

***Tesis***

***Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas.***

***TITULO***

Aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos para riego complementario de cultivos extensivos en la Cuenca del Río Arrecifes, Provincia de Buenos Aires.

*Tesista:* *Ing. Agr Etcheverry Marta Cecilia*

*Director:* *Dr. Ing Agr Genova Leopoldo*

***-2014-***

## Índice de contenido

	<b>Página</b>
Introducción.	10
Antecedentes y marco conceptual.	12
Fundamentación de la elección del área de estudio.	15
Hipótesis de trabajo.	19
Objetivos.	19
Materiales y métodos.	20
√ Caracterización de la Cuenca del Río Arrecifes	20
√ Estimación de la necesidad de riego	26
√ Análisis de la evolución de la salinización y/o sodificación de los suelos.	31
Resultados.	33
√ Caracterización de la Cuenca del Río Arrecifes	33
√ Estimación de la necesidad de riego	41
√ Análisis de la evolución de la salinización y/o sodificación de los suelos	54
Conclusiones.	58
Bibliografía.	59
Anexo 1	66
Anexo 2	70

## Índice de tablas en el documento

<b>Denominación</b>	<b>Página</b>
Tabla 1: Características determinantes de las diferentes Clases de suelo, según la Clasificación de las tierras por su capacidad de uso	29
Tabla 2: Características y propiedades de Argiudoles pampeanos	31
Tabla 3: Identificación de Series representativas de suelos en CRA	38
Tabla 4: Clases de suelo, según la Clasificación de las tierras por su capacidad de uso.	41
Tabla 5: Datos precipitación efectiva media Series del SMN 1961-2000 Junín Aero	42
Tabla 6: Datos precipitación efectiva media Series del SMN 1961-1990 Pergamino INTA	42
Tabla 7: Datos precipitación efectiva media Series del SMN 1961-1990 San Pedro I NTA	42
Tabla 8: Datos precipitación efectiva media Series del SMN 1961-1990 por estación.	42
Tabla 9: Evapotranspiración de referencia media (Eto). Series del SMN 1961-2000 para las estaciones meteorológicas.	43
Tabla 10: Evapotranspiración de referencia media mensual (Eto). Series del SMN 1961-2000 para Junín Aero - Pergamino INTA – San Pedro INTA	44
Tabla 11: Valores de coeficiente de cultivo, para maíz y soja de primera, FAO - IPG INTA, EEA INTA Pergamino.	44
Tabla 12: Evapotranspiración de cultivo media mensual Etc expresada en mm/mes Series del SMN 1961-2000 Junín Aero - Pergamino INTA – San Pedro INTA, para maíz y soja de primera.	45
Tabla 13: Necesidad de riego (Nr), para maíz. (mm/mes)	45
Tabla 14: Necesidad de riego (Nr), para soja de primera. (mm/mes)	45
Tabla 15: Necesidad de riego (Nr.), para maíz. (m <sup>3</sup> / ha mes)	45
Tabla 16: Necesidad de riego (Nr), para soja de primera (m <sup>3</sup> / ha mes).	46

<b>Denominación</b>	<b>Página</b>
Tabla 17: Volumen mensual neto para cultivo de maíz.	46
Tabla 18: Volumen mensual neto para cultivo de soja de 1ra	46
Tabla 19: Volumen mensual bruto para cultivo de maíz.	46
Tabla 20: Volumen mensual bruto para cultivo de soja de 1ra.	47
Tabla 21: DHMB (Demanda hídrica mensual bruta)	47
Tabla 22: Qc (caudal continuo).	47
Tabla 23: Dot (dotación de riego).	47
Tabla 24: Clases de aptitud agrícola en las aguas de riego	54
Tabla 25: Salinidad de los suelos regados	55
Tabla 26: Sodicidad de los suelos regados.	55
Tabla 27: Resistencia y resiliencia del suelo a cambios en la salinidad	55
Tabla 28: Resistencia y resiliencia del suelo a cambios en la sodicidad	56

## Índice de figuras en el documento

<b>Denominación</b>	<b>Página</b>
Figura 1: Ubicación de la Cuenca del Río Arrecifes. República Argentina.	16
Figura 2. Ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires	21
Figura 3 Mapa Isofreático de la Provincia de Buenos Aires.	22
Figura 4 Mapa Isopáquico del Acuífero Puelche.	23
Figura 5 Detalle de la ubicación de la formación hidrogeológica Puelches.	25
Figura 6 Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, Escala 1: 500.000. CIRN-INTA (1990)	36
Figura 7 Identificación de los diferentes dominios edáficos.	39
Figura 8 Zonificación correspondientes a los diferentes dominios edáficos	40
Figura 9 Curva de demanda hídrica mensual bruta ( $\text{hm}^3 / \text{mes}$ ).	48
Figura 10 Curva de demanda de caudal continuo $Q_c$ (l/s).	49
Figura 11 Curva de demanda de dotación de riego $Dot$ (l /s.ha)	50

## Índice de gráficos en el documento

<b>Denominación</b>	<b>Página</b>
Gráfico 1: Comparación de la precipitación media mensual en la CRA.	34
Gráfico 2: Comparación de la temperatura media mensual en la CRA	34
Gráfico 3: Velocidad Media Mensual del Viento a 2,00 metros de altura ( $\text{km.h}^{-1}$ ).	35
Gráfico 4: Precipitación efectiva media mensual	43
Gráfico 5: Evapotranspiración diaria de referencia media (Eto).	44

### Listado de abreviaturas, acrónimos, siglas y símbolos.

Agr. A1, A11, A12, AC, Ap, A12, A2	Agrónomo Horizontes del perfil del suelo.
B1, B2t, B21t, B22t, B23t, B3	Horizontes del perfil del suelo.
C, Cca °C Ca Ca <sup>++</sup> Cb CE <sub>ex</sub>	Horizontes del perfil del suelo. Grados centígrados o Celsius Calcio Ión calcio Carabelas Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo
cm cm/año cmol/kg CIRN	Centímetro centímetro por año Centimoles por kilogramo Centro de Investigaciones de Recursos Naturales
CRA Cs.	Cuenca del Río Arrecifes Ciencias
dS/m DHc DHMB Dot. Dr.	DeciSiemens por metro Demanda hídrica Demanda hídrica mensual bruta Dotación de riego Doctor
EEA Eto Etc	Estación Experimental Agropecuaria Evapotranspiración de referencia Evapotranspiración del cultivo
FAO Fac.	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación Facultad
ha habs. hm <sup>3</sup> /mes HR (%) hs	Hectárea Habitantes Hectómetro cúbico por mes Humedad relativa expresada en porcentaje Horas

**Listado de abreviaturas, acrónimos, siglas y símbolos (continuación).**

IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INDEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
Ing.	Ingeniero
Kc	Coefficiente de cultivo
km/h	Kilómetro por hora
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
km <sup>3</sup>	Kilómetro cúbico
l	Litro
l/s	Litros por segundo
m	Metro
m/día	Metro por día
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>3</sup> /ha.mes	Metro cúbico por hectárea por mes
m <sup>3</sup> /hora	Metro cúbico por hora
m <sup>3</sup> /mes	Metro cúbico por mes
meq/l	Miliequivalentes por litro.
mm	Milímetro
mm/día	Milímetro por día
mm/mes	Milímetro por mes
Na	Sodio
NE	Noreste
NO	Noroeste
Nr	Necesidad de riego
Nrc	Necesidad de riego del cultivo
Nubos.	Nubosidad
Pcia.	Provincia
Pe	Precipitación efectiva
pH	Potencial hidrógeno
Pp.	Precipitación
PROSAP	Programa de Servicios Agrícolas Provinciales
Proy. IPG-INTA	Proyecto de incremento de la producción de granos del INTA

**Listado de abreviaturas, acrónimos, siglas y símbolos (continuación).**

PSI	Porcentaje de sodio intercambiable
Qc.	Caudal continuo
RA	República Argentina
RAS	Relación de adsorción de sodio
RL	Resiliencia
RT	Resistencia
SAGyP	Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca
SCS	Soil Conservation Service
T°	Temperatura
T° máx.	Temperatura máxima
T° mín.	Temperatura mínima
ton/ha	Tonelada por hectárea
UNLP	Universidad Nacional de La Plata
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica
Vol.	Volumen

## Aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos para riego complementario de cultivos extensivos en la Cuenca del Río Arrecifes, Provincia de Buenos Aires.

### INTRODUCCIÓN

El riego complementario de cultivos extensivos en la Pampa Húmeda es una práctica agronómica cuya incorporación y difusión fue discutida y resistida durante muchos años por la comunidad agraria; esto se ha debido: a) al escaso conocimiento por parte de los principales actores del sector agropecuario (productores, técnicos, investigadores, empresarios, funcionarios) de los alcances y ventajas del riego de cultivos extensivos, que constituyó una innovación tecnológica para la región húmeda; b) a la inconsistencia del método de clasificación de calidad del agua para riego del US Salinity Lab. (Richards, 1954), de uso universal en zonas áridas, que impropiamente aplicado al riego complementario clasifica a la mayoría de los recursos hídricos disponibles en la región húmeda pampeana, como poco e incluso no aptos para uso agrícola y c) a la inexactitud de los pronósticos efectuados a sodificación de los suelos regados complementariamente, principalmente con aguas bicarbonatadas sódicas, las cuales constituyen la fuente más importante de agua para riego en la zona (Genova, 2011).

Sin embargo, la evidencia de los resultados económicos obtenidos por la agricultura regada, potenciada por los avances en el fitomejoramiento y el manejo de los cultivos, la disponibilidad de maquinaria y agroquímicos cada vez más eficientes, y el precio del mercado de cultivos que se realizan en la zona (principalmente soja), condujeron al importante crecimiento de área regada en la región. En términos económicos, la potencialidad de la generación de riqueza por parte del riego complementario, estimada desde la disponibilidad del recurso más escaso, el agua, es del orden de los mil millones de pesos anuales, tomando en cuenta que podrían regarse en la Pampa Húmeda, un total de dos millones de hectáreas, utilizadas de la siguiente forma: 50% con maíz, 25% con soja de primera siembra y 25% con la rotación trigo-soja, produciendo un incremento de los rendimientos respecto de los mejores en secano, de 4 ton/ha en maíz, 1,5 ton/ha en soja de primera y 1,0 ton/ha en soja de segunda y trigo (Proyecto IPG-INTA, 1998).

El horizonte de expansión del área agrícola bajo riego, no solo depende de la disponibilidad de agua, sino de la transferencia e incorporación de la tecnología de riego, de la rentabilidad de los agrosistemas regados y de la seguridad y permanencia de la sustentabilidad.

Para completar este último aspecto, se define al agroecosistema como un sistema ecológico que integra niveles geofísicos (suelo y clima), bióticos (plantas y animales) y culturales o antrópicos; este último aprovecha y dirige el flujo trófico por medio de los herbívoros en el seno de un paisaje determinado (Montserrat y Villar Perez, 1993). El mismo incorpora la variable de riego como entrada al sistema en los cultivos extensivos, para generar productos agrícolas en forma sustentable.

Además, la expansión agrícola deberá ser acompañada por la investigación experimental requerida para generar bases sólidas a la difusión del riego

complementario, sobre todo en la temática del conocimiento, prevención y control de la degradación salina de suelos y acuíferos, marco de un sistema de manejo agronómico de cultivos extensivos bajo riego complementario.

El riego complementario o suplementario, es una práctica agronómica de las zonas húmedas y semiáridas que consiste en regularizar el régimen de humedad del suelo, cubriendo los déficit hídricos que continuamente ocurren en la franja del perfil donde las raíces de las plantas absorben la mayor cantidad de agua, debido a la variabilidad espacial y temporal de la distribución de las lluvias. Sus objetivos son: disminuir o evitar el riesgo de pérdida total o parcial de cosechas y de elevar y estabilizar el nivel de rendimientos fisiológicos de los cultivos, que están asociados a la disponibilidad de humedad dentro de un rango fácilmente aprovechable.

La conservación de los recursos naturales adaptada al cambio tecnológico, por ejemplo la implementación del riego, permite asegurar el logro y la continuidad de la satisfacción de las necesidades humanas - alimento, agua, ambiente - para la generación presente y las futuras. Este desarrollo sustentable, incluye la aplicación de tecnología en cultivos extensivos, tendiendo a un uso ecológicamente no degradativo, tecnológicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptado. La sustentabilidad, en este sentido, se refiere al mantenimiento de una serie de objetivos o propiedades deseadas, a lo largo del tiempo. Es un concepto dinámico, que deriva de un sistema de valores y debe ser analizado en determinadas condiciones sociales y ambientales, para cada ecosistema natural modificado por el hombre mediante procesos agroproductivos.

## **ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL**

Según el PROSAP (2006), el riego complementario es una práctica agrícola que disturba los recursos naturales agua y suelo, causando impactos cuya naturaleza, ubicación, intensidad, duración y consecuencias son variables. Génova y Palacios Velez (1985) mencionan que su principal característica es que las aplicaciones de agua al suelo, mediante distintos métodos, se realizan cuando la humedad del suelo se aleja del rango óptimo. Durante las etapas fenológicas en que los cultivos presentan elevada sensibilidad al déficit hídrico, se generan respuestas productivas máximas, cercanas al potencial genético de las plantas. Esto ocurre aunque la cantidad total de agua regada no supere generalmente los 200 mm por campaña agrícola.

