



Universidad de Ciencias  
Empresariales y Sociales



Instituto Nacional  
de Tecnología  
Agropecuaria

Maestría en Estudios Ambientales

Tesis

**ESTUDIO DEL CAMBIO EN LA DEMANDA DE AGUA  
PARA RIEGO Y SU IMPACTO EN LOS ACUÍFEROS:  
APLICACIÓN PARA EL PARTIDO DE ROJAS, BUENOS  
AIRES**

Alumna: Licenciada María Soledad Tamburrino

Director: Dr. Carlos Marcelo Di Bella

Codirector: MSc. Roberto De Ruyver

Buenos Aires, Julio de 2008

## **Agradecimientos**

Quisiera expresar mi agradecimiento a todas las personas que me han prestado su ayuda para que sea posible el desarrollo de este trabajo.

En primer lugar quisiera mencionar que este trabajo fue posible gracias al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

A mi director de Tesis Carlos Di Bella, por su ayuda en todas las etapas de este estudio y a mi codirector Roberto De Ruyver, por su paciencia y tiempo dedicado a este trabajo.

A mis compañeros del Instituto de Clima y Agua de INTA Castelar que me han ayudado siempre con gran voluntad, a Tomás Hartmann mi director de beca INTA, Gabriela Posse, Rafael Rodríguez, Graciela Rébori, Emiliano Melchiori, Graciela Casenave, Graciela Galvani, Teresa Boca, Francisco Damiano y Gabriel Rodríguez.

A mi hermano Mariano, ya que su ayuda fue fundamental para el desarrollo de la tesis.

Gracias a Mariano Lopresti de INTA Pergamino y a Adrián Silva Busso de INA.

A José, a mis hijos Francisco y Fátima y a toda mi familia que me acompañaron en estos años de trabajo.

A todos ellos, muchas gracias

## Resumen

El presente estudio se llevó a cabo para el partido de Rojas, ubicado al norte de la provincia de Buenos Aires, en la Región Pampeana. En este partido en los últimos 15 años se produjo un incremento muy significativo de la superficie bajo riego, específicamente el riego por aspersión con pivote central (510%). A su vez este aumento fue el más alto de la Región.

El riego es la actividad humana que demanda el mayor porcentaje de agua. En Argentina esta actividad utiliza el 75% del total del agua consumida. Inevitablemente, la intensa explotación agrícola del agua puede crear una gran tensión en los recursos hídricos y competencia con los demás usos, industrial y abastecimiento humano. Por este motivo, y por el aumento de la superficie irrigada registrado en Rojas, las reservas de los acuíferos Pampeano y Puelches que se emplazan en el partido podrían estar en riesgo de ser sobreexplotadas.

Existen varios factores que influyen en la demanda de agua para riego. Entre ellos se encuentran la cantidad de superficie irrigada, las condiciones climáticas de la zona de estudio alteradas por la alternancia de años con escasas y abundantes precipitaciones, las estrategias de manejo del agua de riego y los tipos de cultivos sembrados, que poseen distintos requerimientos hídricos. Asimismo, se desconoce el volumen que se extrae actualmente en la zona para este fin. Esto hace preciso en primer lugar, estimar la extracción de agua que se efectúa y en segundo lugar analizar el cambio en la demanda de agua subterránea para riego causado por la superficie irrigada, la variabilidad de precipitaciones, distintas estrategias de manejo del riego y los tipos de cultivos sembrados, evaluando su impacto en los acuíferos.

Las herramientas aplicadas en este estudio han sido la teledetección, los Sistemas de Información Geográfica y el modelo de simulación agronómica DSSAT (versión 3.5). De este modo se han analizado una serie de escenarios que combinaron de distinto modo los cuatro factores que influyen en el uso de agua para riego para evaluar el cambio en la demanda de agua originado por cada uno de ellos. Asimismo, se comparó la extracción de agua ocasionada por cada escenario planteado con el valor de las reservas renovables de los acuíferos, pudiendo determinar las situaciones que producirían sobreexplotación del recurso hídrico.

Se concluyó que dada la superficie actual bajo riego en el Partido no se pondría en riesgo la sustentabilidad de los acuíferos, independientemente del valor que tomen los demás factores. Actualmente se está explotando para riego un porcentaje menor al 10% de las reservas renovables. La superficie bajo riego a partir de la cual se produciría sobreexplotación sería el 30% de la superficie del partido. A pesar de esto, los cambios en la demanda de agua producidos por la variación de cada uno de los factores son significativos. Por ello, si se quiere llevar a cabo una planificación sustentable del uso del agua para riego, todos los factores deben ser considerados. En lo que respecta a la variabilidad de precipitaciones, el volumen de agua demandado difiere en una baja magnitud entre un año con escasas precipitaciones y un año con características medias. Pero se encontró una diferencia notable entre este tipo de años y un año con abundantes precipitaciones. El tipo de estrategia de manejo del riego también presentó diferencias notorias. La estrategia de manejo de bajo uso de agua resultó ser la más eficiente en el uso del recurso debido a que si aumenta el agua aplicada como en las estrategias de medio y alto uso, el rendimiento lo hace en un porcentaje mínimo. Se determinó que los distintos cultivos y secuencias de cultivos demandan diferentes cantidades de agua. La secuencia trigo / maíz es la de mayor requerimiento hídrico, seguida por la secuencia trigo / soja, en tercer lugar se encuentra el maíz, en cuarto lugar la soja y por último el trigo.

Los conocimientos alcanzados en este trabajo permitirían llevar a cabo una gestión sustentable del agua para riego. Se debería utilizar una estrategia de riego de bajo uso de agua, sembrar cultivos variados que presenten distintos requerimientos hídricos y por último, mediante las tendencias climáticas que permiten conocer la característica del año siguiente en lo que respecta a precipitaciones se podría expandir o limitar el área irrigada a nivel regional.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	8
1.1 Objetivo.....	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Hipótesis .....	15
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
2.1 Descripción del área de estudio .....	16
2.1.1 Localización .....	16
2.1.2 Relieve.....	17
2.1.2 Suelos.....	17
2.1.2.1 Reseña geológica .....	17
2.1.2.2 Clasificación del suelo .....	17
2.1.3 Clima.....	19
2.1.3.1 Temperaturas .....	20
2.1.3.2 Heladas.....	20
2.1.3.3 Precipitaciones .....	20
2.1.3.4 Radiación Global .....	21
2.1.3.5 Evapotranspiración potencial.....	22
2.1.4 Aguas superficiales.....	23
2.1.5 Aguas subterráneas.....	24
2.1.6 Actividad agropecuaria .....	26
2.1.7 Población .....	27
2.2 Información satelital.....	28
2.2.1 Selección de imágenes satelitales.....	28
2.2.2 Identificación de áreas bajo riego .....	29
2.2.3 Clasificación de cultivos.....	31
2.3 Generación y recolección de información de entrada para el modelo de simulación DSSAT .....	32
2.3.1 Descripción del modelo DSSAT .....	32
2.3.2 Estructura de archivos .....	37

2.3.2.1 Datos de entrada .....	37
2.3.2.1.1 Datos climáticos.....	37
2.3.2.1.2 Suelos.....	37
2.3.2.1.3 Genotipos .....	39
2.3.2.2 Archivos de experimento .....	40
2.3.2.2.1 Determinación de las condiciones iniciales de la simulación.....	40
2.3.2.2.2 Definición del manejo de los cultivos.....	41
2.3.2.2.3 Controles de simulación .....	41
2.3.2.3 Archivos de salida.....	43
2.3.3 Definición de escenarios para el análisis del cambio en la demanda de agua para riego y su impacto en los acuíferos .....	43
2.3.3.1 Descripción de los escenarios .....	46
2.3.3.1.1 Escenario actual .....	46
2.3.3.1.2 Escenarios que analizan el efecto de la superficie bajo riego.....	46
2.3.3.1.3 Escenarios que analizan el efecto de la variabilidad de las precipitaciones .....	47
2.3.3.1.4 Escenarios que analizan el efecto de las estrategias de manejo del agua de riego .....	50
2.3.3.1.5 Escenarios que analizan el efecto de la distribución de cultivos.....	52
2.3.3.1.6 Escenarios que analizan las situaciones extremas de impacto para los acuíferos.....	52
2.3.3.1.7 Escenarios que analizan el efecto del riego en toda la superficie con potencial .....	53
2.3.3.1.8 Escenarios que determinan las superficies críticas bajo riego.....	53
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	54
3.1 Validación de la aplicación del modelo DSSAT.....	54
3.2 Demanda de agua para riego e impacto en las reservas de los acuíferos.....	54
3.2.1 Análisis de la superficie bajo riego .....	54

3.2.1.1 Superficie bajo riego al año 2007 .....	54
3.2.1.2 Análisis de escenarios .....	56
3.2.2 Análisis de la variabilidad de precipitaciones .....	57
3.2.2.1 Resultados generales .....	57
3.2.2.2 Análisis de escenarios .....	62
3.2.3 Análisis de las estrategias de manejo del riego.....	63
3.2.3.1 Resultados generales .....	63
3.2.3.2 Análisis de escenarios .....	67
3.2.4 Análisis de los tipos de cultivos sembrados .....	68
3.2.4.1 Resultados generales .....	68
3.2.4.2 Análisis de escenarios .....	70
3.2.5 Situaciones extremas .....	71
3.2.6 Escenarios con riego en toda la superficie con potencial.....	72
3.2.7 Determinación de superficies críticas bajo riego .....	72
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	74
5. BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXOS.....	87

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe en la Región Pampeana un proceso histórico de transformación de la tierra, que comenzó a finales del siglo XIX con la continua conversión de pastizales naturales en pasturas y cultivos (Viglizzo, Lértora, Pordomingo, Bernardos, Roberto y Del Valle, 2001). En los últimos 15 años la globalización de la economía ha transformado la actividad agropecuaria aún de manera más significativa debido principalmente a la introducción de semillas transgénicas, el manejo de malezas mediante herbicidas totales que no afectan a los cultivos, la forma de arar la tierra, el aumento de la aplicación de los fertilizantes y los nuevos sistemas de riego (aspersión y goteo), entre otros. Estas modificaciones han permitido incrementar la producción, ya sea por el aumento de los rendimientos así como también por la ampliación de la superficie agrícola (Oesterheld, 2006).

Dentro de estas prácticas, el riego complementario se ha extendido principalmente y de manera notable en la zona norte de la provincia de Buenos Aires y centro sur de la provincia de Santa Fe (SAGPyA, 1995). Precisamente en el partido de Rojas, el riego por pivote central (ramales de riego por aspersión con desplazamiento circular) aumentó de 1000 a 5100 ha (510%) entre los años 1996 y 2007. Los argumentos de difusión de esta tecnología se basaron en los precios ventajosos de los “commodities”, la intensificación del manejo productivo de los establecimientos agrícolas, las posibilidades de amortización del equipamiento en cortos períodos de tiempo, la disminución del riesgo y el aumento y estabilidad de los rendimientos físicos ante las condiciones climáticas alteradas por la alternancia de años con escasas y con excesos de precipitaciones (SAGPyA, 1995). En esta región, el coeficiente de variación interanual de precipitaciones es de 23 %, siendo el 15 % el límite que puede ser tomado como indicador de patrón de precipitaciones estable (Hall, Rebella, Ghera y Culot, 1992). A su vez, ocurren sequías estacionales, que coinciden con las fases de mayor sensibilidad a la falta de agua de los principales cultivos de la zona (Maturano, 2002). Asimismo, la disponibilidad de agua subterránea de buena calidad proveniente de los acuíferos Pampeano y Puelches (Auge y Castilla, 2002), contribuyó al crecimiento de esta práctica.



A pesar de este incremento se desconocen las características del manejo del riego. De acuerdo a una encuesta sobre Riego Complementario en Cultivos Extensivos en el Norte de la Provincia de Buenos Aires, no se hace un uso eficiente del agua de riego, ni se apunta a la conservación de los recursos suelo y agua. A su vez, la provincia de Buenos Aires cuenta desde 1999 con un Código de Aguas (Ley 12257) que obliga a los establecimientos que riegan a declarar cada pozo de extracción y comunicar mensualmente los caudales y volúmenes de agua utilizados (artículo 16). Pero según la Autoridad del Agua de la provincia de Buenos Aires, no se cumple ni siquiera parcialmente. Por lo tanto, no hay datos cuantitativos sobre el agua que se extrae de los acuíferos en la zona (Maturano, 2002).

Se debe tener en cuenta también que el riego es la actividad humana que a nivel mundial demanda el mayor porcentaje de agua. En Argentina esta actividad demanda el 75% del total del agua consumida, por otra parte el uso industrial lo hace en un 16% y el abastecimiento humano en un 9% (FAO, 1995). Inevitablemente, la intensa explotación agrícola del agua puede crear una gran tensión en los recursos hídricos y competencia con los demás usos.

En este contexto, el aumento de la superficie regada, la variabilidad interanual y estacional de las precipitaciones, las estrategias de aplicación de agua poco eficientes y el desconocimiento del manejo de los acuíferos, pueden impedir un uso sustentable del recurso hídrico. Esto puede provocar sobreexplotación o abatimiento de los mismos, afectando a los usuarios tradicionales de las surgencias naturales de los sistemas. Asimismo, la sobreexplotación puede ocasionar aumentos de la profundidad de extracción, de los equipos de bombeo y del consumo energético, incrementar la compactación inducida del terreno o inducir procesos contaminantes que pueden afectar a sectores del acuífero que no lo estarían en régimen natural (Pulido Bosch, 1998)

Por lo tanto, existe una necesidad de obtener un balance entre el crecimiento económico de la región y el uso sustentable del agua subterránea. Para lograrlo, resulta inevitable un ordenamiento de la gestión de la oferta y la demanda del agua en el marco de una gestión integral sustentable. Esto hace preciso en primer lugar, determinar las áreas regadas,

cuantificar la superficie y proyectarla a futuro. En segundo lugar, es necesario estimar el consumo hídrico actual ya que se desconoce, proyectando el impacto que provocaría en los acuíferos la incorporación de nuevas hectáreas bajo riego, la variabilidad de las precipitaciones interanuales, distintas estrategias de manejo del riego y el tipo de cultivos sembrados. Conociendo el valor de las reservas renovables anuales, que representan la cantidad de agua almacenada por los acuíferos en condiciones de recargarse por alimentación natural (precipitaciones o recarga por agua superficial) en un período determinado (Santa Cruz y Silva Busso, 1995), se podría evaluar si el recurso estaría siendo explotado en forma sustentable o estaría siendo sobreexplotado. La sobreexplotación de un acuífero se puede definir como la extracción del agua del mismo en una cantidad superior a la correspondiente a su alimentación (Pulido Bosch, 1998).

Por ello, la teledetección, los sistemas de información geográfica y los modelos de simulación agronómica son herramientas fundamentales para conocer y evaluar usos actuales, futuros o hipotéticos de los acuíferos y en base a ello planificar una gestión sustentable del recurso hídrico subterráneo destinado a riego.

La teledetección, mediante la utilización de sensores remotos, permite obtener información en distintas escalas temporales y espaciales de las características de la superficie terrestre y de los fenómenos que en ella se producen. Esto sucede debido a que los objetos emiten y / o reflejan radiación electromagnética como consecuencia de su interacción con las fuentes de energía propias o externas. Así, cada elemento tendrá una respuesta espectral propia, en términos de energía reflejada y energía emitida, lo que se conoce como su firma espectral. De este modo, la teledetección estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de la superficie terrestre (Chuvienco, 2007).

Entre los principales sensores de observación de la tierra se encuentran el sensor TM del satélite Landsat, sensor VHR del satélite SPOT, sensor AVHRR del satélite NOAA, entre otros. Los mismos proveen información sobre el uso del suelo, área irrigada, tipo de cultivo, desarrollo de biomasa, rendimiento de cosechas, evapotranspiración y salinización, etc (Bastiaanssen, Molen y Makin, 2000).

Entre la información obtenida, la captada en las bandas visibles, especialmente la zona del rojo (entre 0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$ ) e infrarrojo cercano (entre 0.7 – 1.3  $\mu\text{m}$ ) del espectro electromagnético, permite diferenciar de manera indirecta los distintos tipos y estado de las coberturas vegetales (Guerschman, Paruelo, Di Bella, Giallorenzi y Pacin, 2003). Esto se debe al contraste provocado por la baja reflectividad en las bandas visibles (especialmente la porción roja del espectro) debido al efecto absorbente de los pigmentos de las hojas y a la alta reflectividad en el infrarrojo cercano por la baja absorción de las clorofilas y por la presencia de cavidades de aire internas en las hojas que dispersan la mayor parte de la radiación incidente en esta porción del espectro electromagnético. Asimismo, la banda correspondiente al infrarrojo medio (entre 1.3 a 3.7  $\mu\text{m}$ ) permite estimar el contenido de humedad en la vegetación o en los suelos. De esta manera, debido principalmente al alto contraste de las dos bandas mencionadas por el estado vigoroso de la vegetación ocasionado por la aplicación de agua de riego, produce altos valores de índice de área foliar (IAF) y al índice de vegetación normalizado diferencial (NDVI), lo cual permite identificar áreas irrigadas (Chuvieco, 2007) (Figura 1).

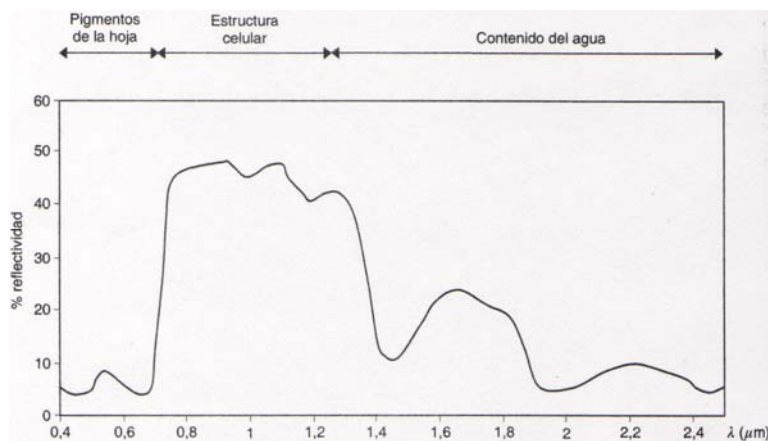


Figura N° 1: Factores que explican la reflectividad de la hoja (Chuvieco, 2007).

La teledetección se puede integrar con datos complementarios en un Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual puede definirse como una esfera que permite almacenar, manipular, procesar y representar gráficamente la información (no espectral) que está referenciada geográficamente. Ésta puede tratarse de mapas de suelos, límites

administrativos, parcelas catastrales o datos climáticos, entre otros, por lo que todas estas variables pueden relacionarse de maneras diversas. La información que contiene un SIG se almacena en formato digital. A su vez está compuesto por equipos especializados en el manejo de información espacial y una serie de programas que permiten realizar diversas transformaciones a partir de las variables espaciales introducidas al sistema (Chuvienco, 2007).

Un ejemplo de aplicación de las dos herramientas mencionadas para el cálculo del agua extraída para riego, es el estudio llevado a cabo por Montesinos (1990). En éste se calcula el volumen de agua subterránea extraído superponiendo el catastro digital de las explotaciones inscritas en el Registro de aprovechamientos de aguas privadas, que toman agua de los acuíferos de la Mancha Occidental, con la clasificación de cultivos de la zona. Considerando la aplicación de dotaciones teóricas estándar ( $m^3/ha/año$ ) para cada cultivo, se cuantifica el volumen de agua extraído.

La tercera herramienta fundamental para la realización de este estudio son los modelos de simulación agronómica. Estos combinan en su estructura formalizada matemáticamente, cierto detalle sobre como actuarían los principales procesos que explican el funcionamiento del sistema, con reglas empíricas robustas, que reducen complejos mecanismos a un valor que se mantiene inalterado para los sistemas modelados. Los modelos acotan su dominio de aplicación al sistema para los que fueron diseñados, sin embargo, ese sistema generalmente es un cultivo en cualquiera de los sitios donde se lo pueda cultivar y bajo diversas tecnologías de producción (Mercau, 2005). Tienen varias aplicaciones actuales y potenciales en respuesta a temas relacionados con investigación de cultivos y sistemas de cultivos (exploración de efectos de alteraciones en el desarrollo sobre la seguridad y nivel de cosecha, definición de niveles de rendimiento potenciales, etc), toma de decisiones de manejo (fechas de siembra óptimas, fertilización, riego, etc) y planificación (evaluación de efectos de variabilidades climáticas, evaluación de alternativas de producción sustentables, entre otros) (Boote, Jones y Pickering, 1996).

En la práctica, la mayoría de los modelos de simulación constituyen un compromiso entre rigor científico y utilidad (Monteith, 1996).

El modelo de simulación agronómica más utilizado para los cultivos de trigo, maíz y soja es DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (Boote, Jones, Hoogenboom y Pickering, 1998). El entorno DSSAT (versión 3.5) alberga los modelos Ceres, específico para cereales (trigo, maíz, arroz, cebada, sorgo) y Cropgro, para legumbres (soja, maní, garbanzo) que simulan desarrollo vegetativo, producción del cultivo, balance hídrico, de nitrógeno y de carbono. Una de las principales ventajas de este modelo es que puede ser utilizado como herramienta de planificación por su capacidad de predecir de manera rápida y con bajo costo económico, el desarrollo de los cultivos y su impacto en el medio (procesos de erosión, contaminación por agroquímicos, etc) como resultado de prácticas culturales. Contribuyendo de este modo al desarrollo de una agricultura sustentable (FAIR 1 CT95-0088. 1999). Específicamente en lo que respecta al riego, estos modelos permiten estudiar el efecto del riego sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos y optimizar este tipo de práctica para un sitio (Jones y Ritchie, 1991). Las desventajas de los modelos es que pueden no incorporar o incorporan en forma inadecuada elementos e interacciones que son determinantes del resultado del cultivo real. Por ejemplo CROPGRO supone que el fósforo no es limitante por lo que no simula la dinámica del fósforo en el sistema (Mercau, 2005). Otro punto a tener en cuenta es que debido a que el modelo es una simplificación de la realidad, las estimaciones de los rendimientos como los procesos simulados por los cuales el modelo llegó a los mismos se asemejan, pero no son iguales a los datos reales. Existen numerosos trabajos donde se llevan a cabo validaciones de los modelos referidos a distintos factores estimados por éste, como el rendimiento, las necesidades de agua, la evapotranspiración, el índice de área foliar, etc. Entre estos se encuentran: Mercau, Dardanelli, Collino, Andriani, Irigoyen y Satorre, (2006), Monzón, Sadras, Abbate y Caviglia, (2007), Nijbroek, Hoogenboom y Jones, (2003), Boote, Jones y Batchelor, (2001) y Otegui, Ruiz y Petruzzi, (1996). Los resultados de estos estudios muestran la adecuada estimación efectuada por los modelos.

Así, el modelo DSSAT ha sido aplicado exitosamente para una serie de tareas, incluidas la estimación del uso del agua por los cultivos en función de la variabilidad climática (Alexandrov y Hoogenboom, 2000), la planificación del riego (MacRobert y Savage, 1998) y la

relación entre el consumo de agua para riego y las variaciones medidas de los niveles piezométricos de las aguas subterráneas (Yang, Watanabe, Zhang, X., Hao y Zhang, J., 2006). Pero estos últimos trabajos han aplicado el modelo en sitios específicos y de poca superficie (lotes o parcelas), sin el uso de teledetección y SIG.

En cambio, el estudio realizado por Heinemann, Hoogenboom y Faria (2002) estima las necesidades fisiológicas de agua de los cultivos a través del DSSAT y genera un SIG que permite observar la información espacializada de las necesidades de agua de todos los cultivos que forman parte de una región para una serie de tiempo específico.

Es de destacar la importancia de aplicar modelos de simulación en conjunto con SIG, ya que incrementa el alcance de estos modelos para manejos y planificaciones regionales (Heinemann y otros, 2002), permitiendo la identificación de problemas ambientales o en la producción (Maturano, 2002).

### **1.1 Objetivo general**

Desde una visión regional de la gestión sustentable de los recursos hídricos, el objetivo principal del presente trabajo es estudiar el cambio en la demanda de agua subterránea para riego causado por la superficie dedicada a riego, la variabilidad de precipitaciones, las estrategias de manejo del riego y los tipos de cultivos sembrados, y evaluar su impacto en los acuíferos.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Determinar si la superficie actual bajo riego produce sobreexplotación de acuíferos.
- Establecer la superficie crítica a partir de la cual se produciría sobreexplotación de acuíferos.
- Determinar si la característica anual de las precipitaciones está directamente relacionada con la cantidad de agua para riego demandada en ese período (menor cantidad anual de precipitaciones, mayor demandad de agua para riego y vs)

- Identificar la estrategia de manejo del riego más eficiente para cada cultivo en lo que respecta a uso del agua y rendimiento agrícola.
- Analizar si el cambio en los tipos de cultivos sembrados es significativo en el volumen de agua demandado.

### **1.3 Hipótesis**

La cantidad de superficie irrigada, la variabilidad de precipitaciones, las estrategias de manejo del riego y los tipos de cultivos sembrados afectan el volumen de agua subterránea que se extrae para riego.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Descripción del área de estudio

Se ha seleccionado el partido de Rojas ya que es uno de los partidos con mayor superficie dedicada a riego y uno de los ámbitos de la provincia de Buenos Aires donde se produjo un importante crecimiento de la superficie regada en los últimos 10 años. Específicamente el riego por aspersión por pivote central (anexo 1, página 88) que es el sistema más utilizado en este lugar (69% del riego se realiza con este método, según datos del CNA 2002) aumentó de 1000 ha en el año 1996 a 5100 ha en el año 2007, según el análisis de imágenes satelitales.

#### 2.1.1 Localización

Este partido se encuentra ubicado al norte de la provincia de Buenos Aires entre los paralelos  $33^{\circ} 52'$  y  $34^{\circ} 30'$  Sur y entre los meridianos  $60^{\circ} 28'$  y  $61^{\circ} 07'$  Oeste, con una superficie de 205.000 ha, en el área que se denomina Pampa Ondulada (Fig. 2).

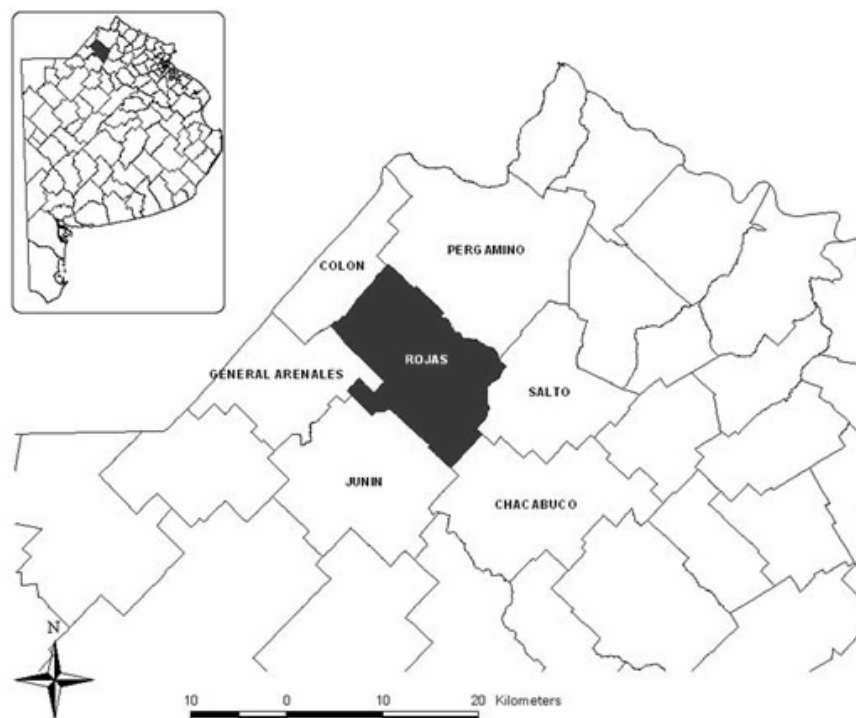


Figura N° 2: Ubicación geográfica del partido de Rojas (INTA, 2006).



## **2.1.2 Relieve**

La Pampa Ondulada constituye una unidad fisiográfica caracterizada por un relieve predominantemente ondulado recortado por cañadas, arroyos y ríos. Las pendientes en la zona del partido de Rojas no alcanzan el 2%. El aspecto general del paisaje del partido es el de una planicie con interfluvios planos recortada por los cauces de sus dos cursos principales (INTA, 1974).

## **2.1.3 Suelos**

### **2.1.3.1 Reseña geológica**

Los suelos de la zona están representados por sedimentos loésicos de textura predominantemente franco limosa, ricos en minerales (INTA, 1974).

### **2.1.2.2 Clasificación del suelo**

La mayor parte del territorio (95%) está compuesta por suelos que pertenecen al orden mollisol, suborden ustol, gran grupo argiudol y subgrupo típico (Clasificación Taxonómica Americana), siendo las series son Rojas (173941 has), Arroyo Dulce (8232 has), Delgado (14031 has) y Carabelas (9649 has) con sus sub-series o fases (Fig. 3). Puede verse la caracterización del perfil de cada serie en anexo 2, página 90. En general, son suelos fértiles, profundos, ricos en nutrientes, poseen buena capacidad de retención de agua y alta productividad bajo un manejo adecuado. En cuanto a la capacidad de uso, en Rojas hay un 56% de superficie con suelos clase I (mayor capacidad agrícola) y un 23% con suelos clase II (con susceptibilidad a la erosión). El 21% restante son suelos clase VI y VII, con mayores restricciones para la actividad agrícola por ser suelos mal drenados, alcalinos, salinos, etc.) (INTA, 1974) (Fig. 4).

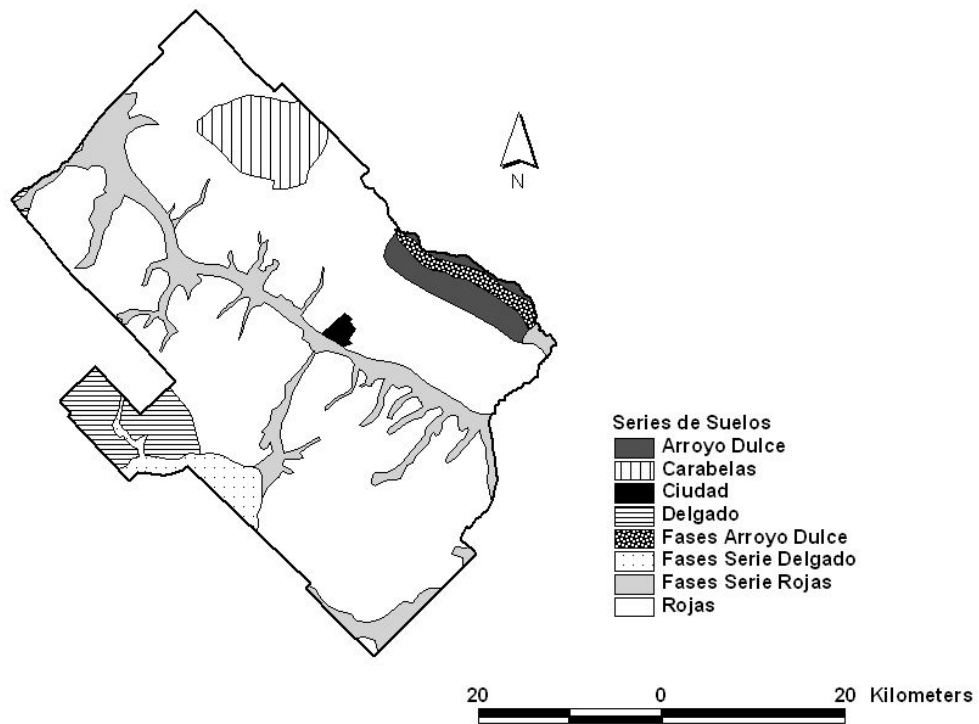


Figura N° 3: Distribución de Series y fases de series de los suelos presentes en el partido de Rojas (Elaboración propia con datos de la Carta de Suelos, INTA 1974).

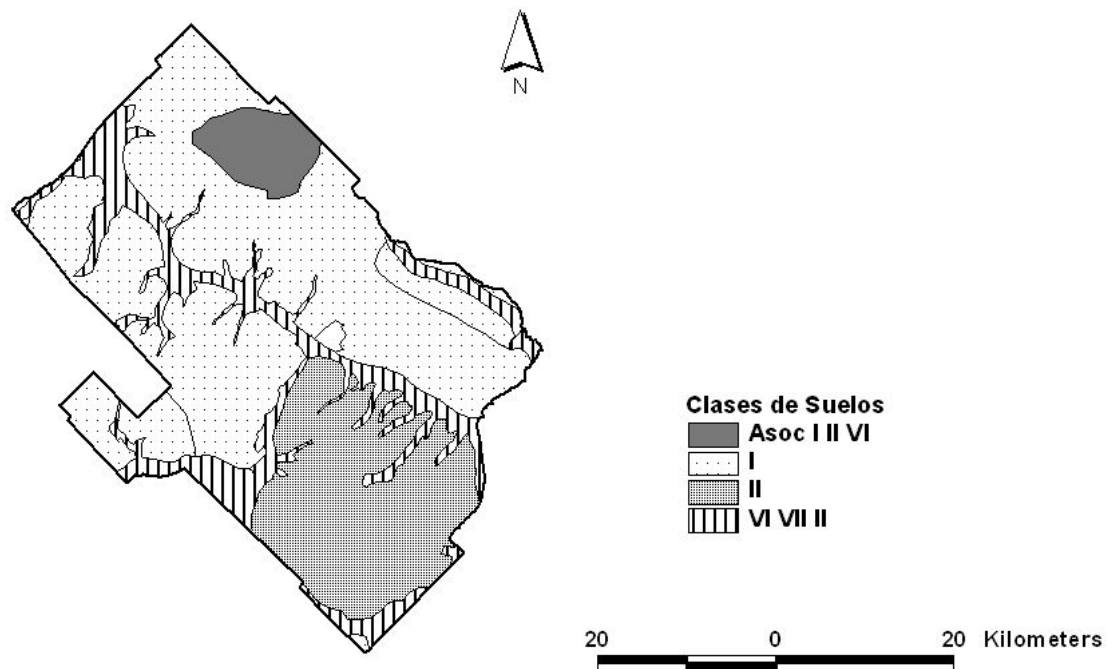


Figura N° 4: Distribución de las clases de suelos definidos por su capacidad de uso (Elaboración propia con datos de la Carta de Suelos, INTA 1974).

#### 2.1.4 Clima

Según la clasificación de Koeppen, el área de estudio corresponde a un clima subtropical húmedo caracterizado por un verano muy cálido sin estación húmeda (Guevara, 1991).

Dado que no existe en Rojas una estación meteorológica, se describieron las características climáticas correspondientes a Pergamino, ya que las condiciones son similares a las de Rojas (Otegui y otros, 1996). Esto se debe principalmente a que son localidades lindantes que presentan una distancia entre los puntos centrales de ambos partidos de 40 km. Asimismo, no existen pendientes pronunciadas (entre 0 y 1 %) que puedan influir en los fenómenos climáticos (INTA, 1974). También hay que tener en cuenta que los fenómenos climáticos son de tipo homogéneo en este rango de distancias.

### 2.1.4.1 Temperaturas

Pergamino posee una temperatura media anual de 16.7 °C. El mes más cálido es enero, con una temperatura media de 23 °C para la serie 1967 a 2007 (Fig. 5). Los meses más fríos son junio y julio, con temperaturas medias alrededor de 9 a 10 °C. La amplitud anual de la temperatura aumenta de Este a Oeste, de 12 a 15 °C.

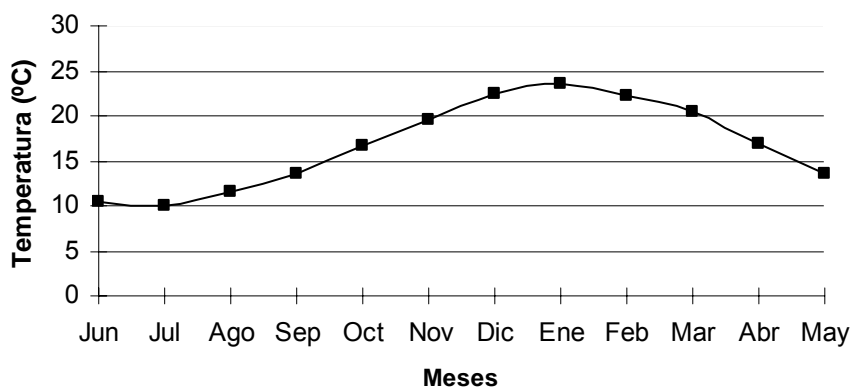


Figura N° 5: Temperaturas medias mensuales para la serie de datos 1967 a 2007 (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

### 2.1.4.2 Heladas

El período libre de heladas varía de 180 a 260 días por año, con una marcada variabilidad interanual. Dos de cada 10 años tienen un riesgo de heladas a fines de septiembre, en el norte, y justo a mediados de octubre, en el sur de la región. Pergamino, situado en el centro de la misma, presenta una frecuencia media de 6 días de heladas por año, con una temperatura mínima que puede llegar a  $-5.5$  °C (Maturano, 2002).

### 2.1.4.3 Precipitaciones

El valor de la precipitación anual media es de 1020 mm para un total de 41 años (serie 1967 a 2007). Los coeficientes de variación para valores medios mensuales usualmente excede el 70% (Hall y otros, 1992) (Fig. 6). El coeficiente

de variación interanual es de 18% para la serie 1910 a 1980 (Hall y otros, 1992) y de 23% para la serie 1967 a 2007.

