, M. LIZONDO, L. ERAZZU, L. SALINES, H. BAIGORRÍ, C. NARI, R. ROSSI, L. SALADO NAVARRO, J. DOLINKUE, R. WRIGHT, L. CURTI, O. SANMARTIN y A. de la VEGA. 2006. Ganancia genética en soja en Argentina entre 1980 y 2000. **3º Congreso de Soja del Mercosur. Mesas Científico-Técnicas, Resúmenes Expandidos**. 196-200. Rosario, Argentina.
- SELLES, F. 2003. Influencia de la siembra directa en la dinámica del fósforo en el suelo. **Simposio: El Fósforo en la Agricultura Argentina**. 12-19. Rosario, Argentina.
- SHAVER, T. G. PETERSON Y L. SHERROD. 2003. Cropping intensification in dryland systems improves soil physical properties: regression relations. **Geoderma**. 116: 149-164.
- SIERRA, E y S. PÉREZ. 2006. Tendencias del régimen de precipitación y el manejo sustentable de los agroecosistemas: estudio de un caso en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. **Revista de climatología**. 6:1-12.
- 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.

- TERRY, R. 2003. Fósforo en agricultura: Aspectos ambientales. **Simposio: El Fósforo en la Agricultura Argentina**. 45-50. Rosario, Argentina.
- TIESSEN, H. 2003. Ciclado y disponibilidad de fosforo; Manejando procesos y cantidades. **Simposio: El Fósforo en la Agricultura Argentina**. 8-11. Rosario, Argentina.
- VIDELA MENEGUE, H. 2006. Producción de soja en suelos con napa freática somera en el departamento Roque Sáez Peña (Córdoba). **Tesis de Grado**. UNRC. Río Cuarto, Argentina.
- ZAMUNER, E. L. PICONE y H. ECHEVERRÍA. 2003. Profundidad de muestreo de suelo: relación del rendimiento con el fósforo disponible. **Simposio: El Fósforo en la Agricultura Argentina**. 84. Rosario, Argentina.
- HURTADO, R., M. FERNÁNDEZ LONG. y G. BARBERIS. 2006. Balance hidrológico climático, Balance hidrológico seriado y Programa para el cálculo de parámetros astronómicos. www.agro.uba.ar/catedras/clima/info.htm. Consulta: 10/06/2006.