Por lo tanto, el riego complementario difiere del riego integral, practicado en las zonas áridas, en el número de riegos y fundamentalmente en el volumen total de agua aplicada.

La demostración de la factibilidad técnico-económica del riego complementario de cultivos extensivos en la Pampa Húmeda, realizada por el Proyecto SAGyP – INTA - IICA (1988), indujo su incorporación como práctica agrícola, transformando el sistema de manejo agronómico de secano, en un nuevo sistema de manejo, modificando sustancialmente el balance hídrico y salino de los horizontes edáficos (Génova, 1995).

La superficie bajo riego en el mundo creció más del 30% en los últimos 50 años (INDEC, 2002). En Argentina, el riego complementario se ha difundido en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Chaco, Entre Ríos, Formosa, Salta, Santa Fe y Tucumán, siendo notable el incremento del área regada en la Pampa ondulada, el Sur y Sudeste bonaerenses, ubicando así a la provincia de Buenos Aires con 166.483 hectáreas regadas con el 12,28% de las hectáreas regadas en el país. (Abraham, 2007) (INDEC, 2002). Con respecto al riego por aspersión, la provincia de Buenos Aires con 89.661,8 hectáreas, representa al 53,86% de las superficies regadas frente a otros sistemas de riego. (INDEC, 2002).

La difusión del riego complementario se inició en Argentina, en la década de 1960, con el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), se extendió al maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*) y soja (*Glicine soja*), intensificándose a partir de 1980 y logrando una gran expansión a principios de 1990. En la última década, el riego complementario ocupa 166.000 ha, que representan el 14 % del total de la superficie del país (Gorgas et al, 1996), concentrado en las cuencas de la Pampa Húmeda (PROSAP, 2006).

La trascendencia del riego complementario, se debe en gran medida a los efectos positivos en la economía productiva, a través de la estabilización de los niveles de cosecha con altos rendimientos, debido, principalmente a dos factores: la minimización del riesgo de ocurrencia de déficit hídrico y la disponibilidad de materiales genéticos de elevada potencialidad productiva.

En la región pampeana, las unidades hidrogeológicas más aprovechadas para riego son los acuíferos Pampeano y Puelche. El primero se extiende en las provincias hidrogeológicas Llanura Chaco-Pampeana Árida (650.000 km<sup>2</sup>) y Llanura Chaco-Pampeana Húmeda (350.000 km<sup>2</sup>), que en conjunto ocupan el 37% del área

continental argentina. El Acuífero Puelche solo se presenta en parte de la Llanura Chaco-Pampeana Húmeda. En ambas Llanuras predominan en el subsuelo sedimentos limoarenosos de color castaño y origen eólico, denominado Loess pampeano (Frenguelli, 1950; Auge, 2004). Su gran extensión geográfica es interrumpida por otros tipos litológicos, como los depósitos arenosos formadores de médanos, los lacustres y los aluviales en las cercanías a los cauces.

El nuevo escenario creado por el riego con aguas subterráneas, con niveles de salinidad y sodicidad dentro de los siguientes rangos: conductividad eléctrica  $CE = 0,8 - 1,4$  dS/m y relación de adsorción de sodio  $RAS = 4$  y  $20$  (cmol/kg) (cmol/kg)<sup>-1/2</sup> implica la alteración de los agroecosistemas o cuencas hidrográficas, a partir de la generación de procesos degradativos de los recursos naturales, con características y localización diversa (Génova, 1988, 1989).

Los excesos hídricos anuales que habitualmente ocurren en la región pampeana satisfacen los requisitos de lavado de las sales que podrían acumularse en los suelos regados complementariamente en las zonas húmedas (Génova, 1994; Costa, 1998).

A la fecha, existen algunos resultados de pronósticos y diagnósticos referentes al impacto del riego con aguas subterráneas en los suelos, realizados en la región, resumidos por Génova (2004). Existen evidencias obtenidas por Génova (2007) y consideradas demostrativas de la sustentabilidad de los agroecosistemas bajo riego complementario en cuanto al mantenimiento de la calidad edáfica, a pesar de la degradación salino y sódica que genera la derivación de aguas bicarbonatadas sódicas. Ellas son, entre otras, que los valores de pH, de conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo  $CE_{ex}$  y el porcentaje de sodio de cambio PSI de los suelos regados no manifestaron un crecimiento sostenido en el tiempo. Se manifestó una ocurrencia de fases de acumulación, principalmente durante la temporada de riego por el aporte de sales con las aguas y de fases de disminución, en cualquier momento del ciclo, en función de los balances hídrico y salino, por los efectos de los dos principales mecanismos de recuperación: lavado e intercambio catiónico. La dinámica de la  $CE_{ex}$  y del PSI medidos durante 20 años, corrobora el modelo conceptual de control natural de la salinidad y sodicidad de los suelos pampeanos bajo riego complementario, propuesto por Génova (2004), vinculándose actualmente con el concepto y la evaluación de la resiliencia edáfica.

El término resiliencia del suelo fue incorporado recientemente a la ciencia edáfica para remitir los temas de ecología de suelos al uso sustentable de tierras, creando una teoría común que describa la reacción del suelo a rangos de impactos o disturbios. Williams y Chartres (1991) diferenciaron resistencia de resiliencia al expresar: "la magnitud de la disminución de la capacidad de un suelo de funcionar (resistencia) y la tasa de recuperación o la elasticidad (resiliencia) son dos llaves para medir la sustentabilidad". Blum (1994) sostuvo que a causa de la complejidad del suelo y de las diferentes maneras de reaccionar a disturbios externos, la resiliencia todavía no había sido definida operacionalmente. Rozanov (1994) y Lang (1994) definieron la resiliencia del suelo como la capacidad de resistir cambios causados por un disturbio. Szabolczs (1995) agregó que sería necesario disponer de métodos para medirla y describir los procesos resilientes. Warkentin (1996) resumió que la calidad del suelo es la llave de la sustentabilidad y Doran *et al* (1996) manifestaron que la dirección de la calidad del suelo con el tiempo es un indicador primario del manejo sustentable. Seybold *et al* (1999) clarificaron el concepto de

resiliencia y su pertenencia al suelo, definieron sus relaciones con la calidad de suelo y revisaron la literatura sobre su medición y cuantificación, adoptando la siguiente definición de Herrick y Wander (1998): resiliencia del suelo es la capacidad de recuperar su integridad funcional y estructural después de un disturbio.

Desde una perspectiva social y antropológica, es necesario mantener la sustentabilidad de los agroecosistemas. En este sentido, Maserá *et al* (1999) propusieron el uso de criterios de diagnóstico para evaluar la sustentabilidad de sistemas de manejo agrícolas, que sirvan de vínculo entre sus atributos genéricos, los puntos críticos y los indicadores. Un criterio de diagnóstico integral es la calidad del suelo, con el enfoque de Parr *et al* (1992), citado por el Programa de Agroecología de GIRA A.C. (2001), cuando manifiestan que "un suelo de calidad se define como el que tiene la capacidad de producir cultivos sanos y nutritivos de una forma sostenida en el largo plazo y de promover la salud humana y animal, sin detrimento de los recursos naturales

## **FUNDAMENTACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

En el presente trabajo se propuso analizar la factibilidad técnica del aprovechamiento de los recursos hídricos de la Cuenca del Río Arrecifes (CRA), para riego complementario de cultivos extensivos, por considerarla representativa de la región norte de la Provincia de Buenos Aires, con un nivel de incorporación tecnológica de nivel medio en el sector agroproductivo. (INTA Feoli 1994). Entendiendo a la cuenca hidrográfica como "un sistema geomórfico producto de la interrelación de los macrosistemas climáticos, geodinámicos y antrópico" (Bruno et al, 1998), se caracterizó el sistema hidrológico actual y la captación de aguas superficiales y subterráneas con fines de riego.

La CRA abarca casi un millón de hectáreas de las tierras más fértiles del país. El 90% de la superficie corresponde a suelos con aptitud agrícola (Cabrini y Calcaterra, 2009), en los que se producen entre el 6% y 10% de la producción nacional de trigo, maíz, soja y girasol. Los rendimientos promedios de estos cultivos superan sistemáticamente a los promedios nacionales. El valor de la producción agrícola de este sector marca el grado de dependencia de numerosas comunidades rurales y del mantenimiento de la capacidad de producción agrícola de la región.

La Cuenca del Río Arrecifes se encuentra ubicada en el norte de la provincia de Buenos Aires, formando parte los Partidos de Pergamino, Arrecifes, San Pedro, Baradero, Capitán Sarmiento, Salto, Chacabuco, Rojas, Junín, General Arenales y Colón (Figura 1).

La mayor concentración de habitantes se encuentra en las localidades de Pergamino (99.193 habs.), Junín (88.664 habs.) y San Pedro (55.234 hab.), datos publicados por el INDEC correspondientes al Censo Nacional 2001, siendo la actividad económica primaria (agrícola – ganadera) la predominante en la zona, concentrándose las secundarias (industrias) y terciarias (comercio, etc.) en las ciudades antes mencionadas.

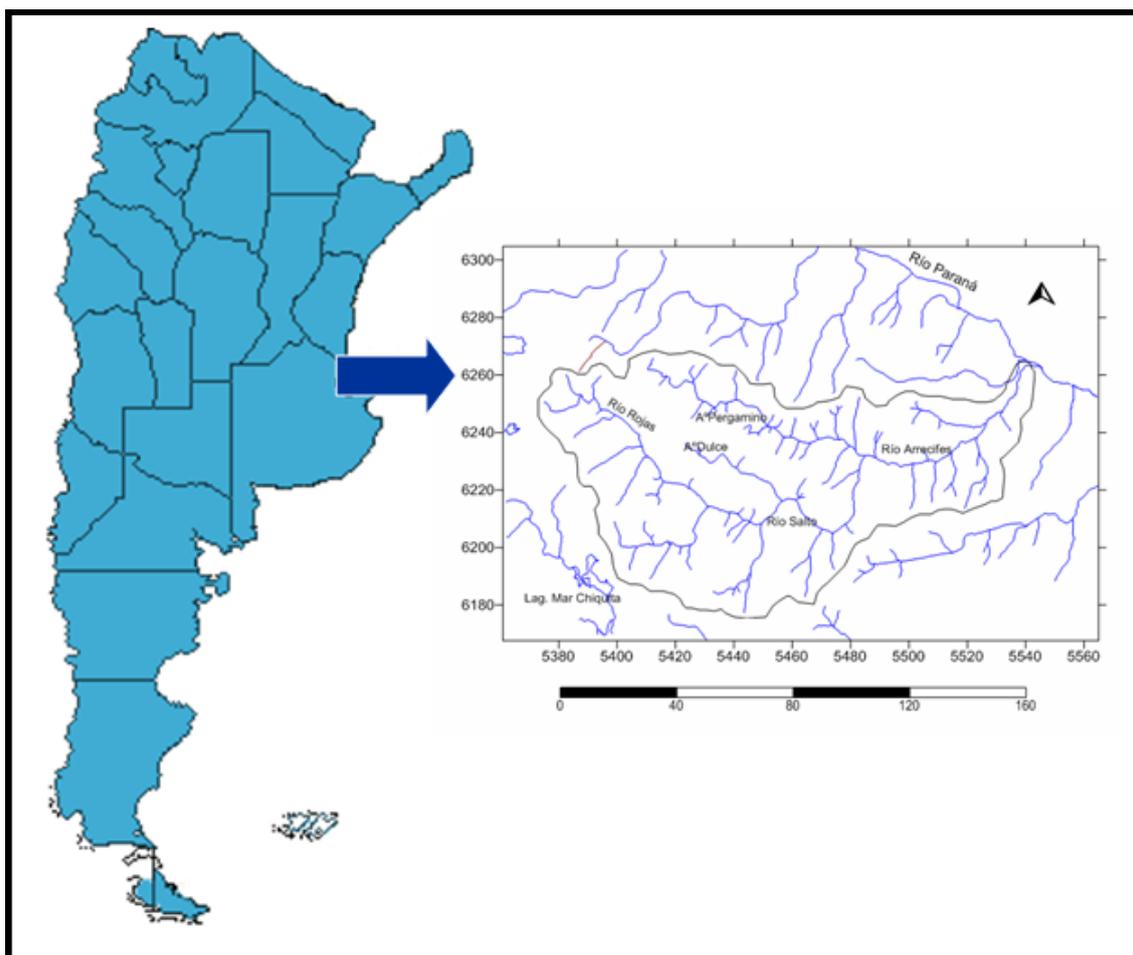


Figura 1: Ubicación de la Cuenca del Río Arrecifes. República Argentina. Fuente: Gaspari *et al*, 2006.

El sector en el cual se encuentra la Cuenca, ha tenido un rejuvenecimiento del paisaje, a causa de un activo proceso de disección superficial producido por movimientos ascensionales producidos durante el cuaternario. Como consecuencia de este rejuvenecimiento, se produjo la reactivación del proceso erosivo pluvial y la formación de una densa y bien definida red de drenaje.