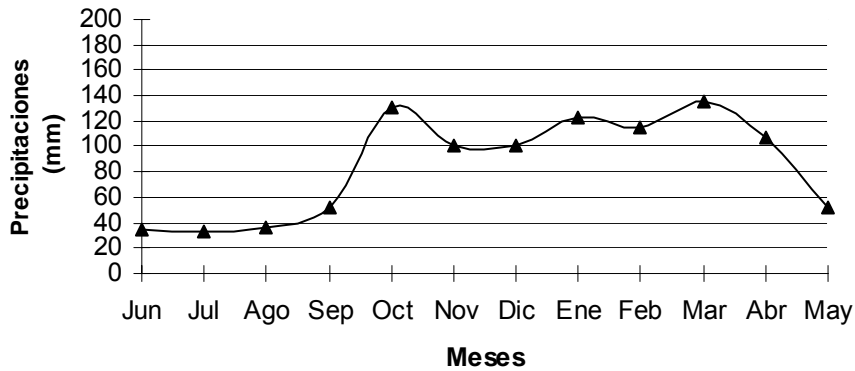


Figura N° 6: Distribución de precipitaciones medias mensuales para la serie de datos 1967 a 2007 (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

#### 2.1.4.4 Radiación Global

Para la zona de Pergamino, los valores de radiación solar global no resultan limitantes para el desarrollo de los cultivos (Maturano, 2002). El promedio de radiación global es de  $15.8 \text{ Mj/m}^2/\text{d}$  para la serie 1967 a 2007 (Fig. 7).

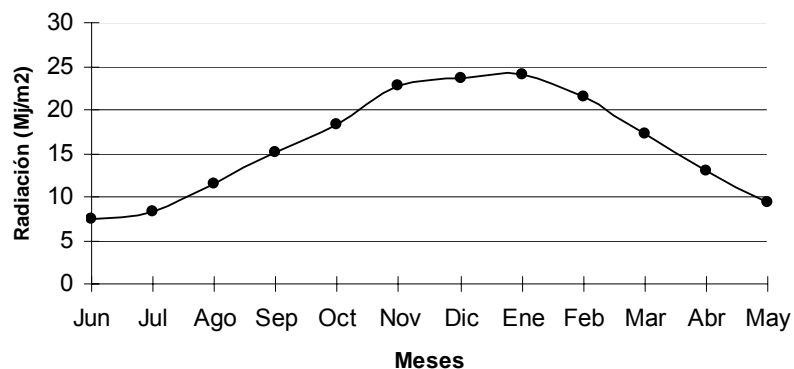


Figura N° 7: Radiación Global media mensual para la serie de datos 1967 a 2007 (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

### 2.1.4.5 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial anual media es de 1100 mm para la serie 1967 a 2007, con una marcada variabilidad mensual (Fig. 8).

En la figura N° 9 se muestra el comportamiento de las precipitaciones medias mensuales y la evapotranspiración potencial media mensual. Se evidencia valores de evapotranspiración superiores con respecto a las precipitaciones en los meses de verano.

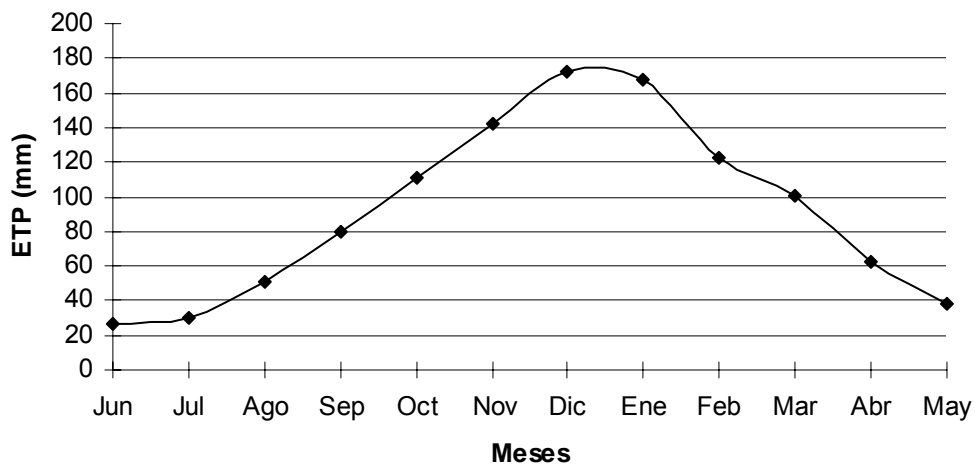


Figura N° 8: Evapotranspiración potencial media mensual (ETP) para la serie de datos 1967 a 2007 (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

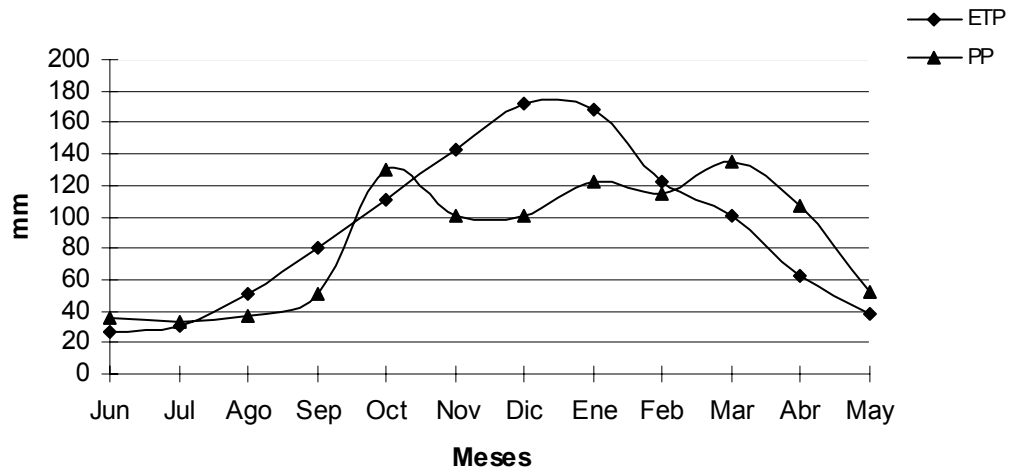


Figura N° 9: Precipitaciones medias mensuales y evapotranspiración potencial media mensual para la serie de datos 1967 a 2007 (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

### 2.1.5 Aguas superficiales

El partido de Rojas se encuentra situado en la cuenca del río Arrecifes. Existen dos cauces principales con régimen permanente: el río Rojas y el arroyo Dulce, los cuales siguen el rumbo noroeste – sudeste. Ambos desembocan en el río Arrecifes (INTA, 1974) (Fig. 10)

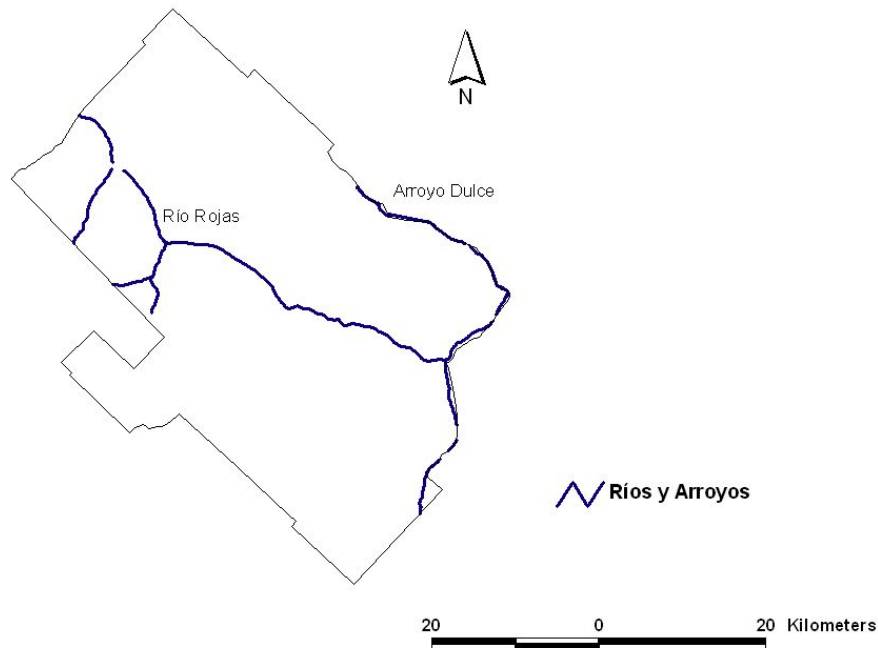


Figura N° 10: Cursos de agua superficiales principales del partido de Rojas (elaboración propia con datos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación e INA, 2002).

### 2.1.6 Aguas subterráneas

El agua subterránea es utilizada para los usos agrícola, industrial y humano siendo los acuíferos explotados el Pampeano y el Puelches. El primero de ellos es uno de los más utilizados en la Región Pampeana para todos los tipos de consumos. En la sección superior del mismo se emplaza la capa freática, a menos de 10 metros de profundidad, mientras que con el aumento de la profundidad, es frecuente la presencia de capas semiconfinadas, normalmente por debajo de los 50 metros. En cuanto a la salinidad, en el ambiente considerado posee concentraciones menores de 1 g/l. Los iones mayoritarios que forman las sales suelen ser  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}_2^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^+$ . En lo referente al riego, suele captarse de pozos de 20" de diámetro, con caudales de hasta 120 m<sup>3</sup>/h. Este acuífero se recarga por



infiltración de la lluvia y constituye la vía para la transferencia hidráulica hacia el acuífero subyacente, el Puelches. Las condiciones morfológicas con pendiente bajas (del orden de  $10^{-3}$ ) y las características edafológicas y geológicas favorecen el proceso de infiltración y por ende la recarga. El acuífero Puelches también es explotado para consumo humano, industrial y agrícola. El agua presenta tenores de salinidad menores a 2 g/l. La productividad varía entre 30 y 150  $m^3/h$ . Este acuífero se encuentra a partir de los 60 metros de profundidad aproximadamente, con un espesor promedio de 25 metros en esta zona (Auge, 2004) (Fig. 11). En este trabajo se estudiará únicamente el uso agrícola, específicamente para riego por pivote central.

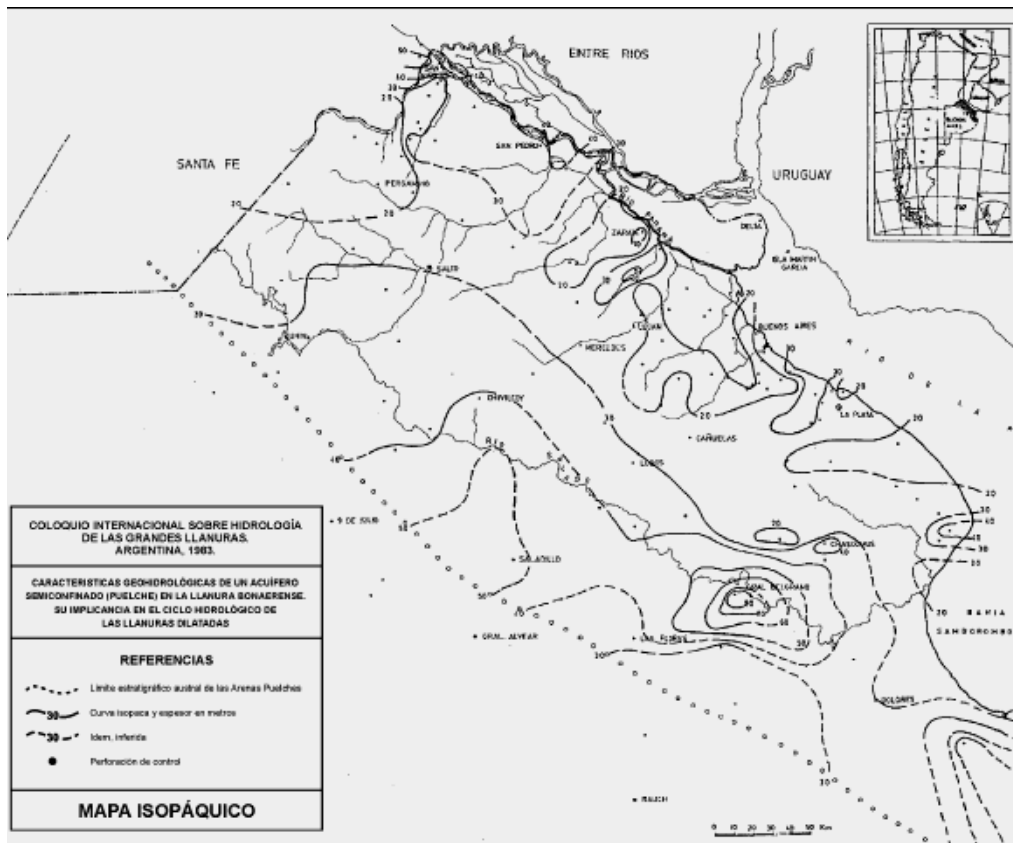


Figura N° 11: Mapa isopáquico (igual espesor) del acuífero Puelches de la zona norte de la provincia de Buenos Aires (Auge, 2004).

### 2.1.7 Actividad agropecuaria

El principal uso del suelo es la actividad agropecuaria. Según datos oficiales del Censo Nacional Agropecuario de 2002 se registran 583 explotaciones agropecuarias (EAP) con una superficie total de 182.806 has: 53080 has de cereales, 92856 has de oleaginosos, 19775 has de cultivos para semillas, 206 has de legumbres, 16877.5 de forrajeras, 1.5 has de hortalizas, 5 has de frutales y 5 has de bosques y montes implantados. Las existencias ganaderas alcanzan las 60.236 cabezas bovinas, 20687 porcinos, 1885 lanares y 1067 equinos.

Los cultivos que ocupan los primeros lugares en la producción son la soja (92845 has), el maíz (23832 has) y el trigo (7051 has). En menor medida se produce girasol, cebada cervecera y avena (CNA, 2002). En la figura 12 se distingue la distribución de las áreas de producción de los cultivos de maíz (12.a), trigo (12.b), soja (12.c) y girasol (12.d).

Los recursos económicos en casi su totalidad son el resultado de la actividad agropecuaria e industrial agroalimentaria representada por los molinos harineros (Secretaría de Desarrollo de la Producción de Rojas, 2008).

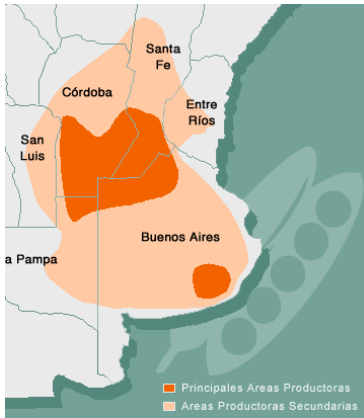
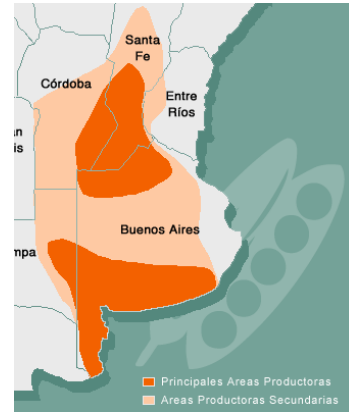
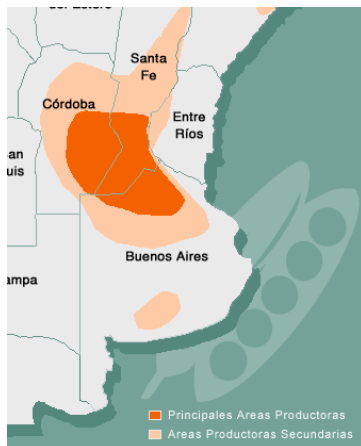
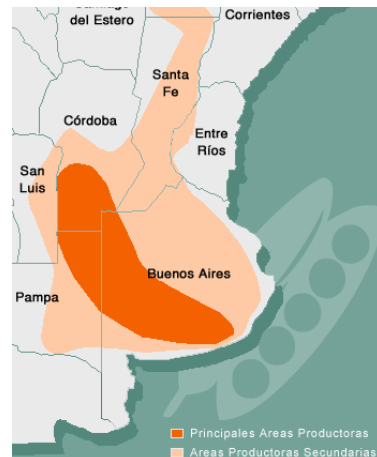
Áreas de producción de  
maíz (a)Áreas de producción  
de trigo (b)Áreas de producción de  
soja (c)Áreas de producción de  
girasol (d)

Figura N° 12 a, b, c y d: Áreas de producción de los cultivos que se siembran en el partido de Rojas (REDCRA, 2008).

### 2.1.8 Población

Según los datos del Censo de Población y Vivienda de 2001 la población es de 22842 habitantes y la densidad poblacional de 11.5 hab/m<sup>2</sup>. La variación relativa intercensal (1991 – 2001) es de 0.67%. La

población rural es de 4134 habitantes, un 18% e la población total del partido. Se adjunta en la página 118 del anexo el estudio denominado *Análisis de la transformación de la tecnología agropecuaria argentina en la década del '90*, realizado para la cátedra del Licenciado Divito: Fundamentos de la relación entre naturaleza, tecnología y sociedad, el cual se basó en un análisis del partido de Rojas.

## **2.2 Información satelital**

### **2.2.1 Selección de imágenes satelitales**

Se ha utilizado información satelital de alta resolución espacial para la clasificación de cultivos y para el reconocimiento de las áreas bajo riego por pivote central, siendo éste el tipo de riego que se ha considerado en este estudio, debido a que es el que predomina en la zona y a su vez puede ser identificado a través de esta herramienta. Para ello, se han escogido cinco imágenes del satélite Landsat TM 5, path / row 226-084. El sensor TM (Thematic Mapper) del satélite Landsat posee una resolución espacial de 30 metros y una resolución espectral (número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor) de siete bandas; tres en la porción del visible (de 0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ ), una en el infrarrojo cercano (de 0.7 a 1.3  $\mu\text{m}$ ), dos en la porción del infrarrojo medio (de 1.55 a 2.35  $\mu\text{m}$ ) y una en el infrarrojo térmico (de 8 a 14  $\mu\text{m}$ ) (Chuvieco, 2007). En este estudio, se han seleccionado las bandas correspondientes al visible, al infrarrojo cercano y al infrarrojo medio (bandas 3, 4 y 5) ya que son los canales en los que se observa mejor la vegetación. La resolución temporal de este satélite es de 16 días (Jensen, 2005). Las fechas de captura que se eligieron han sido el 5 de septiembre, 10 de noviembre, 4 de diciembre de 2006, 21 de enero y 22 de febrero de 2007. Con estas imágenes se ha obtenido una buena cobertura temporal del período de desarrollo de los cultivos bajo riego de la región. La campaña agrícola 2006 – 2007 es la que se ha tomado como base para desarrollar el estudio, en cuanto a la distribución de los tipos de cultivos y área regada.

### 2.2.2 Identificación de áreas bajo riego

Las áreas bajo riego por pivote central se han identificado a partir de la interpretación visual de las imágenes, utilizando el software Arc View 3.3, que permite visualizar y digitalizar las áreas regadas generando información vectorial (polígonos). Esta identificación se ha podido efectuar debido al contraste entre las bandas visible (rojo) e infrarrojo medio ocasionado por el estado vigoroso de la vegetación (página 11) en las áreas regadas, las cuales presentan forma circular originada por el sistema de riego por pivote central (Fig. 13).

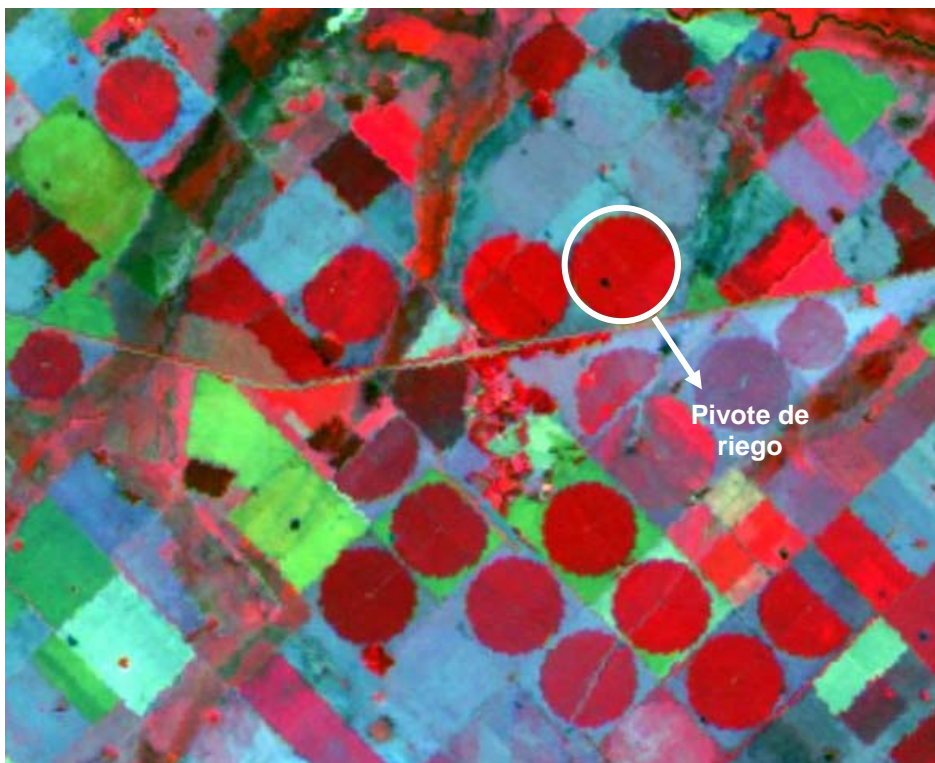


Figura N° 13: Lotes con sistemas de riego por pivote central identificados en imagen Landsat TM del 4 de diciembre de 2006 en el partido de Rojas.

La imagen utilizada para la identificación del trigo ha sido la correspondiente al 10 de noviembre de 2006, para el maíz la del 21 de enero de 2007 y para la soja la del 22 de febrero de 2007, debido a que son las épocas de mayor contraste espectral entre las bandas visible (porción del rojo) e

infrarrojo cercano por el estado vigoroso de la vegetación (Chuvieco, 2007). En las figuras 14, 15 y 16 se muestra que el valor más alto de NDVI durante las fases de crecimiento de los cultivos se da en las fechas de las imágenes seleccionadas, correspondiente al período de floración y maduración de los cultivos (Marini, Vergara y Krüger, 2007).

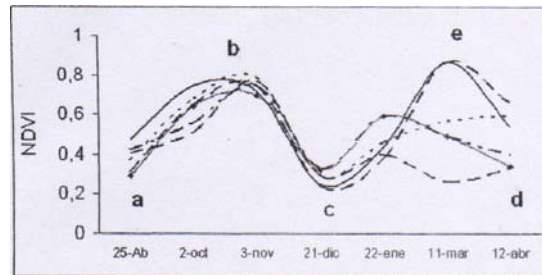


Figura N° 14: Evolución del NDVI para seis casos representativos de patrones de cultivos invernales (trigo) (Marini y otros, 2007)

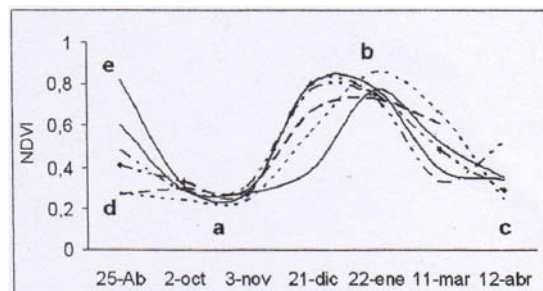


Figura N° 15: Evolución del NDVI para seis casos representativos de patrones de cultivos de maíz (Marini y otros, 2007).

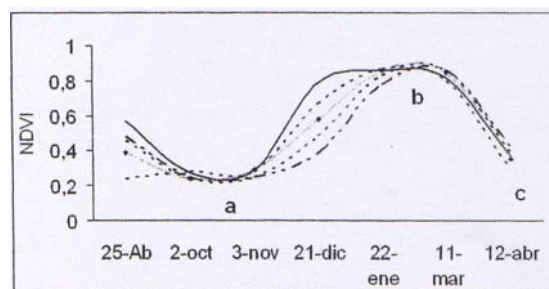


Figura N° 16: Evolución del NDVI para cinco casos representativos de patrones de cultivos de soja (Marini y otros, 2007).

A través del módulo Image Análisis del Arc View, se han recortado de la imagen las zonas digitalizadas, generando una nueva conteniendo sólo los pivotes de riego.

### **2.2.3 Clasificación de cultivos**

Se ha realizado una clasificación supervisada de las imágenes generadas (sección 2.2.2), utilizando el software Erdas Imagine. En este tipo de clasificación se parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio adquirido por experiencia previa o a partir de trabajo de campo. De esta manera, se delimitan áreas que representan categorías que el intérprete identifica (Erdas®, 2001). En este estudio, a partir del trabajo de campo se han reconocido cuatro lotes de trigo, seis de soja y seis de maíz (los tres cultivos susceptibles de ser regados en la zona) de los cuales no se ha utilizado el 25% para validar luego la clasificación (Filippini y Díaz Ciarlo, 2007). A través de la herramienta del Erdas AOI (Area of Interest) se han digitalizado estas áreas formando polígonos, asignándolas a una de las categorías previamente definidas (maíz, soja o trigo), utilizando el editor de firmas del mismo programa. Estas han sido las áreas de entrenamiento, las cuales sirven para guiar al programa de clasificación en el reconocimiento de las categorías de interés. A partir de ellas se caracterizan cada una de las clases, para luego agrupar el resto de los píxeles de la imagen en una de esas categorías en función de la similitud de sus números digitales (valor espectral correspondiente a cada banda utilizada) con los extraídos como referencia. Finalizada la selección de las áreas de entrenamiento, se han calculado las estadísticas correspondientes a cada categoría: media, rango, desviación estándar, matriz de varianza – covarianza, etc, a partir de los números digitales de los píxeles de las áreas de entrenamiento de cada clase, en todas las bandas que se utilizaron luego en la clasificación.

Se han llevado a cabo tres clasificaciones supervisadas, para el cultivo de trigo (imagen del 10 de noviembre de 2006), para el de maíz (imagen del 21 de enero de 2007) y para el de soja (imagen del 22 de febrero de 2007).

El proceso de clasificación fue validado mediante las muestras tomadas en campo no incorporadas a la clasificación y se comprobó que el proceso identificó correctamente los lotes en estudio.

Una vez obtenidas las imágenes clasificadas, se las convirtió a formato vectorial unificándolas y se las introdujo en un SIG. Luego se asignó a cada pivote un número identificadorio, contabilizando 69 pivotes de riego.

## **2.3 Generación y recolección de información de entrada para el modelo de simulación DSSAT**

### **2.3.1 Descripción del modelo DSSAT**

El entorno DSSAT (v 3.5) está formado por los modelos Ceres y Cropgro. A su vez estos están compuestos por cuatro módulos. El primero de ellos es el módulo climático que utiliza como entrada datos diarios de radiación solar, temperatura máxima y mínima y precipitaciones de la zona en la que se llevará a cabo la simulación. El segundo módulo es el de suelo, que a su vez está compuesto por submódulos: el de dinámica del suelo que toma las características de éste por horizontes definidos en un archivo de entrada, el cual contiene datos determinados a través de la carta de suelos del lugar: profundidad, contenido de arena, limo y arcilla, carbono orgánico, PH en agua y en pasta, saturación con bases, densidad aparente, color y pendiente de cada uno de los horizontes que componen el perfil. Existen otros datos que son estimados a partir de los primeros: mineralización, albedo, curva número. En estos casos el modelo proporciona un valor para todo el perfil. Hay otros casos donde el modelo estima un valor para cada horizonte: textura, factor de crecimiento de raíces (factor textura x factor profundidad), punto de marchitez permanente, capacidad de campo y punto de saturación (Jones, Hoogenboom, Porter, Batchelor, Hunt, Wikens, Singh, Gijsman y Ritchie, 2003).

El submódulo de balance hídrico edáfico, es el de mayor interés para este estudio. Éste computa diariamente, todos los procesos directamente que afectan el contenido del agua en el perfil del suelo. El modelo



de balance hídrico calcula mediante una ecuación el cambio del contenido del agua edáfica:  $\Delta S = P + R - E_p - E_s - E - D$

Donde  $\Delta S$  es el cambio de agua en el suelo, P y R son las entradas de precipitación y riego.  $E_p$  y  $E_s$  son las salidas por evaporación desde la planta y el suelo (evapotranspiración), E es el escurrimiento superficial y D es el drenaje o percolación, siendo también éstas últimas salidas desde el perfil del suelo. El agua en el suelo se encuentra distribuida en horizontes con espesores definidos por el usuario (Heinemann y otros, 2002).

La infiltración (agua que efectivamente penetra en el suelo) es calculada como la diferencia entre precipitación y riego (si es aplicado) y el escurrimiento superficial. Éste es estimado a partir de una modificación del procedimiento del Servicio de Conservación de Suelos de la USDA (United States Department of Agriculture) denominado curva número (SCS, 1972). Esta técnica se basa en determinar a qué grupo hidrológico pertenece cada tipo de suelo.

Para definir el grupo hidrológico se consideran las condiciones de superficie y las de los horizontes. En el primer caso se habla del grado de infiltración y en el segundo del grado de transmisión. El primero se refiere a la velocidad con que el agua penetra en el suelo desde la superficie y depende de las condiciones superficiales. El segundo es la velocidad de movimiento del agua en el perfil y depende de la permeabilidad de los distintos horizontes. Los grupos hidrológicos son cuatro: A, B, C y D, yendo desde los que poseen alto grado de infiltración y transmisión (potencial bajo de escurrimiento), hasta los que tienen muy bajo grado de infiltración y transmisión (potencial alto de escurrimiento) (Casas, 1986).

El drenaje o percolación se produce cuando el contenido de agua en el suelo se encuentra entre el punto de saturación (punto en que el suelo no puede retener más agua) y la capacidad de campo (cantidad de agua que puede contener el suelo, reteniéndola contra la acción de la gravedad por medio de una fuerza que se denomina tensión mátrica), entonces el agua drena hacia la capa inferior usando el método de cascada (Jones y Ritchie, 1991)

La evapotranspiración se define como la pérdida de agua debida a la transpiración de la vegetación, más la evaporación del suelo y de la superficie húmeda de la vegetación. La transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua hacia la atmósfera. Toman agua del suelo, utilizan una pequeña parte para su crecimiento y el resto lo transpiran (Allen, Pereira, Raes y Smith, 1998). El modelo realiza en primer lugar, el cálculo de la evapotranspiración potencial de referencia ( $E_t0$ ) que es la evapotranspiración que se produciría en un campo de gramíneas de 12 cm de altura, con crecimiento activo y sin limitante hídrica y es estimada en base al método de Priestley y Taylor (1972) a partir de datos diarios de radiación solar y temperatura máxima y mínima. Este método fue posicionado por Jensen (1990) en quinto lugar dentro de los mejores métodos para estimar la evapotranspiración potencial de referencia en regiones húmedas (Heinemann y otros, 2002). La evapotranspiración real (evapotranspiración que se produce realmente en cada caso) la estima el modelo modificando la potencial, según el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) y la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales (Jones y otros, 2003). El  $K_c$  integra el efecto de las características morfológicas y fisiológicas de cada cultivo, como su cobertura, altura, rugosidad y resistencia al flujo de agua bajo condiciones ambientales idénticas por lo cual varía a lo largo del ciclo del cultivo, aunque con fines prácticos se lo puede representar en tres fases. La *fase de desarrollo* (pre valor máximo de  $K_c$ ) comprende desde la siembra hasta el momento en que el canopeo cubre totalmente el suelo. Le sigue la *fase de cobertura completa* del suelo (valor máximo de  $K_c$ ) y la *fase de maduración* (post valor máximo de  $K_c$ ) comprende desde el comienzo de la senescencia foliar hasta la madurez fisiológica del cultivo (Véase fases de desarrollo de los cultivos en anexo 3, página 93). Cuanto mayor es el  $K_c$ , mayor es el requerimiento de agua de los cultivos (Fig. 17, 18 y 19). Específicamente el requerimiento hídrico crítico del trigo y maíz comienza en el inicio de encañazón y del cultivo de soja en el período de formación de vainas (Dardanelli, Colino, Otegui y Sadras, 2004).

Cuando no existen limitantes hídricas, la evapotranspiración real ( $E_{tr}$ ) es igual a la evapotranspiración máxima del cultivo ( $E_{tm}$ ). En este trabajo se hará referencia a la  $E_{tr}$ , la cual tendrá

aproximadamente el mismo valor que la Etm debido a que el riego mantiene niveles altos de humedad en el perfil del suelo.

La necesidad de riego se puede definir como la diferencia de estos factores: la Etr ( $E_t0 \times K_c$ ) y el agua que efectivamente penetra en el suelo y puede ser aprovechada por la planta (Precipitación – escurrimiento superficial – percolación) (Allen y otros, 1998).

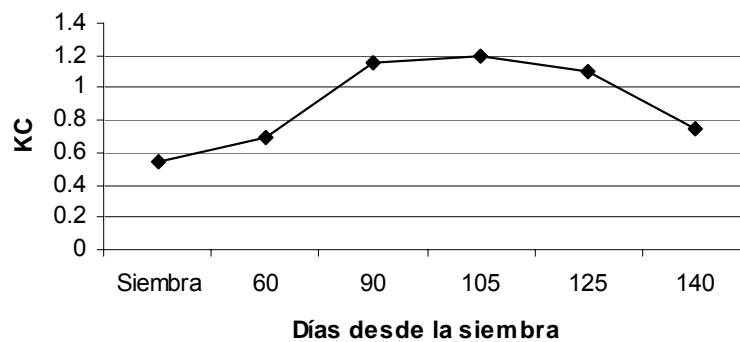


Figura N° 17: Coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) que corresponden a las tres fases de desarrollo para el cultivo de trigo en Pergamino (Elaboración propia con datos de Totis de Zeljkovich, 1994).

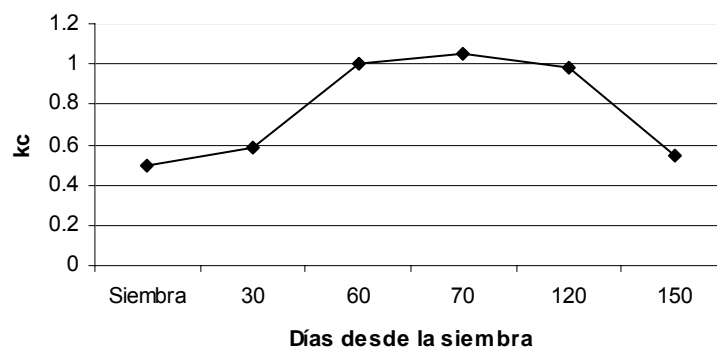


Figura N° 18: Coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) que corresponden a las tres fases de desarrollo para el cultivo de maíz en Pergamino (Elaboración propia con datos de Totis de Zeljkovich y Rebella, 1980).

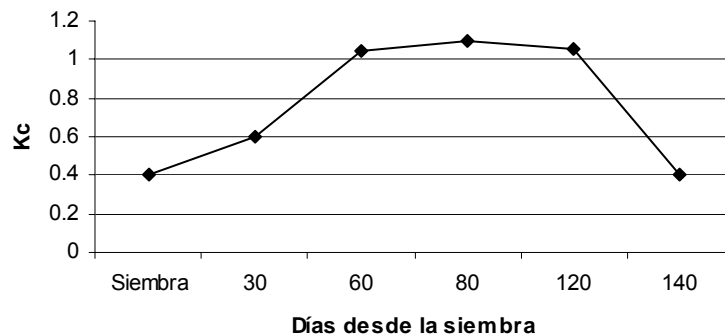


Figura N° 19: Coeficientes de cultivo (Kc) que corresponden a las tres fases de desarrollo para el cultivo de soja en Pergamino (Elaboración propia con datos de Totis de Zeljkovich, 1992).

El exceso de agua del perfil de suelo es calculado como la diferencia entre el agua del estrato y la capacidad de campo.

El submódulo de nitrógeno y carbono que computa el proceso de carbono y el de nitrógeno, incluidos fertilizantes orgánicos e inorgánicos, tasas de descomposición, flujos de nutrientes entre los horizontes del suelo. Las concentraciones de nitratos y amonio son actualizadas diariamente para cada horizonte.

El tercer módulo es el de desarrollo y rendimiento de los cultivos, el cual simula estos aspectos para cada especie individual. Toma en cuenta los cambios diarios de materia seca y superficie foliar, el número de hojas, longitud de raíces por unidad de volumen de suelo y profundización radicular. Para llegar a una predicción del crecimiento es importante una buena cuantificación de la duración de cada una de las fases del ciclo del cultivo, la duración de cada fase es expresada como suma térmica con una temperatura base dada y teniendo en cuenta la sensibilidad a la duración del día, los cultivares responden entonces modificando la duración de sus fases en función de la temperatura y el fotoperíodo, como así también al estrés hídrico y nutricional que pueden aumentar o reducir la tasa de desarrollo.

El cuarto módulo es el de manejo de los cultivos, que incluye la determinación de la fecha de siembra, la fecha de cosecha que

puede ser un valor brindado por el usuario o estimado por el modelo en base al ciclo del cultivo. Determinación de las estrategias de aplicación de riego, las cuales pueden ser aplicaciones automáticas debido a la disminución del porcentaje de agua útil (diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente) en una determinada profundidad del suelo o valores fijos aplicados en ciertas fechas especificadas en la configuración del archivo de entrada. Definición de los fertilizantes a aplicar, basado también en aplicaciones automáticas debido a la necesidad simulada por el modelo o aplicaciones fijas en fechas determinadas (Jones y otros, 2003).

### **2.3.2 Estructura de archivos**

El proceso de homologación de los modelos de simulación agronómica del DSSAT ha llevado a que sus componentes (modelo Ceres y Cropgro) compartan archivos de entrada, de experimentos y de salida similares. En cuanto a los archivos de entrada, estos se agrupan en bases de datos climáticas (.wth), de suelo (.sol) y de genotipos (.cul). Los cuales poseen formato de texto (Mercau, 2006).