El material parental de estos suelos esta constituido por limos loessicos, formados en zonas peripampeanas, situadas al sur y al oeste. Estos limos loessicos presentan una gran monotonía, tanto en los materiales que los componen como en las proporciones de los mismos. La ausencia general de alteración indicaría que los procesos pedogenéticos no fueron lo suficientemente intensos para modificar en forma importante su composición original (Scoppa, 1976).

Una selección en la sedimentación determinó una variación progresiva en la granulometría, según un rumbo suroeste – noreste. Se encuentran así Argiudoles típicos, de texturas francas en todos sus horizontes, y hacia el sector noreste texturas mas finas que determinaron el desarrollo de Argiudoles vérticos (Berón y Lemos, 1983).

En las lomas de la parte superior de la cuenca, los suelos están representados por Argiudoles típicos, principalmente en sus series Rojas, Pergamino y Arroyo Dulce. En las zonas donde la intrazonalidad es determinante se desarrollaron asociaciones y complejos de suelos halohidromórficos (Etcheverre et al, 1969). El subacuífero epipuelche, es el principal abastecedor de agua para el riego y el ganado. Existe una estrecha relación entre las divisorias de aguas superficiales y subterráneas. Los ejes de drenaje subterráneo que se superponen con los cursos de agua superficiales indican la ubicación de las zonas de descarga y muestran su carácter efluente. La distribución areal de las zonas de recarga y descarga, hacen que el nivel freático adopte una forma radial divergente. Con respecto a la velocidad del escurrimiento subterráneo efectivo, los valores oscilan entre 0,12 – 0,035 m/día. Los datos de isoconductividad para los niveles más profundos del “epipuelche”, oscilan entre 0,8 dS/m y 1,0 dS/m. Las reservas geológicas de los acuíferos “epipuelche” y “puelche”, en conjunto, oscilan entre 6 y 17 km<sup>3</sup>, existiendo posibilidades de aumentar las reservas con un manejo adecuado del recurso.

Si bien el clima en la cuenca es templado, con temperaturas que varían entre los 5,4 °C y los 31,9 °C y la precipitación media anual es de 972,9 mm, según datos medidos en la EEA INTA Pergamino, con el invierno como estación seca, el mayor déficit hídrico se produce en verano. Se logra así generar respuestas productivas máximas, cercanas al potencial genético del cultivo (Génova et al, 2000).

La principal fuente de agua disponible para el riego complementario, es el agua subterránea proveniente de acuíferos que presentan distintos grados de mineralización, con preponderancia hidrogeoquímica de aguas bicarbonatadas sódicas (Ceci, 1969; Santa Cruz, 1986; Auge, 2003; Castiglione y Cejas, 1996; Gonzalez 2004). Auge (2004) propuso la subdivisión del territorio argentino en 18 provincias hidrogeológicas, considerando características y comportamientos distintivos de las aguas subterráneas, que resultan de la interacción de factores geológicos, geomorfológicos, climáticos y biológicos, en estos últimos se incluyen las consecuencias de la acción antrópica. La cuenca en estudio se ubica en la región Llanura chaco – pampeana húmeda, unidad Noreste.

Si bien el riego de cultivos extensivos en zonas húmedas, es una práctica agrícola que viene generalizándose con marcado crecimiento desde 1980, se deben aplicar criterios de programación y manejo del sistema agua – suelo – planta – atmósfera que, adecuados a la realidad económica actual, preserven el medio ambiente en la cuenca. Desde una perspectiva individual y referente al riego, es claro que el productor agropecuario logra, con su adopción, optimizar su actividad económica, minimizando el riesgo de cosecha causado por déficit hídrico, elevando y estabilizando el rendimiento de los cultivos y maximizando el beneficio neto de su producción.

La presente tesis generó información básica referente a las relaciones agua – suelo – planta - atmósfera, disponibilidad (calidad y cantidad) de aguas subterráneas y superficiales, aptitud del suelo para riego, consumos evapotranspirativos y distribución de lluvias efectivas.

Los recursos agua y suelo fueron inventariados con un criterio de uso conjunto, con el propósito de detectar, en las diferentes zonas de la cuenca, la factibilidad del riego complementario en los cultivos de maíz y soja, seleccionados como indicadores de los sistemas regados, por tratarse de las especie con mayores

respuestas fisiológicas y/o económicas a la regularización del régimen de humedad del suelo en la zona de raíces mediante el aporte de agua por riego.

## **HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Es posible incrementar el área bajo riego complementario en cultivos extensivos en la Cuenca del Río Arrecifes, evaluando la disponibilidad de sus recursos hídricos y edáficos.

## **OBJETIVOS**

### 1. General.

Cuantificar la oferta hídrica total para el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos aplicando riego complementario en cultivos extensivos en la Cuenca del Río Arrecifes.

### 2. Específicos.

- Evaluar e identificar la disponibilidad y origen del agua superficial y subterránea en la cuenca.
- Zonificar los diferentes dominios edáficos presentes en base a su uso actual y a la aptitud agrícola de las tierras en la CRA.
- Inventariar las superficies actuales y potencialmente utilizables para el cultivo de maíz y soja bajo riego.
- Estimar las necesidades de riego complementario para los cultivos de maíz y soja.
- Analizar la evolución de la salinización y/o sodificación del recurso suelo después de la aplicación del riego complementario.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El análisis de antecedentes bibliográficos y cartográficos permitió realizar la caracterización hidrológica y edáfica de la CRA para el aprovechamiento sustentable, con aplicación de riego complementario en cultivos extensivos. Las etapas para el desarrollo de la presente tesis fueron:

- √ **Caracterización de la Cuenca del Río Arrecifes**
- √ **Estimación de la necesidad de riego**
- √ **Análisis de la evolución de la salinización y/o sodificación de los suelos.**

A continuación se describen cada una de las etapas.

### √ **Caracterización de la Cuenca del Río Arrecifes**

Se identificaron las principales fuentes de agua disponible, mediante el análisis de estudios antecedentes de índole hidrológico e hidrogeológico en la cuenca. Para ello se consideró la diferenciación de ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires en base a la geología y geomorfología (factores de mayor incidencia en el agua subterránea), ubicando a la zona en estudio fundamentalmente en la unidad Noreste (NE) (Auge, 2003) (Figura 2).

Esta región (NE) comprende el NE de la Provincia de Buenos Aires, con límites: al NO la Provincia de Santa Fe; al NE y SE los ríos Paraná y de la Plata, respectivamente y al SO la divisoria entre las cuencas hidrográficas del Plata y del Salado (Auge, 2003).

En la sección superior del Pampeano se emplaza la capa freática, mientras que con el aumento de la profundidad, es frecuente la presencia de capas semiconfinadas normalmente por debajo de los 50 m.

En el mapa de la Figura 3, se representan las curvas isofreáticas de la región (compilación DYNAS, 1974), donde se puede observar el carácter efluente de los ríos y arroyos principales (en especial en los tramos medios y bajos de sus cuencas), por lo cual se constituyen en sitios de descarga del agua subterránea.

En relación a la Figura 4 del mapa isopáquico, el mismo expresa el comportamiento subterráneo del agua que resulta trascendente respecto a la trayectoria de un eventual contaminante, el cual bajo las condiciones de flujo señaladas, discurre hacia los cauces (Auge, 2003).

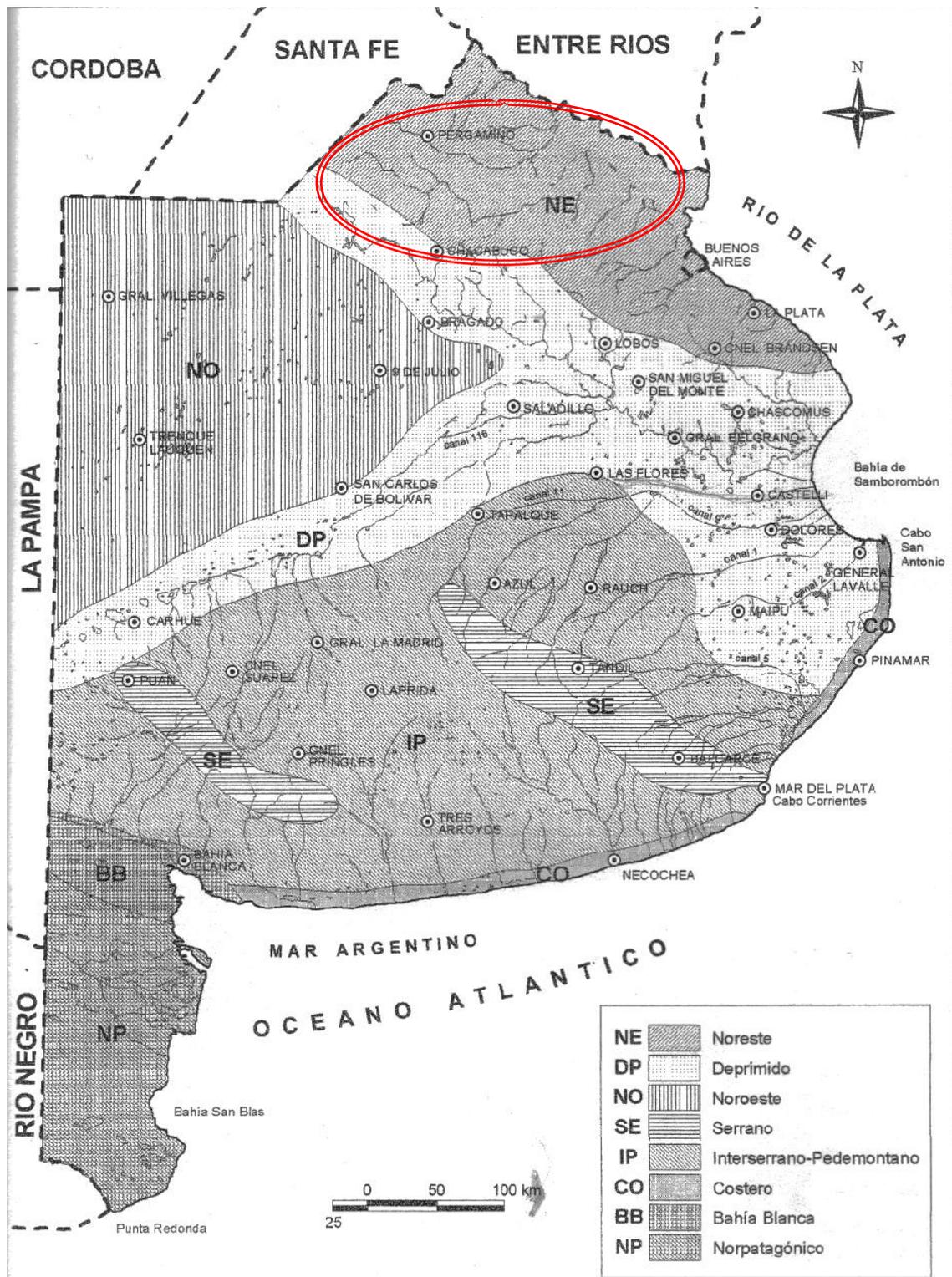


Figura 2. Ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. Fuente: Auge, 2003. CRA remarcada en rojo.

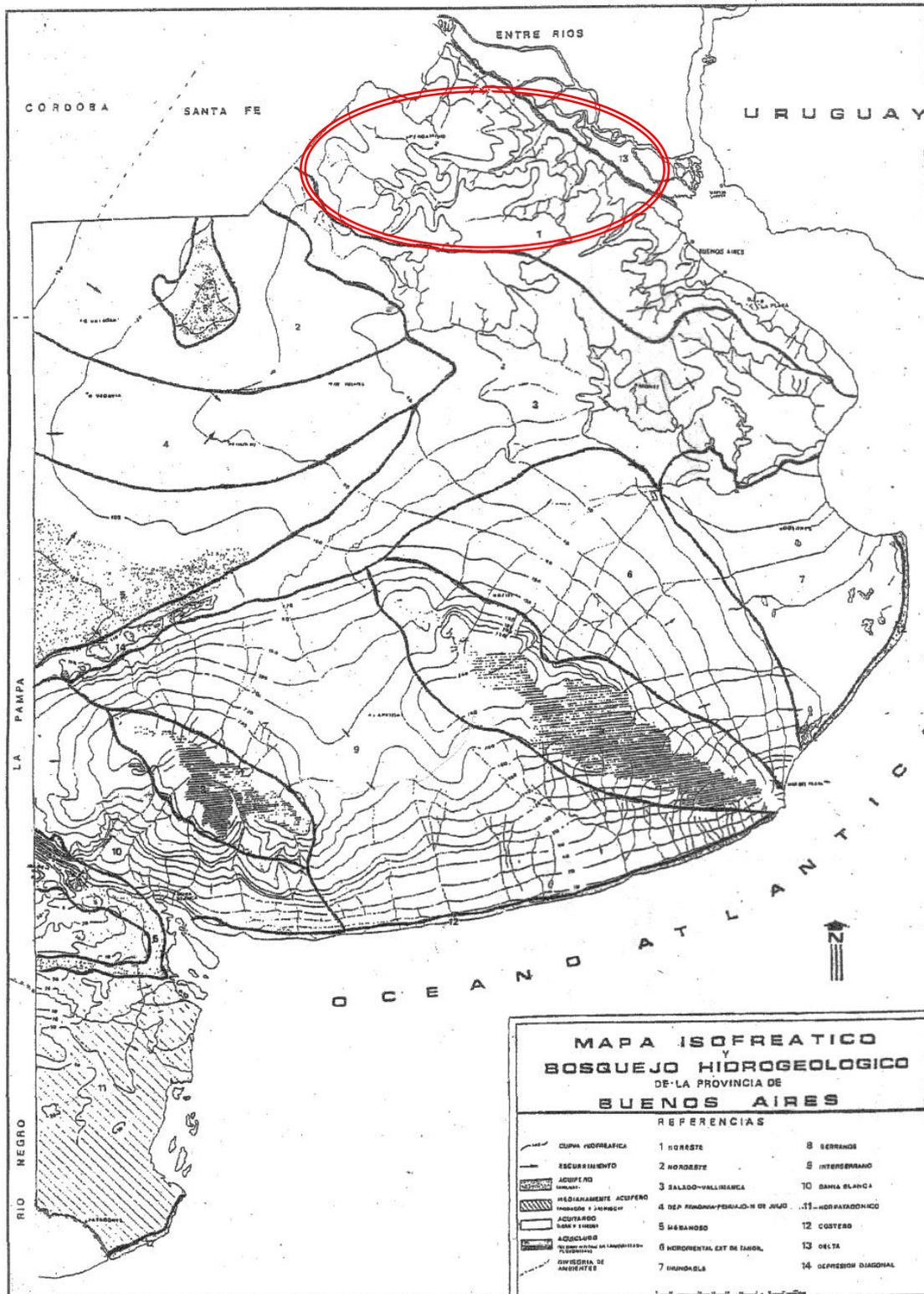


Figura 3 Mapa Isofreático de la Provincia de Buenos Aires.  
Fuente: Auge, 2003. CRA remarcada en rojo.

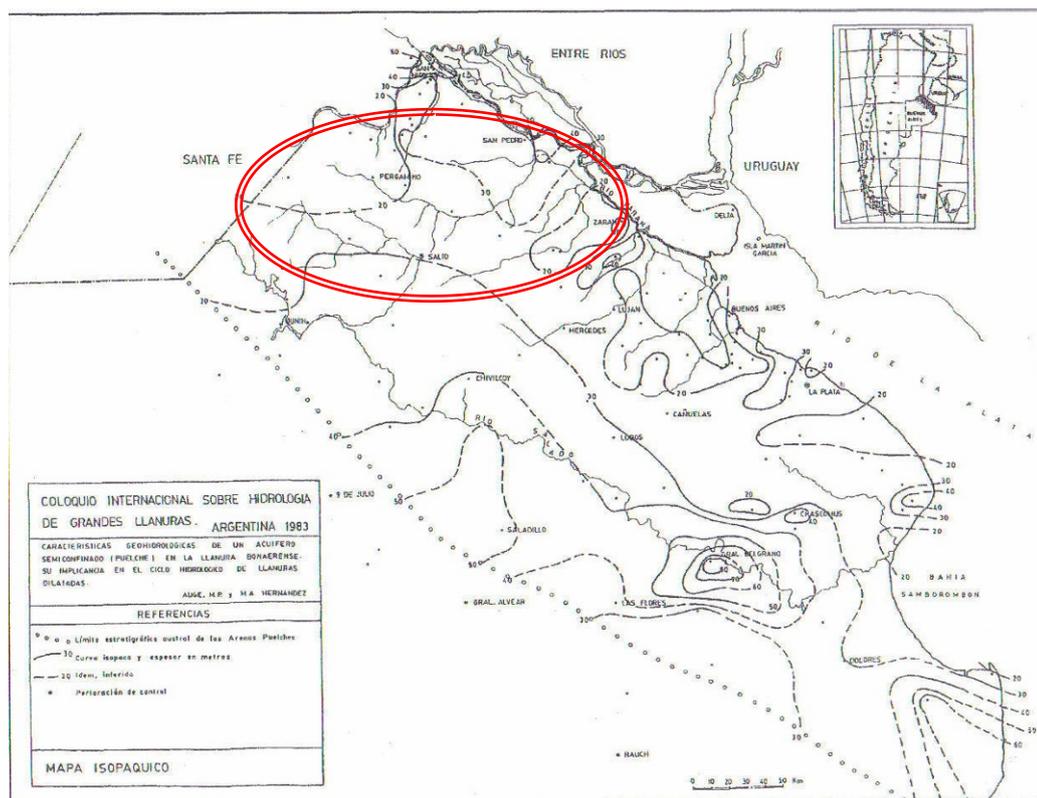


Figura 4 Mapa Isopáquico del Acuífero Puelche.  
Fuente: Auge, 2003. CRA remarcada en rojo.

El Acuífero Pampeano se emplea para consumo doméstico rural, para el ganado y para consumo doméstico periurbano, en aquellos sitios que no cuentan con servicio de agua potable. Este acuífero se recarga por la infiltración de la lluvia y constituye la vía para la transferencia hidráulica hacia el Puelche subyacente (Auge, 2003).

Con respecto a los valores de recarga del acuífero, si bien los mismos se encuentran relacionados con la precipitación media anual, la evapotranspiración media anual y la escorrentía (Auge, 2003), y por lo tanto son variables según el año hidrológico, se han encontrado valores de recargas del acuífero del orden de 4,03 cm/año (como dato límite inferior en 1986) a 74,13 cm/año (como dato límite superior en 2001) para la cuenca.

Si bien estos valores extremos, marcan un rango muy amplio entre sí, y por lo tanto, obligarían a prácticas de manejo de cultivo muy diferentes, se puede estimar en función de los registros climáticos de la región un valor de **50 cm/año**, como valor de recarga con mayor ocurrencia (Reynoso et al, 2005)

En lo referente al riego, en las regiones donde se lo practica en forma complementaria (centro y NO bonaerense) suele captarse al Pampeano mediante pozos de hasta 20" de diámetro, sin entubar (debido a la estabilidad del loess) con caudales de hasta 120 m<sup>3</sup> / hora (San Antonio de Areco, Arrecifes, Pergamino).

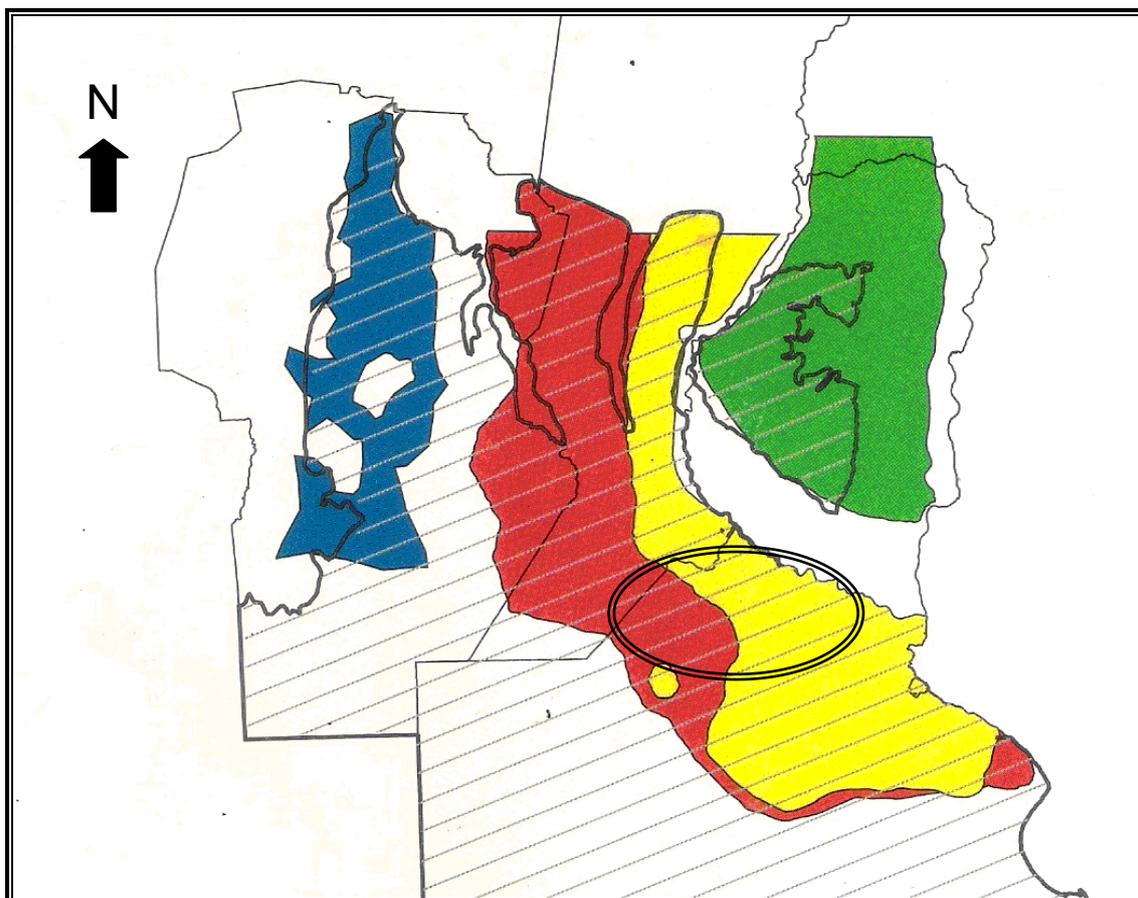
La calidad del agua, en general, es más dura que la del Acuífero Puelche subyacente, pero no genera daños a los cultivos ni al suelo, pues sólo se riega durante cortos períodos en verano, fundamentalmente para cultivos de maíz y soja.

Las Arenas o Formación Puelche, subyacen al Pampeano y contienen al acuífero más explotado del país. El acuífero Puelche es ampliamente empleado para riego, consumo humano, ganadero e industrial. Se recarga a partir del Pampeano mediante filtración vertical descendente a través de capas de baja permeabilidad, en los sitios donde este último tiene mayor potencial hidráulico (Auge, 1986).

Se localiza en la zona Norte de la provincia de Buenos Aires, Sur de la provincia de Santa Fe y zona Oeste de la provincia de Córdoba (Figura 5) (SAGPyA – PROSAP, 1995).

La productividad más frecuente del Acuífero Puelche varía entre 30 y 50 m<sup>3</sup>/hora y la profundidad de su techo entre 15 y 120 m en San Pedro y Colón respectivamente, mientras que el espesor oscila entre 10 m (Zárate) y 50 m (San Nicolás).

Con respecto a la tasa de recarga del acuífero Puelche, no se han encontrado valores al respecto, por lo cual, al momento del planteo de los resultados, los mismos se harán solamente considerando la provisión del Pampeano.



Referencias:

Formación Puelche
Formación Puelche Salado
Formación Santiago Temple y Arcillas Pardas
Formación Ituzaingó

Figura 5. Detalle de la ubicación de la formación hidrogeológica Puelches  
Fuente: SAGPyA – PROSAP, 1995. CRA remarcada.

A partir de los antecedentes mencionados, se estableció el área que abarca la CRA y se identificaron sus características geomorfológicas y las hidrogeológicas particulares.

Con respecto a los recursos hídricos superficiales de la CRA, los mismos no fueron tenidos en cuenta en el presente trabajo. Los motivos fueron por la escasa y/o faltante información de registros históricos estadísticos continuos de caudal, comparados con los aportados por el recurso subterráneo.

La oferta de agua de lluvia se caracterizó considerando los datos climatológicos de tres Estaciones Meteorológicas, obtenidos por el Servicio Meteorológico Nacional, de períodos de 30 y 40 años, abarcando los años 1961-2000. Las estaciones con influencia en la cuenca fueron: Pergamino INTA, Junín

Aero y San Pedro INTA (Tablas 1 a 7, Anexo 1). Para el análisis se consideraron datos de precipitación mensual, temperaturas (máxima, media y mínima), humedad relativa (HR%), velocidad del viento, heliofanía. Esta base de datos permitió definir las características básicas climáticas para la descripción y definición de parámetros para la estimación de la necesidad de riego.

## √ **Estimación de la necesidad de riego**

La cuantificación del recurso hídrico disponible se estableció por medio de la determinación de la tasa de extracción.

Se estimó luego la precipitación efectiva, a partir de los datos climáticos obtenidos, utilizando un modelo estadístico-hidrológico convencional, como ser el de Penman Monteith, por medio de la aplicación del Programa Cropwat, generado por la FAO (1990) (Cropwat (crop = cultivo; water = agua)

Este programa, que se ejecuta bajo entorno Windows, se utiliza para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos y de cultivo, ya sean existentes o nuevos. Además, el programa permite la elaboración de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de provisión de agua para diferentes patrones de cultivos.