#### **2.3.2.1 Datos de entrada**

##### **2.3.2.1.1 Datos climáticos**

Los datos climáticos necesarios para el modelo son radiación global, temperatura máxima y mínima y precipitaciones, en valores diarios. Debido a que no se contaba con información climática de Rojas, se realizó una interpolación de los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas de los 6 años de interés (sección 2.3.3.1.3), la mayoría pertenecientes al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) o al Servicio Meteorológico Nacional (SMN): Castelar-INTA, General Villegas-INTA, Junín-SMN, Marcos Juárez-INTA, Nueve de Julio-SMN, Pergamino-INTA, San Pedro-INTA, Rosario-SMN, Zavalla-UNROSARIO y Venado Tuerto-SMN (Fig. 20).

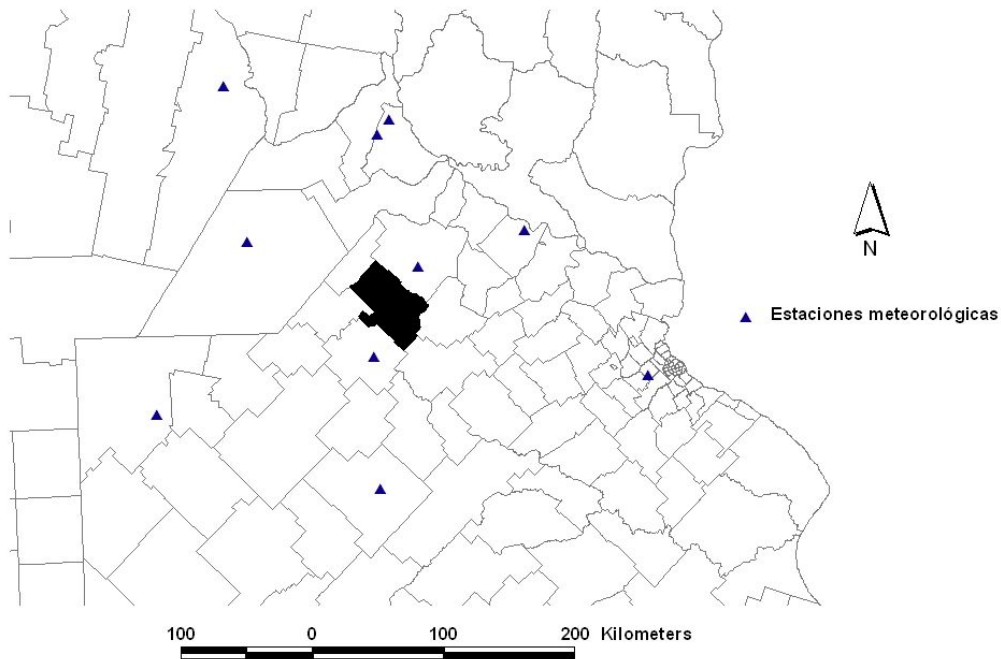


Figura N° 20: Estaciones meteorológicas utilizadas para la interpolación de datos climáticos.

El programa que se manejó para interpolar los datos ha sido el Surfer v.8 y el método utilizado ha sido el krigging. Se ha elegido esta metodología dado que se compararon los RMSE (raíz cuadrada del error cuadrático medio) de los métodos de krigging, el inverso de la distancia y el inverso de la distancia al cuadrado y se encontró que el primero mostraba el menor error diario para todas las variables climáticas bajo estudio, para los datos del año 2006. También existen numerosos trabajos que confirman que este método es el que muestra el mejor comportamiento espacial de las variables climáticas (Tabios y Salas, 1985) (Jarvis y Stuart, 2001) respecto a los demás métodos mencionados.

El modelo que se tomó para interpolar las precipitaciones y la radiación ha sido el exponencial, ya que según el análisis de todos los modelos mostraba el menor error, medido a través de RMSE, el cual mostró un valor de 16.1 mm diarios para precipitaciones y de 1.87 MJ/m<sup>2</sup>/d para

radiación y se tomó el modelo lineal para temperatura máxima y mínima (RMSE 1.12° C diario), de acuerdo al análisis de los datos del año 2006.

Ya que las áreas regadas se encontraban ubicadas en sectores bien definidos del partido se las agrupó en cuatro zonas climáticas, digitalizadas en el SIG.

Una vez finalizada la interpolación, se extrajeron los datos diarios de los años de interés correspondientes a cada zona climática mediante un programa generado por un profesional del Instituto de Clima y Agua de INTA (Melchiori, 2007). Por lo tanto se definió un archivo para cada zona y para cada año de datos.

#### **2.3.2.1.2 Suelos**

Se configuraron en el archivo de entrada de suelos las características físico químicas de los suelos presentes en la región, a través de la carta de suelos (INTA, 1974). Estos pertenecen a las series Rojas, Arroyo Dulce, Delgado y Carabelas.

#### **2.3.2.1.3 Genotipos**

En primer lugar, se asume en este trabajo que los establecimientos agropecuarios del partido emplean prácticas de manejo agrícolas similares.

Existe un archivo de este tipo para cada tipo de cultivo. Los genotipos seleccionados para aplicar el modelo han sido Klein Escorpión (cultivar de ciclo intermedio) para trigo, ya que según la Encuesta de Variedades 2006 – 2007 de la SAGPYA, esta variedad es la más utilizada en la zona centro y norte de la provincia de Buenos Aires. En cuanto al maíz el genotipo seleccionado fue el DK 682 (cultivar de ciclo intermedio), ya que según Magrin (2007) es una de las variedades con mayor distribución en la zona. Por último, el cultivar escogido para soja fue el DM 4800 (cultivar de ciclo largo) (Magrin, 2007).

Se debe destacar que la medición y el cálculo de los coeficientes genéticos han sido realizados por la Facultad de Agronomía de

la Universidad de Buenos Aires mediante experimentaciones de acuerdo a protocolos específicos contemplando la variabilidad ambiental (Guevara, 2006).

### **2.3.2.2 Archivos de experimento**

Este tipo de archivos constituyen el eje de la simulación. En ellos se encuentran definidos los suelos, el clima y los genotipos que se utilizarán. También se detallan las condiciones iniciales, los manejos de los cultivos y los controles de la simulación.

Debido a que los puntos geográficos en los cuales se debía llevar a cabo la simulación eran 69 y las condiciones recién enumeradas se repetían en varios de estos sitios, se definieron un total de 23 archivos de experimento (5 para trigo, 9 para maíz y 9 también para soja)

El tipo de suelo y la zona climática correspondiente a cada zona irrigada se definió a través del uso del mapa de suelos de INTA y a la capa vectorial climática generada para tal fin en el SIG.

#### **2.3.2.2.1 Determinación de las condiciones iniciales de la simulación**

En esta sección del archivo se define el cultivo antecesor, el volumen de agua por unidad de suelo ( $\text{mm}/\text{cm}^3$ ) y la concentración de nitratos (ppm de N) y amonio (ppm de N) para cada estrato de suelo al momento de la siembra o inicio de la simulación. Para determinar el primero de los parámetros se efectuó una clasificación de las imágenes correspondientes a la campaña agrícola predecesora, utilizando la misma metodología que para la campaña en estudio (sección 2.2.3). Para definir los datos restantes se utilizó la información de dos análisis de suelos de Pergamino (INTA, 2007) con fechas junio de 2006 correspondiente a la siembra del trigo y 23 de octubre de 2006 para la siembra de la soja y el maíz. Para las condiciones iniciales de los cultivos de soja y maíz denominados de segunda (cultivos sembrados a continuación de otro, en este caso el trigo) se utilizó como entrada las condiciones finales de la simulación del cultivo de trigo, en lo que respecta a volumen de agua, nitratos y amonio (sección 2.3.2.3).



### **2.3.2.2.2 Definición del manejo de los cultivos**

En esta sección del archivo se debe definir en primer lugar, la fecha de siembra de los cultivos. En esta zona, el trigo es sembrado entre el 20 de mayo y el 15 de julio (Magrin, 2007), determinando como fecha de siembra para el modelo el 1 de julio (IYDA, 2007). El maíz se siembra entre el 5 de septiembre y el 10 de noviembre (Magrin, 2007) y la fecha tomada para el modelo fue el 5 de septiembre (IYDA, 2007). La soja es sembrada entre el 15 de octubre y el 30 de noviembre (Magrin, 2007) y la fecha seleccionada fue el 1 de noviembre (IYDA, 2007). Por último la siembra de soja denominada de segunda se realiza entre el 5 de diciembre y el 10 de enero (Magrin, 2007) y la fecha escogida fue el 18 de diciembre (IYDA, 2007).

Otros factores a determinar son la densidad de siembra y el espaciamiento entre plantas, la cual fue de 9 plantas / m<sup>2</sup> y 70 cm de distancia entre hileras para el maíz (Maddonni, Otegui y Cirilo, 2001), 250 plantas / m<sup>2</sup> y 20 cm de espaciamiento para el trigo (Buschiazzo, 2005) y 37 plantas / m<sup>2</sup> y 35 cm de espaciamiento para la soja (IYDA, 2007).

### **2.3.2.2.3 Controles de simulación**

En esta sección debe especificarse el número de años a simular, en este caso fueron 6 años (sección 2.3.3.1.3). Asimismo, debe precisarse el control de manejo del riego, de la fertilización y de la cosecha. Esto implica determinar si el manejo de estos aspectos es automático, con fechas reportadas o número de días después de la siembra. En el caso del riego se indicó que el manejo sea automático, lo cual implica determinar la profundidad a manejar (cm), los umbrales de agua útil (%) para comenzar y finalizar el riego (sección 2.3.3.1.4) y la eficiencia de aplicación del agua debido al tipo de riego. Esta última se estableció en un 80%, que es la eficiencia del riego por aspersión por pivote central teniendo en cuenta el clima de la región (Grassi, 1998), (Marano, Pilatti, Weidmann y Pecorari, 1996). Se eligió la opción de manejo automático porque es la que permite al modelo evaluar el contenido de humedad del suelo y en función de ello determinar la necesidad y la cuantía del riego. En la realidad los productores agrícolas suelen llevar a cabo este tipo de evaluación

para determinar momentos y volumen de riego. Para ello, utilizan sensores de humedad del suelo y programas que relacionan estos valores con las necesidades de agua de los cultivos, o simplemente realizan ecuaciones de balances hídricos edáficos, de acuerdo a las precipitaciones y las necesidades de agua de los cultivos (Martellotto, Salinas, Salas, Álvarez, Lovera, Giubergia y Lengua, 2004). La cantidad de agua a aplicar depende también de la productividad que se desea obtener del cultivo. Se entiende que el productor que utiliza sistemas de riego es porque espera obtener altos rendimientos (Grassi, 1998).

Para la aplicación de fertilizantes (nitrógeno) se determinó la opción de número de días después de la siembra. A su vez debe definirse la cantidad del fertilizante (kg/ha) y la forma del mismo. Como el programa tiene una rutina de hidrólisis de urea es importante establecer si el fertilizante es una forma amoniacal pura, urea o es una mezcla de ambas. En este caso se estableció la primera opción. Para el trigo se aplicó 140 kg/ha a la siembra (Álvarez, Steinbach, Grigera, Cartier, Obregón y García, 2004), en el caso del maíz se aplicó 150 kg/ha, distribuido en 70 kg/ha a la siembra y 80 kg/ha a los 50 días de la siembra (estadío V6, seis hojas desarrolladas) (Magrin, 2007). En el caso de la soja, ésta presenta la característica de generar nódulos en sus raíces, como consecuencia de una asociación simbiótica con bacterias específicas como *Bradyrhizobium japonicum*. Dicha característica le permite al cultivo abastecerse de nitrógeno proveniente del aire, cubriendo hasta un 70 % las necesidades de este nutriente. La soja no suele fertilizarse con nitrógeno debido a que el proceso de fijación biológica es una consecuencia de un ambiente carente de nitrógeno, y una dosis excesiva de nitrógeno puede inhibir la nodulación (Punos e Iglesias, 2005). Por ello el modelo Cropgro no permite la posibilidad de fertilizar con nitrógeno (Mercau, 2005).

La cosecha tiene la opción de definirla también como cosecha a madurez del cultivo, la cual se obtiene mediante la simulación del crecimiento del cultivo. Esta fue la elección para este trabajo.

### 2.3.2.3 Archivos de salida

El modelo proporciona ocho archivos de salida por cada archivo de experimento: *descriptivo* (Overview.out), el cual sintetiza los resultados por campaña haciendo un resumen por etapas y eventos fenológicos destacados, *resumen* (Summary.out) el cual tiene un renglón por campaña con la fenología y los componentes de rendimiento, la salida de *balance de nitrógeno* (Nbal.out) y *balance de agua* (Wbal.out) muestran el estado inicial y el final de cada recurso por campaña. Las salidas de *crecimiento* (Growth.out), *agua* (Water.out), *nitrógeno* (Nitrogen.out) y *carbono* (Carbon.out) muestran en un intervalo diario el estado de cada uno de estos módulos (Mercau, 2006).

Se obtuvieron entonces, 8 archivos de salida por cada uno de los 23 archivos de experimento. El que se utilizó para este estudio fue el de resumen ya que contiene los datos de agua aplicada por riego (mm) y rendimiento (kg/ha) para cada año simulado. Esta información fue volcada al programa Excel de Microsoft Office y se agregó la información proveída por la teledetección y el SIG en lo que respecta a la superficie de cada área bajo riego. Por lo cual se obtuvo el consumo de agua de cada zona regada para cada año simulado y para cada estrategia de manejo del riego (sección 2.3.3.1.4).

El error (RMSE) del modelo es aproximadamente de 500 kg/ha de los valores observados para rendimiento de soja, 800 kg/ha para rendimiento de trigo y 1900 kg/ha para rendimiento de maíz. El error de las necesidades de agua de los cultivos estimada por el modelo es de 1.2 mm/día aproximadamente (Mercau y otros, 2006).

### 2.3.3 Definición de escenarios para el análisis del cambio en la demanda de agua para riego y su impacto en los acuíferos

Existen cuatro factores que pueden afectar la demanda de agua subterránea para riego y causar impacto en los acuíferos: la superficie bajo riego, las precipitaciones, las estrategias de manejo del riego y los tipos de cultivos sembrados. Para analizar y cuantificar la influencia de cada uno se plantearon 18 escenarios con un intervalo de tiempo anual (tabla 1). En ellos se presentaron los cuatro factores combinados de distinto modo. Debido a

las combinaciones de los factores, el número de situaciones para analizar era de 135. Teniendo en cuenta la dificultad para analizarlas se definieron en primer lugar 12 contextos que representaban algunas de estas combinaciones. Ya que los factores a estudiar eran cuatro, se dejaron fijos tres de los factores y se varió el que se quería estudiar, por tal motivo son 12. Luego se definieron otra serie de escenarios que consideraron sólo situaciones con riego en toda la superficie con potencial para tal fin. Otros evaluaron las situaciones extremas positivas y negativas en lo que respecta al impacto en los acuíferos y por último se presentaron las superficies críticas bajo riego a partir de las cuales se produciría sobreexplotación.

Tabla N° 1: Detalle de los 18 escenarios planteados (Elaboración propia).

Escenarios	Área (ha)	PP (mm)	Estrategia riego	Distribución cultivos
1	5100	Actual	Medio	Actual
2	5100	Año percentil 15%	Medio	Actual
3	26000	Año percentil 15%	Medio	Actual
4	115200	Año percentil 15%	Medio	Actual
5	5100	Año percentil 50%	Medio	Actual
6	5100	Año percentil 85%	Medio	Actual
7	5100	Año percentil 50%	Bajo	Actual
8	5100	Año percentil 50%	Alto	Actual
9	5100	Año percentil 50%	Medio	100% Trigo - soja
10	5100	Año percentil 50%	Medio	100% Trigo - maíz
11	115200	Año extremo seco	Alto	100% Trigo - maíz
12	5100	Año extremo húmedo	Bajo	Actual
13 a	115200	Año percentil 85 %	Bajo	Actual
13 b	115200	Año percentil 85 %	Medio	Actual
14	115200	Año percentil 50%	Medio	Actual
15	A determinar	Año percentil 85 %	Bajo	Actual
16	A determinar	Año percentil 50%	Medio	Actual
17	A determinar	Año percentil 15%	Medio	Actual
18	A determinar	Año extremo seco	Medio	Actual

La sobreexplotación se determinó a partir del valor de las reservas renovables o reguladoras anuales. Las cuales representan, en término promedio, la cantidad de agua que recarga el acuífero anualmente por alimentación natural a través de las precipitaciones o por recarga superficial. Ya que la explotación sustentable de un acuífero implica su explotación dentro de

estas reservas, si se sobrepasa el límite de las mismas, se comenzaría a explotar las reservas seculares o geológicas. Estas guardan relación con las recargas de largo plazo, a través de ciclos plurianuales, y su explotación se considera de carácter renovable a plazo mayor.

Las reservas renovables se calculan mediante la fluctuación del nivel freático, asumiendo que la variación anual que posee este nivel en un área determinada refleja el valor de recarga que posee el acuífero libre (Pampeano) y el subyacente (acuífero Puelches) en un período determinado, ya que el primero alimenta al segundo por filtración vertical descendente (Santa Cruz y Silva Busso, 1995). A su vez se debe conocer la porosidad efectiva, la cual determina el porcentaje de poros interconectados que permiten la circulación del agua (Auge, 2004).

$$\text{Reservas renovables} = \text{Área (m}^2\text{)} \times \text{Fluctuación Nivel Freático (m)} \times \text{Porosidad efectiva}$$

En el partido de Rojas el volumen de reservas renovables anuales es de aproximadamente 174.2 hm<sup>3</sup>. Se llegó a este valor partiendo del dato de la superficie del partido 205000 ha y del valor de recarga por ascenso del nivel freático calculado para la zona de Pergamino, Salto, Rojas, Junín, Chacabuco y Gral Arenales de 0.85 m/año (datos de 1980 a 1994) considerando una porosidad efectiva del 10% (0.1) (Santa Cruz y Silva Busso, 1995).

Si la estimación obtenida a través de la teledetección, el SIG y el modelo de simulación supera este límite anual, se podría decir que los acuíferos estarían en riesgo de ser sobreexplotados. Se asume que el valor de las reservas renovables es un valor fijo para todo un año y el mismo para todos los años simulados, sin tener en cuenta las características de los años anteriores a los estudiados en lo que respecta a precipitaciones.

### **2.3.3.1 Descripción de los escenarios**

#### **2.3.3.1.1 Escenario actual**

El escenario 1 corresponde a las condiciones reales de la campaña 2006 – 2007, en lo que respecta a los datos climáticos, superficie regada, y distribución de cultivos. Se determinó este escenario debido a que se utilizaron muchas de las condiciones de este año para efectuar la simulación (análisis de perfil de suelo, superficie regada, tipos de cultivos sembrados).

#### **2.3.3.1.2 Escenarios que analizan el efecto de la superficie bajo riego**

Uno de los factores que puede influir de manera significativa en la demanda de agua es la superficie en la que se lleva a cabo el riego. Se determinaron tres posibilidades para este factor. La primera es la superficie actual (año 2006 – 2007) bajo riego por pivote central, calculada a partir de las imágenes satelitales (Sección 2.2.2). La segunda posibilidad es la superficie que se encontraría bajo riego si se produjese un aumento del 510%, siendo este el porcentaje de incremento en los últimos 10 años, relevado también a partir de imágenes satelitales. Esta superficie alcanza 26000 ha. Teniendo en cuenta que este tipo de riego comenzó a difundirse a principios del año 90 y que el año 1996 fue el momento de mayor auge de ventas de estos equipos (datos hasta 2004), según las empresas Valley, Irrigus, Lindsay y Carborundum (Martellotto y otros, 2004), se cree que tomar como línea de base el año 1996 permitirá partir de una significativa cantidad de equipos instalados para calcular el incremento de la superficie. Además se ha observado que durante todo el período hasta el año 2005 la superficie bajo riego se mantuvo estable (1000 ha). La última posibilidad es el área potencialmente regable, determinado a través de la cuantificación de los suelos clase I del partido de Rojas, que son suelos aptos para agricultura intensiva y en los que no existe ninguna limitante física para el desarrollo de la actividad, llegando a una superficie de 115200 Ha. Esta situación es la que plantea uno de los grupos que nuclea a los productores de la zona, regar toda el área en donde económicamente sea rentable.

Para analizar el efecto de este factor en la demanda de agua para riego y su impacto en las reservas de los acuíferos se definieron los escenarios 2, 3 y 4.

### **2.3.3.1.3 Escenarios que analizan el efecto de la variabilidad de las precipitaciones**

Otra variable de importancia fundamental en lo que respecta al uso del agua subterránea es la cantidad de precipitaciones. A partir de la serie de datos de precipitaciones 1967 – 2007 de las localidades de Pergamino y Junín (estaciones meteorológicas más cercanas a Rojas) y de la aplicación de un programa generado por un profesional del Instituto de Clima y Agua de INTA (Rodríguez, 2002), se escogieron años agrícolas (de junio a mayo) con características específicas que podrían causar cambios en el consumo de agua subterránea para riego: año extremo seco o percentil 1% (año 1995 / 1996) (Fig. 21), año con percentil 15 % (año 1988 / 1989) (Fig. 22), año con características medias o percentil 50% (año 1986 / 1987) (Fig. 23), año con percentil 85% (año 1968 / 1969) (Fig. 24) y año extremo húmedo o percentil 100% (año 2001 / 2002) (Fig. 25).

Para el cálculo de los percentiles se divide el número de observaciones entre 100, cada uno de los centésimos obtenidos recibe el nombre de percentil. Estos representan los valores de la variable que están por debajo o por encima de un porcentaje, el cual puede ser un valor de 1% a 100%. El percentil 15% equivale a que en el 15% de los casos los registros de esta variable fueron iguales o inferiores a este valor. A su vez tiene una probabilidad de ocurrencia de ese mismo valor o menor de 3 veces en 20 años. El percentil 50% equivale a la mediana de la serie y tiene una probabilidad de ocurrencia de ese valor o menor de 10 veces en 20 años. El percentil 85% equivale a que en el 85% de los casos los registros de esta variable fueron iguales o inferiores a este valor o también podría expresarse que en el 15% de los casos se registraron valores iguales o superiores a él. De esta manera, existe una probabilidad de ocurrencia de este valor o mayor, de 3 veces en 20 años. El percentil 100% es un valor tal que al menos el 100% de las observaciones están en el valor o por debajo de él y el 1% indica que la totalidad de la muestra está

en el valor o por encima de él. Este es el caso de los años que se tomaron como extremos.

El proceso de generación de estos datos se ha detallado en la sección 2.3.2.1.1.

Para analizar el efecto de este factor en la demanda de agua para riego y su impacto en las reservas de los acuíferos se definieron los escenarios 2, 5 y 6.

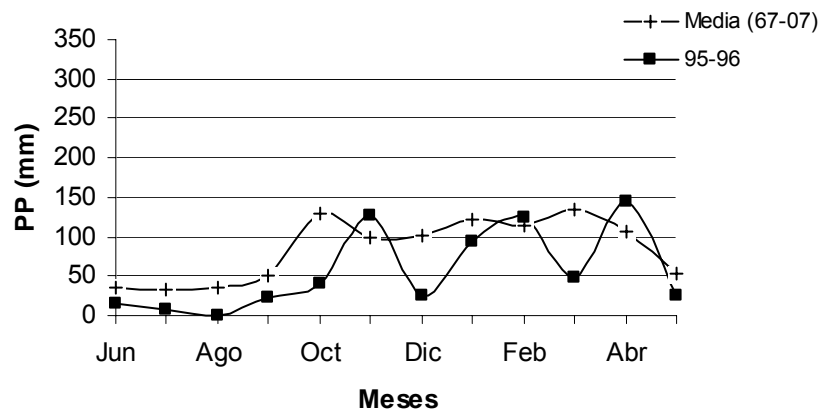


Figura N° 21: Precipitaciones correspondientes al año agrícola 95/96 y a la media mensual de la serie 1967 – 2007 para la estación meteorológica de Pergamino (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

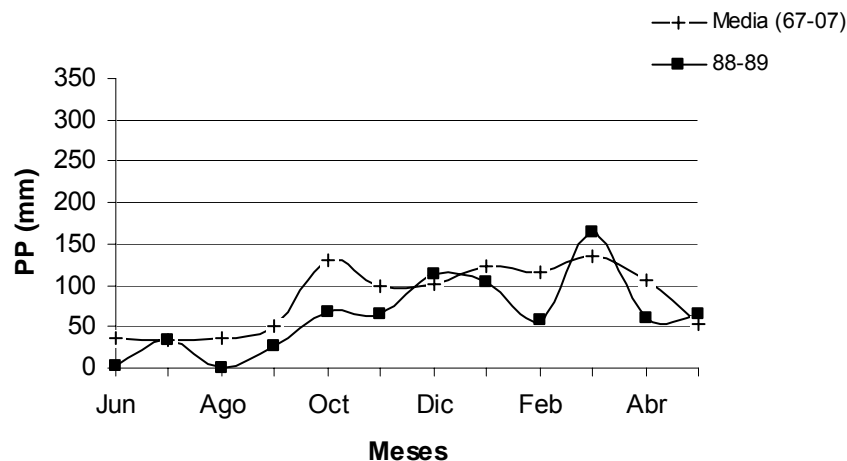


Figura N° 22: Precipitaciones correspondientes al año agrícola 88/89 y a la media mensual de la serie 1967 – 2007 para la estación meteorológica de Pergamino (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).



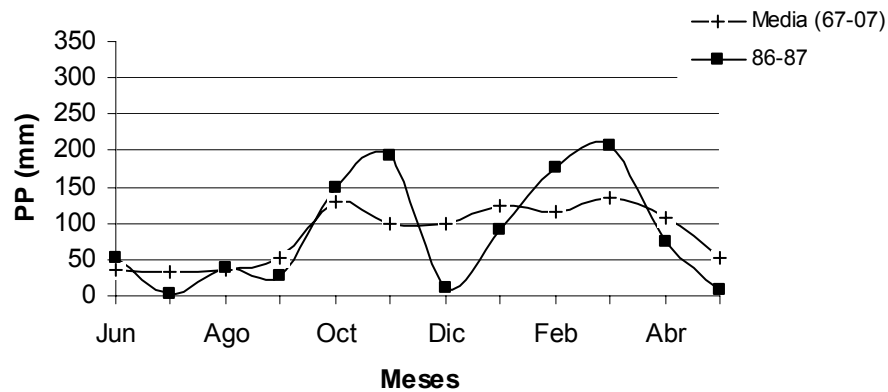


Figura N° 23: Precipitaciones correspondientes al año agrícola 86/87 y a la media mensual de la serie 1967 – 2007 para la estación meteorológica de Pergamino (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

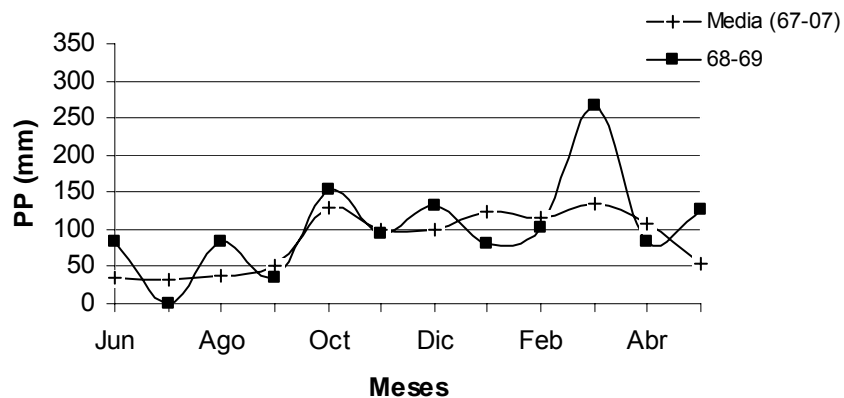


Figura N° 24: Precipitaciones correspondientes al año agrícola 68/69 y a la media mensual de la serie 1967 – 2007 para la estación meteorológica de Pergamino (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

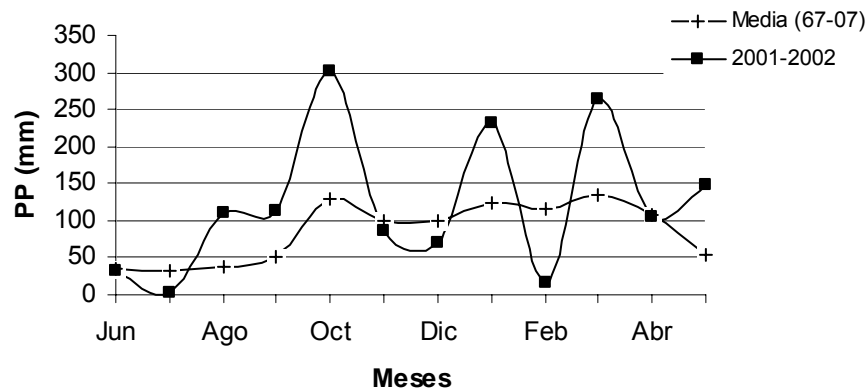


Figura N° 25: Precipitaciones correspondientes al año agrícola 2001/2002 y a la media mensual de la serie 1967 – 2007 para la estación meteorológica de Pergamino (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

#### 2.3.3.1.4 Escenarios que analizan el efecto de las estrategias de manejo del agua de riego

El tipo de estrategia de manejo del riego que se efectúe puede provocar cambios en la demanda de agua. La estrategia de manejo consiste en determinar una profundidad (cm) de manejo del riego, para la cual se definirá un umbral inferior de agua útil (%), que representa el límite, a partir del cual se debe comenzar a regar y un umbral superior, el cual será el límite para finalizar el riego. El agua útil se define como la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Mercau, 2006). Cabe aclarar que el modelo determina la oportunidad del riego teniendo en cuenta los momentos en que las necesidades de agua de los cultivos son críticas para su desarrollo. Esto depende de la evapotranspiración real de los cultivos, la cual a su vez es función del factor coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) y de la evapotranspiración potencial de referencia (sección 2.3.1) (Dardanelli y otros, 2004).

La profundidad de manejo del riego depende directamente de la profundidad donde se encuentra la mayor cantidad de raíces del cultivo y de la textura del suelo. La mayor concentración de raíces se da en los horizontes más húmedos, debido al crecimiento más rápido que se da en estos horizontes. En un argiudol típico la mayor proporción de agua se encuentra

en los estratos superiores (horizonte A) y la menor proporción de agua corresponde al horizonte Bt o B2, ubicado entre 40 y 90 cm de profundidad, enriquecido en arcilla (Dardanelli y otros, 2004).

Existen otros trabajos que determinan la profundidad de la mayor concentración de raíces con distintos resultados: 60 cm para trigo y maíz (Pecorari y Balcaza, 1988), 30 cm para soja y maíz (Jones y Ritchie, 1991) y 40 cm para maíz (Guevara 1991), (Maturano, 2002).

Hay que tener en cuenta que el modelo no simula contribución de agua de la napa freática. De todos modos las raíces de los cultivos bajo estudio alcanzan una profundidad máxima de 1.6 metros (Grassi, 1998) y la profundidad de la napa es cercana a los 10 metros (Auge, 2004).

En cuanto a los umbrales inferiores de agua útil de los diferentes cultivos no hay una única enunciación, por lo cual en distintos estudios se definen distintos umbrales por debajo de los cuales el cultivo no se desarrollaría adecuadamente: 40% agua útil para soja y maíz (Jones y Ritchie, 1991), 50 % para trigo, soja, maíz y girasol (Geiser, Slack, Allred y Stange, 1982) (Falasca, Forte Lay y Bernabé, 2002) y 30% para el cultivo de maíz (Maturano, 2002). El umbral superior para finalizar el riego suele ser un 10% más que el inferior. Jones y Ritchie (1991) y Maturano (2002) determinaron estas profundidades de raíces y umbrales de agua útil con el objetivo de lograr altos rendimientos de los cultivos y a su vez el menor consumo de agua.

Ante esta situación se establecieron 16 estrategias de aplicación de agua para cada cultivo, que combinan diferentes profundidades y umbrales. Las profundidades definidas fueron 30, 40, 50 y 60 cm y los umbrales inferiores 30, 40, 50 y 60 % de agua útil. Se determinó para cada cultivo, a través del modelo, cual era la estrategia de bajo, medio y alto uso de agua, que mantuviese a su vez altos rendimientos. Se cuantificaron las diferencias en el consumo hídrico y en los rendimientos entre las tres estrategias.

Para analizar el efecto de este factor en la demanda de agua para riego y su impacto en las reservas de los acuíferos se definieron los escenarios 5, 7 y 8.

### **2.3.3.1.5 Escenarios que analizan el efecto de la distribución de cultivos**

Este factor se refiere a la cantidad de hectáreas sembrada de cada tipo de cultivo, ya que cada uno demanda diferentes cantidades de agua (diferentes Etr) debido a la época del año en que crecen y se desarrollan, la longitud de la estación de crecimiento, las características del canopeo, la cobertura del suelo, la influencia de la turbulencia atmosférica y la resistencia interna al flujo de agua entre los factores más importantes (Della Maggiora, Gardiol e Irigoyen, 2000). Por ello, demandarán también diferentes cantidades de agua para riego.

Se determinaron tres posibilidades: distribución actual, 100 % de la superficie bajo riego sembrada con el doble cultivo trigo / soja, según la tendencia actual de aumento de esta secuencia en toda la provincia de Buenos Aires (Censo Agropecuario 1988 y Censo Agropecuario 2002) y por último el 100 % de la superficie sembrada con la sucesión trigo / maíz. Esta última resulta importante ya que es la posibilidad con mayor consumo de agua, debido a que el maíz presenta los valores estacionales más altos de Etr comparado con el cultivo de soja, ocasionado por la duración de la estación de crecimiento que es más extensa en el maíz, aunque los valores medios diarios son similares (4.1 mm para el maíz y 4 mm para la soja) (Della Maggiora y otros, 2000) (Falasca y otros, 2002).

Para analizar el efecto de este factor en la demanda de agua para riego y su impacto en las reservas de los acuíferos se definieron los escenarios 5, 9 y 10.

### **2.3.3.1.6 Escenarios que analizan las situaciones extremas de impacto para los acuíferos**

El escenario 11 tiene como fin estudiar la situación extrema de mayor impacto para los acuíferos, en cuanto a los cuatro factores. El escenario 12 se definió para analizar el contexto de menor impacto para el recurso hídrico.

### **2.3.3.1.7 Escenarios que analizan el efecto del riego en toda la superficie con potencial**

Los escenarios 4, 13 y 14 tienen la finalidad de determinar ante la eventual situación de que se riegue en toda la superficie con potencial para ese fin, que sucedería con la explotación de los acuíferos, teniendo en cuenta variaciones en las precipitaciones y en el manejo del riego.

### **2.3.3.1.8 Escenarios que determinan las superficies críticas bajo riego**

Los escenarios 15, 16 y 18 se definieron para especificar a partir de qué superficie se alcanzarían los valores críticos de consumo de reservas para, en primer lugar, una situación donde los tres factores en estudio presentan los menores valores posibles (escenario 15). En segundo lugar, una situación de carácter medio en lo que hace a precipitaciones y consumo por estrategia de manejo del riego (escenario 16). Y por último, dos contextos con consumo también medio de agua determinado por el manejo del riego y que presentan las menores cantidades de precipitaciones de la serie en estudio.

En este estudio se llevó a cabo un análisis netamente hidrológico, por lo cual no se analizaron otras variables que pueden influenciar el desarrollo de los cultivos como la temperatura, la vernalización y el fotoperíodo (Cárcova, Borrás y Otegui, 2004). También se analizó únicamente la demanda de agua para riego y no se tuvo en cuenta otro tipo de usos como el industrial y el agua para abastecimiento humano.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Validación de la aplicación del modelo DSSAT

La validación del modelo de simulación se llevó a cabo a partir de los rendimientos (kg/ha/año) máximos medidos en la zona de Rojas en la campaña 2006/2007. Se tomó como base los rendimientos máximos y no los promedios, debido a que las simulaciones fueron realizadas sobre zonas regadas, en las cuales los rendimientos suelen ser más altos que en zonas sin riego. Los rendimientos estimados por el modelo difieren entre 2% y 20% con respecto a los valores reales medidos (INTA, SMN, 2007) (tabla 2). La estimación más ajustada fue la del rendimiento del trigo presentando una diferencia de 2% con respecto a los valores medidos, seguida por el maíz de segunda que presentó un 3.4%, luego el maíz de primera con un 10%, la soja de segunda presentó un valor de 19% y por último la soja de primera mostró el porcentaje más alto de diferencia, 20%.

Tabla N° 2: Rendimientos estimados por el modelo y medidos en la zona norte de Buenos Aires (INTA, SMN, 2007).

Cultivos	Máximos Rendimientos medidos (kg/ha)	Rendimientos estimados DSSAT (kg/ha)
Trigo	4500	4590
Maíz	12000	13284
Soja 1 <sup>a</sup>	3700	2948
Maíz 2 <sup>a</sup>	12000	12411
Soja 2 <sup>a</sup>	2600	2092

#### 3.2 Demanda de agua para riego e impacto en las reservas de los acuíferos

##### 3.2.1 Análisis de la superficie bajo riego

###### 3.2.1.1 Superficie bajo riego al año 2007

A partir de la identificación y digitalización de las áreas bajo riego se cuantificó un total de 5100 ha para el año 2007 (Fig. 26). Esta superficie representa un 2.48% de la superficie total del partido y un 3% de

la superficie agrícola. A pesar de ser un porcentaje bajo, el aumento producido entre los años 1996 y 2007 fue del 510%.

La clasificación de cultivos (sección 2.2.3) permitió determinar tres cultivos: trigo, maíz y soja y dos secuencias de cultivos: trigo / soja y trigo / maíz. La superficie promedio de los lotes fue de 74 ha. Los lotes con riego más pequeños alcanzan una superficie de 10 ha y los más extensos 200 ha.

Los cultivos más sembrados bajo sistema de riego son el maíz y la soja, debido a su alto requerimiento hídrico en la época de comienzo de encañazón y de formación de vainas, respectivamente (Pascale y Damario, 2004). A pesar de la difusión en la Región Pampeana del doble cultivo trigo / soja (Obschatko y Piñeiro, 1986), en este partido sólo el 7% de la superficie bajo riego se encuentra sembrada con esta secuencia de cultivos.