Para el cálculo de los Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC), Cropwat requiere de datos de evapotranspiración (ET<sub>o</sub>). Cropwat permite al usuario ingresar valores de ET<sub>o</sub>, o ingresar datos de temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación solar, lo cual permite al programa CROPWAT calcular la ET<sub>o</sub> aplicando la ecuación de Penman-Monteith, aplicada en esta tesis.

Los módulos de entrada de datos de Cropwat son los siguientes:

1. Clima/ET<sub>o</sub>: para ingresar datos medidos de ET<sub>o</sub> o datos climáticos que permitan el cálculo de la ET<sub>o</sub> Penman-Monteith;
2. Precipitación: para ingresar datos de precipitación y el cálculo de la precipitación efectiva;
3. Cultivo (cultivos no inundados o arroz): para ingresar datos del cultivo y de la fecha de siembra;
4. Suelo: para ingresar datos de suelo (sólo en caso de programación de riego);
5. Patrón de cultivo: para ingresar un patrón de cultivos para calcular el esquema de entrega de agua.

A partir de los datos climáticos, anteriormente obtenidos correspondientes a la región en estudio, se estimó la precipitación efectiva mediante la metodología generada por Blaney y Criddle, propuesta por el Soil Conservation Service (SCS), en el USDA, en este caso las variables que intervienen son la precipitación total, la evapotranspiración y la humedad del suelo. Se ha determinado para Junín Aero; Pergamino INTA y San Pedro INTA.

Se conoce como precipitación efectiva a la proporción de la precipitación que puede llegar a estar disponible en la zona ocupada por las raíces de las plantas, la que utiliza para satisfacer sus requerimientos de agua. La lluvia es altamente efectiva cuando poco o nada se pierde por evaporación. Una manera simple de estimar indirectamente este valor es a través del método de la USDA (método que más recomienda la FAO), a través de las ecuaciones 1 y 2.

Si  $P \leq 250$  mm por periodo

$$Pe = (P / 125) \times (125 - 0,2 P) \quad (\text{Ec.1})$$

Si  $P > 250$  mm por periodo

$$Pe = (125 + 0,1 \times P) \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

Pe (mm) = Precipitación efectiva

P (mm) = Precipitación media mensual

La necesidad de riego ( $N_r$ ), o demanda hídrica total de los cultivos, se calculó aplicando el método adaptado por Génova *et al.* (1998), estimando la evapotranspiración de referencia con el método de Penman–Monteith, aplicando el Programa Cropwat de FAO (1990). Este método toma como parámetros la temperatura media mensual, la humedad relativa, la velocidad del viento y las horas de fuerte insolación o radiación.

La evapotranspiración de referencia media mensual  $E_{to}$  (mm/mes), se obtuvo multiplicando la evapotranspiración de referencia diaria (mm/día) por el número de días de cada mes considerado.

Utilizando los coeficientes de cultivo ( $k_c$ ) estimados por el método de Doorembos y Pruitt (1976) y los antecedentes regionales aportados por el Proyecto IPG INTA (1998) y la EEA Pergamino INTA, se estableció la evapotranspiración media mensual (Etc) del maíz (Etc maíz) y de la soja (Etc soja) (Ec.3).

$$\text{Etc (mm/mes)} = k_c \times E_{to} \text{ (mm/mes)} \quad (\text{Ec.3}).$$

Siendo:

Etc maíz: evapotranspiración del cultivo de maíz (mm/mes)

Etc soja: evapotranspiración del cultivo de soja (mm/mes)

La evapotranspiración media mensual (Etc) de cada cultivo, se generó para las Series del SMN 1961-2000, correspondiente a las estaciones meteorológicas dentro de la CRA de las localidades de Junín (Junín Aero), Pergamino (Pergamino

INTA) y San Pedro (San Pedro INTA). Los cultivos considerados para este estudio fueron maíz y soja de primera siembra.

A partir de los valores obtenidos, se estimó la necesidad de riego según la siguiente Ec.4.

$$\mathbf{Nr = Etc - Pe} \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

Nr (mm/mes) = Necesidad de riego

Etc (mm/mes) = Evapotranspiración de cultivo mensual

Pe (mm/mes) = precipitación efectiva media mensual zonal

Considerando que:

$$\mathbf{1 \text{ mm} = (10 \text{ m}^3 / \text{mm}) \times \text{ha}}$$

La conversión de unidades de láminas en volúmenes, se realizó por medio de la expresión matemática de la Ec.5.

$$\mathbf{Nr \text{ (mm/mes)} \times (10 \text{ m}^3 / \text{mm}) \times \text{ha} = \mathbf{Nr \text{ (m}^3 / \text{ha)}) \times \text{mes}} \quad (\text{Ec.5})$$

Siendo:

Nr (mm/mes) = Necesidad de riego

Nr (m<sup>3</sup> / ha mes) = Necesidad de riego

Para definir la superficie potencialmente ocupada por cada cultivo, se identificaron las unidades cartográficas que integran la CRA a partir de la Carta de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, de escala 1: 500.000. CIRN-INTA (1990).

Una vez identificados las unidades cartográficas en la CRA, se analizaron los perfiles edáficos representativos para los dominios edáficos y sus series representativas, identificando las limitantes y la capacidad de uso del suelo. Se reconoció que la Clasificación de las tierras por su capacidad de uso expresó los tipos de uso del suelo para la CRA.

La capacidad de uso del suelo se clasificó según el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Klingebiel & Montgomery, 1961), como se expresa en la Tabla 1. Disponer de una clasificación de capacidad de uso de tierras permitió ordenar, aclarar la capacidad de uso que tiene cada terreno y zonificar según las características de cada suelo.

Tabla 1: Características determinantes de las diferentes Clases de suelo, según la Clasificación de las tierras por su capacidad de uso

<p><b>Clase I.</b> Suelos con ninguna o leves limitaciones que restringen su uso. Pueden utilizarse para cultivos, pasturas, forestación, como campos naturales de pastoreo, etc.</p>
<p><b>Clase II.</b> Suelos con algunas limitaciones que exigen prácticas simples de manejo y conservación, especialmente cuando se los cultiva. Son adecuados para agricultura, pastura y forestación.</p>
<p><b>Clase III.</b> Suelos con mayores limitaciones que los de las clases anteriores, por lo que requieren prácticas de manejo y conservación más complejas. No obstante, son adecuados para cultivos, pasturas y otros usos de la tierra.</p>
<p><b>Clase IV.</b> Suelos con limitaciones más severas que las de la clase III.; cuando están cultivados requieren prácticas de manejo y conservación aún más difíciles y complejas. Generalmente son adecuados para una estrecha gama de cultivos. No obstante, pueden ser utilizados para pasturas y otros usos de la tierra.</p>
<p><b>Clase V.</b> Suelos con escaso o ningún riesgo de ser afectados por erosión; pero con otras limitaciones que impiden el laboreo normal para los cultivos comerciales. Por esta razón, sólo resultan adecuados para ser usados como campos naturales de pastoreo, pasturas artificiales, bosque y fauna.</p>
<p><b>Clase VI.</b> Suelos con graves limitaciones para el uso, resultando ineptos para los cultivos. Son apropiados como campos naturales de pastoreo, pasturas, bosque y fauna.</p>
<p><b>Clase VII.</b> Suelos con muy graves limitaciones para el uso, resultando también ineptos para los cultivos. Su uso queda reducido exclusivamente para pasturas, campos naturales de pastoreo o para bosques y refugio de la fauna.</p>

Además, se consideró la clasificación en subclases de capacidad de uso del suelo, según la Clasificación de las tierras por su capacidad de uso (Klingebiel & Montgomery, 1961) como se expone a continuación:

1- Riesgos de erosión: las limitaciones por riesgos de erosión se simbolizan con el subíndice "e". En los suelos que pertenecen a esta subclase el peligro de erosión es el dominante para su uso, ya sea un peligro latente o el daño que pudo haber sufrido el suelo en el pasado. Están vinculadas principalmente a las características topográficas, permeabilidad, escorrentía superficial, cubierta vegetal y pluviosidad.

2- Exceso de agua: las limitaciones por exceso de agua están representadas por el subíndice "w" y determinan la dificultad del movimiento del agua a través del suelo. Los criterios para determinar los suelos que pertenecen a esta subclase son: drenaje pobre, humedad excesiva, capa freática o suspendida alta y anegabilidad.

3- Limitaciones del suelo dentro de la zona radical: las limitaciones del suelo en la zona radical se designan con el subíndice "s" y están principalmente relacionadas con las siguientes características: escasa profundidad, textura, estructura, compactación del perfil, profundidad, gravosidad, pedregosidad, características químicas, etc..

4- Limitaciones climáticas: las limitaciones climáticas están representado por el subíndice "c" y dependen del clima, por ej. el peligro de inundaciones periódicas o eventuales.

El volumen total de agua requerido para atender el consumo de cada cultivo se obtuvo por la Ec.6.

$$\text{Volumen mensual neto} = \text{Necesidad de riego} \times \text{Superficie} \quad (\text{Ec. 6})$$

Siendo:

Volumen mensual neto ( $\text{m}^3 / \text{mes}$ )

Necesidad de riego ( $\text{m}^3 / \text{ha mes}$ ) = volumen mensual requerido por unidad de superficie

Superficie (ha) = superficie ocupada por cada cultivo

Considerando que la eficiencia de aplicación para riego por aspersion con equipos autopropulsados (pivote central) para ambos cultivos, es del orden del 75%, se calculó la demanda hídrica mensual bruta (Vol. bruto), a partir de la Ec. 7.

$$\text{Vol bruto} = \text{Vol neto} / \text{Eficiencia} \quad (\text{Ec.7})$$

Siendo

Vol. bruto ( $\text{hm}^3/\text{mes}$ ) = Volumen mensual bruto del cultivo.

Vol neto ( $\text{hm}^3 / \text{mes}$ ).= Volumen mensual neto del cultivo

Eficiencia = eficiencia de aplicación correspondiente al método de riego utilizado.

Sumando los volúmenes brutos obtenidos para cada mes, en ambos cultivos, se obtiene la demanda hídrica mensual bruta (DHMB), en  $\text{hm}^3/\text{mes}$ .

Posteriormente, se calculó luego el caudal continuo ( $Q_c$ ) (l/s) a partir de la Ec.8.

$$Q_c = \text{DHMB} / \text{tiempo} \quad (\text{Ec.8})$$

Siendo tiempo la conversión, según los días de cada mes, 24 horas/ día y 3.600 segundos/hora.

A partir del caudal continuo ( $Q_c$ ) (l/s), y considerando la superficie (ha) de ambos cultivos estudiados (576.033 hectáreas), se calculó la dotación de riego (Dot) (l/s.ha) (Ec.9).

$$\text{Dot} = Q_c / \text{área} \quad (\text{Ec.9})$$

Posteriormente a partir de los resultados obtenidos, se realizaron las gráficas correspondientes a las tres curvas de demanda (Vol bruto,  $Q_c$  y Dot).

### √ **Análisis de la evolución de la salinización y/o sodificación de los suelos.**

Fueron estudiados suelos Argiudoles típicos ubicados en las localidades de Rojas y Salto de la Pcia. de Buenos Aires, cuyas principales características y propiedades figuran en la Tabla 2, extrayendo muestras simples de dos profundidades del perfil (0-30 y 30-60 cm), con tres repeticiones, en lotes agrícolas a partir de una situación inicial de seco y luego regados durante distintas series de años en los meses de octubre-noviembre, antes de iniciar la temporada de riego y en marzo-abril, finalizada la misma, registrando las láminas de riego totales suministradas y las precipitaciones recibidas.

Tabla 2: Características y propiedades de Argiudoles pampeanos.

	<b>Profundidad (cm) 0-30</b>	<b>Profundidad (cm) 30-60</b>
Arcilla (%)	22,6	33,2
Limo (%)	63,2	52,9
Arena fina (%)	13,3	13,8
Materia orgánica (%)	3,82	3,12
Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ )	1,18	1,21
CIC (c mol/Kg)	22,5	22,8

Se obtuvieron los siguientes indicadores: pH (relación 1:2,5) por potenciometría, capacidad de intercambio catiónico, CIC, por desplazamiento del  $\text{NH}_4^+$  con  $\text{Cl}_2\text{Ca}$  y luego  $\text{ClNa}$ , cationes intercambiables (Jackson, 1982),  $\text{CE}_{\text{ex}}$  por conductimetría (Richards, 1954) y el cálculo del PSI como  $(\text{Na}^+)/\text{CIC}$ .

Las muestras de aguas subterráneas colectadas en plena operación de riego se analizaron con los métodos de Richards (1954), obteniéndose valores de pH,  $\text{CE}_a$  y concentraciones de Na, Ca y Mg, calculándose la  $\text{RAS}_a = (\text{Na}^+)/((\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2)^{-1/2}$ . Con dicha información se clasificó la aptitud agrícola de las aguas mediante el método del US Salinity Lab. (Richards, 1954, Genova et al, 2007).

La resistencia RT (Ec.10) y resiliencia RL (Ec.11) del suelo a la degradación salina y sódica se evaluaron utilizando los modelos de Herrick y Wander (1998):

$$RT = C/A \quad (Ec.10)$$

$$RL = (B-C) / (A-C) \quad (Ec.11)$$

Donde:

RT: resistencia.

RL: resiliencia.

A: capacidad de funcionamiento del suelo antes de sufrir el disturbio.

B: nivel de recuperación en equilibrio estabilizado de funcionamiento del suelo

C: nivel de la función edáfica inmediatamente después de ocurrido el disturbio.

Se consideró representativo de los valores A al nivel del indicador en condiciones iniciales (secano), en ausencia del disturbio. Los valores B se calcularon promediando los datos obtenidos durante el período de medición antes de cada temporada de riego, asumiendo que representan la situación de equilibrio entre el agua aportada por riego y la incidencia de los factores y procesos recuperativos. Los valores C se calcularon promediando las mediciones de los indicadores inmediatamente después de ocurrido el disturbio, al finalizar la temporada de riego (Genova et al, 2007).

## **RESULTADOS**

### √ **Caracterización de la Cuenca del Río Arrecifes**

La CRA, ubicada al NE de la Provincia de Buenos Aires, es el ambiente más propicio para los cultivos extensivos si se considera la calidad y disponibilidad de agua subterránea. Se corresponde a los Sedimentos Pampeanos, que contienen al Acuífero pampeano, uno de los más utilizados en la Llanura Chacopampeana para consumo humano, ganadero, industrial y para riego. Su espesor varía entre 120 m en Colón (extremo NO) y 0 m en las cuencas inferiores de los ríos Luján, Reconquista y Matanza.

A partir del análisis de la Figura 3, que representan las curvas isofreáticas de la región (compilación DYNAS, 1974), se puede observar que la CRA, se encuentra ubicada en un rango de curvas de valores 10, 20, 30 y 40 metros.

Asimismo, en la Figura 4, se observa el mapa isopáquico, donde la CRA está identificada por las curvas que abarcan espesores en metros del orden de los 10 metros en Zarate, 20 metros en Pergamino, 30 metros en Salto y 40 metros en San Pedro, indicando el comportamiento subterráneo del agua. Como menciona Auge (2003), de producirse una pronunciada acción antrópica (sobreexplotación agrícola ganadera), el agua subterránea está protegida de la contaminación proveniente de la superficie.

En relación a la caracterización climática de la CRA se evaluaron los siguientes parámetros:

1) La precipitación media mensual se representa en el Gráfico 1. Se visualiza una respuesta homogénea en las tres estaciones meteorológicas estudiadas, respondiendo a un período de lluvias en el mes de marzo y en el mes de octubre, y un período seco invernal. Además, se establece que a partir de datos pluviométricos de las estaciones analizadas (Tablas de Anexo 1) se observa un notable incremento en los registros pluviométricos, alcanzando a acumular 60% en primavera - verano de la precipitación media anual histórica.

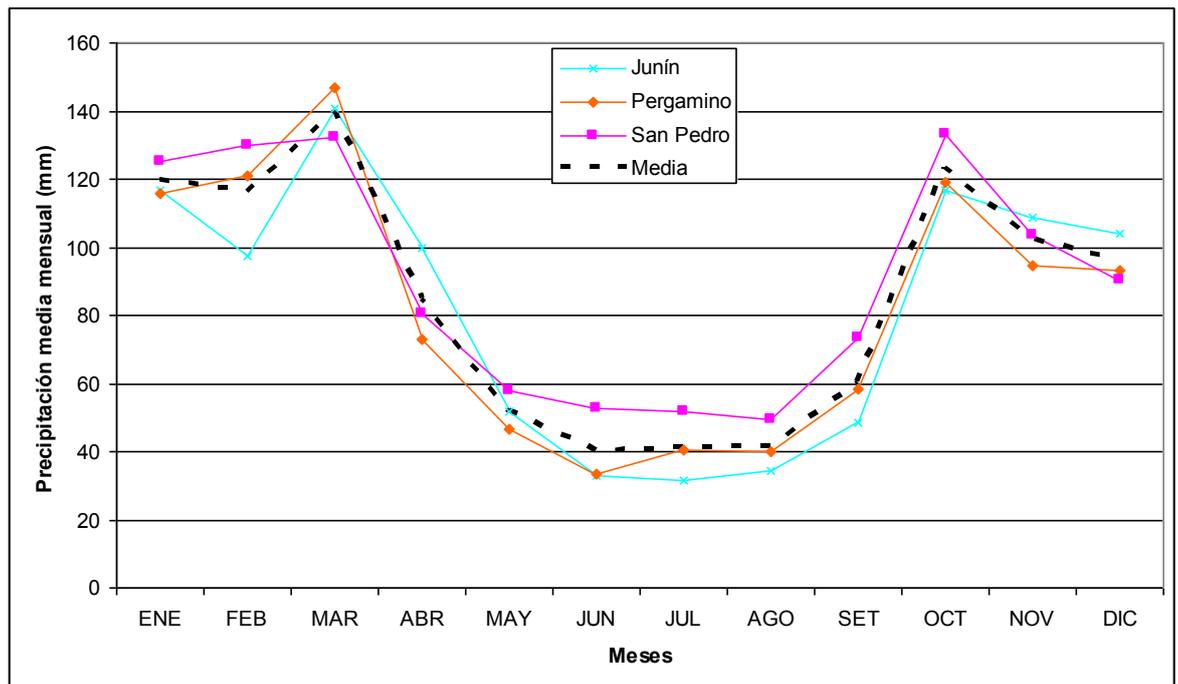


Gráfico 1: Comparación de la precipitación media mensual en la CRA.

2) Las temperaturas medias de la CRA se indican en el Gráfico 2, siendo la temperatura media anual histórica de 15,9 °C, la temperatura máxima media anual histórica es de 23,6 °C y la temperatura mínima media anual histórica es de 9,2 °C.

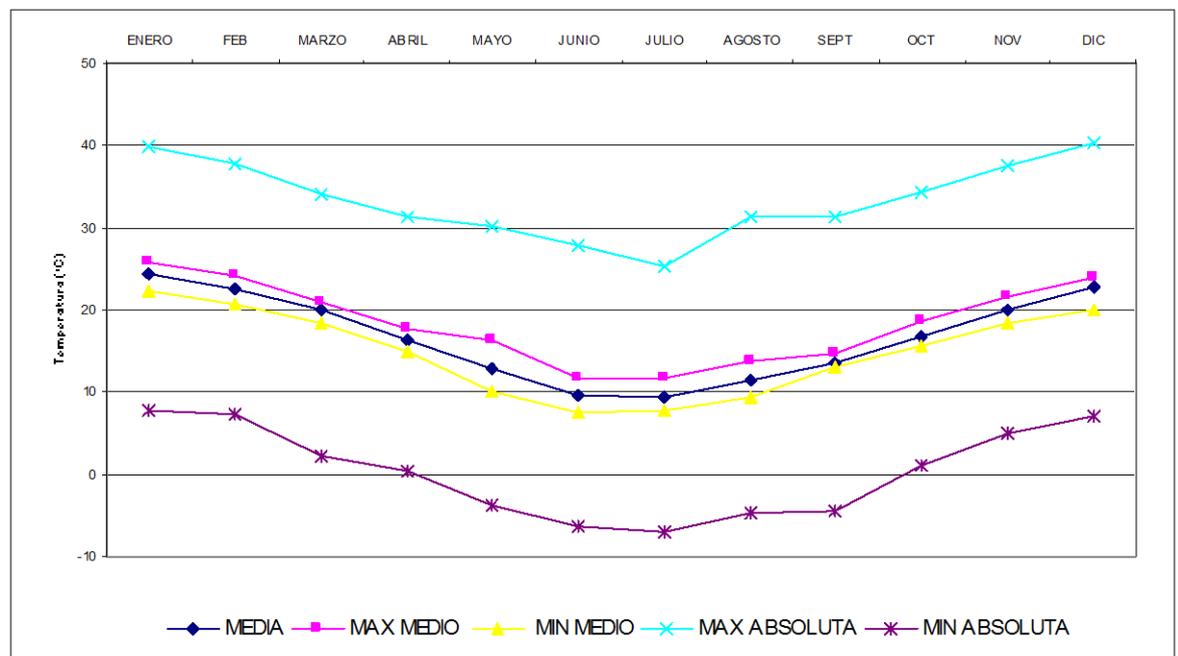


Gráfico 2: Comparación de la temperatura media mensual en la CRA.

3) La distribución de los vientos en la CRA que fue evaluada para la Estación Experimental San Pedro INTA.

Particularmente, a la salida de la CRA, se obtuvo información suministrada por EEA INTA San Pedro, para caracterizar el clima de la región, definiéndolo como del tipo subhúmedo – húmedo con una media pluviométrica de 1070 mm y una temperatura media anual de 16,9 °C, siendo la temperatura máxima media anual de 22,8 °C y la mínima media anual de 11,2 °C.

Particularmente, la precipitación media anual alcanza 1082 mm y la humedad relativa media anual es de 76%, para el período estudiado en la Estación Experimental San Pedro INTA.

La velocidad media mensual del viento a 2,00 metros de altura, para el período 1968 – 1994 en la Estación Experimental San Pedro INTA, se presenta en el Gráfico 3, siendo el valor promedio anual de 9,8 km.h<sup>-1</sup>, cuya mayor intensidad se expresa durante la primavera.

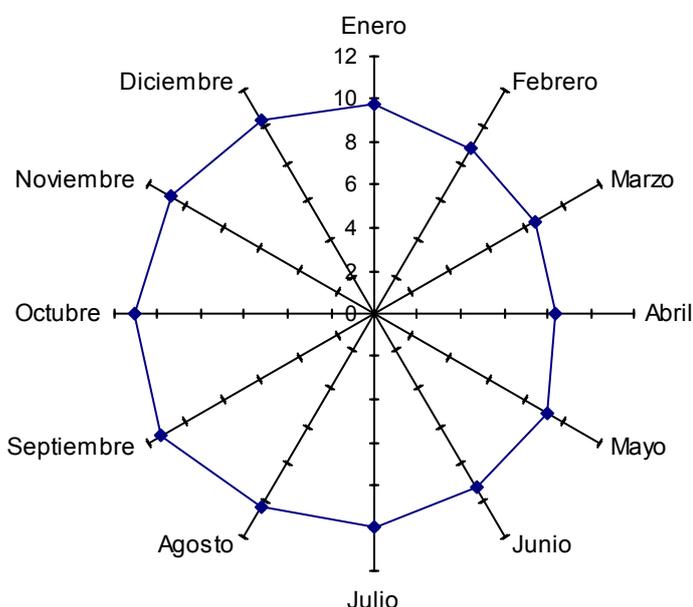


Gráfico 3: Velocidad Media Mensual del Viento a 2,00 metros de altura (km.h<sup>-1</sup>).

La caracterización de la CRA finalizó con la determinación de la superficie potencialmente ocupada por cada cultivo.

Para ello, se identificaron las unidades cartográficas que integran la Cuenca (Figura 6), con base en el Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, escala 1: 500.000. CIRN-INTA (1990), para lo cual se incorporó un mapa con el límite de la cuenca en estudio. Esta zonificación permitió definir las unidades cartográficas de suelos que se distribuyen en la cuenca y establecer cuales son los dominios edáficos intervinientes.

Posteriormente se realizó un análisis de la descripción de la carta de suelos para definir sus características edáficas particulares, que se presenta a continuación.