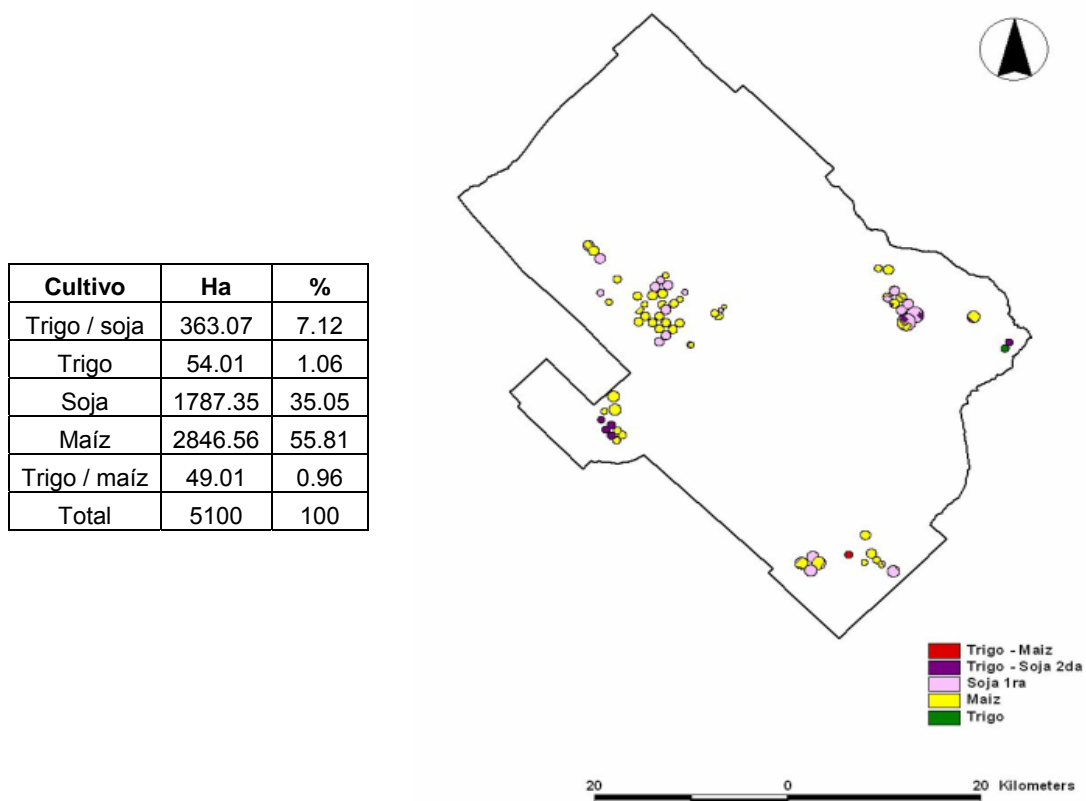


Figura N° 26: Clasificación de cultivos bajo riego convertida a formato vectorial.

### 3.2.1.2 Análisis de escenarios

La situación de la campaña 2006 / 2007 (escenario 1) en lo que respecta a área regada, precipitaciones y distribución de cultivos sembrados no presentó un consumo de reservas significativo para los acuíferos, el cual fue de 2.45%, incluso fue el valor más bajo de todas las situaciones analizadas, debido a que las precipitaciones ocurridas durante ese año alcanzaron un valor de 1234 mm, las cuales representan un valor 22% superior a la media (tabla 3).

Los escenarios 2, 3 y 4 presentaron una significativa diferencia en cuanto al consumo de agua subterránea. Se determinó que con la superficie actual bajo riego y en caso de producirse un aumento de la superficie regada con el mismo porcentaje que se dio en los últimos 10 años (510%) no se estaría en riesgo de sobreexplotación, aún produciéndose un año con escasas precipitaciones. Los acuíferos serían sobreexplotados en el caso de regarse toda la superficie con potencial para riego (115200 ha), la cual representa el 56% de la superficie total del partido. Este es un aspecto fundamental ya que el objetivo de uno de los grupos que nuclea a los productores del lugar de estudio, es regar en toda la superficie donde económicamente sea rentable. Si esto se concreta este objetivo podría alcanzarse un valor superior a las 115200 ha regadas, ya que este valor representa sólo los suelos clase I (sin limitante para la actividad agrícola), pero en la realidad se riegan también suelos de clases más altas, las cuales poseen limitantes como susceptibilidad a la erosión, entre otros. De producirse este hecho se estaría sin duda en riesgo de sobreexplotación de acuíferos. A partir de esta información se destaca la importancia de realizar una planificación sustentable en lo que respecta al aumento de la superficie bajo riego.



Tabla N° 3: Situación de la campaña 2006 /2007. Cambio en el consumo de agua subterránea debido la superficie bajo riego y el cambio en el porcentaje del consumo de reservas renovables.

Escenarios	Área (ha)	PP (percentil)	Estrategia manejo riego (tipo consumo)	Distribución cultivos	Consumo total (hm <sup>3</sup> ) / año	Consumo de reservas (%)
1	5100	Actual	Medio	Actual	4.28	2.45
2	5100	15%	Medio	Actual	13.26	7.61
3	26000	15%	Medio	Actual	69.56	39.93
4	115200	15%	Medio	Actual	308.22	176.94

### 3.2.2 Análisis de la variabilidad de precipitaciones

#### 3.2.2.1 Resultados generales

La variabilidad anual de precipitaciones es un aspecto esencial en esta zona, la cual presenta un coeficiente de variación interanual del 23% para la serie 1967 – 2007 (Fig. 27). Existe también una gran variabilidad mensual interanual, que alcanza valores entre 46.2% para el mes de noviembre y 100% para el mes de junio (Fig. 28). Esta variabilidad puede provocar cambios significativos en la demanda de agua para riego. Es fundamental conocer estos cambios para evaluar su impacto en las reservas renovables de los acuíferos y para llevar a cabo una planificación sustentable del uso del agua subterránea.

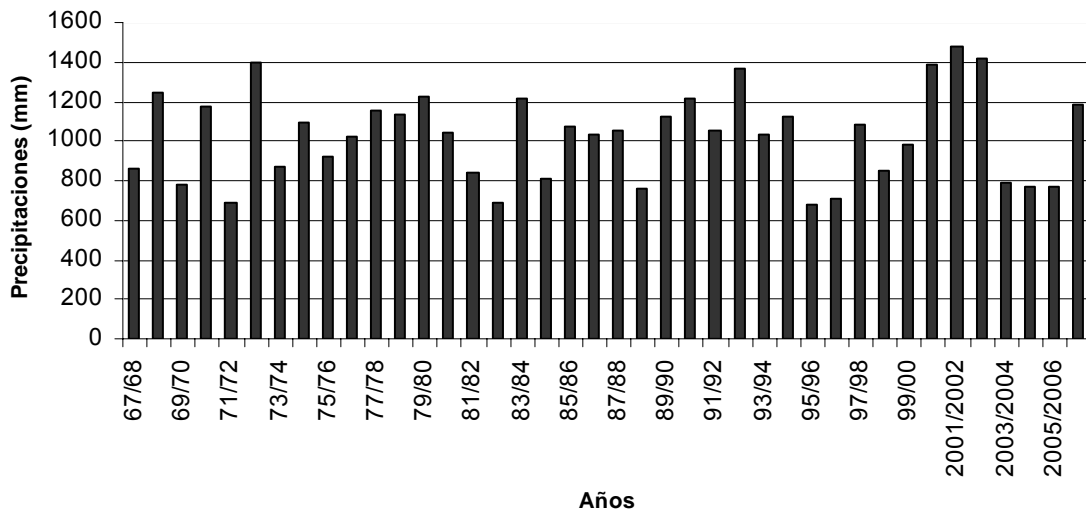


Figura N° 27: Precipitaciones anuales de la serie 1967 – 2007 para la estación meteorológica de Pergamino (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

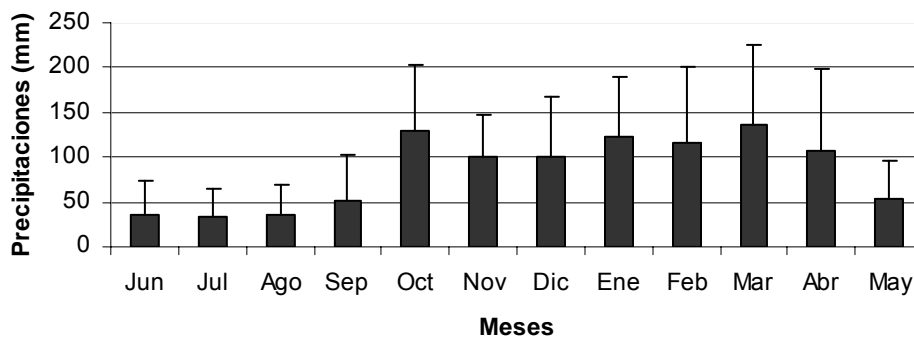


Figura N° 28: Precipitaciones medias mensuales de la serie 1967 – 2007 para la estación meteorológica de Pergamino (Elaboración propia con datos de INTA, Instituto de Clima y Agua).

Los aspectos analizados en esta sección han sido el cambio en la demanda de agua para riego ante la ocurrencia de años con distinta cantidad de precipitaciones y la verificación de la hipótesis: menor cantidad de precipitaciones anuales provoca mayor requerimiento de agua subterránea para riego. Esto ha sido confirmado en la mayoría de los casos si se

evalúa el valor total de agua demandada para riego de los años estudiados (tabla 4).

Tabla N° 4: Agua aportada mediante riego para los tres tipos de cultivos para cada año agrícola estudiado y su coeficiente de variación (CV). Años: 2001/2002 (máximo valor de precipitaciones de la serie 1967-2007), 1968/1969 (percentil 85%), 1986/1987 (percentil 50%), 1988/1989 (percentil 15%) y 1995/1996 (año con menor cantidad de precipitaciones de la serie 1967-2007).

<b>Característica Año agrícola</b>	<b>Riego trigo (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Riego maíz 1<sup>a</sup> (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Riego soja 1<sup>a</sup> (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Riego Maíz 2<sup>a</sup> (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Riego Soja 2<sup>a</sup> (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>Riego total (m<sup>3</sup>/ha)</b>
<b>Máx (1400 mm)</b>	280.51	1237.14	1599.40	1191.25	1104.10	<b>1082.48</b>
<b>85% (1200 mm)</b>	993.86	2024.47	1733.94	1210.00	1087.92	<b>1410.04</b>
<b>50% (1015 mm)</b>	1335.80	2708.44	2492.19	1497.50	1405.69	<b>1887.92</b>
<b>15% (740 mm)</b>	2469.89	2750.40	1763.37	1733.13	1433.68	<b>2030.09</b>
<b>Mín (716 mm)</b>	2015.23	2887.03	2143.63	1741.25	1473.82	<b>2052.17</b>

Sin embargo, si se analizan los cultivos individualmente, existen situaciones en las cuales no se cumplió esta hipótesis, por ejemplo, el año más seco no siempre fue el que demandó mayor volumen de agua de riego. Este fue el caso del trigo donde el año correspondiente al percentil 15% requirió más cantidad de agua que el año extremo seco de la serie estudiada. Por este motivo se analizaron las precipitaciones observadas durante el ciclo de crecimiento del cultivo desde la siembra a la madurez fisiológica (tabla 5), en base a que un valor alto de precipitación anual puede ocurrir por ejemplo, cuando el cultivo aún no se encuentra sembrado. Así se pudo explicar el caso del trigo, en el cual durante el período de desarrollo (julio a noviembre), el año más seco de la serie, registró un valor de precipitaciones más elevado que durante el año correspondiente al percentil 15% (Fig. 29). (Véase en anexo 4, página 96, las precipitaciones ocurridas durante las fases de desarrollo de todos los cultivos bajo estudio).

Tabla N° 5: Precipitaciones (PP) ocurridas durante las fases de crecimiento de los tres cultivos y su coeficiente de variación.

Característica Año agrícola	PP Trigo (m <sup>3</sup> / ha)	PP Maíz (m <sup>3</sup> / ha)	PP Soja 1 <sup>a</sup> (m <sup>3</sup> / ha)	PP Maíz 2 <sup>a</sup> (m <sup>3</sup> / ha)	PP Soja 2 <sup>a</sup> (m <sup>3</sup> / ha)
Máx (1400 mm)	5920	7070	3330	7290	5220
85% (1200 mm)	3510	5040	3630	6900	5080
50% (1015 mm)	3370	3850	2970	5720	4110
15% (740 mm)	1860	3100	2380	4690	3480
Mín (716 mm)	2320	3380	2380	4010	2510

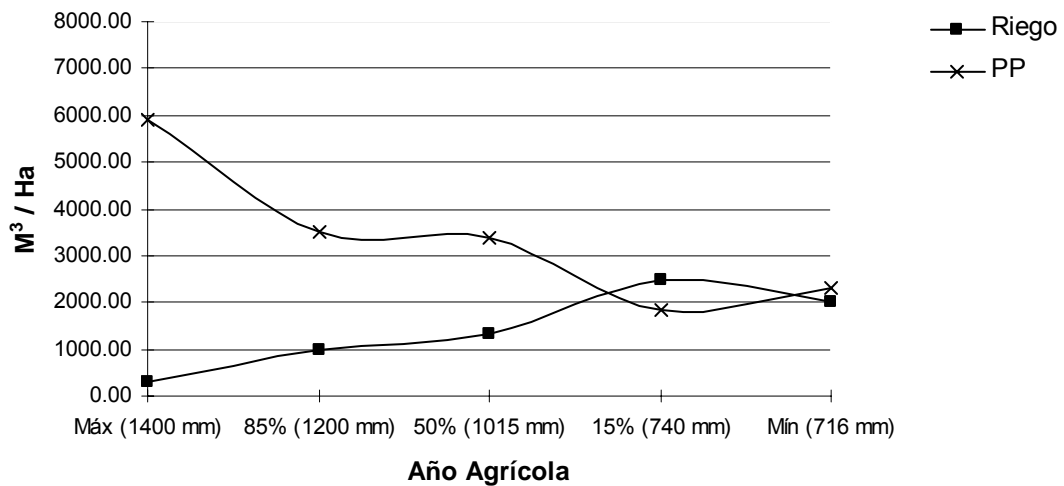


Figura N° 29: Demanda de agua para riego del cultivo de trigo y precipitaciones observadas durante su crecimiento (julio a noviembre) en los años estudiados.

En algunos casos se necesitó analizar una escala temporal de análisis más reducida de las precipitaciones, como es el valor observado durante los meses de mayor requerimiento hídrico (alto kc). Debido a que las precipitaciones pueden presentar valores elevados en épocas en que la planta no necesita cantidades de agua significativas, como es la primera etapa de crecimiento (pre valor máximo de Kc) (Dardanelli y otros, 2004) (sección

2.3.1). Esto sucedió con el cultivo de soja de primera, que mediante el análisis de las precipitaciones anuales o las ocurridas durante su desarrollo (noviembre a febrero) no se encontró una relación directa entre la disminución de las precipitaciones y el aumento del agua demandada para riego. Pero se logró explicar a través de este tipo de análisis. En este caso el año que demandó el volumen más alto de agua para riego fue el del percentil 50% (tabla 4). Esto se produjo debido a que los meses de mayor requerimiento hídrico de la soja son diciembre y enero y el mes de diciembre registró el valor de precipitación más bajo de la serie de años estudiados, 270 m<sup>3</sup>/ha. Cuando el valor promedio para este mes es de 1000 m<sup>3</sup>/ha (Fig. 30). (Véase en anexo 5 página 99 las figuras correspondientes a todos los cultivos).

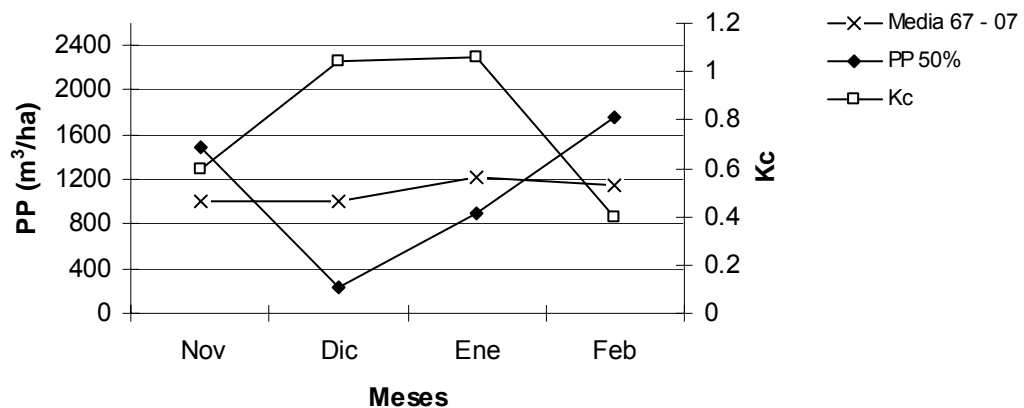


Figura N° 30: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al percentil 50%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) para la soja de primera.

Es posible concluir que en caso de presentarse un año con características secas, el escenario más probable es que se produzca un alto requerimiento de agua para riego y viceversa. Los aspectos aquí analizados, aunque parezcan obvios, son importantes para tener en cuenta al llevar a cabo una planificación sustentable del riego ante la ocurrencia de años con distinta cantidad de precipitaciones. Ya que mediante la consideración de distintos

parámetros y variables meteorológicas de gran escala, se pueden analizar las tendencias climáticas de dichos parámetros e inferir sobre su comportamiento esperado más probable para el año siguiente, en lo que respecta a precipitaciones. Así, en base a esta estimación, se podría planificar el uso del agua subterránea para riego durante el año próximo.

### 3.2.2.2 Análisis de escenarios

Mediante el análisis de los escenarios 2, 5 y 6, la diferencia entre el consumo de agua subterránea de un año con características medias y uno que se encuentra en el percentil del 15% es de 1.1%, por lo cual la ocurrencia de uno u otro tipo de años no sería determinante en la explotación de los acuíferos (tabla 6). La necesidad de riego es 30.4% mayor en el año de características medias con respecto al del percentil 85% y 31.8% mayor en el año del percentil 15% con respecto al del percentil 85%. Estos escenarios permiten determinar que en caso de regarse la superficie actual, aunque se produzca un año con escasa cantidad de precipitaciones no se pondría en riesgo la sustentabilidad de los acuíferos, ya que el porcentaje de consumo de reservas presenta un valor muy bajo (7.6%). A pesar de esto se debería llevar a cabo una planificación sustentable del uso del agua subterránea para riego ante la ocurrencia de años secos, ya que existe diferencia entre los diferentes tipos de años en lo que respecta al consumo hídrico.

Tabla N° 6: Cambio en el consumo de agua subterránea debido a la variabilidad de las precipitaciones anuales y el cambio en el porcentaje del consumo de reservas renovables.

Escenarios	Área (ha)	PP (percentil)	Estrategia manejo riego (tipo consumo)	Distribución cultivos	Consumo total (hm <sup>3</sup> ) / año	Consumo de reservas (%)
5	5100	15%	Medio	Actual	13.26	7.61
2	5100	50%	Medio	Actual	13.11	7.53
6	5100	85%	Medio	Actual	10.06	5.77

### 3.2.3 Análisis de las estrategias de manejo del riego

#### 3.2.3.1 Resultados generales

El análisis de las estrategias de manejo es importante ya que de este factor depende también la demanda de agua subterránea que se efectúe. Este es un factor en el cual el hombre incide directamente al planificar cómo, cuándo y cuánto va a regar. Si se manejan estrategias que tengan como objetivo sólo obtener máximos rendimientos puede llegar a demandarse cantidades de agua notablemente más altas en comparación con estrategias que busquen realizar un uso eficiente del agua, manteniendo a su vez altos rendimientos, aunque no sean los máximos.

El modelo estimó el comienzo de la aplicación de agua de riego entre 10 y 30 días antes del inicio de la fase de cobertura completa del suelo cuando las necesidades de agua aumentan significativamente y se presenta un alto coeficiente de cultivo (kc) (sección 2.3.1). (Véase figuras en anexo 6, página 112).

Se determinaron para todos los cultivos tres tipos de estrategias: de bajo, medio y alto uso del agua para evaluar cuánto significa en m<sup>3</sup>/ha estos tres tipos de manejo y cómo cambia el rendimiento (kg/ha) con cada uno de ellos (tabla 7 y figuras 31 y 32). El umbral de agua útil (30%) que produjo alto rendimiento y el menor uso de agua para el cultivo de maíz tanto de primera como de segunda, coincide con el determinado por Maturano (2002).

El umbral de agua útil (30%) que produjo altos rendimientos y menor uso de agua para los tres cultivos es inferior a los indicados por Jones y Ritchie (1991), Geiser y otros (1982) y Falasca y otros (2002).

Tabla N° 7: Estrategias de manejo de bajo, medio y alto uso de agua para cada cultivo.

Uso del agua	Trigo	Maíz 1 <sup>a</sup> - 2 <sup>a</sup>	Soja 1 <sup>a</sup> - 2 <sup>a</sup>
<b>Bajo</b>	60cm 30%	30cm 30%	50cm 30%
<b>Medio</b>	50cm 50%	60cm 40%	60cm 50%
<b>Alto</b>	30cm 60%	60cm 60%	30cm 60%

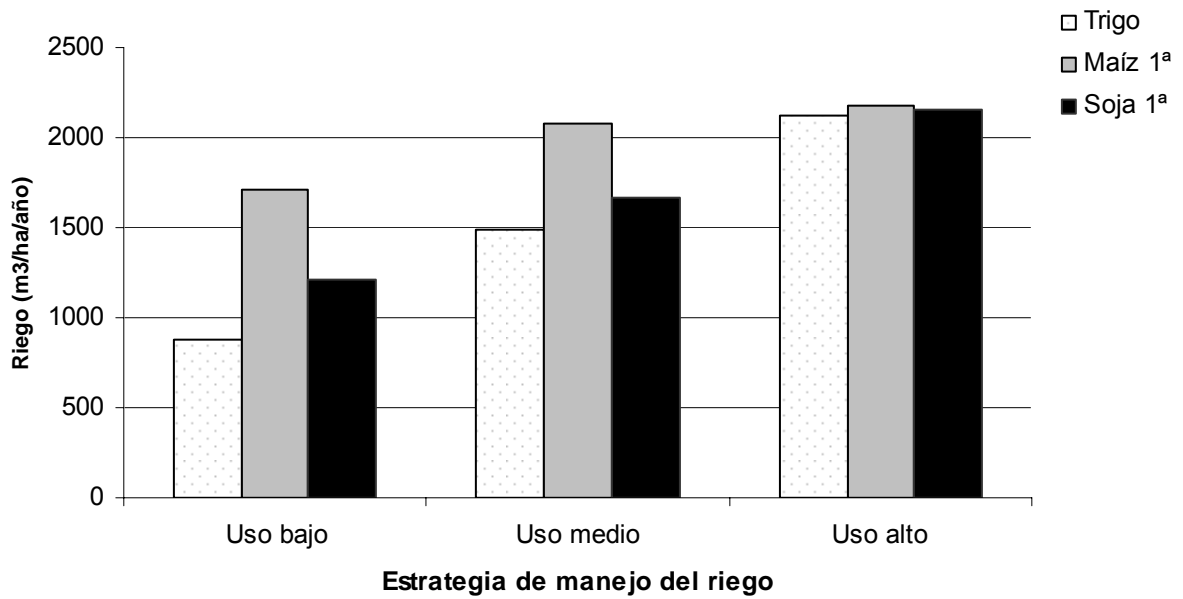


Figura N° 31: Riego promedio de los años 68/69, 86/87, 88/89, 95/96, 01/02, 06/07, discriminado por tipo de estrategia de manejo del riego de bajo, medio y alto uso de agua para los cultivos de trigo, maíz de primera y soja de primera.

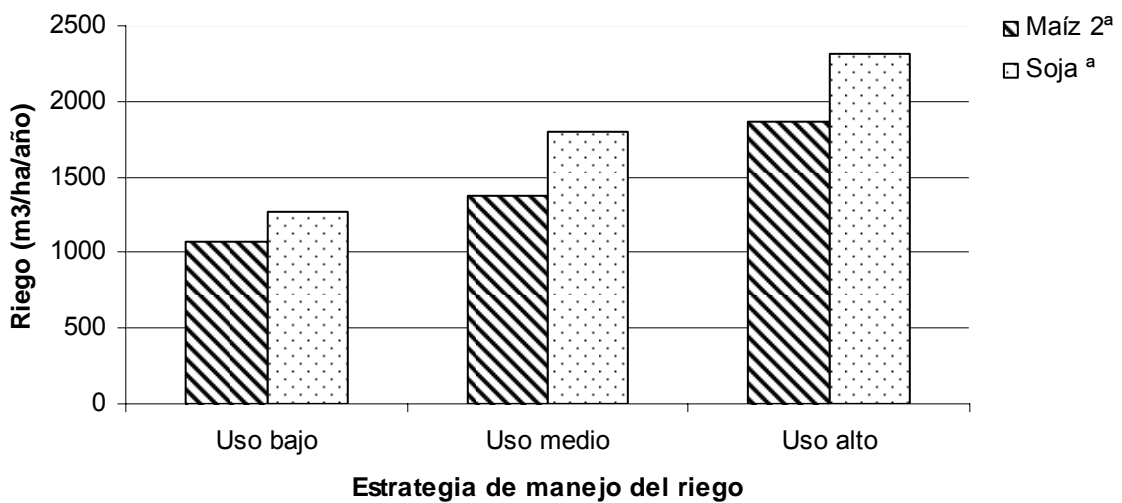


Figura N° 32: Riego promedio de los años 68/69, 86/87, 88/89, 95/96, 01/02, 06/07, discriminado por tipo de estrategia de manejo del riego de bajo, medio y alto uso de agua para los cultivos de maíz de segunda y soja de segunda.



Los rendimientos alcanzados en las tres estrategias se encuentran entre 70 % y 100% con respecto a los rendimientos potenciales (simulados por el modelo sin limitantes de agua y nutrientes) (Anexo 7, página 115). A pesar que todos los rendimientos alcanzados se consideran altos, el cultivo de soja es el que presenta la mayor diferencia de rendimiento con respecto a los rendimientos potenciales. Esto puede atribuirse a que la soja es afectada por la falta de agua más que los cereales (trigo y maíz) debido a que el proceso de fijación simbiótica del nitrógeno que contribuye fundamentalmente al rendimiento es muy sensible a la cantidad de agua disponible (Serraj, Sinclair y Purcell, 1999). Y como en estas estrategias de manejo no se está manteniendo el nivel de humedad cercano a la capacidad de campo la cual sería una disponibilidad sin limitaciones, existe cierta restricción hídrica. Los rendimientos simulados por el modelo sin riego presentan valores entre 4% y 19% menores que los rendimientos alcanzados con las tres estrategias definidas (Anexo 8, página 117).

En el caso del trigo y el maíz, tanto de primera como de segunda, existe un porcentaje bajo de diferencia en cuanto a los rendimientos y una diferencia significativa en el uso de agua, más notoria aún y en el trigo (tablas 8 y 9). La mayor diferencia en el uso se da en este último, entre la estrategia de alto y bajo uso donde el valor es de 1248 m<sup>3</sup>/ha/año (58%) y la diferencia de rendimiento es sólo de 9.6 kg/ha (0.21%), cuando los rendimientos promedio para el trigo son de 4500 kg/ha. Este diferencia significa el 0.2 % del rendimiento promedio por hectárea. En el caso de la soja tanto de primera como de segunda se pueden ver variaciones levemente más notorias del rendimiento, pero a su vez también existen diferencias significativas en el riego (tablas 10 y 12). Por ejemplo, cuando se compara la estrategia de alto y la de bajo uso en la soja de segunda, se evidencia una diferencia de rendimiento de 132.07 kg/ha/año (6.12 %), pero para alcanzar ese rendimiento hay una gran diferencia en cuanto al uso de agua 1035.56 m<sup>3</sup>/ha/año (44.8 %). Cuando los rendimientos promedio de la soja de segunda obtenidos por el modelo son de 2090 kg/ha, esta diferencia representa un 6 % del rendimiento promedio por hectárea. Por lo cual se requiere en todos los casos estudiados un volumen entre 17.3% y 58% mayor de agua entre la estrategia de bajo uso y las restantes para alcanzar rendimientos sólo hasta 6% más altos.

La eficiencia en el uso del agua confirma estos resultados. En todos los casos la estrategia de bajo uso del agua es la más apropiada cuando el objetivo es hacer un uso eficiente del agua, ya que se necesita aplicar gran volumen de agua adicional para obtener un incremento de 1kg/ha en el rendimiento. Los valores más bajos de eficiencia se dan en el cultivo de maíz ya que el aumento en el volumen de agua no se traduce en un aumento de rendimiento, debido a que se alcanzó el rendimiento potencial con la estrategia de bajo uso del agua. La soja es el cultivo que presenta las eficiencias más altas o los valores más bajos de incremento de agua (entre 4 y 38 m<sup>3</sup>/ha) para aumentar 1 kg los rendimientos por hectárea, debido a que existe una diferencia todavía significativa con respecto al rendimiento potencial (entre 22% y 18%), por lo cual aumentando la cantidad de agua de riego se obtienen mejoras en los rendimientos, pero el aumento es poco significativo (4% en el caso de soja de primera) con respecto al aumento del uso del agua (27% para el mismo caso).

Tabla N° 8: Comparación de estrategias, diferencias en el uso de agua de riego y en el rendimiento y eficiencia del uso del agua para el cultivo de trigo.

Trigo					
Comparación estrategias	Dif rend (kg /ha/año)	Dif riego (m <sup>3</sup> /ha/año)	Diferencia rend (%)	Diferencia riego (%)	Eficiencia uso del agua (m <sup>3</sup> /kg)
Bajo - medio	5.23	616	0.11	41.00	117
Medio - alto	4.43	632	0.10	29.00	142
Bajo - alto	9.67	1248	0.21	58.00	129

Tabla N° 9: Comparación de estrategias y diferencias en la demanda de riego y en el rendimiento para el cultivo de maíz de primera.

Maíz 1 <sup>a</sup>					
Comparación estrategias	Dif rend (kg /ha/año)	Dif riego (m <sup>3</sup> /ha/año)	Diferencia rend (%)	Diferencia riego (%)	Eficiencia uso del agua (m <sup>3</sup> /kg)
Bajo - medio	0.07	360	0.00	17.30	5142
Medio - alto	0.06	102.8	0.00	4.70	1713
Bajo - alto	0.13	462.4	3.49	21.20	3556

Tabla N° 10: Comparación de estrategias y diferencias en la demanda de riego y en el rendimiento para el cultivo de soja de primera.

Soja 1 <sup>a</sup>					
Comparación estrategias	Dif rend (kg /ha/año)	Dif riego (m <sup>3</sup> /ha/año)	Diferencia rend (%)	Diferencia riego (%)	Eficiencia uso del agua (m <sup>3</sup> /kg)
Bajo - medio	115.31	452.70	4.26	27.10	4
Medio - alto	12.93	491.40	0.47	22.70	38
Bajo - alto	128.24	944.00	4.71	43.70	7.3

Tabla N° 11: Comparación de estrategias y diferencias en la demanda de riego y en el rendimiento para el cultivo de maíz de segunda.

Maíz 2 <sup>a</sup>					
Comparación estrategias	Dif rend (kg /ha/año)	Dif riego (m <sup>3</sup> /ha/año)	Diferencia rend (%)	Diferencia riego (%)	Eficiencia uso del agua (m <sup>3</sup> /kg)
Bajo - medio	1.33	307.78	0.01	22.39	231
Medio - alto	0.33	487.78	0.00	26.19	1478
Bajo - alto	1.66	795.56	0.01	42.72	480

Tabla N° 12: Comparación de estrategias y diferencias en la demanda de riego y en el rendimiento para el cultivo de soja de segunda.

Soja 2 <sup>a</sup>					
Comparación estrategias	Dif rend (kg /ha/año)	Dif riego (m <sup>3</sup> /ha/año)	Diferencia rend (%)	Diferencia riego (%)	Eficiencia uso del agua (m <sup>3</sup> /kg)
Bajo - medio	84.44	517.78	4.00	28.87	6
Medio - alto	47.63	517.78	2.21	22.40	10.8
Bajo - alto	132.07	1035.56	6.12	44.80	7.8

### 3.2.3.2 Análisis de escenarios

A partir del análisis de los escenarios 5, 7 y 8, se puede determinar que a pesar de que no se llegan a valores críticos en lo que hace a la explotación de acuíferos con ninguna de las tres estrategias teniendo en cuenta la superficie actual bajo riego, la necesidad de riego es un 23% mayor

en la estrategia de uso medio de agua con respecto a la de bajo consumo y un 47% mayor en la estrategia de uso alto con respecto a la de uso bajo de agua (tabla 13). Por ello, el manejo del riego que hagan los productores va a causar un cambio significativo en la extracción de agua subterránea si utiliza estrategias de manejo de bajo, medio o alto uso. De sus decisiones también depende la explotación sustentable de los acuíferos.

Tabla N° 13: Cambio en el consumo de agua subterránea debido a las estrategias de manejo del riego y el cambio en el porcentaje del consumo de reservas renovables.

Escenarios	Área (ha)	PP (percentil)	Estrategia manejo riego (tipo uso)	Distribución cultivos	Consumo total (hm <sup>3</sup> ) / año	Consumo de reservas (%)
5	5100	50%	Bajo	Actual	10.65	6.11
7	5100	50%	Medio	Actual	13.11	7.53
8	5100	50%	Alto	Actual	15.65	8.99

### 3.2.4 Análisis de los tipos de cultivos sembrados

#### 3.2.4.1 Resultados generales

La secuencia trigo / maíz 2<sup>a</sup> requirió el mayor volumen de agua de riego por unidad de superficie y presentó el mayor valor de Etr, seguida por la secuencia trigo / soja. A estas secuencias le siguen el maíz de primera y la soja de primera (tabla 14 y 15). Tanto el maíz como la soja son cultivos estivales con demandas hídricas significativas. El ciclo de crecimiento del maíz (155 días) es más prolongado que el de la soja (118 días) por lo cual se explica su valor de Etr más elevada y su demanda de agua de riego también más alta. La diferencia tanto de evapotranspiración real como de riego entre la soja y el maíz, de primera y de segunda se debe a que la época de crecimiento de los cultivos es diferente, presentando menores requerimientos los cultivos denominados de segunda. Por último, el trigo requirió menor cantidad de agua aportada por riego debido a que se trata de un cultivo invernal - primaveral, época en que las necesidades hídricas (Etr) del cultivo son menores por las

condiciones atmosféricas (Falasca y otros, 2002) (Fig. 33). Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Falasca y otros (1997, 2002) y Della Maggiora y otros (2000). La importancia de la identificación de los cultivos que demandan mayor cantidad de agua reside en poder evaluar su incidencia en la demanda de agua de riego en conjunto con los demás factores como la característica de las precipitaciones, las estrategias de manejo del riego, etc. y evaluar su impacto en los acuíferos.

Tabla N° 14: Comparación de la demanda de agua de riego de los cultivos y secuencias de cultivos para el promedio de años y estrategias de manejo del riego.

<b>Riego (m<sup>3</sup>/ha/año)</b>				
Trigo	Maíz	Soja	Trigo / Maíz 2 <sup>a</sup>	Trigo / Soja <sup>a</sup>
1680.87	2229.00 (1 <sup>a</sup> )	1715.86 (1 <sup>a</sup> )	3087.47	2960.86
	1406.60 (2 <sup>a</sup> )	1280.86 (2 <sup>a</sup> )		

Tabla N° 15: Comparación de la evapotranspiración real (Etr) de los cultivos y secuencias de cultivos para el promedio de años y estrategias de manejo del riego.

<b>Etr (m<sup>3</sup>/ha/año)</b>				
Trigo	Maíz	Soja	Trigo / Maíz 2 <sup>a</sup>	Trigo / Soja 2 <sup>a</sup>
4136.39	6080.46 (1 <sup>a</sup> )	4418.338 (1 <sup>a</sup> )	9090.15	7980.85
	4990.00 (2 <sup>a</sup> )	3880.70 (2 <sup>a</sup> )		

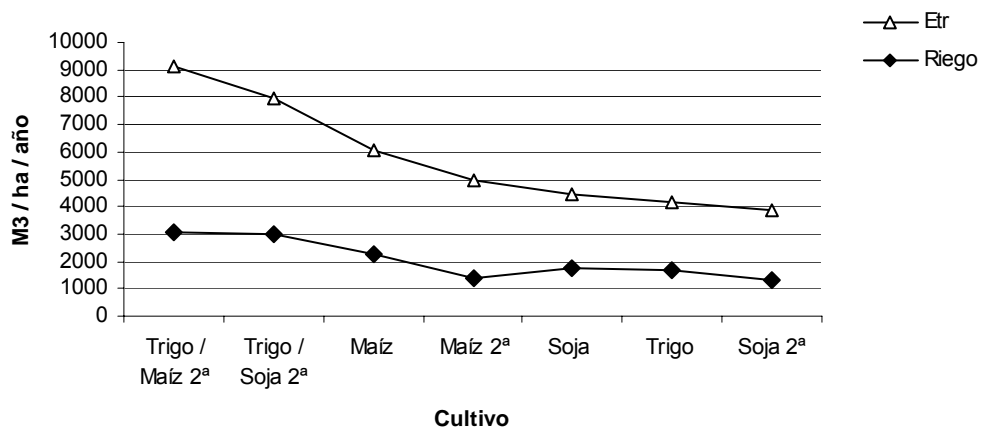


Figura N° 33: Evapotranspiración real y demanda de agua de riego para los cultivos y secuencias de cultivos para el promedio de años y estrategias de manejo del riego.

### 3.2.4.2 Análisis de escenarios

En los escenarios 5, 9 y 10 la diferencia de necesidad de riego que se produce entre la distribución actual de cultivos (tabla 16) y la de 100% trigo / soja es de  $1.47 \text{ hm}^3/\text{año}$  y entre la actual y la de 100% trigo / maíz es  $3 \text{ hm}^3/\text{año}$ , teniendo en cuenta la superficie al año 2007, representa un 0.87% y 1.72% respectivamente del total de las reservas renovables. Teniendo en cuenta esta superficie, la distribución de cultivos sembrada en la superficie de 5100 ha no representa un riesgo para la sustentabilidad de los acuíferos (tabla 17). La necesidad de riego es un 11.2% mayor en el caso de sembrarse la totalidad de la superficie con trigo / soja respecto de la distribución de cultivos actual y un 23% mayor en la situación de siembra del 100% de la superficie irrigada con trigo / maíz respecto de la distribución actual de cultivos. En la actualidad esta situación es poco probable ya que esta secuencia de cultivos representa un 0.96% del total de cultivos bajo riego. Pero no deja de ser una posibilidad en el futuro. En cambio la secuencia trigo / soja debido a las condiciones coyunturales económicas y al avance registrado de este doble cultivo en toda la Región Pampeana (CNA 1988 – 2002), es más probable que siga aumentando.

Tabla N° 16: Distribución de cultivos sembrados en la campaña agrícola 2006 / 2007.

Cultivo	Ha	%
Trigo / soja	363.07	7.12
Trigo	54.01	1.06
Soja	1787.35	35.05
Maíz	2846.56	55.81
Trigo / maíz	49.01	0.96
Total	5100	100

Tabla N° 17: Cambio en el consumo de agua subterránea debido la distribución de cultivos y el cambio en el porcentaje del consumo de reservas renovables.

Escenarios	Área (ha)	PP (percentil)	Estrategia manejo riego (tipo consumo)	Distribución cultivos	Consumo total (hm <sup>3</sup> ) / año	Consumo de reservas (%)
5	5100	50%	Medio	Actual	13.11	7.53
9	5100	50%	Medio	100% Trigo / soja	14.58	8.37
10	5100	50%	Medio	100% Trigo / maíz	16.13	9.26

### 3.2.5 Situaciones extremas

En los escenarios 11 y 12 se compararon las dos situaciones extremas en cuanto al impacto en los acuíferos, teniendo en cuenta los valores también extremos que pueden tomar los factores considerados (tabla 18). La situación negativa para los acuíferos estaría explotando en un año el doble de las reservas que se consideran renovables.

Tabla N° 18: Consumo total y porcentaje del consumo de reservas renovables en las dos situaciones extremas de demanda de agua, la de mayor y menor impacto para los acuíferos.

Escenarios	Área (ha)	PP (percentil)	Estrategia manejo riego (tipo consumo)	Distribución cultivos	Consumo total (hm <sup>3</sup> ) / año	Consumo de reservas (%)
11	115200	Mín	Alto	100% Trigo / maíz	591.23	339.40
12	5100	Máx	Bajo	Actual	5.19	2.98

### 3.2.6 Escenarios con riego en toda la superficie con potencial

Se definieron estas situaciones una vez analizados los escenarios 2, 3 y 4 (superficie bajo riego) para evaluar cómo influye en esta superficie (115200 ha) ya determinada como crítica en lo que respecta al uso de reservas subterráneas, la variabilidad de las precipitaciones y las estrategias de manejo del riego. Existe una necesidad de riego de 1.6% mayor en el consumo de agua de riego en un año correspondiente al percentil 15% con respecto a otro de características medias. El requerimiento de agua de riego es un 28.5% mayor en un año con características medias con respecto a uno correspondiente al percentil 85% y un 30.7% mayor en un año correspondiente al percentil 15% respecto de un año que pertenece al percentil 85% (tabla 19). Si se regase esta superficie, aunque ocurran años con diferentes características en lo que hace a precipitaciones y se realicen distintos manejos del riego (escenarios 13.a y 13.b), se alcanzarían en todos los casos valores críticos de explotación de acuíferos.

Tabla N° 19: Consumo de agua subterránea y porcentaje de consumo de reservas en la situación de riego en toda el área con potencial para ese fin.

Escenarios	Área (ha)	PP (percentil)	Estrategia manejo riego (tipo consumo)	Distribución cultivos	Consumo total (hm <sup>3</sup> ) / año	Consumo de reservas (%)
4	115200	15%	Medio	Actual	308.22	176.94
13 a	115200	85%	Bajo	Actual	181.97	104.46
13 b	115200	85%	Medio	Actual	235.81	135.30
14	115200	50%	Medio	Actual	303.17	174.03

### 3.2.7 Determinación de superficies críticas bajo riego

Se determinaron las superficies bajo riego a partir de las cuales se alcanzan valores críticos de consumo de reservas renovables causados por la característica de las precipitaciones (tabla 20). Estos valores podrían representar límites de superficie máxima que se podría tener en el partido bajo sistema de riego para no poner en riesgo la sustentabilidad de los acuíferos en años con abundantes precipitaciones (escenario 15),



precipitaciones medias (escenario 16) y con escasas precipitaciones (escenarios 17 y 18). Existe una diferencia de 23250 ha entre la superficie bajo riego crítica de menor y la de mayor impacto en lo que respecta a las precipitaciones.

Tabla N° 20: Identificación de la superficie en la que se estarían sobreexplotando los acuíferos teniendo en cuenta algunas de las características analizadas de las precipitaciones.

Escenarios	Área (ha)	PP (percentil)	Estrategia manejo riego (tipo consumo)	Distribución cultivos	Consumo total (hm <sup>3</sup> ) / año	Consumo de reservas (%)
15	84800	85%	Medio	Actual	174.23	100.02
16	66400	50%	Medio	Actual	174.70	100.31
17	65120	15%	Medio	Actual	174.23	100.02
18	61550	Mín	Medio	Actual	174.20	100.00

Finalmente la figura 34 muestra el incremento del consumo total de agua subterránea en los distintos escenarios. Los escenarios en los cuales se alcanzarían valores superiores al de las reservas renovables (dentro del área de color rojo) se producirían a partir de practicarse el riego en una superficie que ocupe el 30% del total del partido o el 50% de la superficie potencialmente regable (suelos Clase I).

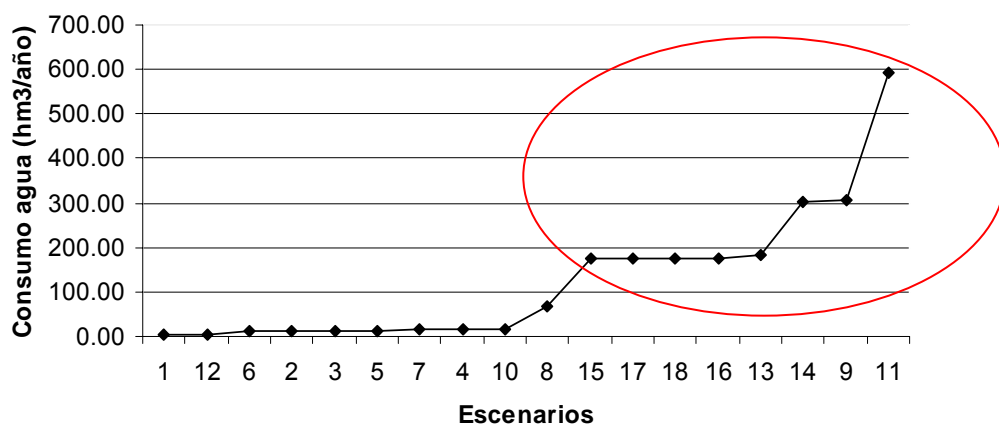


Figura N° 34: Clasificación de escenarios teniendo en cuenta el consumo de agua subterránea.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se puede concluir que en el partido de Rojas ninguno de los escenarios anuales planteados, que considere la superficie actual bajo riego, pondrían en riesgo la sustentabilidad de los acuíferos, aún en años con escasas precipitaciones, con estrategias de manejo de alto uso de agua y con tipos de cultivos que demanden gran volumen hídrico. Actualmente se está explotando menos del 10% de las reservas renovables de los acuíferos. A pesar de esto los cambios en la demanda de agua producidos por la variación de cada uno de estos factores son significativos. Por ello, si se quiere llevar a cabo una planificación sustentable del uso del agua para riego, todos los factores deben ser considerados.

El análisis de la variabilidad de las precipitaciones permitió determinar que en líneas generales, cuanto menor es el volumen de precipitación anual, mayor es la demanda de agua para riego. Esta confirmación permitiría llevar adelante una planificación sustentable a corto plazo del recurso hídrico, ya que mediante el análisis de tendencias climáticas que permiten estimar el comportamiento esperado más probable de una serie de variables meteorológicas para el año siguiente, se podría inferir la característica del año venidero en lo que respecta a precipitaciones y estimar qué tipo de demanda de agua de riego se efectuará. Según este análisis se comprobó que la ocurrencia de años con escasas, medias y abundantes precipitaciones producen cambios considerables en la demanda de agua. Existe un bajo porcentaje de diferencia entre la ocurrencia de un año con características medias y uno con escasas precipitaciones (1.1%), pero sí hay un cambio más significativo entre estos y un año con abundantes precipitaciones (31%).

Por otra parte, las estrategias de manejo del agua de riego (profundidad de riego y umbral de agua útil en esa profundidad) también ocasionan un cambio significativo en el uso del agua. En este trabajo se han definido tres tipos de estrategias para cada uno de los cultivos estudiados: de bajo, medio y alto uso o consumo de agua. Se determinó que la más eficiente en cuanto al uso del agua y rendimiento del cultivo es la de bajo consumo, debido a que se produce un notable incremento en el uso del agua entre estrategias (23% entre uso bajo y medio y 47% entre uso bajo y alto), a la vez que la variación en

los rendimientos es poco significativa o mínima (menor al 6%) a medida que el uso del agua entre estrategias aumenta. Por lo cual la estrategia de bajo uso de agua debería ser siempre utilizada para llevar a cabo una gestión sustentable de los recursos hídricos, dada la diferencia entre el agua aplicada y el rendimiento alcanzado entre ésta y las demás estrategias.

En lo que respecta a los tipos de cultivos sembrados también se determinó una diferencia notable en la demanda de agua subterránea entre la distribución actual de cultivos (% de ocupación de cada tipo de cultivo actualmente en Rojas) y la siembra hipotética del 100% de la superficie con el doble cultivo trigo / soja (11.2%) y entre la actual y la siembra del 100% de la superficie con trigo / maíz (23%). El caso del doble cultivo trigo / soja es fundamental ya que la tendencia actual muestra en la Región Pampeana un aumento de la siembra de esta secuencia de cultivos. Por lo cual en este factor la opción que contribuiría a la sustentabilidad de los acuíferos es la diversidad de cultivos.

Dado que en Rojas la superficie actual bajo riego no produciría riesgo de sobreexplotación de acuíferos, independientemente del valor que tomen los demás factores (precipitaciones, estrategias de manejo y tipos de cultivos), las situaciones que sí afectarían la sustentabilidad de los mismos estarían dadas por el aumento de esta superficie. Según el análisis del cambio en la demanda ocasionado este factor, en caso de producirse un aumento de la superficie en un 510% (porcentaje de incremento del área en los últimos 10 años) no se estaría en riesgo de sobreexplotación, aún si se produjese un año con escasas precipitaciones. Se produciría sobreexplotación si se regase toda la superficie con potencial para riego (suelos clase I) que representa el 56% de la superficie total del partido. Este aspecto es fundamental ya que uno de los grupos que nuclea a los productores de la zona tiene como objetivo regar toda la superficie donde económicamente sea rentable. Por lo cual si esto se lleva a cabo se sobreexplotarían los acuíferos indefectiblemente, ya que la superficie que se puede determinar como rentable pueden ser las 115200 ha con potencial para riego consideradas en este trabajo, o aún mayor, ya que en la práctica pueden regarse suelos que no sean de clase I, aunque esto tendría sus consecuencias a nivel edáfico (erosión, salinización, etc). También se determinaron las superficies críticas a partir de las cuales, teniendo en cuenta

cambios en los demás factores, se pondría en riesgo la sustentabilidad de los acuíferos. Este aspecto es muy útil para limitar la expansión del riego indiscriminadamente en el partido, ya que permite identificar, por ejemplo, ante un año que presente escasas precipitaciones y con una estrategia de manejo de uso medio de agua y con la actual distribución de cultivos, la superficie en la que se puede llevar a cabo esta práctica sin poner en riesgo la sustentabilidad. Esta superficie debería ser menor al 30% de la superficie total del partido, para un año como el que se describió.

Este trabajo ha permitido obtener conocimientos para llevar a cabo en el partido una planificación integral y sustentable de los recursos hídricos para riego teniendo en cuenta los cuatro factores estudiados. Esta planificación podría basarse en primer lugar en limitar la expansión del riego, fijando como límite el 30% de la superficie del partido, promover la producción de cultivos variados, utilizar estrategias de manejo del riego de bajo uso del agua y mediante las tendencias climáticas conocer las características del año siguiente para permitir expandir o restringir la superficie bajo riego a nivel regional.

A pesar de que el riego es la actividad que mayor cantidad de agua demanda con respecto al uso industrial y al abastecimiento humano, sería necesario en futuros trabajos incorporar estas demandas para determinar más ajustadamente las superficies límites a partir de las cuales se produciría sobreexplotación.

Asimismo, debido a que en este estudio se analizaron escenarios anuales debido a que el valor de las reservas renovables fue calculado para ese intervalo de tiempo, sería necesario realizar también un análisis seriado que tenga en cuenta escenarios que presenten varios años consecutivos con determinadas características de precipitaciones y evaluar el impacto en las reservas de los acuíferos.

A su vez, existen otros impactos del riego que no han sido analizados en este trabajo, pero deben ser tenidos en cuenta al llevar adelante una gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos y son los efectos en el suelo, como salinización y sodificación, y en la calidad del agua extraída, ya que la explotación puede movilizar aguas de baja calidad generando procesos de mezcla con aguas contaminadas.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Alexandrov, V.A.; Hoogenboom, G., (2000), *The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria*. Agricultural and Forest Meteorology, 104, 315 – 327.

Allen, R.G; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M., (1998), *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization (FAO) Irrigation and drainage, paper 56, Roma.

Álvarez, R.; Steinbach, H.; Grigera, S.; Cartier, E.; Obregón, A.; García, R., (2004), *The balance sheet methods as a conceptual framework for nitrogen fertilization of wheat in pampean agroecosystems*. Agronomy Journal, 96, 1050-1057.

Auge, M.P; Castilla, A., (2002), *Hidrogeología de la Ciudad de Buenos Aires*. Actas del XV Congreso Geológico Argentino, El Calafate, Argentina.

Auge, M.P., (2004), *Hidrogeología Ambiental*. Sexto Curso de Postgrado UBA. Inédito, 1 – 278.

Bastiaanssen, W.G.; Molden, D.J.; Makin, I.W., (2000), *Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications*. Agricultural Water Management, 46, 137 – 155.

Boote, K.J.; Jones, J.W.; Pickering, N.B., (1996), *Potential uses and limitations of crop models*. Agronomy Journal, 88, 704 – 716.

Boote, K.J.; Jones, J.W.; Hoogenboom, G.; Pickering, N. B., (1998), *The CROPGRO model for grain legumes*. In: Tsuji, G.Y.; Hoogenboom, G.; Thornton, P.K. (Eds.), *Understanding Options for Agriculture Production*. Kluwer Academic Publishers, London, UK, 99 –128.

Boote, K.J.; Jones, J.W.; Batchelor, W.D., (2001), *Evaluating and improving CROPGRO-soybean and CERES-maize models for predicting growth and yield response to climate change*. 2001– 2002 NIGEC Annual Report. Great Plains Regional Center, 16 – 22.

Buschiazzo, M., Campaña de Trigo 2005 / 2006 INTA, Boletín INTA Saénz Peña.

Cárcova, J.; Borrás, L. y Otegui, M.E., (2004), *Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en maíz*, 134 – 158; en Satorre, E.H. y col. Eds. (2004) *Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo*, Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

Casas, R., (1986), *El escurrimiento superficial – Método para su estimación en conservación de suelos*, Buenos Aires, SAGPYA.

Chuvienco, E., (2007), *Teledetección ambiental*, Ariel Ciencia, Barcelona.

CREA, (1997), Soja Cuaderno de Actualización Técnica N° 58.

Dardanelli, J.; Colino, D.; Otegui, M.E y Sadras, V. O. *Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano*, 377-434; en Satorre, E.H. y col. Eds. (2004) *Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo*, Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

Della Maggiora, A.I.; Gardiol, J.M. e Irigoyen, A.I., (2000), *Requerimientos hídricos*. En Andrade, H. y Sadras, V.O, *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*, Buenos Aires, INTA.

Erdas, (2001), Erdas Imagine Guide versión 8.5.

FAIR 1 CT95-0088, (1999), *Water, agriculture and environment interactions. Reducing the impacts of water applications heterogeneity on: nitrates leaching*,

*water losses and economic yields*. Rapport d'avancement NIWASAVE rédigés à l'issue de la 3<sup>ème</sup> période. Final report.

Falasca, S.L., (1997), *Un modelo de optimización del uso del suelo con fines agrícolas en el Partido de Tandil*. Revista Facultad de Agronomía, Buenos Aires, 17, 242 – 252.

Falasca, S.L.; Forte Lay, J.A y Bernabé, M.A., (2002), *Simulación de las necesidades de riego complementario de un sector del partido de Tandil, República Argentina*, Revista Brasileira de Agrometeorologia, 10, 333 – 342.

FAO (Food and Agriculture Organization), (1995), *Perfiles Hídricos por País*. En <http://www.fao.org/Regional/LAmerica/paises/h2o/argentina.htm>

Filippini, O.S.; Díaz Ciarlo, G., (2007), *Matemática y Estadística*. Cátedra de Matemática y Estadística de la Universidad de Luján.

Fisher, R.A., (1973), *The effect of water stress at various stages of development on yield process in wheat*. Symposium Plant responses to climatic factors. Uppsala.

Geiser, K.M.; Slack, D.C.; Allred, E.R. and Stange, K.W., (1982), *Irrigation scheduling using crop canopy-air temperature difference*, Trans. of the ASAE, 25, 689 - 694.

Grassi, C. J., (1998), *Fundamentos del riego*, Venezuela, CIDIAT.

Guerschman, J.P.; Paruelo, J.M.; Di Bella, C.M.; Giallorenzi, M.C.; Pacin, F., (2003), *Land Cover Classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM Data*. International Journal of Remote Sensing, 17, 3381–3402.

Guevara, E. R., (1991), *Role des caracteres d'énracinement dans la tolerance au déficit hydrique du maïs (Zea mays L.) en Argentine*; en Maturano, M. (2002) Tesis Doctoral *Estudio Del Uso del Agua y del Nitrógeno dentro del Marco de*

*una Agricultura Sostenible en las Regiones Maiceras Castellano-Manchega y Argentina.*

Guevara, E., (2006), *La simulación del desarrollo, crecimiento y rendimiento del maíz.* Actas del Congreso Agrofutura, 20 de septiembre, Buenos Aires, Argentina.

Hall A.J.; Rebella, C. M.; Ghera, C.M.; Culot, J.P., (1992), *Field-crop systems of the Pampas.* In: Pearson, C. (Ed.), *Field Crop Ecosystems.* Elsevier, Amsterdam, p 413 - 450.

Heinemann, A. B.; Hoogenboom, G.; de Faria, R.T., (2002), *Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS: An example for the State of Parana, Brazil.* *Agricultural Water Management*, 52, 177-196.

INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), (1988), *Censo Nacional Agropecuario*, Buenos Aires.

INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) (2002) *Censo Nacional Agropecuario*, Buenos Aires.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), (1974), *Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3560 - 2: Rojas.* Buenos Aires, INTA.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), *Banco de datos climáticos*, Instituto de Clima y Agua, Castelar.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria); SMN (Servicio Meteorológico Nacional), *Boletín Agrometeorológico*, diciembre 2006, marzo 2007, junio 2007.



INTA Pergamino, (2006), Boletín Informativo Grupo Sistemas de Información Geográfica del CRBAN. Sistema de Información Agropecuario y Ambiental para la Región Central de la Pampa Húmeda. Partido de Rojas.

IYDA (Innovación y Desarrollo para el Agro), (2007), Protocolo del cultivo de Trigo.

IYDA (Innovación y Desarrollo para el Agro), (2007), Protocolo del cultivo de Soja.

IYDA (Innovación y Desarrollo para el Agro), (2007), Protocolo del cultivo de Maíz.

Jarvis, C.H.; Stuart, N., (2001), *A comparison among strategies for interpolating maximum and minimum daily air temperatures. Part II: The interaction between number of guiding variables and the type of interpolation method*. Journal of Applied Meteorology, 40, 1075 – 1084.

Jensen, M.E.; Burman, R.D.; Allen, R.G., (1990), *Evapotranspiration and irrigation requirements*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice nº 70.

Jensen, J.R., (2005), *Introductory Digital Image Processing*, New Jersey, Prentice Hall, 35 – 104.

Jones, J.W. and Ritchie, J.T. (1991). *Crop growth models*. In: Training Program on Computer Simulation for Crop Growth and Nutrient Management, Alabama.

Jones, J.W.; Hoogenboom, G.; Porter, C.H.; Batchelor, W.D.; Hunt, L.A.; Wilkens, P.W.; Singh, U.; Gijsman, A.J.; Ritchie, J.T., (2003), *The DSSAT cropping system model*. European Journal of Agronomy, 18, 235 –265.

MacRobert, J.F.; Savage, M.J., (1998), *The use of a crop simulation model for planning wheat irrigation in Zimbabwe*. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G.,

Thornton, P.K. (Eds.), *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 205 - 220.

Maddoni, G.A.; Otegui, M.E.; Cirilo, A.G., (2001), *Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation*. *Field Crops Research*, 71, 183 – 193.

Magrin, G., (2007) Proyecto de Riesgo Climático en la Región Pampeana. Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) – SAGPYA. En [http://www.ora.gov.ar/climatico\\_i\\_magrin\\_ba.htm](http://www.ora.gov.ar/climatico_i_magrin_ba.htm)

Marano, R.P.; Pilatti, M.A.; Weidmann, P. y Pecorari, C.A., (1996), *Riego Suplementario en el centro de Santa Fe I. Respuesta productiva del maíz para silaje*. Publicación Miscelánea N° 77 EEA INTA Rafaela.

Marini, M.F.; Vergara; M.F. y Krüger, H., (2007), *Determinación del uso de la tierra en el partido de Guaminí (Argentina) mediante un estudio multitemporal con imágenes Landsat*. *Revista de Teledetección*, 27, 80 - 88.

Martellotto, E.; Salinas, A.; Salas, P.; Alvarez, C.; Lovera, E.; Giubergia, J.; Lengua, S., (2004), Proyecto Regional de Riego. Inventario y Caracterización del Riego Suplementario en la Provincia de Córdoba. INTA.

Maturano, M., (2002), Tesis Doctoral *Estudio Del Uso del Agua y del Nitrógeno dentro del Marco de una Agricultura Sostenible en las Regiones Maiceras Castellano-Manchega y Argentina*. Universidad de Castilla – La Mancha.

Mercau, J., (2005), *Modelos de Simulación: Fortalezas y Debilidades para su aplicación en la planificación del cultivo*. Congreso “Soja, superando barreras con responsabilidad”, 23 y 24 de junio, Buenos Aires, Argentina.

Mercau, J., (2006), *Guía de Uso de los Modelos de Simulación Agronómicos del DSSAT*. Cátedra de Cerealicultura. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

Mercau, J.; Dardanelli, J.L.; Collino, D.J.; Andriani, J.M.; Irigoyen, A.; Satorre, E. H., (2006), *Predicting on-farm soybean yields in the pampas using CROPGRO-soybean*. Field Crops Research, 100, 200 – 209 .

Monteith, J. I., (1996), *The quest for balance in crop modelling*. Agronomy Journal, 88, 704 -716.

Montesinos, S., (1990), *Teledetección: su utilización en la cuantificación y seguimiento de recursos hidráulicos aplicados al regadío. Proceso digital de imágenes Landsat TM de la Mancha Occidental*. Informaciones y Estudios nº 51, SGOP, MOPU.

Monzón, J.P.; Sadras, V.O.; Abbate, P.A.; Caviglia, O.P., (2007), *Modelling management strategies for wheat–soybean double crops in the south-eastern Pampas*. Field Crops Research, 101, 44 – 52.

Nijbroek, R.; Hoogenboom, G.; Jones, J.W., (2003), *Optimizing irrigation management for a spatially variable soybean field*. Agricultural Systems, 76, 359 –377.

Obschatko, E. y Piñeiro, M., (1986), *Agricultura pampeana: cambio tecnológico y sector privado*. Buenos Aires, CISEA.

Oesterheld, M., (2006), *Transformaciones en la agricultura argentina y sus consecuencias*. Actas de la XXII Reunión Argentina de Ecología. Córdoba, 22 al 25 de agosto de 2006, pág 386

Otegui, M.E.; Ruiz, R.A; Petruzzi, D., (1996), *Modeling hybrid and sowing date effects on potential grain yield of maize in a humid temperate region*. Field Crops Research, 47, 167-174.

Pascale, A.; Damario, E., (2004), *Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología*. Buenos Aires, Editorial Facultad Agronomía (UBA).

Pecorari, C. A. y Balcaza, L. F., (1988), *Influencia de los horizontes B2 sobre el consumo de la reserva de agua útil en los suelos del área maicera típica*. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Informe técnico N° 215.

Priestley, C.H.B., Taylor, R.J., (1972), *On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters*. Monthly Weather Review, 100, 81- 92.

Pulido Bosch, A., (1998), *Sobreexplotación de acuíferos y desarrollo sostenible*. Congreso III Taller Internacional sobre Gestión y Tecnologías de Suministro de Agua Potable y Saneamiento Ambiental, La Habana, Cuba.

Puppo, F.A.; Currie, H. M., (2002), *Estudio comparativo del costo para dos sistemas mecanizados de riego en términos de inversión y gastos operativos de riego en cultivo de algodón*. III Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas. Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.

Punos, L. M.; Iglesias, M.C., (2005), *Relación entre el nivel de nodulación y la fertilización nitrogenada en soja*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. UNNE, Resumen A-051.

REDCRA (Confederaciones Rurales Argentinas), (2008), Mapas de zonas de cultivos. En: <http://www.redcra.com>.

SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación), (1995), *El deterioro de las tierras en la República Argentina*, Buenos Aires, Ed. Dúo.

SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación), (1995), *Manual de riego del productor pampeano*. Buenos Aires, Ed Dúo.

SAGPYA (Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación), (2007), Programa Nacional de Calidad de Trigo – Informe Distribución de Variedades en las zonas trigueras.

Santa Cruz, J. y Silva Busso, A., (1995), *Disponibilidad del agua subterránea para riego complementario en las Pcias. de Bs. As., E. Ríos, Córdoba y Santa Fe*. Programa de Servicios Agrícolas provinciales. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGPYA).

SCS (Soil Conservations Service), (1972), National Engineering Handbook, Hydrology Section 4, Chapters 4 -10.

Secretaría de Desarrollo de la Producción de Rojas, (2008), en <http://www.rojasproduccion.gov.ar/>

Serraj, R.J.; Sinclair, T.R.; Purcell, L.C., (1999), *Symbiotic N<sub>2</sub> fixation response to drought*. Journal of Experimental Botany, 50, 143 - 155.

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación; Instituto Nacional del Agua (INA), (2002), *Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina*.

Tabios, G.Q.; Salas, J.D., (1985), *A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation*. Water Resources Bulletin 21 (3), 365 –380.

Totis de Zeljkovich, L.; Rebella, C., (1980), *Necesidades de agua de un cultivo de maíz en la Región de Pergamino*. Congreso Nacional de Maíz II, 28 octubre al 1 noviembre, Pergamino.

Totis de Zeljkovich, L., (1992), *Necesidades de agua de los cultivos de trigo y soja en la Región de Pergamino*. Carpeta de Producción Vegetal INTA Pergamino, 97, 1 – 4.

Totis de Zeljkovich, L., (1994), *Relaciones entre el consumo de agua máximo de la secuencia de cultivos trigo / soja y la evapotranspiración potencial para el cálculo del riego*. Carpeta de Producción Vegetal INTA Pergamino, 149, 1 – 4.

USDA (United States Department of Agriculture), (2005), en <http://www.usda.gov/oc/photo/> USDA.

Viglizzo, E.; Lértora F.; Pordomingo A.; Bernardos J.; Roberto Z.; Del Valle H., (2001), *Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the Pampas of Argentina*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 83, 65 – 81.

Yang, Y.; Watanabe, M.; Zhang, X.; Hao, X.; Zhang, J., (2006), *Estimation of groundwater use by crop production simulated by DSSAT-wheat and DSSAT-maize models in the piedmont region of the North China Plain*. Hydrological Processes, 20, 2787 – 2802.

# **ANEXOS**

## **1. Descripción del sistema de riego por aspersión con equipo de pivote central**

En el método de riego por aspersión, se aplica al suelo en forma de lluvia utilizando dispositivos de emisión de agua, denominados aspersores, que generan una fuente de agua pulverizada en gotas. El agua sale por los aspersores dotada de presión y llega hasta ellos a través de una red de tuberías cuya complejidad y longitud depende de la dimensión y la configuración de la parcela a regar. Por lo tanto una de las características fundamentales de este sistema es que es preciso dotar al agua de presión a la entrada en la parcela de riego por medio de un sistema de bombeo. La disposición de los aspersores se realiza de forma que se moje toda la superficie del suelo, de la forma más homogénea posible.

Un sistema de riego tradicional de riego por aspersión está compuesto de tuberías principales (normalmente enterradas) y tomas de agua o hidrantes para la conexión de secundarias, ramales de aspersión y los aspersores. Todos o algunos de estos elementos pueden estar fijos en el campo, permanentes o solo durante la campaña de riego. Además también pueden ser completamente móviles y ser transportados desde un lugar a otro de la parcela.

Los equipos de pivote central, aparecieron en el mercado hace más de 40 años. Están formados por tramos desde 33,4 hasta 62,4 m y las tuberías forman un arco que ayudan a la distribución de pesos y cargas. Es un sistema automatizado integrado por un brazo regador que gira sobre un punto describiendo un círculo. Permiten una aplicación uniforme en terreno con pendiente gracias a un control de la cantidad de agua a cada aspersor, esto se hace gracias a un regulador de presión que trabaja entre 6 y 50 psi, tiene control de alineación. Este sistema realiza una distribución del agua muy uniforme, tiene muy bajo requerimiento de mano de obra y energía, aunque demanda una inversión inicial alta. El movimiento de traslación se efectúa por medio de motores eléctricos ubicados en cada torre. Conectados a reductores, requieren una potencia de 0.7 - 1.5 HP para una velocidad de avance de 2 a 3 m / min. (Puppo y Currie, 2002)

Los sistemas de riego por aspersión se adaptan bastante bien a topografías ligeramente accidentadas, tanto con las tradicionales redes de



tuberías como con las máquinas de riego. El consumo de agua es moderado y la eficiencia de uso bastante aceptable. Sin embargo, la aplicación del agua en forma de lluvia está bastante condicionada a las condiciones climáticas que se produzcan, en particular al viento, y a la aridez del clima, ya que si las gotas generadas son muy pequeñas, en particular el viento, y a la aridez del clima (las gotas podrían desaparecer antes de tocar el suelo por la evaporación).



Figura N° 1: Sistema de riego por pivote central (USDA, 2005)

## 2. Caracterización del perfil del suelo del partido de Rojas

Tabla N° 1: Caracterización granulométrica y físico-química de un perfil representativo de un suelo Argiudol Típico Serie Rojas (INTA, 1974)

Horizonte	Ap	A12	B1	B21t	B22t	B3	C1	C2
Profundidad de la muestra	0-13	13-28	28-36	36-62	62-78	78-115	115-235	235-275
Materia orgánica %	3.05	3.05	1.72	0.76	0.57	0.39	0.22	
Carbono orgánico %	1.77	1.77	1	0.44	0.33	0.23	0.13	
Nitrógeno total %	0.172	0.173	0.115	0.04	0.038	0.03		
Relación C/N	10	10	9	9	8			
Arcilla < 2 μ %	22.9	23.7	25.5	35.5	27.8	16.9	14.4	12.3
Limo 2-50 μ %	49.4	46.8	48.3	39	42	43.8	46.6	52.3
Arena muy fina, 50-100 μ %	26.8	28.6	25	24.4	29.2	37.7	37.3	31.1
Arena fina, 100-250 μ %	0.9	0.9	1.2	1.1	1	1.6	1.7	2.2
Arena media, 250-500 μ %	0	0	0	0	0	0	0	0
Arena gruesa, 500-1000 μ %	0	0	0	0	0	0	0	0
Arena muy gruesa, 1-2 mm %	0	0	0	0	0	0	0	0
Calcáreo, CaCO <sub>3</sub> %	0	0	0	0	0	0	0	2.1
Equivalente de humedad %	21.8	22.1	22.5	25.8	23.3	15.9	14.2	14.6
ph en pasta	5.9	5.9	6	6	6.1	6.3	6.7	8
ph en agua, 1: 2,5	6	6	6.7	6.9	6.7	7.1	7.2	8.4
Cationes de intercambio, m.e./100 gr								
Ca <sup>++</sup>	11.1	10.5	10.5	11.1	11.2	7.6	7.3	
Mg <sup>++</sup>	2.9	4.1	3.4	5.2	5.2	5.2	4.6	
Na <sup>+</sup>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
K <sup>+</sup>	1.8	1.8	1.2	1.1	1.1	1.1	1.5	1.6
Acidez de intercambio	6.3	5.9	4.9	4.5	3.7	2.9	1.8	
Suma de bases, m.e. /100 gr (S)	16	16.6	15.3	17.6	17.7	14.1	13.6	
Cap. De intercambio catiónico, m.e./100 gr	18.1	18.4	17	20.5	18.7	14	12.5	8.2
Saturación con bases, % (S/T)	88	90	90	86	95	100	100	

Tabla N° 2: Caracterización granulométrica y físico-química de un perfil representativo de un suelo Argiudol Típico Serie Arroyo Dulce (INTA, 1974)

Horizonte	Ap	A12	A3	B1	B21t	B22t	B3	B3	C
Profundidad de la muestra	0-14	14-34	34-45	45-58	58-77	77-97	97-120	120-140	140-220
Materia orgánica %	3.89	3.31	1.58	0.93	0.88	0.72	0.41	0.22	0.15
Carbono orgánico %	2.26	1.92	0.92	0.54	0.51	0.42	0.24	0.13	0.09
Nitrógeno total %	0.224	0.197	0.093	0.07	0.076	0.066	0.053	0.049	0.028
Relación C/N	10	10	10	8	7				

Arcilla < 2 $\mu$ %	20.6	24.6	26.8	32.4	39.8	39.4	26.1	23.2	19.3
Limo 2-50 $\mu$ %	63.9	62.6	57.9	53.2	48.2	46.6	53.5	54.7	59.4
Arena muy fina, 50-100 $\mu$ %	10.9	11.1	14.6	12.5	10.1	12.9	18.3	19.2	17.9
Arena fina, 100-250 $\mu$ %	3.4	1.3	0.7	1.8	1.8	1	1.9	2.5	2.4
Arena media, 250-500 $\mu$ %	0.7	0.3	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.6
Arena gruesa, 500-1000 $\mu$ %	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0.3
Arena muy gruesa, 1-2 mm %	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
Calcáreo, CaCO <sub>3</sub> %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equivalente de humedad %									
ph en pasta	5.4	5.3	5.6	5.6	5.5	5.7	5.7	5.8	6.2
ph en agua, 1: 2,5	6.2	6.2	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	6.9	7
Cationes de intercambio, m.e./100 gr									
Ca <sup>++</sup>	16.1	14.8	11.7	11.1	17.3	18.1	14.9	13.3	13.7
Mg <sup>++</sup>	2.2	2.4	2.8	3.8	5.5	6.2	4.3	4.2	4.2
Na <sup>+</sup>	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	1.2	0.5	0.4	0.5
K <sup>+</sup>	2.1	1.5	1.2	0.9	1.5	1.7	1.6	1.6	1.8
Acidez de intercambio	6.2	7	5.5	5.1	6.2	6	4.6	4	3.3
Suma de bases, m.e. /100 gr (S)	20.8	19.2	16.2	16.3	24.8	27.2	21.3	19.5	20.2
Cap. De intercambio catiónico, m.e./100 gr	22.8	22.3	20.5	19.4	28.5	29.4	23.1	22.2	21.7
Saturación con bases, % (S/T)	91	86	79	84	87	92	92	88	93

Tabla N° 3: Caracterización granulométrica y físico-química de un perfil representativo de un suelo Argiudol Típico Serie Delgado (INTA, 1974)

Horizonte	Ap	A12	B21	B22	B3	C
Profundidad de la muestra	0-16	16-23	23-31	31-53	53-94	94-100
Materia orgánica %	2.98	1.98	1.55	0.9	0.55	0.34
Carbono orgánico %	1.73	1.15	0.9	0.53	0.32	0.2
Nitrógeno total %	0.164	0.115	0.087	0.052	0.043	
Relación C/N	10	10	10	10	8	
Arcilla < 2 $\mu$ %	20.7	22.7	24.4	25.6	18.1	14.2
Limo 2-50 $\mu$ %	41.7	39.8	36.7	33.5	37.4	37.5
Arena muy fina, 50-100 $\mu$ %	35.8	36	37.4	39.3	41.9	45.9
Arena fina, 100-250 $\mu$ %	1.8	1.5	1.5	1.6	2.6	2.4
Arena media, 250-500 $\mu$ %	0	0	0	0	0	0
Arena gruesa, 500-1000 $\mu$ %	0	0	0	0	0	0
Arena muy gruesa, 1-2 mm %	0	0	0	0	0	0

Calcáreo, CaCO <sub>3</sub> %	0	0	0	0	0	0
Equivalente de humedad %	23.1	22.9	22.5	22.2	18.5	15.5
ph en pasta	5.5	5.6	5.6	5.9	6.2	6.5
ph en agua, 1: 2,5	5.9	6.3	6.3	6.4	6.6	6.8
Cationes de intercambio, m.e./100 gr						
Ca <sup>++</sup>	12.6	12.2	12.3	12.3	9.8	8.9
Mg <sup>++</sup>	3.3	3.6	4.1	4.1	4.3	4.2
Na <sup>+</sup>	0.4	0.4	0.7	0.4	0.5	0.7
K <sup>+</sup>	2	1.8	1.8	1.5	1.2	1.5
Acidez de intercambio	8.4	6.7	6.1	3.8	4.8	3.8
Suma de bases, m.e. /100 gr (S)	18.3	18	18.9	18.3	15.8	15.3
Cap. De intercambio catiónico, m.e./100 gr	22.1	19.1	20.4	20.4	16.3	14.3
Saturación con bases, % (S/T)	83	94	93	90	97	100

### **3. Etapas fenológicas de los cultivos**

#### **3.1 Trigo**

**Germinación:** Comienza la aparición de las primeras hojas de la planta y su nudo de macollaje

**Macollaje:** Los macollos surgen como tallos secundarios de la planta principal. Su número depende de la densidad de siembra. En el nudo del macollaje se originan las hojas, los macollos y las raíces secundarias. Éstas formarán en sistema radical definitivo de la planta. La duración del macollaje determina junto con las características genéticas de la variedad, el número de espiguillas potenciales y la cantidad de espigas. Comienzan el período de requerimiento crítico de agua.