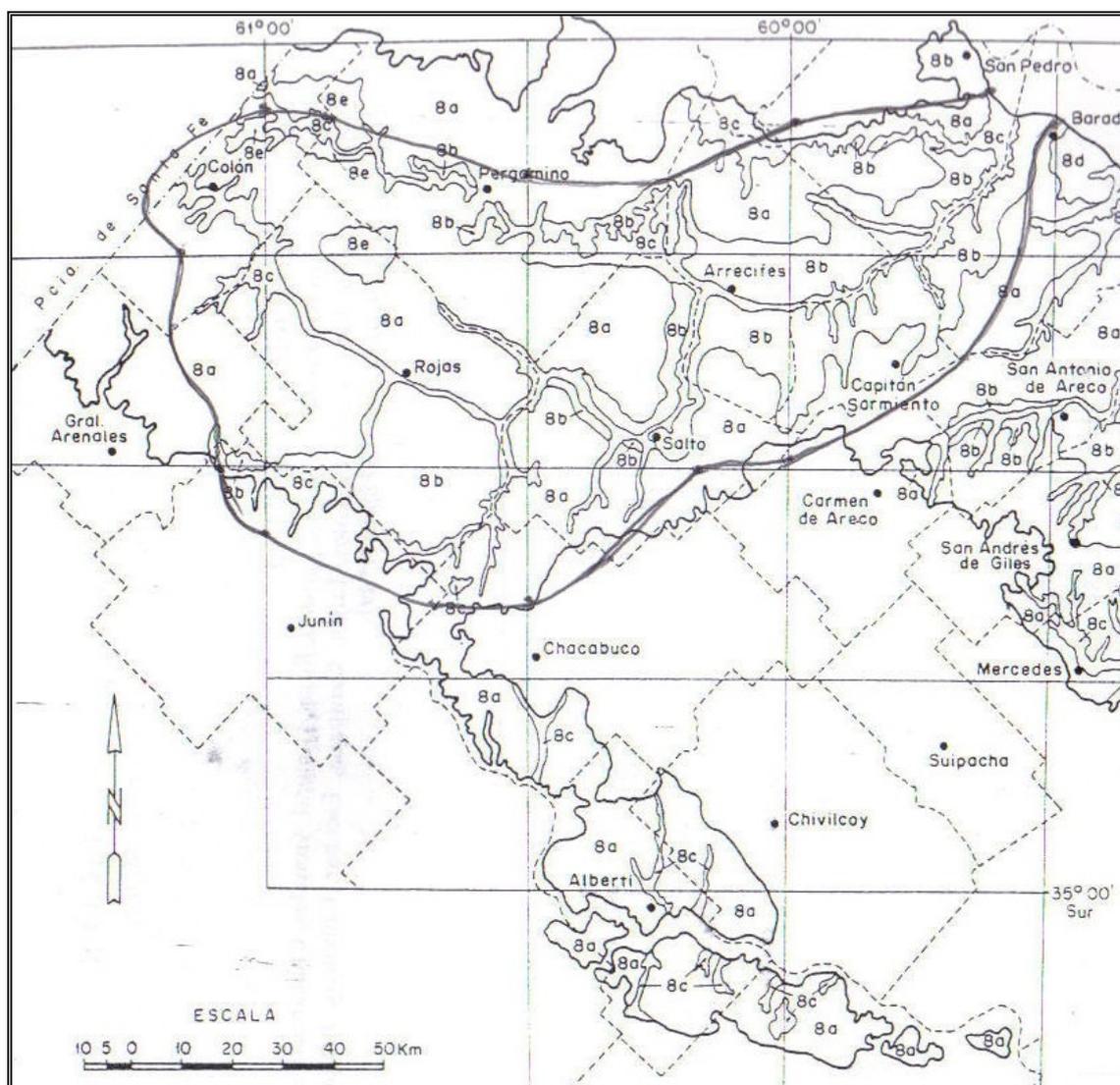


Figura 6. Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires, Escala 1: 500.000. CIRN-INTA (1990). CRA.

Los dominios edáficos identificados en la CRA fueron el 8, el 10 y el 19. Cada uno de ellos se correspondió con diversas unidades cartográficas, que presentan características principales según su paisaje. Este dato fue influyente en la decisión de la definición de los usos del suelo. A continuación se exponen las descripciones particulares de cada uno de ellos, indicando además los suelos y las limitaciones, en los casos pertinentes.

**Dominio edáfico 8a:** Paisaje: Planicies amplias y onduladas. Suelos: Consociación de Argiudol típico, fino, desarrollado en lomas y hondonadas. Suelos menores: Argiacuol típico, en cubetas ubicadas dentro de las lomas; Hapludol típico, en lomas que limitan con el sector arenoso.

**Dominio edáfico 8b:** Paisaje: Pendientes marcadas, con inclinaciones de hasta 3%, transicionales entre los sectores altos y los cursos fluviales más importantes. Suelos: Consociación de Argiudol típico, fino, inclinado. Suelos menores: Argiudol ácuico, desarrollado al pie de las pendientes; Argiudol vértico, ubicado principalmente en las pendientes adyacentes a las vertientes del río Paraná. Limitaciones: erosión hídrica que produce un horizonte superficial delgado y zanjas o cárcavas, según la inclinación de los terrenos.

**Dominio edáfico 8c:** Paisaje: Vías de escurrimiento y sus áreas de influencia. Suelos: Complejo de Natracuol típico, fino, Natracualf típico y Argiudol ácuico. Suelos menores: Argiudol típico, en el límite entre el cauce y las pendientes adyacentes. Limitaciones: Anegamientos causados por aguas provenientes de áreas aledañas más altas; alcalinidad sódica desde superficie.

**Dominio edáfico 8e:** Paisaje: Lomas planas que incluyen áreas imperceptiblemente más bajas. Suelos: Asociación de Argiudol típico, fino, con Argiudol ácuico y Natralbol típico. El primero se desarrolla en posiciones altas y bien drenadas, el segundo en áreas planas, mal drenadas, y el último en bajo y aureolas de cubetas. Suelos menores: Argiudoles vérticos, en lomas; Argiacuoles, en depresiones marcadas. Limitaciones: Drenaje deficiente por ligera impermeabilidad y escurrimiento lento.

**Dominio edáfico 10b:** Paisaje: Planicies altas, muy extendidas, que constituyen generalmente divisorias de aguas; en las márgenes de las mismas se hacen muy suavemente onduladas. Suelos: Complejo de Argialbol argiácuico, limoso fino y Argialbol típico, franco fino, que comparten en proporciones semejantes la superficie de la unidad. Suelos menores: Argialbol vértico, en las lomas marginales de las planicies vinculadas con el río Paraná. Limitaciones: Drenaje deficiente por impermeabilidad.

**Dominio edáfico 10d:** Paisaje: Vías de escurrimiento encausadas y áreas de confluencia (llanuras aluviales). Suelos: Complejo de Natracualf típico, limoso fino y Natracuol típico, distribuidos en áreas planas y cóncavas. Limitaciones: Alcalinidad sódica desde la superficie y anegamiento.

**Dominio edáfico 19b:** Paisaje: Lomas suavemente onduladas, con áreas algo deprimidas. Suelos: Asociación de Hapludol éntico, franco grueso, ubicado en sectores altos y Hapludol típico, en áreas planas. Suelos menores: Hapludol tauto – nítrico en sectores planos. Limitaciones: Susceptibilidades a la erosión eólica.

Las características de los suelos dominantes presentes, en los dominios edáficos a considerar y sus respectivas series representativas, se presentan en la Tabla 3 (CIRN-INTA, (1990).

Tabla 3: Identificación de Series representativas de suelos en CRA.

<b>Dominio edáfico</b>	<b>Serie representativa</b>	<b>Suelos dominantes</b>	<b>Suelos menores</b>
8 a	Pergamino	Consociación de Argiudol típico	Argiacuol típico Hapludol típico
8 b	Pergamino	Consociación de Argiudol típico	Argiudol ácuico Argiudol vértico
8 c	Santa Lucía	Complejo de Natracuol típico Natracualf típico Argiudol ácuico	Argiudol típico
8 e	Pergamino	Asociación de Argiudol típico Argiudol ácuico Natrálbol típico	Argiudol vértico Argiacuol
10 b	Melincué	Complejo de Argialbol argiácuico y Argialbol típico	Argialbol vértico
10 d	Arroyo Juárez	Complejo Natracualf típico y Natracuol típico	
19 b	Santa Ana	Asociación Hapludol éntico	Hapludol tapto-nítrico

En el Anexo 2 se presenta la descripción de los perfiles edáficos correspondientes por serie de suelo en la CRA, según Tabla 3.

A partir de la delimitación de los diferentes dominios edáficos en la CRA, por medio de la utilización del programa ARC View versión 3.3, se definieron los polígonos que correspondían a cada uno (Figura 7).

Posteriormente, se calculó el área correspondiente y se determinó la superficie total disponible, por sumatoria de la base de datos georreferenciada, aportada por la Figura 7. Esta base de datos fue generada para la leyenda particular de esta figura, donde se identificaron los polígonos por colores y se correspondieron con cada dominio edáfico, con su área de ocupación en la CRA.

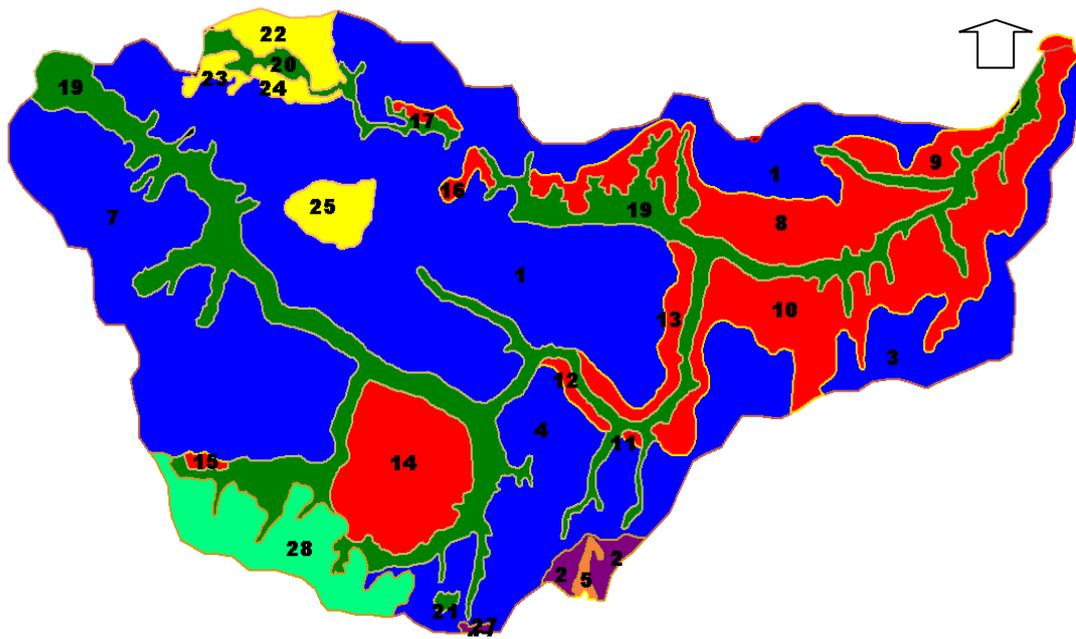


Figura 7 Identificación de los diferentes dominios edáficos. Escala 1:500.000 CIRN-INTA (1990).

Referencias:

Polígono	Dominio edáfico	Área (km <sup>2</sup> )
1	8a	2.780,31
2	10b	71,17
3	8a	401,34
4	8a	926,86
5	10d	18,02
7	8a	1.291,88
8	8b	462,75
9	8b	104,81
10	8b	749,98
11	8b	4,62
12	8b	25,64
13	8b	107,51
14	8b	419,04
15	8b	13,26
16	8b	27,23
17	8b	18,19
19	8c	1.510,24
20	8c	109,86
21	8c	8,88
22	8e	121,19
23	8e	31,37
24	8e	35,12
25	8e	104,89
27	10b	6,06
28	19b	374,47
<b>Total</b>		<b>9.724,69</b>

Posteriormente, se procesó la información y se calculó el área total correspondiente a cada dominio edáfico presente en la CRA, sumando la superficie ocupada por los diferentes polígonos de un mismo dominio edáfico (Figura 8). En esta figura se presenta también la superficie de ocupación de cada dominio.

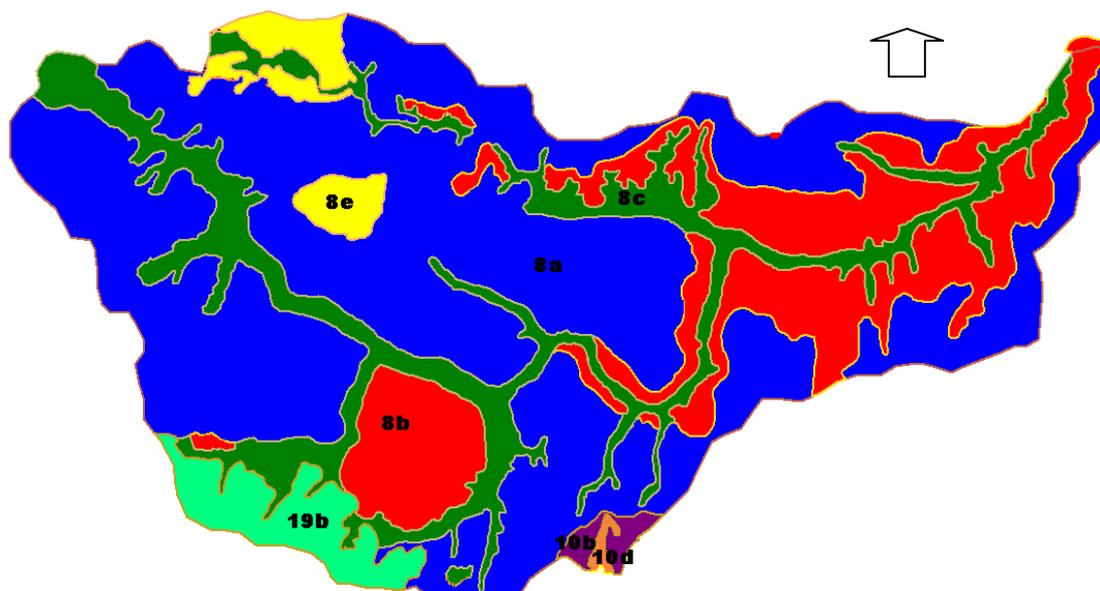


Figura 8 Zonificación correspondiente a los diferentes dominios edáficos. Escala 1:500.000 Atlas de Suelos, INTA.

Referencias:

Dominio edáfico	Área (km <sup>2</sup> )
8 <sup>a</sup>	5.400,39
8b	1.933,03
8c	1.628,98
8e	292,57
10b	77,23
10d	18,02
19b	374,47
<b>Total</b>	<b>9.724,69</b>

En la Tabla 4 se presenta la relación entre los dominios edáficos y la clasificación de las tierras por su capacidad de uso, definidas como representativas de cada dominio, teniendo en cuenta la denominación de cada serie y las limitantes presentes.