**Encañazón:** Es el alargamiento de los entrenudos y ocurre en el tallo principal y en los macollos. Esto produce el crecimiento vertical.

**Espigazón:** Cuando la hoja bandera finaliza su crecimiento, comienza a engrosar su vaina debido a que la espiga crece por dentro. Finalmente la espiga emerge de la vaina y da paso a la etapa de la floración.

**Floración:** Se entiende por tal a la aparición de las anteras fuera de las espiguillas después de producida la floración.

**Maduración:** Una vez finalizada la fecundación en la floración, comienza la formación del grano y su posterior llenado de carbohidratos. Durante el proceso de maduración se pueden reconocer tres estados distintos del grano: lechoso, pastoso y seco (Pascale y Damario, 2004)

#### **3.2 Maíz**

**Emergencia:** Se produce 4 o 5 días después de la siembra.

**Una hoja expandida (V1):** Comienza a crecer y desarrollarse el sistema de raíces nodales, responsable del abastecimiento de agua y nitrógeno a partir de V6 (sies hojas expandidas).

**Enañazón o elongación de entrenudos (V6):** La caña comienza su mayor período de mayor elongación. Puede realizarse fertilización nitrogenada hasta V8.

Comienza la absorción de nutrientes y el período de crítico de requerimiento de agua.

Panojamiento incipiente (V9): Aunque no es visible, la panoja comienza su desarrollo y el tallo continúa su elongación, debido al alargamiento del 5º entrenudo en adelante.

Formación de espigas (V12): En este período se preparan las funciones reproductoras. El número de hileras de granos ya se ha establecido y se define la cantidad de granos potenciales en cada una de ellas. Generalmente se pierden las dos hojas basales.

Aparición de la panoja (VT): La última rama de la panoja está enteramente visible y generalmente dos o tres días antes de que los estigmas puedan estar visibles. Durante este período la planta alcanzará su altura máxima, que rondará entre los 2 y 2.5 metros.

Aparición de estigmas (R1): Comienza cuando algunos de los estigmas se encuentran visibles fuera de las chalas. La polinización sucede cuando algunos granos de polen son atrapados por los estigmas. El polen crece hasta alcanzar el óvulo y producirse la fecundación.

Madurez (R6): Se alcanza cuando todos los granos de la espiga han alcanzado su máximo peso seco. La capa dura de almidón ha avanzado hacia el marlo. La chala y la mayoría de las hojas ya están secas (Pascale y Damario, 2004).

### **3.3 Soja**

Emergencia: Los cotiledones emergen sobre el suelo. Primero emerge el hipocólito en forma de arco, luego arrastra los cotiledones y el epicólito hacia fuera.

Cotiledonar: Los cotiledones se despliegan quedando horizontales a ambos lados del eje principal. Se expanden las dos primeras hojas, que son unifoliadas.

Dos nudos: Las plantas tienen entre 15 y 20 cm de altura y tres nudos con hojas con folíolos desplegados (el nudo unifoliado y los dos primeros nudos con hojas trifoliadas).

Cinco nudos: Las yemas axilares del tallo comienzan a desarrollar ramificaciones y flores.

**Floración:** Una flor abierta en uno de los dos nudos superiores del tallo principal con una hoja completamente despegada. Marca el período de máxima acumulación de materia seca y nutrientes hasta la finalización del llenado de granos.

**Formación de vainas:** Las vainas crecen rápida y constantemente, alcanzando el largo y el ancho máximo antes que crezcan las semillas. El rendimiento de la planta depende de superar este estado sin complicaciones. Aquí comienza el período crítico de requerimiento de agua del cultivo.

**Llenado de granos:** Este período está caracterizado por el rápido crecimiento de las semillas o llenado de granos.

**Inicio de madurez:** La madurez fisiológica de una semilla ocurre cuando la acumulación del peso seco (llenado) se detiene. Esto ocurre cuando la semilla y la vaina se tornan de un color amarillento.

**Plenitud de madurez:** Cuando una planta se encuentra en este período, los granos se hallan sueltos dentro de las vainas (CREA, 1997).

**4. Precipitaciones sucedidas durante las fases de desarrollo de los cultivos**

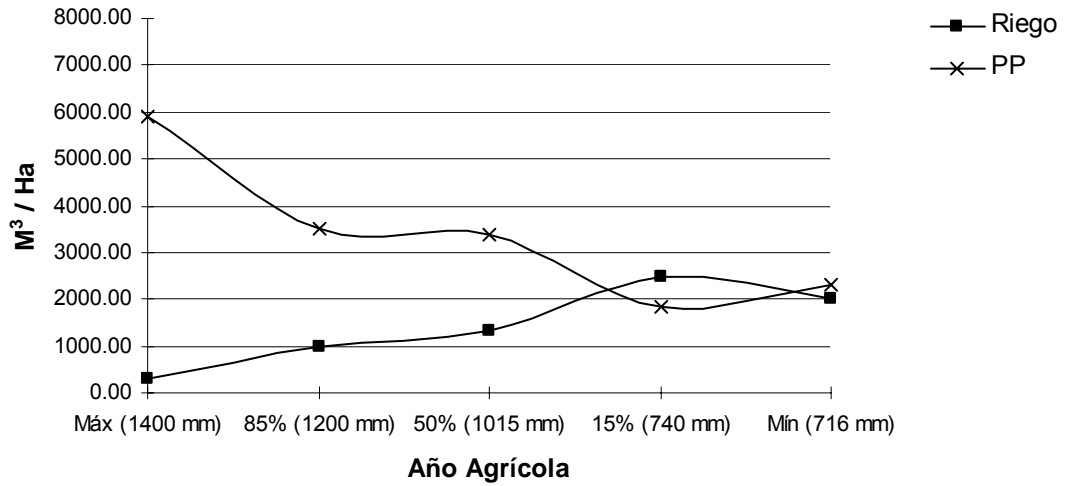


Figura N° 2: Demanda de agua para riego del cultivo de trigo y precipitaciones observadas durante su crecimiento (julio a noviembre) en los años estudiados.

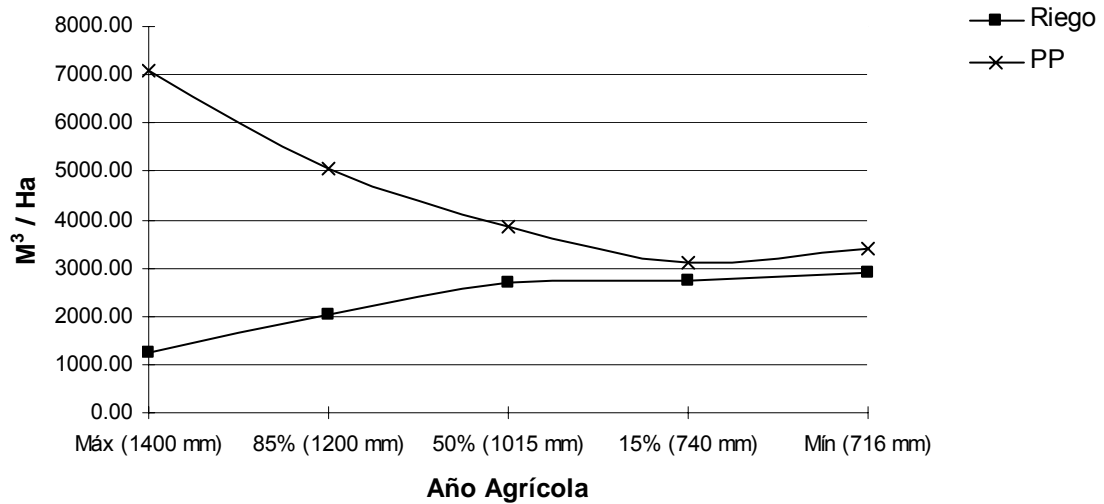


Figura N° 3: Demanda de agua para riego del cultivo de maíz y precipitaciones observadas durante su crecimiento (septiembre a febrero) en los años estudiados.



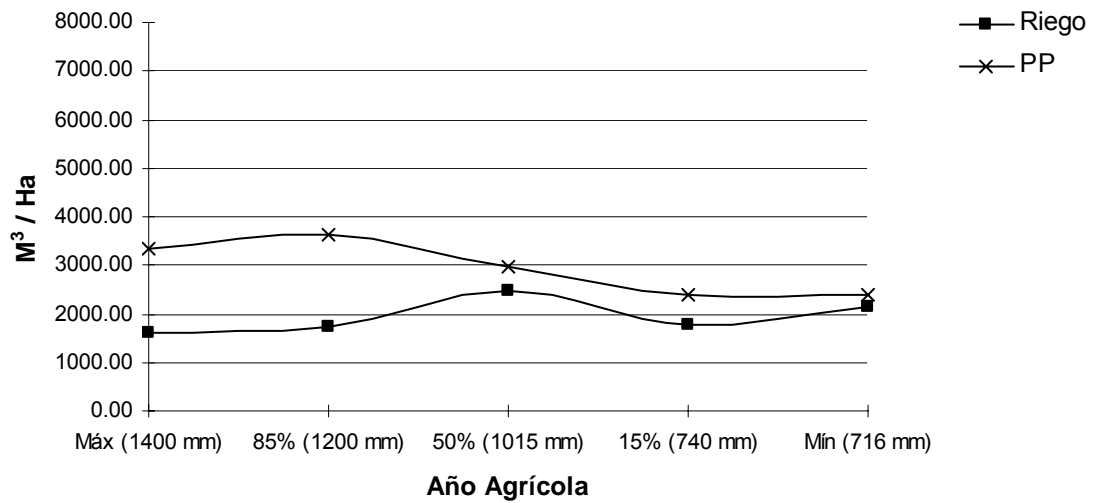


Figura N° 4: Demanda de agua para riego del cultivo de soja de primera y precipitaciones observadas durante su crecimiento (noviembre a marzo) en los años estudiados.

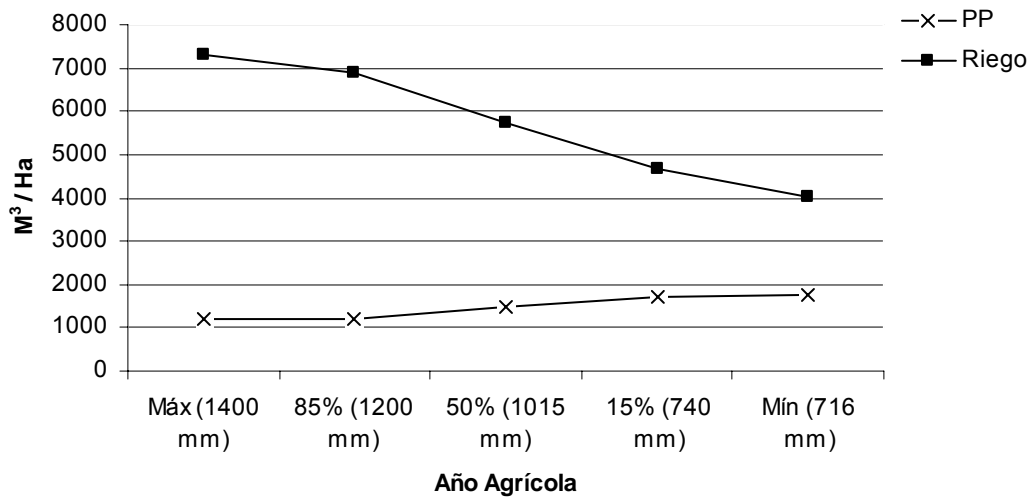


Figura N° 5: Demanda de agua para riego del cultivo de maíz de segunda y precipitaciones observadas durante su crecimiento (diciembre a mayo) en los años estudiados.

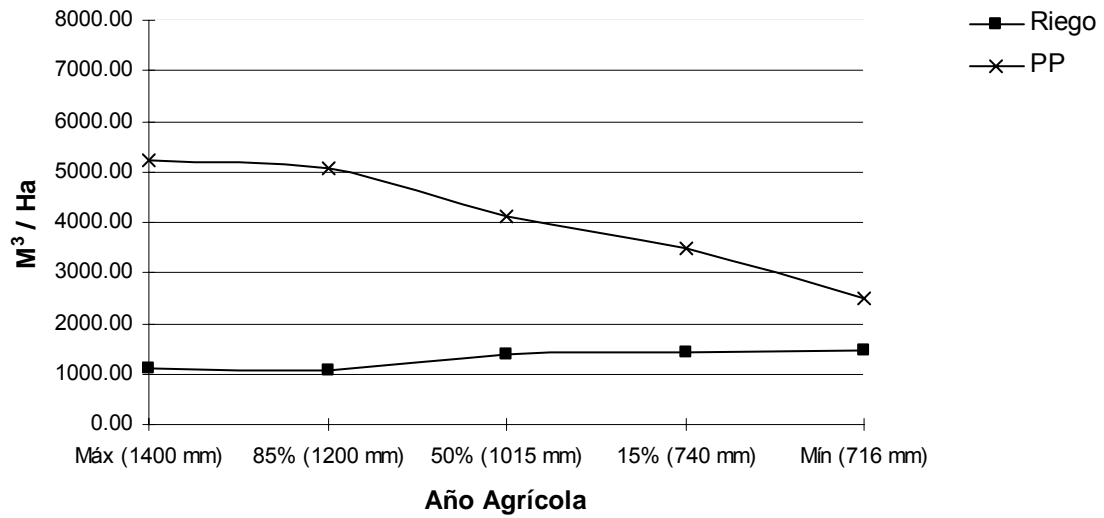


Figura N° 6: Demanda de agua para riego del cultivo de soja de segunda y precipitaciones observadas durante su crecimiento (diciembre a marzo) en los años estudiados.

**5. Coeficiente de cultivo (kc) y precipitaciones mensuales**

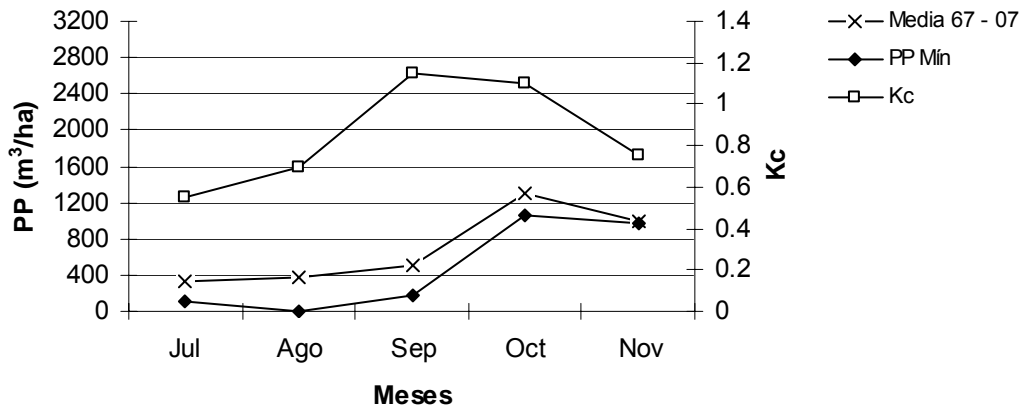


Figura N° 7: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al año determinado como mínimo, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) del trigo.

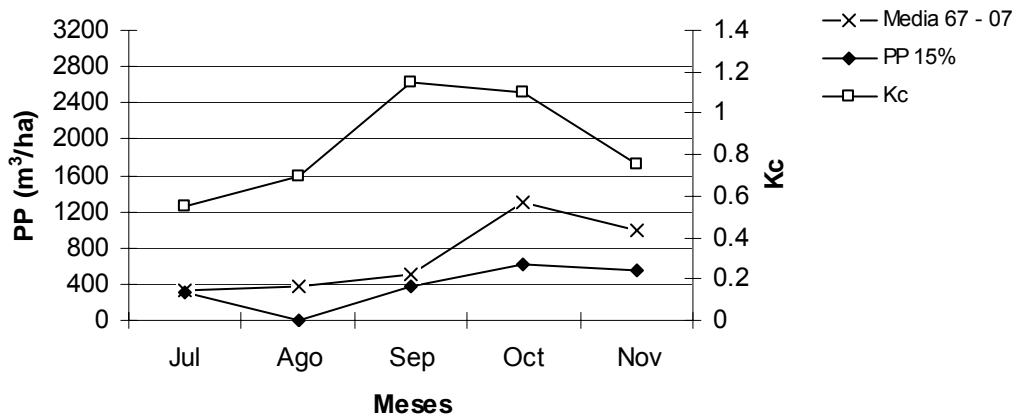


Figura N° 8: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente percentil 15%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) del trigo.

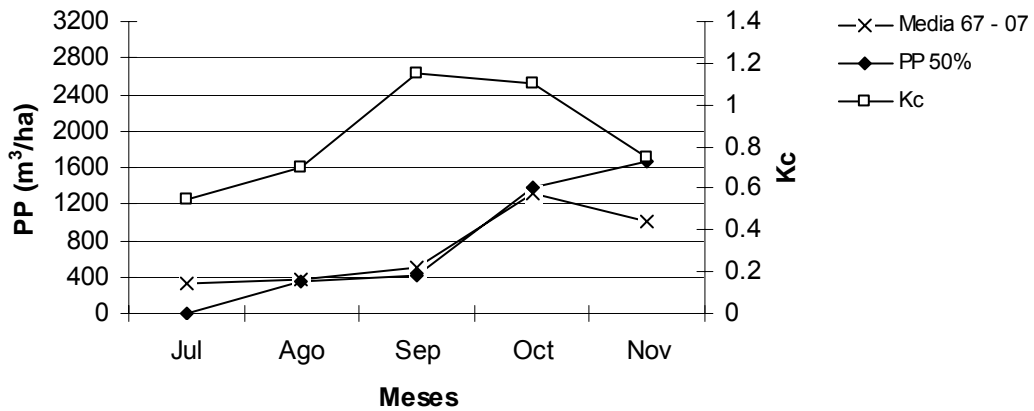


Figura N° 9: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente percentil 50%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) del trigo.

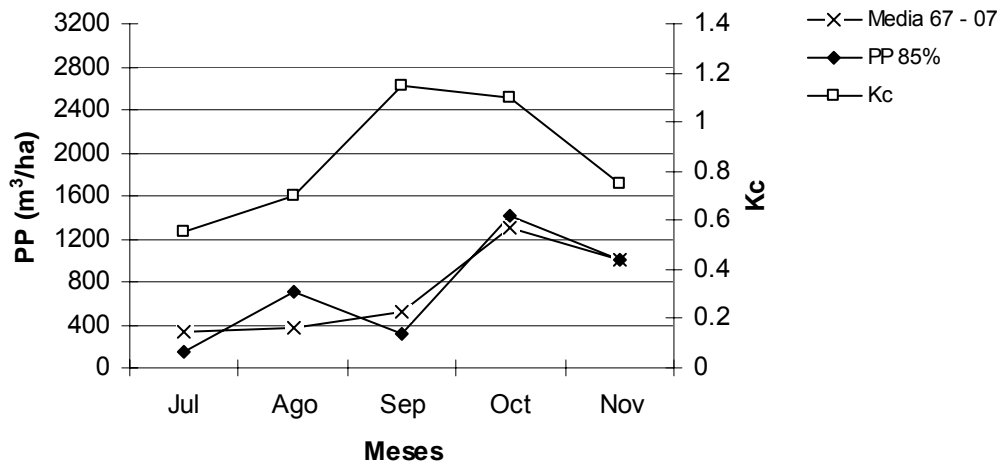


Figura N° 10: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente percentil 85%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) del trigo.

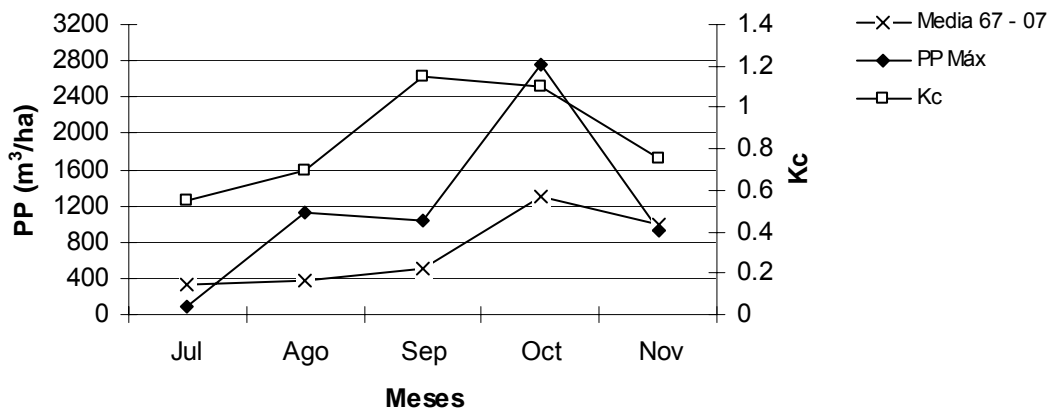


Figura N° 11: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al año determinado como máximo, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) del trigo.

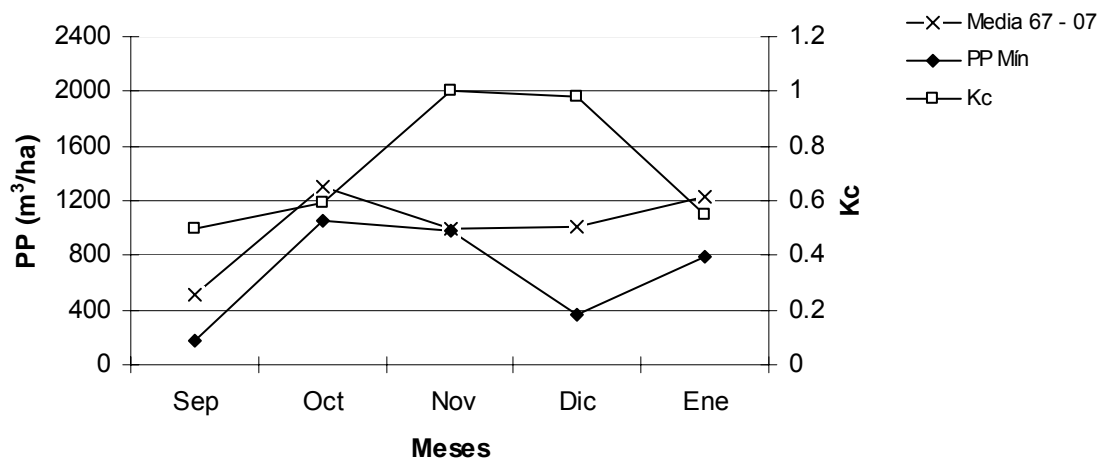


Figura N° 12: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al año determinado como mínimo, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de maíz de primera.

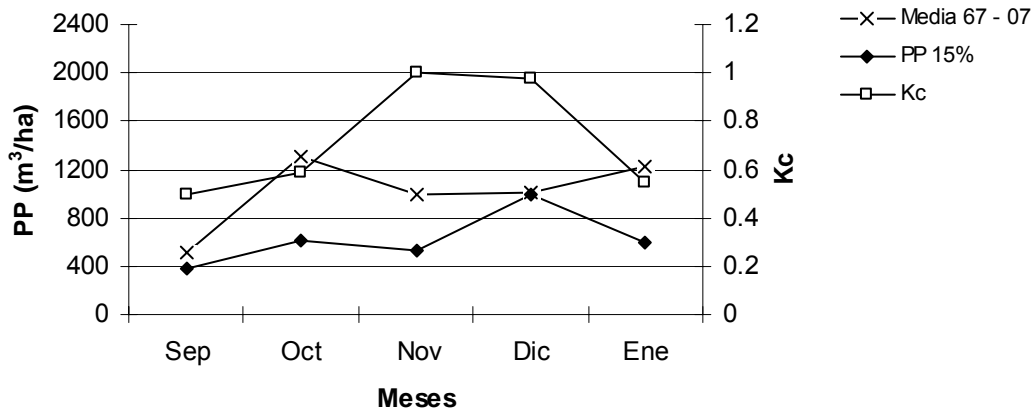


Figura N° 13: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente percentil 15%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de maíz de primera.

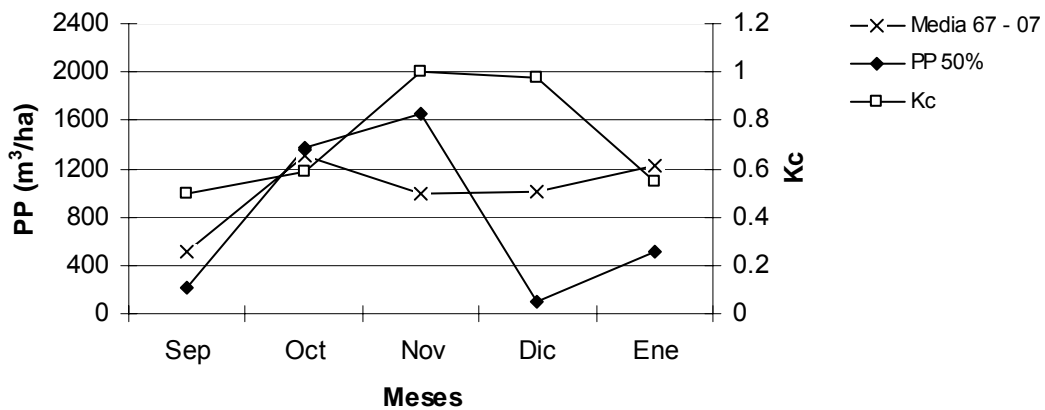


Figura N° 14: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente percentil 50%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de maíz de primera.

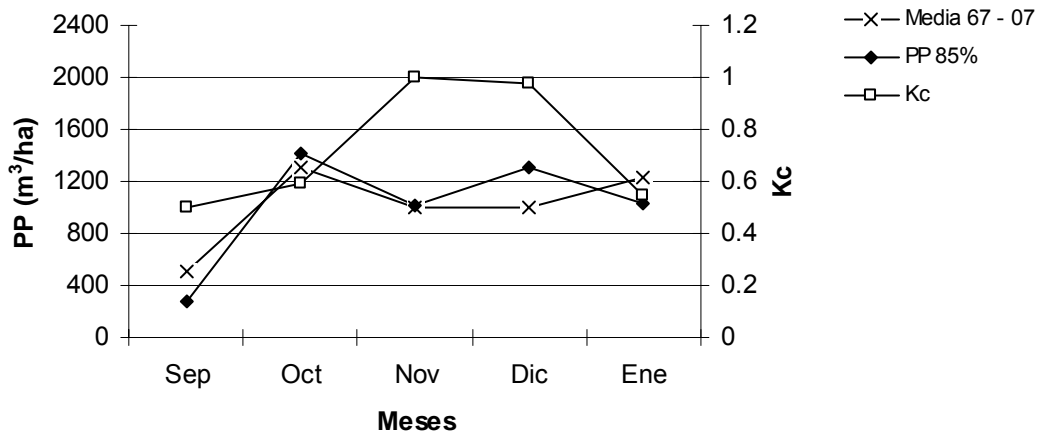


Figura N° 15: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente percentil 85%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de maíz de primera.

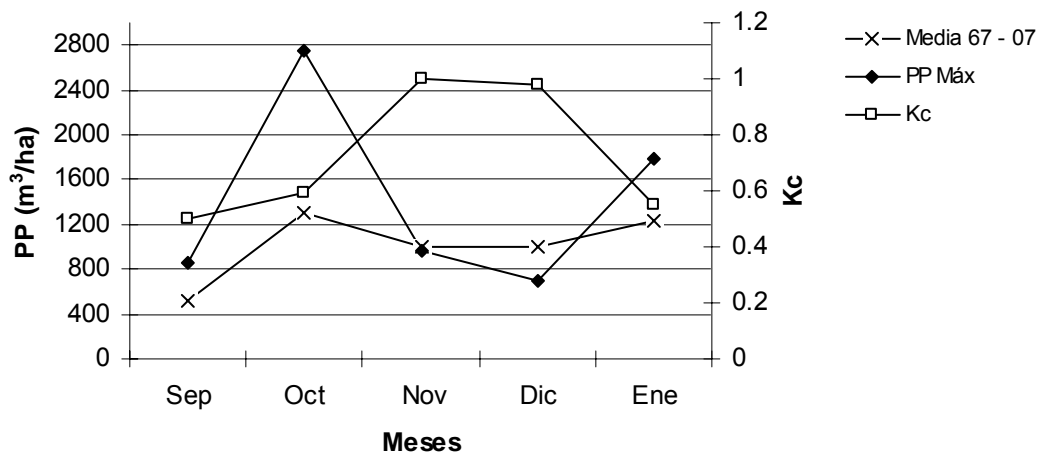


Figura N° 16: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al año determinado como máximo, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de maíz de primera.

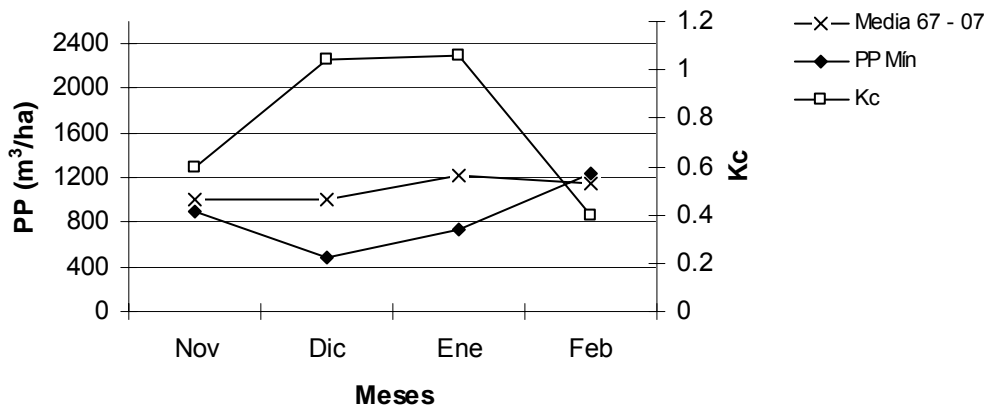


Figura N° 17: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al año determinado como mínimo, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de soja de primera.

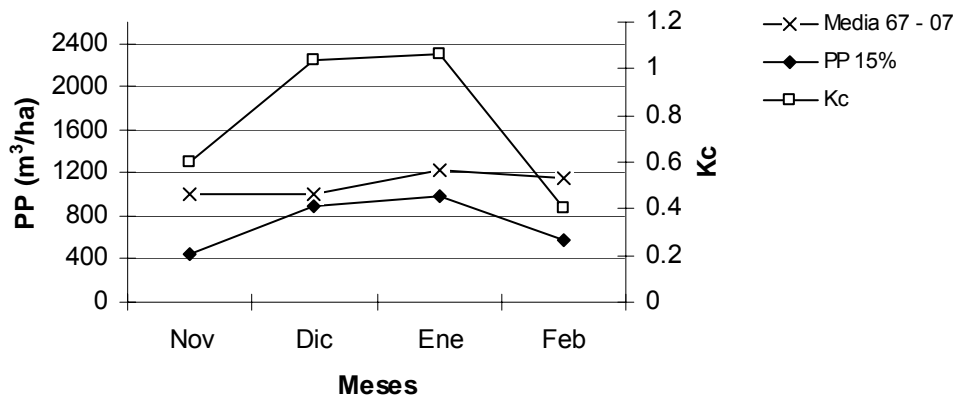


Figura N° 18: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al percentil 15%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de soja de primera.



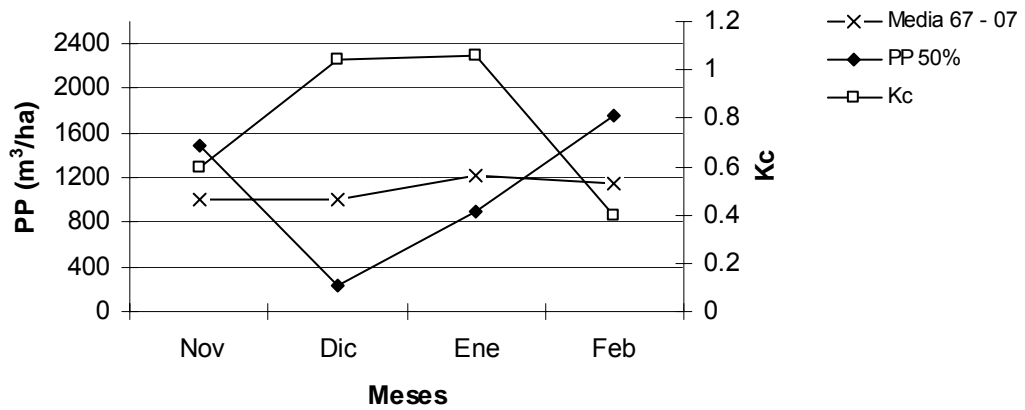


Figura N° 19: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al percentil 50%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de soja de primera.

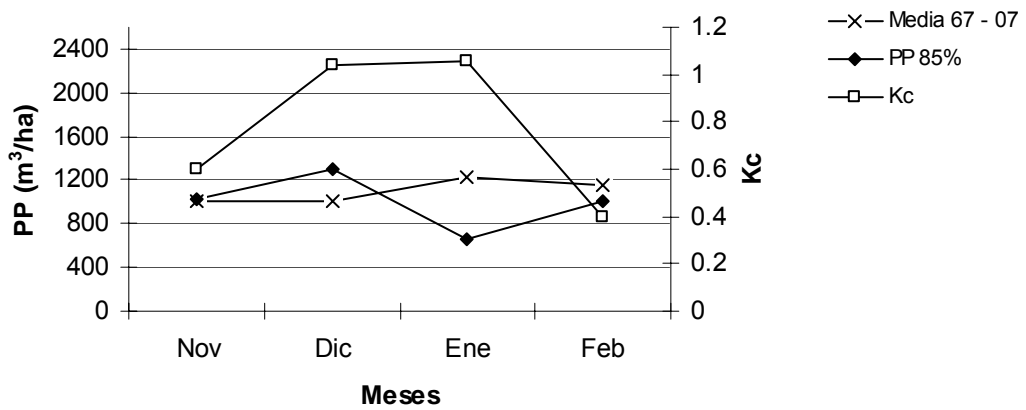


Figura N° 20: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al percentil 85%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de soja de primera.

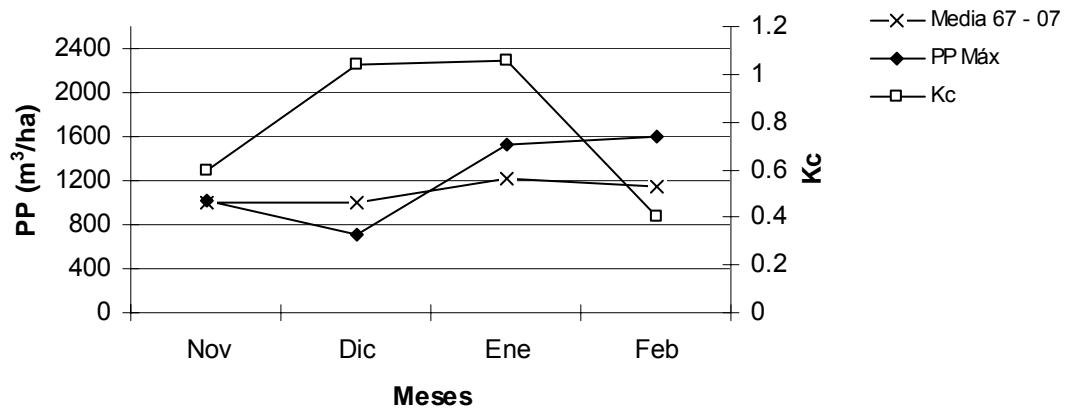


Figura N° 21: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al año determinado como máximo, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de soja de primera.

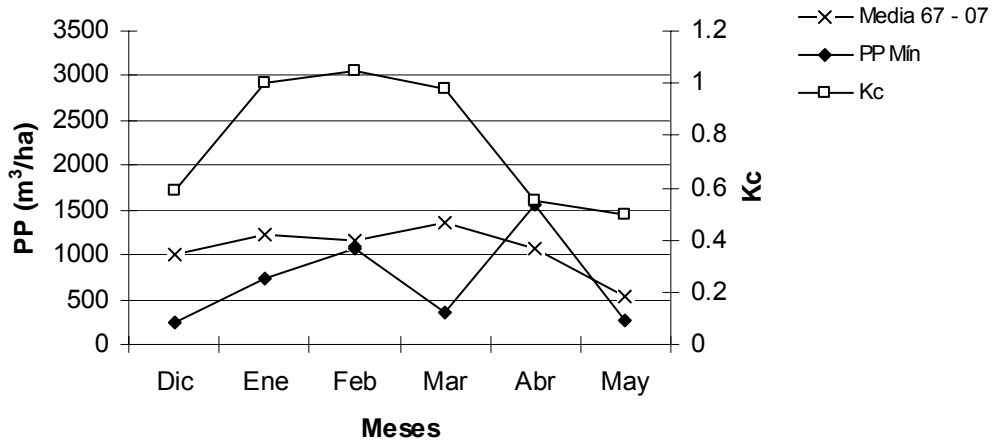


Figura N° 22: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al año determinado como mínimo, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de maíz de segunda.

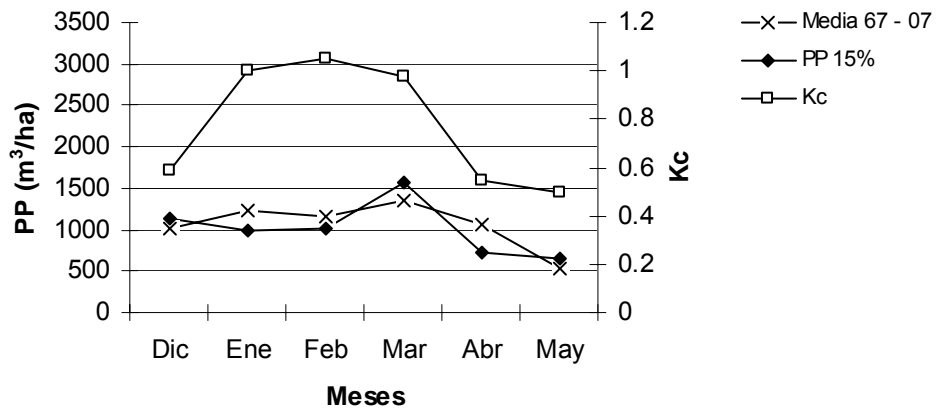


Figura N° 23: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al percentil 15%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de maíz de segunda.

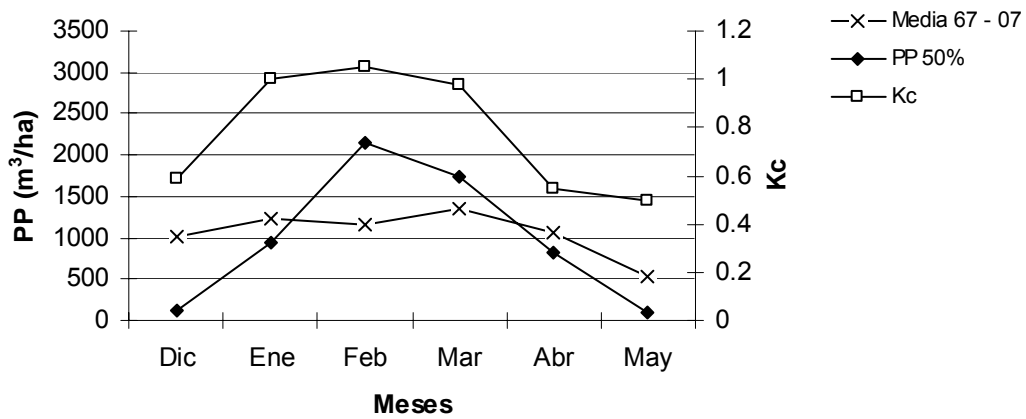


Figura N° 24: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al percentil 50%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de maíz de segunda.

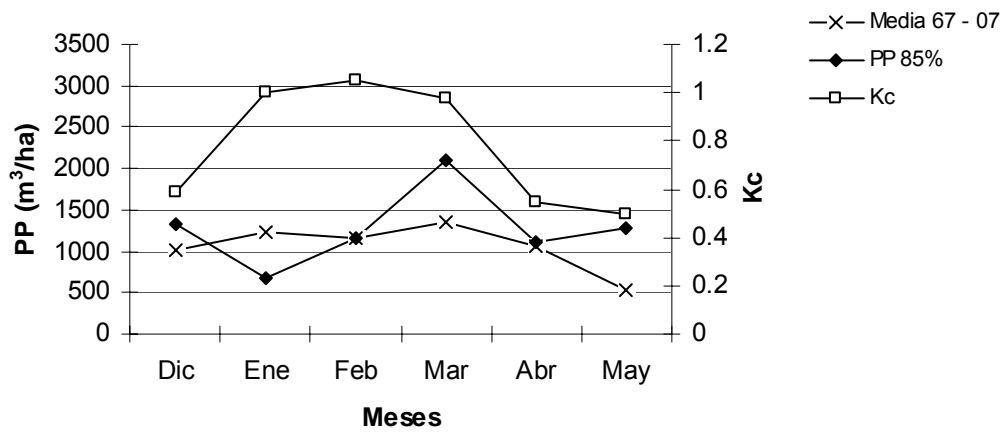


Figura N° 25: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al percentil 50%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de maíz de segunda.

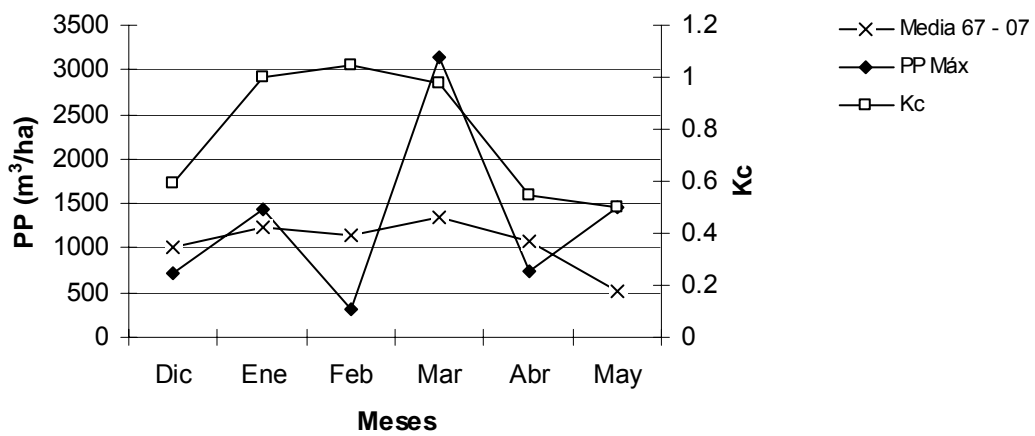


Figura N° 26: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al año determinado como máximo, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de maíz de segunda.

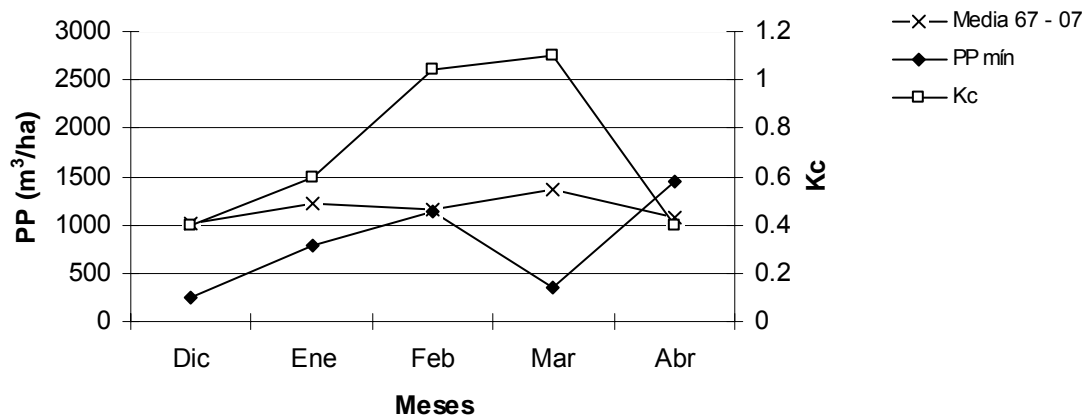


Figura N° 27: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al año determinado como mínimo, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de soja de segunda.

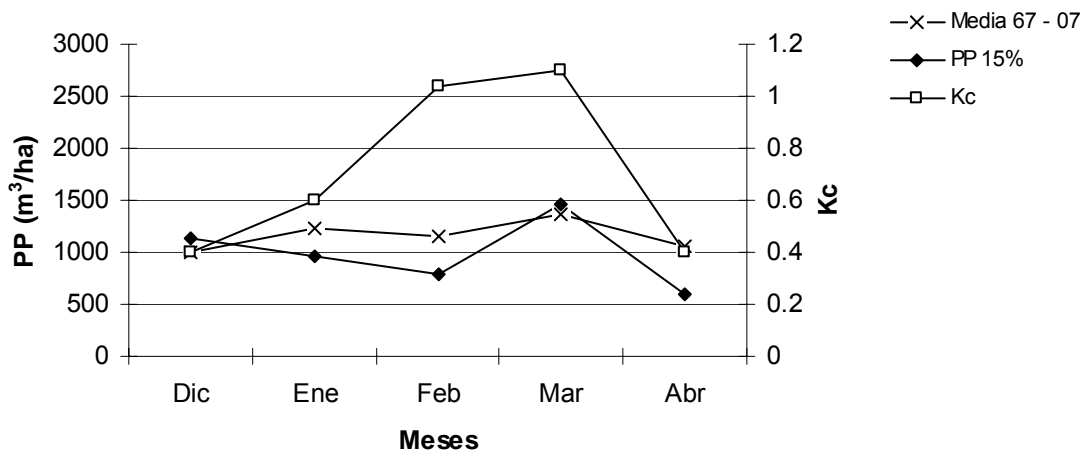


Figura N° 28: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al percentil 15%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de soja de segunda.

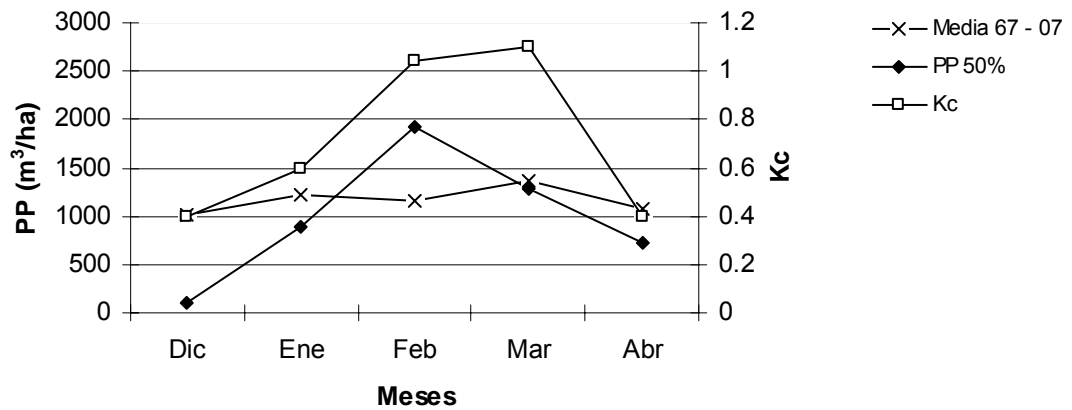


Figura N° 29: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al percentil 50%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de soja de segunda.

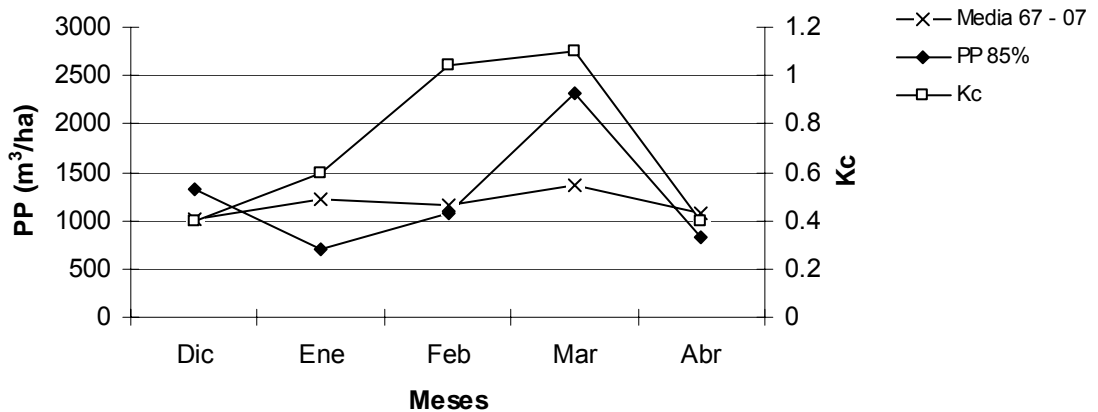


Figura N° 30: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al percentil 85%, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de soja de segunda.

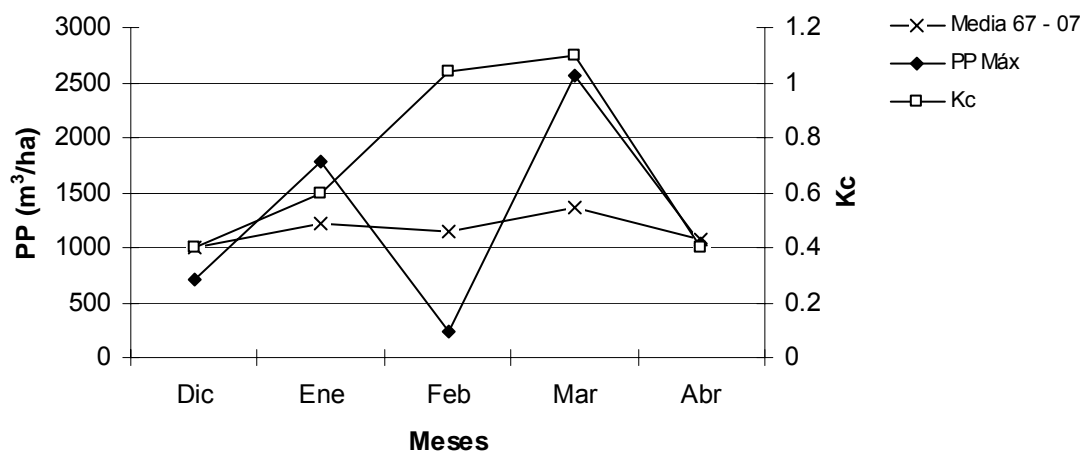


Figura N° 31: Precipitaciones ocurridas en el año correspondiente al año determinado como máximo, precipitaciones medias para la serie 1967 – 2007 y el coeficiente de cultivo (kc) de soja de segunda.

## 6. Comienzo del riego simulado por DSSAT

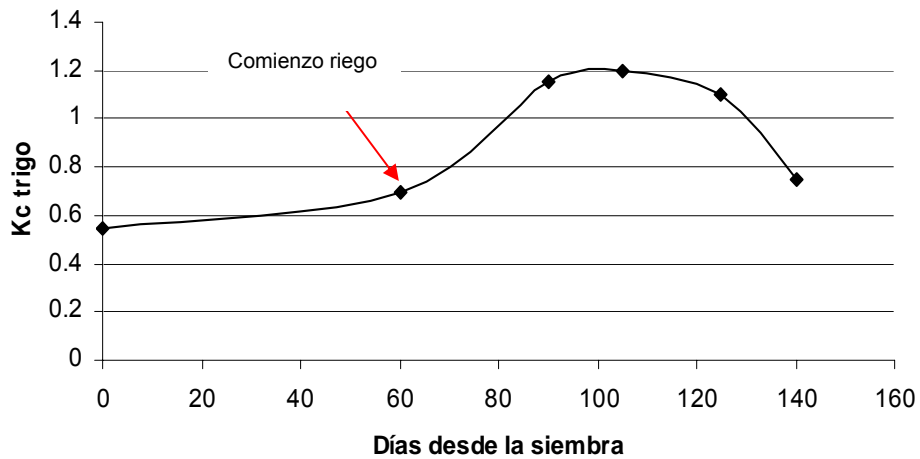


Figura N° 32: Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) y comienzo del riego (día 60, finalización del macollaje y comienzo encañazón) para el cultivo de trigo (Elaboración propia con datos de Totis de Zeljkovich, 1994).

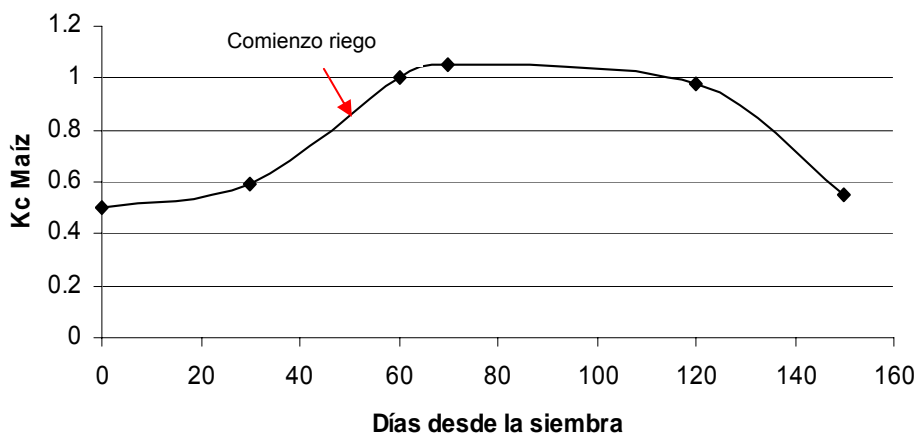


Figura N° 33: Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) y comienzo del riego (día 50, comienzo de encañazón) para el cultivo de maíz (Elaboración propia con datos de Totis de Zeljkovich y Rebella, 1980).



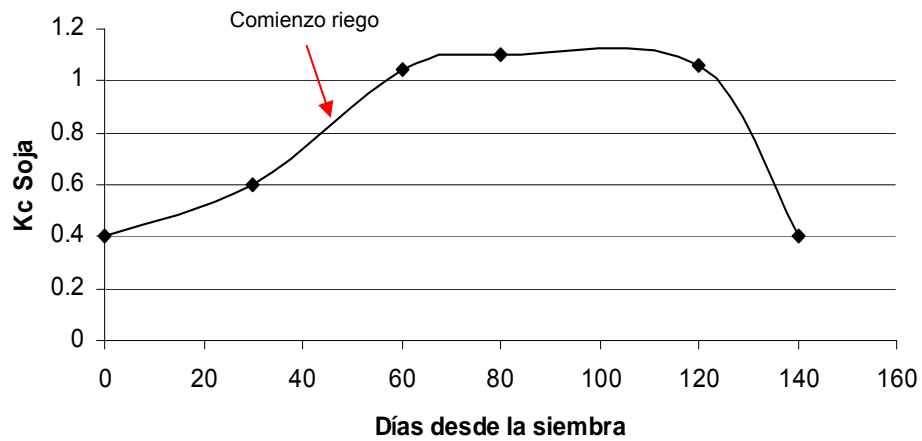


Figura N° 34: Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) y comienzo del riego (día 45, inicio de formación de vainas) para el cultivo de soja (Elaboración propia con datos de Totis de Zeljkovich, 1992).

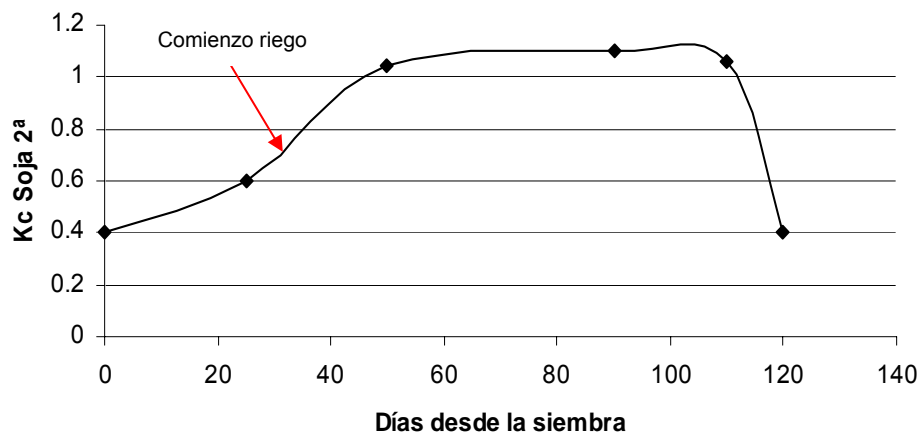


Figura N° 35: Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) y comienzo del riego (día 30, inicio de formación de vainas) para el cultivo de soja de segunda (Elaboración propia con datos de Totis de Zeljkovich, 1994).

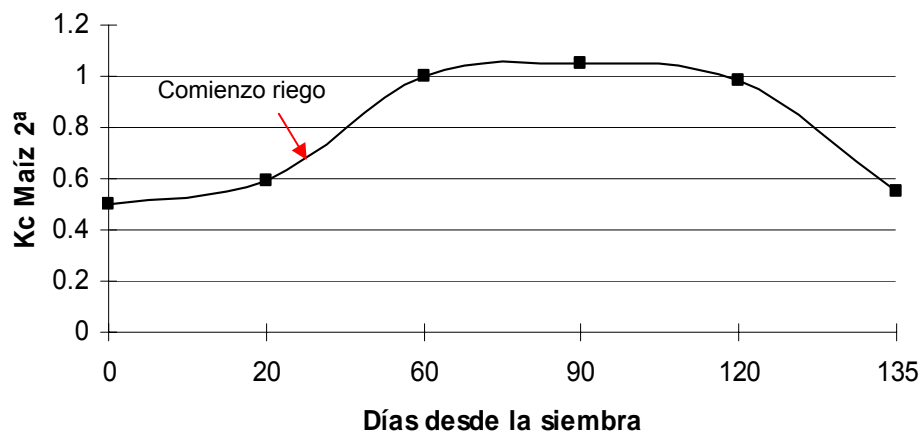


Figura N° 36: Coeficiente de cultivo (Kc) y comienzo del riego (día 30, inicio de formación de vainas) para el cultivo de maíz de segunda (Elaboración propia con datos de Totis de Zeljkovich y Rebella, 1980).

**7. Rendimiento de las estrategias de bajo, medio y alto uso del agua comparado con el rendimiento potencial (sin limitantes de agua y nutrientes, simulado por el modelo)**

Tabla N° 4: Rendimiento promedio de la estrategia de manejo del riego que produce menor uso de agua en los cultivos estudiados, rendimiento potencial (sin limitantes de nutrientes y agua) y porcentaje del rendimiento alcanzado por la estrategia con respecto al potencial.

Uso bajo			
	Rendimiento (kg/ha)	Rend. Potencial (kg/ha)	Diferencia potencial (%)
Trigo	4605.03	4638.93	99.27
Maíz 1 <sup>a</sup>	13260.63	13260.87	100.00
Soja 1 <sup>a</sup>	2593.20	3332.87	77.81
Maíz 2 <sup>a</sup>	12411.00	12413.11	99.98
Soja 2 <sup>a</sup>	2025.56	2900.00	69.85

Tabla N° 5: Rendimiento promedio de la estrategia de manejo del riego que produce un uso medio de agua en los cultivos estudiados, rendimiento potencial (sin limitantes de nutrientes y agua) y porcentaje del rendimiento alcanzado por la estrategia con respecto al potencial.

Uso medio			
	Rendimiento (kg/ha)	Rend. Potencial (kg/ha)	Diferencia potencial (%)
Trigo	4610.27	4638.93	99.38
Maíz 1 <sup>a</sup>	13260.70	13262.43	99.99
Soja 1 <sup>a</sup>	2708.52	3332.87	81.27
Maíz 2 <sup>a</sup>	12412.33	12413.11	99.99
Soja 2 <sup>a</sup>	2110.00	2900.00	72.76

Tabla N° 6: Rendimiento promedio de la estrategia de manejo del riego que produce el mayor uso de agua en los cultivos estudiados, rendimiento potencial (sin limitantes de nutrientes y agua) y porcentaje del rendimiento alcanzado por la estrategia con respecto al potencial.

Uso alto			
	Rendimiento (kg/ha)	Rend. Potencial (kg/ha)	Diferencia potencial (%)
Trigo	4614.70	4639.03	99.48
Maíz 1 <sup>a</sup>	13260.76	13264.59	99.97
Soja 1 <sup>a</sup>	2721.44	3332.87	81.65
Maíz 2 <sup>a</sup>	12412.66	12413.11	100.00
Soja 2 <sup>a</sup>	2157.63	2900.00	74.40

### 8. Rendimiento de las estrategias de bajo, medio y alto uso del agua comparado con el rendimiento sin riego (simulado por el modelo)

Tabla N° 7: Rendimiento promedio de la estrategia de manejo de bajo uso de agua, rendimiento sin riego y porcentaje de diferencia entre el rendimiento de la estrategia y el rendimiento sin riego.

Uso bajo			
	Rendimiento (kg/ha)	Rend sin riego (kg/ha)	Dif riego y sin riego (%)
Trigo	4605.03	3705.00	19.54
Maíz 1 <sup>a</sup>	13260.63	12670.00	4.45
Soja 1 <sup>a</sup>	2593.20	2027.00	21.83
Maíz 2 <sup>a</sup>	12411.00	11795.00	4.96
Soja 2 <sup>a</sup>	2025.56	1843.00	9.01

Tabla N° 8: Rendimiento promedio de la estrategia de manejo de uso medio de agua, rendimiento sin riego y porcentaje de diferencia entre el rendimiento de la estrategia y el rendimiento sin riego.

Uso medio			
	Rendimiento (kg/ha)	Rend sin riego (kg/ha)	Dif riego y sin riego (%)
Trigo	4610.27	3705.00	19.64
Maíz 1 <sup>a</sup>	13260.70	12670.00	4.45
Soja 1 <sup>a</sup>	2708.52	2027.00	25.16
Maíz 2 <sup>a</sup>	12412.33	11795.00	4.97
Soja 2 <sup>a</sup>	2110.00	1843.00	12.65

Tabla N° 9: Rendimiento promedio de la estrategia de manejo de uso alto de agua, rendimiento sin riego y porcentaje de diferencia entre el rendimiento de la estrategia y el rendimiento sin riego.

Uso alto			
	Rendimiento (kg/ha)	Rend sin riego (kg/ha)	Dif riego y sin riego (%)
Trigo	4614.70	3705.00	19.71
Maíz 1 <sup>a</sup>	13260.76	12670.00	4.45
Soja 1 <sup>a</sup>	2721.44	2027.00	25.52
Maíz 2 <sup>a</sup>	12412.66	11795.00	4.98
Soja 2 <sup>a</sup>	2157.63	1843.00	14.58



Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales

Maestría en Estudios Ambientales

**Análisis de la transformación de la tecnología agropecuaria argentina en la  
década del '90**

Asignatura: **Fundamentos de la relación entre Naturaleza, Tecnología y  
Sociedad**

Profesor: **Lic. Horacio Divito**

Alumna: **Lic. María Soledad Tamburrino**

**Junio 2008**

## 1. Introducción

La agricultura argentina ha registrado importantes avances en las últimas décadas como consecuencia de la incorporación de nuevas tecnologías y prácticas productivas que permitieron incrementar de manera notable los rendimientos de los principales cultivos de la región. Algunos ejemplos son el uso de semillas transgénicas, el manejo de malezas mediante herbicidas totales que no afectan a los cultivos, la forma de arar la tierra (siembra directa), el aumento de la aplicación de los fertilizantes y los nuevos sistemas de riego (aspersión y goteo) (Oesterheld, 2006). El aumento de los niveles productivos ha implicado un mayor uso de insumos y de recursos naturales provocando pérdida de reservorios de carbono, de biodiversidad, generación de plagas, riesgo de desertificación y salinización del suelo, sobreexplotación de acuíferos y contaminación de aguas subterráneas y superficiales (Kopta, 2006). A su vez se han producido una serie de cambios en la estructura agraria y en los sistemas de producción (Brescia y Lema, 2004).

Parsons (1968) define a la tecnología como la capacidad socialmente organizada para controlar y alterar activamente objetos del ambiente físico en interés de algún deseo o necesidad humana. Por ello mismo la tecnología no es neutra ni ética ni políticamente, es un instrumento de los mecanismos que regulan el poder (Galafassi y Zarrilli, 2002).

En este trabajo se analizará el cambio producido en la actividad agropecuaria argentina producto de la transformación tecnológica en la década del '90. Se mostrará que este cambio no se produjo espontánea ni aisladamente y que existieron condiciones internas para la implantación y difusión de este tipo de técnicas. A su vez se identificarán los efectos socio-económicos y ambientales del cambio tecnológico. A partir de información estadística correspondiente a los Censos Nacionales Agropecuarios de los años 1988 y 2002, se realizará un análisis empírico para dar cuenta de la magnitud de la implementación de la tecnología y de las consecuencias. Se tomará para ello el partido de Rojas como un exponente de la Región Pampeana, la zona agrícola más productiva del país y donde comenzó a darse el cambio tecnológico (Reboratti, 2006). Para apreciar la dimensión de los cambios y consecuencias se lo comparará con lo sucedido a nivel nacional.

## 2. Marco internacional

El caso argentino se enmarca en un contexto global y podría afirmarse que la transformación de la actividad agrícola ha sido parte de dinámicas globales de la política económica neoliberal de las sociedades occidentales (Giarracca y Teubal, 2006).

Con el surgimiento del neoliberalismo en las últimas décadas del siglo pasado, se operó una reestructuración del capitalismo a escala mundial que ha profundizado la interdependencia de las economías nacionales, en estrecha relación con el desarrollo de tecnologías de la comunicación y los avances del conocimiento científico y tecnológico, en el marco de la globalización. Ésta se basa en la ampliación de los mercados a escala mundial y el impulso de las actividades económicas y financieras por parte de empresas transnacionales que operan en forma simultánea y coordinada en varios países. Precisamente, la doctrina neoliberal considera contraproducente el excesivo intervencionismo estatal en materia social o en la economía y defiende el libre mercado capitalista como mejor garante del equilibrio institucional y el crecimiento económico de un país (Díaz Rönnner, 2006).

### 2.1 El modelo Agroalimentario establecido a escala mundial

En este contexto, un nuevo modelo agroalimentario mundial comenzó a expandirse, el cual se encuentra relacionado con la hegemonía creciente de la agroindustria, o mejor dicho, el *agrobusiness*, o sea las grandes empresas transnacionales agroalimentarias en diversos ámbitos rurales y agropecuarios del mundo. El paradigma del modelo agroalimentario promovido por las transnacionales y por los organismos internacionales se basa en el modelo agrario estadounidense, en el cual se originó la agricultura industrial fundamentada en la mecanización, uso de semillas genéticamente modificadas y utilización creciente de agroquímicos. La agricultura industrial se contrapone al modelo de agricultura familiar y según diversos autores ha hecho estragos donde se ha implementado, inclusive en Estados Unidos (Giarracca y Teubal, 2006).



### 3. Marco político – económico nacional y el sector agropecuario

Las políticas de liberalización y ajuste estructural en Argentina tuvieron un comienzo temprano, a partir de 1976 con la instauración del régimen militar; principalmente a través de las medidas tendientes a la “apertura” o libre mercado. Durante 1983 -1989, con gobiernos democráticos, estas políticas se mantuvieron; pero es recién entre 1989 -1991 cuando se adoptan las políticas de liberalización y ajuste estructural, aplicando en forma estricta los principios del Consenso de Washington<sup>1</sup> (Manzanal, 2000). Así se aplicaron una serie de reformas estructurales entre las cuales se encuentran: apertura comercial y financiera, desregulación económica, convertibilidad de la moneda y fijación de un tipo de cambio fijo, reforma tributaria, privatizaciones de las empresas públicas, reforma del sistema previsional, etc. (Azcuay Ameghino, 2000).

Estas medidas modificaron en forma sustancial el patrón de crecimiento basado en la sustitución de importaciones, para dar paso a una economía abierta y orientada al mercado externo (Díaz Rönner, 2006).

La liberalización máxima del comercio de exportación de productos agrícolas se convierte en el argumento dominante de la política agraria, ligado a la noción de que lo único que puede subsistir internamente es aquello que es competitivo en términos internacionales (Neiman, 2006). La apertura comercial también implicó la reducción de los aranceles a las importaciones, que abrió posibilidades de importar tecnología.

Otra de las medidas más notables que impactaron en el sector ha sido el Decreto de Desregulación de noviembre de 1991 orientado a desregular la economía y a desactivar la red institucional que había regulado durante seis décadas la actividad económica. Si bien se trata de una disposición que incluye medidas desregulatorias que afectaron a una amplia

---

<sup>1</sup> En noviembre de 1989 el Consenso de Washington emitió un listado de políticas económicas e indicaba que formaban parte del mejor programa que los países latinoamericanos debían aplicar para impulsar el crecimiento económico: liberalización del comercio internacional, liberalización de la entrada de inversiones extranjeras directas, desregulación financiera, achicamiento del Estado y privatización de las empresas públicas, entre otros (FAA y AFA, 2004).

gama de actividades, aquellas referidas tanto al sector agropecuario como a la comercialización y distribución final de productos de origen agropecuario ocupan en él un lugar destacado. A partir de este Decreto, entre otras medidas de desregulación, quedaron eliminadas todas las entidades reguladoras de la producción agropecuaria que habían sido creadas desde 1930: la Junta Nacional de Granos, la Junta Nacional de Carnes, la Dirección Nacional del Azúcar. A partir de entonces, el sector agropecuario argentino emerge como uno de los más desregulados del mundo; pero, por ello mismo, quizás más que ningún otro, se encuentra sujeto a las oscilaciones de la economía mundial.

En cuanto al tipo de cambio, con la Ley de Convertibilidad surgió un nuevo sistema cambiario y monetario que fijaba por ley la paridad un peso igual a un dólar. Este sistema favoreció, junto con la reducción de aranceles a la importación, la adopción de las nuevas tecnologías importadas que permitieron un aumento de la productividad. Pero a su vez, perjudicó la producción de maquinarias e insumos locales. (Azcuay Ameghino, 2000).

### **3.1 Cambios en el sistema agroalimentario nacional**

Estas políticas incidieron en la incorporación de una serie de transformaciones tecnológicas y organizativas, así como en las relaciones de poder que operan internamente en diferentes sectores y complejos del sistema agroalimentario (procesamiento industrial y disposición final de alimentos, provisión de semillas, insumos agropecuarios, etc). Así, grandes empresas agroindustriales y supermercados transnacionales o transnacionalizados adquirieron preeminencia en el ámbito del Sistema Agroalimentario Argentino. Se acrecentó el uso de nuevos insumos y tecnologías desarrollados o impulsados por esas grandes empresas. Asimismo, se intensificó la concentración, extranjerización e integración vertical al interior de los complejos que integran el sistema agroalimentario, redefiniéndose las características y la naturaleza de las relaciones de poder, así como su perfil tecnológico.

De este modo, el cambio de la política económica y del sistema agroalimentario, significaron la adopción de pautas y medidas que

habrían de impulsar, más que en otros períodos anteriores, la instauración en el país del modelo de agricultura industrial (Giarracca y Teubal, 2006) (sección 2.1).

#### **4. Cambios tecnológicos adoptados por el sector agropecuario**

Los primeros signos de modificación de la situación se notaron en la Región Pampeana (Reboratti, 2006). Históricamente esta región debido a su alta productividad agrícola, dada por sus excelentes suelos, clima templado y disponibilidad de agua, ha sido una pieza fundamental para la economía argentina y ha tenido siempre una fuerte vinculación con el mercado externo. Motivo por el cual la implementación de innovaciones tecnológicas para alcanzar mayores rendimientos se dio en esta región antes que en otras (González y García, 2005).

El paquete tecnológico agrícola<sup>2</sup> exigió la adopción de nuevas variedades de semillas, el uso de agroquímicos, la siembra directa, maquinaria más potente e irrigación. Estos cambios fueron suficientes para empujar un aumento de la productividad. Tuvo un protagonismo importante en este proceso el auge de la soja y a partir de 1996, la soja transgénica (RR) y el maíz RR. Las semillas RR son semillas genéticamente modificadas para hacer el cultivo resistente al glifosato, un herbicida de amplio espectro cuya patente ha vencido, lo que lo hace más barato en el mercado de agroquímicos. Esta característica reduce el número y precio de las fumigaciones, disminuyendo de esa manera el costo general de producción. Un aspecto fundamental fue que la entrada de la soja en la región pampeana posibilitó generar dos cosechas anuales al aparearla con el trigo, algo inédito en la región (Reboratti, 2006). Tal fue la base de sustentación de la nueva *agriculturización*<sup>3</sup> del campo argentino, basada profusamente en la soja y el paquete tecnológico que habría de acompañarla. Este paquete tecnológico se presentaba como “sencillo” y permitía manejar grandes extensiones de tierra con un sólo herbicida y poca mano de obra. Entre los elementos que favorecieron su notable difusión se cuentan los

---

<sup>2</sup> Se entiende por paquete tecnológico al conjunto de técnicas que incluyen siembra directa, semillas transgénicas, herbicidas, plaguicidas, fertilizantes, maquinaria y riego (Oesterheld, 2006).

precios relativamente bajos de los insumos. A su vez el tipo de cambio permitió adquirir tecnología de maquinaria y riego (Díaz Rönnner, 2006). Así, este tipo de producción se expandió a lo largo y a lo ancho del país. Se trataba de la aplicación tardía en nuestro país de algunos rasgos de la *Revolución Verde*<sup>4</sup> (Giarracca y Teubal, 2006). Se trataría de lo que Carlota Pérez (1986) denomina un sistema tecnológico, el cual es una constelación de innovaciones interrelacionadas técnica y económicamente que afectan varias ramas del aparato productivo. Las innovaciones serían las nuevas generaciones de maquinaria, de equipos de riego, nuevos fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, nuevo sistema de labranza (siembra directa) y tipos de semillas (transgénicas).

#### 4.1 Características del partido de Rojas

Antes de analizar los datos de los Censos Agropecuarios del partido de Rojas se describirán algunas de sus características físicas y socio - económicas. Este partido se encuentra ubicado al norte de la provincia de Buenos Aires entre los paralelos 33° 52' y 34° 30' S y entre los meridianos 60° 28' y 61° 07' O, con una superficie de 205.000 ha, en el área que se denomina Pampa Ondulada.

El aspecto general del paisaje del partido es el de una planicie con interfluvios planos recortada por los cauces de sus dos cursos principales, el río Rojas y arroyo Dulce. Los suelos de la zona están representados por sedimentos loésicos de textura predominantemente franco - limosa, ricos en minerales. Son suelos fértiles, profundos, ricos en nutrientes, poseen buena capacidad de retención de agua y alta productividad bajo un manejo adecuado (INTA, 1974).

Según la clasificación de Koeppen, el área de estudio corresponde a un clima subtropical húmedo caracterizado por un verano muy cálido sin estación húmeda (Guevara, 1991). El valor de la precipitación

---

<sup>3</sup> Participación creciente de la actividad agrícola en contraste con la disminución de la actividad ganadera (Díaz Rönnner, 2006)

<sup>4</sup> Revolución Verde es el nombre con el que se bautizó en los círculos internacionales al importante incremento de la producción agrícola que se dio en México a partir de 1943, como consecuencia del empleo de técnicas de producción modernas, concretadas en la selección genética y la explotación intensiva permitida por el regadío y basada en la utilización masiva de fertilizantes, pesticidas y herbicidas (Borlaug, 2002).

anual media es de 1020 mm para un total de 41 años (serie 1967 a 2007) (INTA Clima y Agua) y presenta una marcada variabilidad mensual e interanual. Los coeficientes de variación para valores medios mensuales usualmente exceden el 70%. El coeficiente de variación interanual es de 18% para la serie 1910 a 1980 (Hall, Rebella y Culot, 1992) y de 23% para la serie 1967 a 2007.

El agua subterránea es utilizada para los usos agrícola, industrial y humano siendo los acuíferos explotados el Pampeano y el Puelches (Auge, 2004).

Según los datos del Censo de Población y Vivienda de 2001 la población es de 22842 habitantes y la densidad poblacional de 11.5 hab./m<sup>2</sup>. La variación relativa intercensal (1991 – 2001) es de 0.67%. La población rural es de 4134 habitantes, un 18% e la población total del partido. La cantidad de hogares es de 7287 y el porcentaje de hogares con NBI es del 8%.

El principal uso del suelo es la actividad agropecuaria. A su vez, la industria se halla muy diversificada, en unidades productivas de pequeña y mediana escala en los rubros alimentarios, textiles, madereros, metalúrgicos, plásticos, metálicos de fundición, papel, elementos para la construcción y semilleros.

#### **4.2 Análisis de los datos de los Censos Agropecuarios de 1988 y 2002 a nivel país y en Rojas**

Se ha analizado en esta sección la magnitud del cambio tecnológico sucedido en Rojas y en el país a través de cinco indicadores: el tipo de uso de la tierra, el cual indica qué actividades agropecuarias se desarrollaban mayoritariamente en 1988 y cuáles en el 2002; la siembra directa, que permite observar el porcentaje de explotaciones que aplicaban en 2002 este tipo de labranza; el uso de semillas transgénicas que cuantifica la utilización de este tipo de semillas también en 2002; la maquinaria, que permite estimar para ese año la cantidad de equipos por explotación; y el riego, que proporciona el porcentaje de aumento de esta práctica entre ambos Censos.

#### 4.2.1 Tipo de uso de la tierra

Este análisis da cuenta del avance de la soja a nivel país (150%), provocando retrocesos en otro tipo de cultivos o actividades agropecuarias. En este nivel los cultivos que se redujeron más significativamente han sido los industriales (38%) como el algodón, la caña de azúcar y la yerba mate, entre otros. También ha disminuido la superficie implantada con legumbres (25%), hortalizas (23%) y forrajeras (20%). Esta última, producto de la disminución de la actividad ganadera (12%). A su vez se produjo un crecimiento de la superficie sembrada con cereales para grano como son el maíz, el trigo y el sorgo (26 %)

En cambio en Rojas no se produjo un avance tan notable de la soja (48%) si se compara con la situación nacional. Se produjo una gran disminución de la actividad ganadera (45%) y en consecuencia de la superficie sembrada con forrajeras (60%). A su vez disminuyó la superficie implantada con cereales para grano (23%). También apareció un tipo de cultivo que no se encontraba en 1988 y es el cultivo para semillas para comercialización y ocupa un 10% de la superficie implantada con cultivos. Los cultivos industriales, la producción de hortalizas y legumbres no son actividades significativas en este partido.

#### 4.2.2 Siembra directa

A partir de los '90 comenzó a expandirse rápidamente un nuevo credo tecnológico: labranza cero y siembra directa. En buena medida eso significa una vuelta a los antiguos sistemas precolombinos de cultivo, solo que en una mayor escala y ayudados por la maquinaria en vez del trabajo humano. Al no remover el suelo más de lo estrictamente necesario, se mantiene la humedad del subsuelo, no se afectan los microorganismos activos en los procesos de degradación biológica y se mantiene la estructura radicular, evitando los procesos de erosión hídrica y eólica. Esto significa que los restos de la cosecha anterior quedan en el suelo, lo que es muy positivo desde el punto de vista del retorno de nutrientes al suelo y la contención de la erosión. En contrapartida, las pestes y las malezas se difunden muy rápidamente, lo que

obliga al uso masivo de biocidas. Lo que por un lado es un uso conservacionista, por otro significa la aplicación agresiva de agroquímicos contaminantes (Reboratti, 2006).

En 1988 el único sistema que existía era el convencional (arado), por lo cual en el Censo de ese año no estaba presente como variable el tipo de labranza. Por ello se analizaron sólo los datos del Censo de 2002 a nivel nacional y en Rojas.

Los cultivos sembrados bajo este sistema ocupan un 9% de la superficie implantada con cultivos a nivel nacional. En cambio en Rojas ocupan un 48% de la superficie total implantada con cultivos.

#### **4.2.3 Semillas transgénicas**

Junto con la siembra directa, la medida más efectiva y la más discutida ha sido evidentemente la adopción masiva de semillas genéticamente modificadas. Dos de ellas fueron las más importantes, la soja RR y el maíz Bt1 (aunque posteriormente se aprobó también el maíz RR), resistentes al glifosato, un herbicida de amplio espectro (Reboratti, 2006).

A nivel nacional el 90% de la siembra del maíz y la soja se hace con semillas transgénicas y en Rojas el 93%, según los datos del Censo de 2002.

#### **4.2.4 Maquinaria**

El cambio tecnológico implicó también la utilización de nueva maquinaria más sofisticada asociada al sistema de labranza, e incluso en el caso de algunos productores muy grandes, el uso de la llamada "agricultura de precisión", con tractores equipados con computadoras y GPS (Global Positional System) (Reboratti, 2006).

En este tema no se pudo llevar a cabo la comparación entre Censos ya que no había datos disponibles a nivel partido en el Censo de 1988. Por lo cual se realizó una estimación promedio del número de maquinaria existente por cada explotación agropecuaria en 2002. A nivel país

existen 0.8 máquinas por explotación y en Rojas hay 1.56 máquinas por explotación.

#### **4.2.5 Riego**

En algunos casos, la escasez de precipitaciones o las variaciones en el régimen de lluvias son controladas en sus efectos sobre la producción agrícola mediante el uso de riego complementario, basado en maquinarias de riego que utilizan agua superficial o subterránea. Si bien esto aumenta significativamente la productividad, los costos de instalación son altos y sobre todo no se parte de un conocimiento completo del recurso que se está utilizando en el caso de la explotación de agua subterránea, lo que pone un signo de interrogación sobre las posibilidades de uso futuro (Reboratti, 2006). En 1988 el tipo de sistema de riego era gravitacional o por superficie, pero a partir de 1993 se comenzaron a comercializar nuevos equipos: de aspersión y goteo, lo cual produjo un auge de ventas en la Región (Martellotto y otros, 2004)

A nivel nacional el riego aumentó un 8.7%, en cambio en el partido de Rojas lo hizo un 600%. Se debe destacar que en la Región Pampeana es donde más se da esta práctica debido a la variabilidad interanual de las precipitaciones y a la buena disponibilidad de agua subterránea. Rojas es el partido con mayor superficie dedicada a riego del centro – norte de la provincia de Buenos Aires y donde se produjo el mayor crecimiento de esta práctica en las últimas décadas.

### **5. Consecuencias del cambio en la producción agropecuaria**

#### **5.1 Ámbito socio - económico**

Las políticas económicas de los '90, en las cuales se insertan las modificaciones tecnológicas agropecuarias, han generado en Argentina un proceso totalmente dual o de polarización social, es decir, la ampliación de la brecha entre ricos y pobres (Torre y Gerchunoff, 1996).

El paquete tecnológico agrícola requería de una creciente disponibilidad financiera para el desarrollo de las actividades



productivas. A su vez, si se aumentaba la escala de producción se generaban ventajas al aumentar la eficiencia y reducir los costos de producción (Neiman, 2006). Debido a esto, el modelo se concentró principalmente en los grandes productores, transformados ahora en empresarios agropecuarios, o sea establecimientos totalmente diferentes a la vieja idea del latifundio. Los grandes productores prefirieron arrendar la tierra en vez de poseer grandes superficies, lo que les permitió concentrar la inversión de capital en tecnología de maquinaria y la compra de insumos. La no posesión de la tierra hacía posible adoptar estrategias geográficas de disminución de riesgo climático, presionar libremente sobre los recursos naturales e influir en el mercado de tierras en alquiler. A estos agricultores se les sumó una nueva opción, la de los llamados *pool de siembra*<sup>5</sup>, capitales de origen financiero que atraídos por la alta rentabilidad de la producción arrendaban las tierras y terciarizaban las actividades productivas. Así, la evolución del sector rural en términos de nuevas tecnologías, incremento de la producción y la productividad, y aumento de las exportaciones ha sido excepcional. Argentina tuvo tasas de crecimiento agrícola positivas y sostenidas, manteniendo la participación del sector de productos primarios y agroindustriales en un 30 % del total del PBI (Lattuada, 2000).

En este proceso, los pequeños productores enfrentaron muchas dificultades para ajustarse a los nuevos patrones, ya que presentaban serias limitaciones respecto a la disponibilidad de tierra, tecnología, acceso al crédito y capital (Manzanal, 1999). Indudablemente, la liberalización (principalmente el libre mercado y la reducción de las medidas proteccionistas) aumentaba la vulnerabilidad de los pequeños y medianos productores que ante cualquier acontecimiento o coyuntura negativa (de mercado o meteorológica) veían afectado su ingreso final reduciendo la capacidad y posibilidad de reiniciar su ciclo productivo (Neiman, 2006). A su vez, la organización de las grandes cadenas agroalimentarias dominadas por las grandes empresas que manejan la mayor parte de las condiciones de mercado restringía la emergencia de actividades alternativas de las explotaciones más chicas. Del mismo modo se incrementó la importación de productos agrícolas e insumos que eran

---

<sup>5</sup> Consiste en agrupar una serie de productores en distintas formas asociativas para comprar insumos en cantidades mayores y a mejores precios, contratar servicios de terceros para una superficie mayor que abaratará el servicio, etc. (Giarracca y Teubal, 2006)

tradicionalmente producidos por campesinos, decreciendo así sus ventas y los precios de sus productos en mercados locales, reduciéndose –en consecuencia– sus ingresos. Asimismo, a los pequeños productores les resultaba muy difícil alcanzar los volúmenes de producción, la calidad y la regularidad requerida para enfrentar el mercado, perdiendo espacios que fueron ganados por las grandes corporaciones transnacionales agroindustriales (incluso en el mercado interno). En el mercado de insumos, debido a su economía informal y baja demanda, ellos debieron pagar mayores precios que el que pagaban los grandes productores. Por último, no tuvieron acceso al financiamiento formal y debieron pagar tasas de interés más altas en mercados financieros informales (Tapella, 2002).

Ante el nuevo modelo tecnológico, algunos de los pequeños y medianos productores tomaron créditos y perdieron las tierras; otros fueron convencidos de que eran inviables en sus escalas de producción y vendieron sus campos; y otros, sencillamente, los cedieron por una renta que les permitía vivir en algún poblado donde complementaban sus ingresos con otros tipos de trabajos. Una forma de adaptación muy frecuente de los productores argentinos fueron los pool de siembra. Comenzaron por ser una modalidad de los pequeños y medianos productores para superar la escala de producción con que el aparato comunicacional insistía como una de las principales limitantes para permanecer en la producción, y terminaron siendo adoptados por los grandes (Giarracca y Teubal, 2006). Esto provocó una simplificación de la estructura social rural. Es decir, se produjo un desequilibrio y polarización de la estructura social agraria a partir del desplazamiento del estrato de productores medianos y pequeños, base de la clase media rural (Manuel-Navarrete y otros, 2005).

Una forma alternativa para paliar la crisis de este sector fue la adoptada por el gobierno federal a partir de principios de los '90, cuando se pusieron en práctica varios planes de ayuda. Desde la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca se expresó que las empresas agropecuarias grandes no contarían con una política específica, pues su actividad estaría regulada por las leyes del mercado; las medianas y las pequeñas contarían con el Plan Social Agropecuario, dirigido a ayudarlas financieramente para permitirles insertarse en el mercado. A éste se superpuso el Programa Cambio Rural, con fines similares pero más cercanos a un simple sistema de subsidios no

retornables. Ambos planes solo fueron un paliativo para los problemas del campo, cubrieron menos del 10% de los pequeños productores rurales que eran su objetivo y fueron muy poco eficientes en cuanto al manejo de los fondos, con fuertes gastos de gestión, complejos aparatos burocráticos y una gran lentitud en los procedimientos. En buena medida fueron luego reemplazados por la competencia de planes federales y provinciales de ayuda social destinados a paliar el problema del desempleo, como el Plan Jefes y Jefas de Hogar (Basco, 1997; Carballo, 1995 y Lombardo y Tort, 1999).

Lo expuesto hasta aquí provocó un punto de inflexión respecto de la estructura social agraria, a partir de un proceso acelerado de exclusión del medio rural de numerosas pequeñas y medianas explotaciones basadas en el trabajo familiar (Lattuada y Neiman, 2005) y del desarrollo de explotaciones de mayor tamaño y nivel de capitalización, lo que implica una concentración de la producción destacada por varios autores (Azcuay Ameghino, 1998; Peretti, 1999; Lattuada, 2000; González y García, 2005). Este proceso se visualiza en la disminución de la cantidad de explotaciones agropecuarias, en el aumento del tamaño de las explotaciones y de la superficie trabajada bajo las formas de tenencia que combinan tierra en propiedad con arrendamiento, aparcería o contrato accidental (González y García, 2005).

Pero no sólo desaparecen las medianas y pequeñas explotaciones agropecuarias. Cabe destacar su impacto sobre la autonomía de los productores agropecuarios. Se produce una pérdida de la misma que incluye una creciente dependencia del productor de la provisión de insumos y semillas; y cada vez más, de la semilla transgénica. Asimismo, existen algunas pocas grandes empresas semilleras transnacionales que no sólo proveen la semilla sino también el paquete tecnológico y los insumos que la acompañan, que el productor se ve obligado a comprar. De tal modo, se produce la creciente dependencia del productor agropecuario no sólo respecto de la agroindustria y la provisión de insumos agroquímicos, sino también, y mucho más que antes, a las empresas proveedoras de semillas. Se trata posiblemente de un cambio radical en el desarrollo agropecuario de nuestro país y del mundo en general. Desde que se inventó la agricultura hace diez mil años el productor agropecuario se proveía a sí mismo de la semilla que requería para el año siguiente, esencial para garantizar la reproducción de su finca agraria y su

identidad como productor. Ahora, en la medida en que depende de unas pocas empresas gigantes para la provisión de la semilla y del paquete tecnológico que la acompaña, va perdiendo esa capacidad y autonomía (Giarracca y Teubal, 2006)

### **5.1.1 Análisis de los datos de los Censos Agropecuarios de 1988 y 2002 a nivel país y en Rojas**

Se han analizado en este apartado las consecuencias del cambio tecnológico producido en el ámbito socio – económico en Rojas y en el país, mediante la comparación de cinco indicadores presentes en el Censo de 1988 y 2002: número de explotaciones y tamaño medio de las mismas, cantidad de pequeñas y medianas explotaciones, régimen de tenencia de la tierra, cantidad de población rural y tasa de desempleo nacional.

En primer lugar, a nivel país se determinó que el número de explotaciones agropecuarias entre 1988 y 2002 disminuyó un 20% y en Rojas lo hizo un 37%. Debido a esto el tamaño medio de las explotaciones se incrementó, un 24% a nivel nacional y un 70% en el partido de Rojas, pasando en este último de 185 ha a 314 ha. Como consecuencia las explotaciones medianas y pequeñas (hasta 200 ha), disminuyeron un 27% a nivel nacional y en un 47% en el partido de Rojas. Estos cambios estarían evidenciando la concentración de la producción en manos de los grandes productores y la exclusión de los pequeños y medianos.

Analizando los datos del régimen de tenencia de la tierra (relación jurídica que adopta el productor y la tierra), puede notarse un cambio significativo entre ambos Censos. El régimen de tenencia en propiedad personal o familiar disminuyó a nivel país un 7.5% y en Rojas 19.6%. Mientras que varios tipos de tenencia tipo alquiler aumentaron. Así para el total del país el arrendamiento o alquiler de la tierra por una suma fija de dinero por no menos de tres años, se incrementó en un 51% y en Rojas un 114%. Lo contrario sucedió con la aparcería, la cual implica pagar con una proporción o porcentaje de la producción. Los datos a nivel país arrojan una disminución del 24% y en Rojas un 43%. Evidentemente este tipo de contrato no es tan rentable para el aparcerero / arrendatario como el alquiler mediante el pago de una suma fija de dinero. El

contrato accidental (alquiler por no más de dos años que puede ser renovado), disminuyó para el total del país en un 7.3%, mientras que en Rojas aumentó un 60%. Estos tipos de contrato evidencian por un lado, la tendencia de los grandes productores a aumentar la escala de las explotaciones sin la compra de tierra, ya que la no posesión de la misma hace posible adoptar estrategias geográficas de disminución de riesgo climático y presionar libremente sobre los recursos naturales. Y por otro, la cesión de tierras en alquiler de los pequeños y medianos productores debido a la difícil situación económica que atravesaban.

A nivel nacional se identificó una disminución de la población rural en un 8.4% y en Rojas el descenso llegó al 26 %, producto de la desaparición de las pequeñas y medianas explotaciones (Giarracca y Teubal, 2006).

La tasa de desempleo a nivel país en el año 1988 era de 6.5 y en 2002 de 21.5, un aumento del 230%. Este indicador mide la tasa de desempleo por aglomerados urbanos, los cuales cubren el 70% de la población urbana del país, pero el partido de Rojas no está presente en ninguno de los aglomerados encuestados.

## **5.2 Ámbito natural**

El desarrollo del proceso de trabajo agrícola consiste en la apropiación y la transformación inmediata de la naturaleza. Por ello, se encuentra de lleno enfrentada a lo que ella representa: un conjunto no totalmente controlable y que está regido por sus propias leyes, lo que implica tener que considerar las variables ecosistémicas en su análisis (Lacroix, 1991 en Galafassi y Zarrilli, 2002). A su vez, los efectos de dicha transformación también tienen una consecuencia inmediata en ella.

El primer problema que se presenta en el aspecto ambiental es que cuando el arrendatario consiste en una empresa o pool de siembra cuya única relación con el campo es de tipo contractual y breve en el tiempo, la gestión generalmente se caracteriza por la toma de decisiones de corto plazo. En tal caso, existiría un desacoplamiento entre decisiones productivas y la percepción de señales ambientales, con la consiguiente ruptura de mecanismos capaces de regular la calidad del ambiente.

La sustitución de sistemas de producción mixtos (agrícola - ganaderos) por sistemas exclusivamente agrícolas determina la sobrecarga ganadera de los sistemas pastoriles del contorno, cuyas consecuencias productivas y ambientales aún no han sido evaluadas. En este sentido, es importante señalar que la producción ganadera no se ha reducido, sino que la actividad se ha transformado (Paruelo, Guerschman y Verón, 2005). La ganadería se intensifica, tiende a practicarse en espacios cada vez más reducidos y desvinculados de la actividad agrícola. Esta intensificación tiene efectos sobre el medio ambiente a través de la alteración de los ciclos de nutrientes y el cultivo de granos para engorde. Esto tiene potenciales consecuencias ambientales que están poco estudiadas. Por ejemplo, existen evidencias de que el desbalance de fósforo es mayor en áreas ganaderas que en agrícolas. Sin embargo, en el caso del metano, la combinación de la disminución de la superficie dedicada a la ganadería y las mejoras de la calidad de los alimentos para el ganado parecen haber contribuido a disminuir las emisiones totales de este gas hacia la atmósfera. A nivel de hipótesis, la intensificación ganadera y el actual florecimiento de *feed-lots* (engorde intensivo) en la región podrían estar impactando la calidad de los acuíferos.

La expansión del monocultivo de soja genéticamente modificada provoca alteración de hábitats, alteración de biodiversidad, resistencia a fitosanitarios, alteración de los ciclos de nutrientes, alteraciones de las propiedades físico-químicas del suelo, cambios en las comunidades de artrópodos algunos de los cuales se convirtieron en plagas importantes en la Región Pampeana (Ghersa y Ghersa, 1991) y contaminación de aguas superficiales y subterráneas con nutrientes y biocidas.

Si bien es cierto que la siembra directa tiene un efecto positivo para la conservación del suelo, no está claro que sea positiva para el ambiente en general a causa del importante aumento de agroquímicos que lleva asociada. Por ejemplo, en la Pampa Arenosa, y a través de una serie de indicadores del impacto de los pesticidas y las labranzas, se detectó un aumento en el riesgo de impacto sobre los insectos y los mamíferos asociado a la adopción de tecnologías de siembra directa o labranza reducida (Ferraro, Ghersa y Sznaider, 2003). En cuanto al impacto de la siembra directa en la degradación de suelos y aguas, el uso de una mayor carga de insumos lleva

necesariamente a una mayor percolación hacia los acuíferos, pero no existen estudios concluyentes sobre el impacto que pudiera estar teniendo el elevado uso de glifosato versus la disminución en el uso de otros herbicidas cuyas consecuencias son escasamente conocidas. Se señala que la difusión de la siembra directa durante los años 90 disminuyó la erosión de muchos suelos pampeanos e incrementó su contenido en materia orgánica y fertilidad. Sin embargo, la tendencia al monocultivo de soja está causando nuevamente un empobrecimiento del suelo (Casas, 2005). Las incertidumbres respecto al estado de los componentes del suelo y acuíferos dificultan la evaluación del impacto ambiental de la modernización agrícola impulsada en los años '90 por las tecnologías de insumos y procesos. Lo que sí puede afirmarse es que el monocultivo de soja está llevando en algunas áreas a un nivel de pérdida de materia orgánica que la siembra directa por sí sola no puede compensar. Efectivamente, los suelos "chacreados" por el cultivo de soja sobre soja son pobres en estructura y en materia orgánica.

Se plantea también la hipótesis de que las nuevas tecnologías de insumos generan mayor cantidad de emisiones de óxido nitroso a causa del manejo de los suelos, especialmente en cultivos de soja y forrajeras (Manuel Navarrete y otros, 2005).

## **6. Conclusiones**

El proceso de globalización mundial y la política neoliberal en la cual se insertan las reformas estructurales realizadas en Argentina en la década del '90 permitieron explicar la causa de la adopción y difusión de las innovaciones tecnológicas agropecuarias. Una de las reformas que más impactó en el sector ha sido la desregulación económica mediante la cual se eliminaron todas las entidades reguladoras de la producción agropecuaria. Sin embargo, esta desregulación no significó que el Estado interventor desapareciera, sino que cambiara de signo: reguló desregulando. Esta desregulación ha sido una participación activa del Estado en la economía, fue re-regulación de los mercados, que benefició a los capitales más concentrados. Otra reforma ha sido la apertura comercial, la cual provocó la liberalización máxima del comercio de exportación de productos agrícolas ligado

a la noción de que lo único que puede subsistir es aquello que es competitivo en términos internacionales. Esta apertura significó la eliminación o reducción de los aranceles a las importaciones que favoreció la importación de tecnología. El tipo de cambio fijo también colaboró para la adopción de innovaciones tecnológicas e insumos importados. A partir de estas reformas grandes empresas agroindustriales y supermercados transnacionales adquirieron preeminencia en el ámbito del Sistema Agroalimentario Argentino, debido a que los nuevos insumos y tecnologías eran desarrollados o impulsados por esas grandes empresas.

Estos cambios en la tecnología agropecuaria se han basado en un paquete tecnológico de alta productividad compuesto por semillas transgénicas, siembra directa, maquinaria sofisticada (sembradoras de labranza directa, cosechadoras, etc), herbicidas, plaguicidas, fertilizantes y riego.

A través del análisis empírico de los datos de los Censos Agropecuarios de 1988 y 2002 para el partido de Rojas y para el total de país, se han verificado estas transformaciones, notándose una diferencia en cuanto a la aplicación de este tipo de tecnología en el partido de Rojas con respecto la situación nacional. En este partido la siembra directa, el uso de maquinaria y el riego han tenido una participación más significativa que a nivel país. Lo contrario sucedió con el avance de la soja que el cambio se ha evidenciado de manera más notable a nivel a nacional que en Rojas.

Las consecuencias de estos cambios han sido numerosas en lo que respecta al ámbito socio – económico. Entre ellas se destacan la disminución de la cantidad de explotaciones y su aumento de tamaño, provocado por el incremento de la escala de producción. Esto también condujo al cambio de tenencia de la tierra, aumento de tenencia tipo arrendamiento o contrato accidental. Proceso que se vio favorecido también por los llamados pool de siembra llevados a cabo por los grandes productores. Al mismo tiempo se produjo la segregación de los medianos y pequeños productores debido a no poseer la escala que este tipo de producción requería para obtener cierta rentabilidad. Estos se vieron obligados a vender sus tierras, arrendarlas o endeudarse, sólo algunos optaron por formar pool de siembra, una de las pocas estrategias de adaptación que tuvieron para seguir subsistiendo en la actividad. Otra fue la promovida por el gobierno basada en planes de ayuda



financiera o sistema de subsidios no retornables. Pero estos planes cubrieron sólo una mínima proporción de los pequeños y medianos productores a los que se quería ayudar. Sintetizando, las principales consecuencias de los cambios tecnológicos han sido la concentración de la producción en manos de los grandes productores y la exclusión de los pequeños y medianos.

Estos efectos se han verificado mediante la comparación de los Censos. En Rojas han sido más notables que a nivel país. Las explotaciones han disminuido más notoriamente y su tamaño se ha incrementado del mismo modo. La consecuente disminución de las pequeñas y medianas explotaciones también ha sido más significativa en este partido. Las formas de tenencia tipo alquiler aumentaron en un porcentaje notablemente más alto que en el total del país. También el dato de población rural mostró un descenso más notorio en Rojas.

De este modo, los datos empíricos analizados permitieron concluir que tanto las transformaciones tecnológicas como las consecuencias se produjeron de manera más notable en Rojas que en el total del país. Esto pudo haberse producido debido a que fue en la Región Pampeana, lugar donde se encuentra dicho partido, donde comenzó a implementarse el cambio tecnológico, ocasionado por la continua búsqueda de mayores rendimientos dada su histórica orientación al mercado externo y por ser pieza fundamental de la economía argentina. Se deberían analizar los datos actuales para evaluar si sólo faltaba tiempo para que estos cambios se difundan con la misma magnitud a todo el país o si las características de la Región o específicamente del partido fueron las que permitieron la gran implantación y difusión de la tecnología y por ende sus consecuencias.

En cuanto al ámbito natural a pesar de que los impactos se han identificado: alteración de los ciclos de nutrientes, de hábitats, de biodiversidad, de las propiedades físico-químicas del suelo, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, pérdida de materia orgánica en suelos, emisiones de óxido nitroso, etc., se evidencia una falta de datos específicos de los efectos producidos por los cambios en la producción.

A través del análisis de las condiciones sociales de implementación y difusión, y los efectos sociales y ambientales provocados por

las innovaciones tecnológicas, se puede apreciar que la tecnología no es neutra, sino que responde orientaciones políticas.

Si se hace el ejercicio de aislar el contexto político y las necesidades sociales y económicas que hicieron que el paquete tecnológico de alta productividad se implemente y difunda en nuestro país, se puede notar que este conjunto tecnológico propone y produce determinadas relaciones con el ambiente, determinadas maneras de organizar el trabajo humano, diagrama la forma de producción, etc. De un modo simplificado se observa que este paquete, específicamente la soja transgénica, la siembra directa y el glifosato, permite manejar grandes extensiones de tierra con un solo herbicida y poca mano de obra. Esto produce por un lado el aumento de la escala de producción para que la producción sea más eficiente y se puedan reducir los costos de producción. Y por otro la disminución de la mano de obra en el campo, afectando el empleo rural y el suelo y aguas subterráneas mediante el uso excesivo de herbicidas. A su vez la siembra directa necesita de maquinaria especializada que se justifica su adquisición si se cuenta con una adecuada escala de producción. El aumento de escala de producción produce disminución de la cantidad de explotaciones y aumento del tamaño medio de las mismas, en la tenencia de la tierra al aumentar las formas de contrato tipo alquiler. Esto provoca la exclusión de los pequeños productores que no pueden competir debido a la escala de producción que manejan, los cuales venden, ceden sus tierras en alquiler o se endeudan.

Como se ha tratado de demostrar a lo largo del trabajo, estas relaciones con el ambiente y estas formas de organizar el trabajo humano responden a necesidades estratégicas de las relaciones productivas, a la vez que resultan eficientes no sólo en términos de costo - efectividad económica, sino en términos de las relaciones de fuerza y de dominación del contexto histórico analizado. Es decir, la tecnología no sólo adquiere un carácter social y político en tanto surge en determinado momento histórico para satisfacer necesidades humanas, sino que necesita determinadas condiciones sociales para su implementación y difusión, a la vez que produce efectos sociales y políticos específicos.

La polarización social, la exclusión, el desempleo, el aumento de la pobreza y la vulnerabilidad, la regulación por los mercados y la planificación cortoplacista de inversores privados, son efectos del nuevo modelo

técnico productivo agropecuario que replican a escala rural, los efectos globales de las transformaciones estructurales del neoliberalismo de la década del '90.

## Bibliografía

Auge, M.P., (2004), *Hidrogeología Ambiental*. Sexto Curso de Postgrado UBA. Inédito, 1 – 278.

Azcuy Ameghino, E., (1998), *La evolución histórica de las explotaciones agropecuarias en Argentina y Estados Unidos: los casos de Iowa y Pergamino 1987-1988*. Jornadas de Estudios agrarios “Horacio Giberti”, Facultad de Filosofía y Letras de la UBA, Buenos Aires.

Azcuy Ameghino, E., (2000), *Las reformas económicas neoliberales y el sector agropecuario pampeano*. En Revista Ciclos en la Historia, la Economía y la Sociedad N° 20, Buenos Aires, 2do semestre de 2000.

Basco, M., (1997), *Modalidades de asistencia técnica a los productores agropecuarios en la Argentina* (Buenos aires: IICA).

Borlaug, N., (2002) Entrevista al padre de la Revolución Verde por Actionbioscience. En <http://www.actionbioscience.org/esp/biotecnologia/borlaug.html#fullbio>

Brescia, V. y Lema, D., (2004) *Tenencia de la tierra, contratos y uso de recursos en la producción agrícola pampeana: Teoría y evidencia*, Publicación del Instituto de Economía y Sociología, INTA.

Carballo, C., (1995), *Programa social agropecuario y cambio rural. Dos intentos para atenuar la crisis entre los agricultores*, en Realidad Económica (Buenos aires) N° 136.

Casas, R., (2005), *Efectos de la intensificación agrícola sobre los suelos*, Ciencia Hoy, vol. 15, N° 87.

Díaz Rönner, L., (2006), *Transformaciones de la producción agraria en Argentina y la situación de la agricultura familiar*. [www.grr.org.ar](http://www.grr.org.ar)

FAA (Federación Agraria Argentina) y AFA (Agricultores Federados Argentinos), (2004), *La Tierra, para qué, para quiénes, para cuántos*, Buenos Aires, Ciccus.

Ferraro, D.O., Ghera, C.M. y Sznajder, G.A., (2003), *Evaluation of environmental impact indicators using fuzzy logic to assess the mixed cropping systems of the Inland Pampa, Argentina*, Agriculture, Ecosystems & Environment, vol. 96.

Galafassi, G. y Zarrilli, A., (2002), *Ambiente, Sociedad y Naturaleza. Entre la teoría social y la historia*. Bernal. Ed. Universidad Nacional de Quilmes.

Ghera, C.M. y Ghera, M.A., (1991), *Cambios Ecológicos en los Agroecosistemas de la Pampa Ondulada. Efectos de la Introducción de la Soja*, en Ciencia e Investigación, vol. 5.

Giarracca, N. y Teubal, M., (2006), *Democracia y neoliberalismo en el campo argentino*, Red CLACSO 987-1183-38-0.

González, M.C. y García, M., (2005), *Tenencia de la tierra en la provincia de Buenos Aires. Una visión en tres partidos pampeanos*. Cuartas Jornadas interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales, Buenos Aires.

Guevara, E. R., (1991), *Role des caracteres d'énracinement dans la tolerance au déficit hydrique du maïs (Zea mays L.) en Argentine*; en Maturano, M. (2002) Tesis Doctoral *Estudio Del Uso del Agua y del Nitrógeno dentro del Marco de una Agricultura Sostenible en las Regiones Maiceras Castellano-Manchega y Argentina*.

Hall A.J.; Rebella, C. M.; Ghera, C.M.; Culot, J.P., (1992), *Field-crop systems of the Pampas*. In: Pearson, C. (Ed.), *Field Crop Ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, p 413 - 450.

INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), (1988), *Censo Nacional Agropecuario*.

INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), (1988), Encuesta Permanente de Hogares.

INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), (1991), Censo Nacional de Población y Vivienda.

INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), (2001), Censo Nacional de Población y Vivienda.

INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), (2002), Censo Nacional Agropecuario.

INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), (2002), Encuesta Permanente de Hogares.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), (1974), Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3560 - 2: Rojas. Buenos Aires, INTA.

Kopta, R. F. (2006). *Reflexiones desde una ONG sobre la expansión de la frontera agrícola y el rol del sector civil para moderarlo*. Actas de la XXII Reunión Argentina de Ecología. Córdoba, 22 al 25 de agosto de 2006.

Lattuada, M., (2000), *El Crecimiento Económico y el Desarrollo Sustentable en los Pequeños y Medianos Productores Agropecuarios Argentinos de fines del siglo XX*. (Unpublished paper). Buenos Aires: CONICET / FLACSO.

Lattuada, M. y Neiman, G., (2005), *El campo argentino: crecimiento con exclusión*, Buenos Aires, Capital Intelectual.

Lombardo, P. y Tort, M., (1999), *Estrategias de intervención para pequeños y medianos productores agropecuarios en la década de los '90*, en Realidad Económica (Buenos aires) N° 168.

Manuel-Navarrete, D.; Gallopín, G.; Blanco, M.; Díaz-Zorita, M.; Ferraro, D.; Herzer, H.; Latorra, P.; Morello, J.; Murmis, M.R.; Pengue, W.; Piñeiro, M.; Podestá, G.; Satorre, E.H.; Torrent, M.; Torres, F.; Viglizzo, E.; Caputo, M.G. y Celis, A., (2005), *Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extra-pampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de política*, Series CEPAL Medio Ambiente y Desarrollo N° 118.

Manzanal, M., (1999), *Problemática Regional y Pobreza Rural*, trabajo presentado en las Jornadas sobre Pobres, Pobreza y Exclusión Social. Centro de Estudios e Investigaciones Laborales (CEIL). Buenos Aires: CONICET.

Manzanal, M., (2000), *Los Programas de Desarrollo Rural en la Argentina, en el Contexto del Ajuste Macro-económico Neoliberal*, EURE Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos Regionales, N° 78, Vol XXVI, pp. 77-101.

Martellotto, E.; Salinas, A.; Salas, P.; Alvarez, C.; Lovera, E.; Giubergia, J.; Lengua, S., (2004), Proyecto Regional de Riego. Inventario y Caracterización del Riego Suplementario en la Provincia de Córdoba. INTA.

Neiman, M., (2006), *Cambios en la organización laboral de los productores familiares pampeanos*. VII Congreso Latinoamericano de Sociología Rural, 20 – 24 de noviembre de 2006, Quito, Ecuador.

Oesterheld, M., (2006), *Transformaciones en la agricultura argentina y sus consecuencias*. Actas de la XXII Reunión Argentina de Ecología. Córdoba, 22 al 25 de agosto de 2006.

Parsons, T., (1968), *La estructura de la acción social*, México, Guadarrama.

Paruelo, J.M.; Guerschman, J.P. y Verón, S.R., (2005), *Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo*, Ciencia Hoy, vol. 15, N° 87.

Peretti, M., (1999), *Competitividad de la empresa agropecuaria argentina en la década de los '90*. Revista Argentina de Economía Agraria II, nº 1: 27-41, Buenos Aires.

Pérez, C., (1986), *Las nuevas tecnologías: Una Visión de Conjunto*, en *La Tercera Revolución Industrial: Impactos Internacionales del Actual Viraje Tecnológico*, Buenos Aires, RIAL, Grupo editor Latinoamericano.

Reboratti, C., (2006), *La Argentina rural entre la modernización y la exclusión*. En publicación: América Latina: cidade, campo e turismo. Amalia Inés Geraiges de Lemos, Mónica Arroyo, María Laura Silveira. CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, San Pablo.

Secretaría de Desarrollo de la Producción de Rojas, (2008), en <http://www.rojasproduccion.gov.ar/>

Tapella, E., (2002) *Globalización y Transformación de la Estructura Social Agraria en Argentina: ¿Nuevas Ruralidades, Nuevas Políticas?* Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ciencias Sociales, Instituto de Investigaciones Socio Económicas, Programa de Ecodesarrollo de Tierras Áridas y Semiáridas (PETAS).

Torre, J. y Gerchunoff, P., (1996), *La política de liberalización económica en la administración de Menem*, en *Desarrollo económico*, Nº143, Bs. As., Octubre-Diciembre, pág.750.