Tabla 4: Clases de suelo, según la Clasificación de las tierras por su capacidad de uso.

<b>Dominio edáfico</b>	<b>Serie representativa</b>	<b>Clase de Capacidad de uso</b>
8 a	Pergamino	I
8 b	Pergamino	II
8 c	Santa Lucía	VI
8 e	Pergamino	III
10 b	Melincué	IV
10 d	Arroyo Juárez	VII
19 b	Santa Ana	III

A partir del análisis de la Tabla 4, se desprende que los resultados obtenidos con la integración a la superficie de ocupación de cada dominio edáfico, expresan un fuerte predominio de suelos con aptitud agrícola, indicado por el 55 % de la superficie de la CRA correspondiente a la clase I. Además, el 82% se corresponde a suelos agrícolas de las clases I, II y III. Estos resultados concuerdan con los indicados por Cabrini y Calcaterra (2009), en trabajos realizados en la cuenca (60% y 84% respectivamente).

Considerando las limitantes antes expuestas, no se evaluaron los dominios edáficos 8c, 10b y 10d, a los fines del presente trabajo de tesis, siendo entonces la superficie a estudiar de 8.000,46 km<sup>2</sup>.

Con respecto al uso actual de la tierra, se estimó por medio de reconocimiento a campo y entrevistas, que los cultivos agrícolas ocupan un 91% de la superficie, siendo la soja de primera el cultivo predominante con un 57% de la superficie sembrada. Otros cultivos importantes son el trigo, maíz y soja de 2da, con 13%, 15% y 16% de la superficie, respectivamente. Los recursos forrajeros ocupan un 9% de superficie, siendo las pasturas el recurso forrajero predominante con un 5% de la superficie. Esta asignación de tierra entre los diferentes cultivos es similar a la reportada en el Censo 2002, donde indica que la asignación de tierra entre los cultivos de soja de 1ra, trigo, maíz y soja de 2da eran de 53%, 17%, 11%, y 18%, respectivamente (Cabrini y Calcaterra, 2008).

Por lo antes expuesto, se asignó una superficie de 1.200,07 km<sup>2</sup> (120.007 hectáreas) dedicados a la siembra de maíz y 4.560,26 km<sup>2</sup> (456.026 hectáreas) a la siembra de soja de 1ra.

#### √ **Estimación de la necesidad de riego**

Se estimó la precipitación efectiva para Junín Aero; Pergamino INTA y San Pedro INTA. Los resultados se presentan en las Tablas 5, 6, 7 y 8.

Tabla 5: Datos precipitación efectiva media Series del SMN 1961-2000 Junín Aero

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
<b>Pp. Efectiva (mm)</b>													
1961-70	68,3	59,0	121,4	72,0	38,3	24,9	31,3	35,7	51,8	92,6	101,2	95,7	793
1971-80	121,0	93,2	126,9	65,2	37,4	40,0	38,3	43,5	41,8	77,8	73,4	83,3	841,8
1981-90	92,6	100,7	102,4	76,7	41,3	18,1	32,0	19,4	47,7	105,5	95,2	65,8	797,4
1991-00	92,1	71,7	77,5	115,7	70,4	41,2	17,7	31,0	37,8	102,1	88,3	98,9	844,4

Tabla 6: Datos precipitación efectiva media Series del SMN 1961-1990 Pergamino INTA

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
<b>Pp. Efectiva (mm)</b>													
1961-70	65,2	80,6	115,5	56,6	52,6	26,7	30,4	44,3	53,4	88,0	69,0	84,0	766,3
1971-80	109,2	109,7	118,6	59	34,8	49,3	50,2	47,7	57,4	95,1	74,9	87,4	893,3
1981-90	104,8	100,7	102,4	76,7	41,3	18,1	32,0	19,4	47,7	105,5	95,2	65,8	809,6

Tabla 7: Datos precipitación efectiva media Series del SMN 1961-1990 San Pedro INTA

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
<b>Pp. Efectiva (mm)</b>													
1961-70	93,8	90,5	105,0	55,3	51,3	40,1	35,3	46,5	60,9	129,8	65,7	56,1	69,2
1971-80	115,4	114,6	108,2	59,3	39,3	57,7	49,7	46,5	66,5	82,5	73,7	80,1	893,4
1981-90	92,2	107,0	104,3	79,2	48,2	29,2	39,0	25,2	49,1	108,2	108,8	80,5	871,0

Tabla 8: Datos precipitación efectiva media Series del SMN 1961-2000 por estación.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
<b>Pp. Efectiva (mm)</b>													
Junín	93,5	81,4	107,1	82,4	46,9	31,1	29,8	32,4	44,8	94,5	89,5	85,9	819,2
Pergamino	93,1	97,0	112,2	64,1	42,9	31,4	37,5	37,1	52,8	96,2	79,7	79,1	823,1
San Pedro	100,5	104,0	105,8	64,6	46,2	42,3	41,3	39,4	58,8	106,8	82,8	72,3	611,2

A partir del análisis de las Tabla 8 se generó el Gráfico 4, que representa los valores medios de precipitación efectiva por estación. Se identifica gráficamente el error típico estadístico de la serie, que expresa valores absolutos mensuales semejantes entre las tres estaciones, con máximos en primavera y otoño y mínimos en invierno.

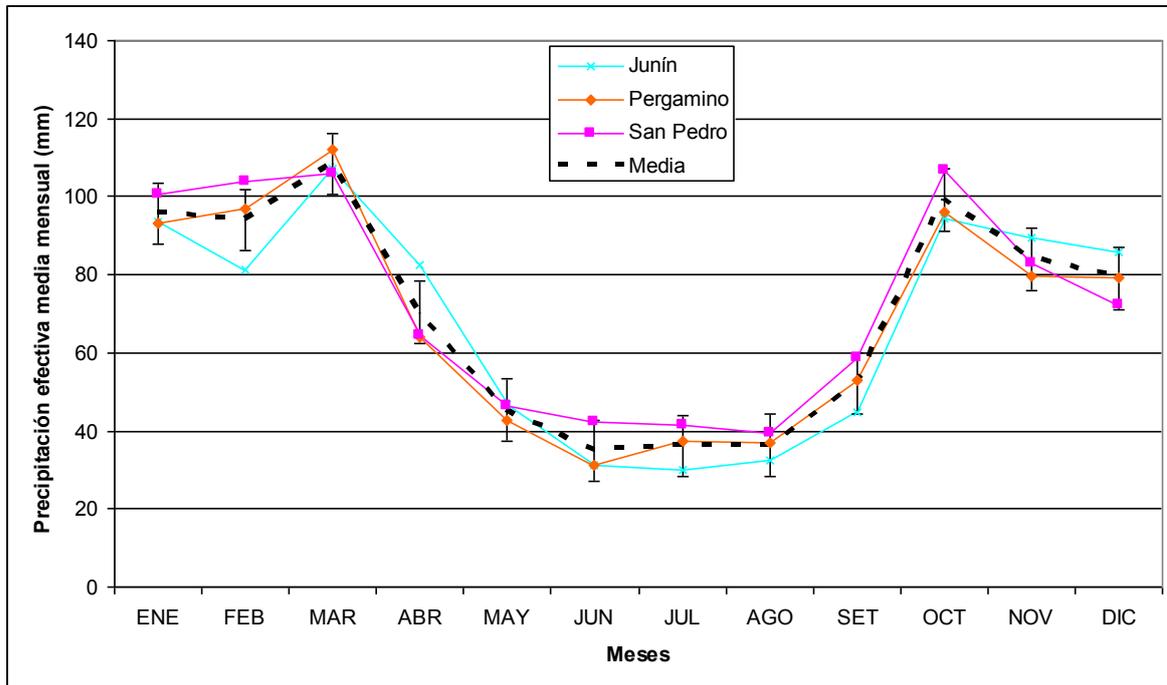


Gráfico 4: Precipitación efectiva media mensual.

La evapotranspiración de referencia se indica en la Tabla 9 y en el Gráfico 5. El mismo expresa la homogeneidad de resultados alcanzados en las tres estaciones para cada período estudiado.

Tabla 9: Evapotranspiración de referencia media Eto. Series del SMN 1961-2000 para las estaciones meteorológicas.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>Eto (mm/día)</b>												
Junín	6,2	5,3	4,0	2,8	1,9	1,5	1,6	2,4	3,4	4,1	5,3	6,2
Pergamino	6,3	5,3	4,1	2,9	2,0	1,5	1,6	2,4	3,4	4,1	5,3	6,2
San Pedro	6,2	5,2	4,1	2,8	2,1	1,6	1,5	2,3	3,5	4,2	5,2	6,1

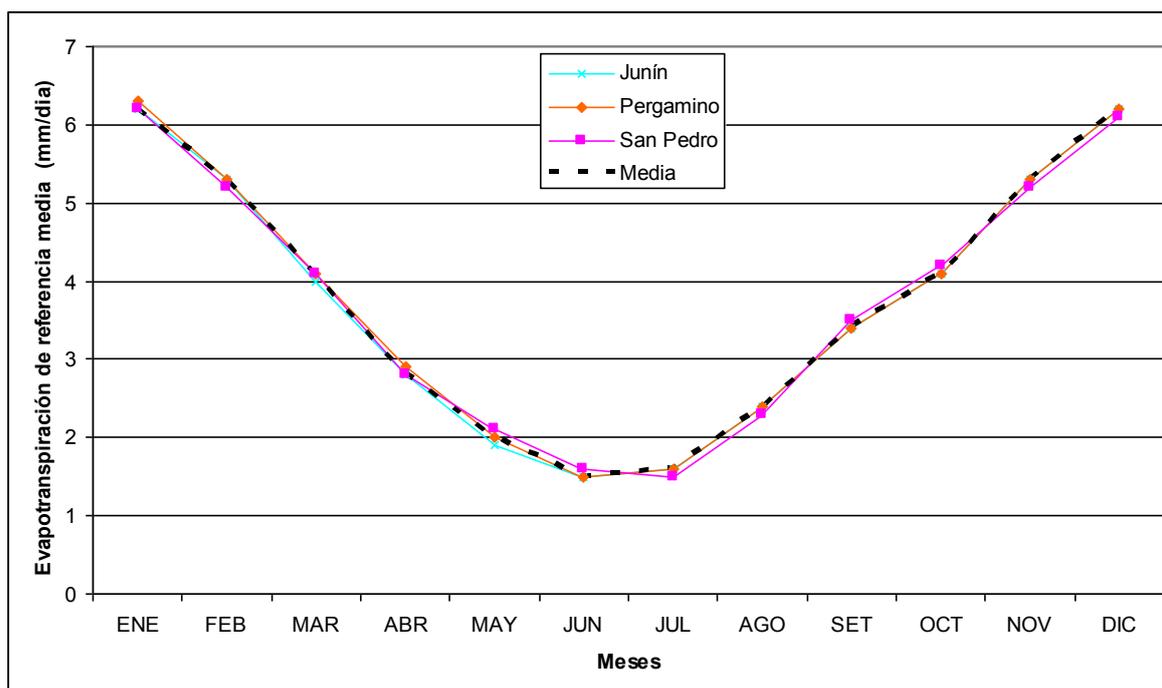


Gráfico 5: Evapotranspiración diaria de referencia media (Eto).

Con los valores calculados en la Tabla 9, se obtuvo la evapotranspiración de referencia media mensual, expresando los resultados en la Tabla 10.

Tabla 10: Evapotranspiración de referencia media mensual (Eto). Series del SMN 1961-2000, para Junín Aero - Pergamino INTA – San Pedro INTA.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>Eto (mm/mes)</b>												
Media	192,2	148,4	127,1	84,0	62,0	45,0	49,6	74,4	102	127,1	159,0	192,2

Los coeficientes de cultivo (kc) para maíz y soja, alcanzan los resultados expresados en la Tabla 11.

Tabla 11: Valores de coeficiente de cultivo (Kc), para maíz y soja de primera, FAO - IPG INTA, EEA INTA Pergamino.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>Kc</b>												
Maíz	1,20	0,80	--	--	--	--	--	--	0,40	0,60	0,85	1,10
Soja 1ra	1,15	1,10	0,86	--	--	--	--	--	--	--	0,65	1,00

Posteriormente se estableció la evapotranspiración de cultivo media mensual para el cultivo de maíz y de la soja, como se expresa en la Tabla 12.

Tabla 12: Evapotranspiración de cultivo media mensual (Etc). Series del SMN 1961-2000 Junín Aero - Pergamino INTA – San Pedro INTA, para maíz y soja de primera.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Etc (mm/mes)</b>													
Maíz	230,6	118,7	--	--	--	--	--	--	40,8	76,3	135,2	211,4	813,0
Soja 1ra	221,0	163,2	109,3	--	--	--	--	--	--	--	103,4	192,2	789,1

A partir de los valores obtenidos en las tablas precedentes, se estimó la necesidad de riego (Nr) para maíz y soja, indicando los resultados en las Tablas 13 a 16, respectivamente.

Tabla 13: Necesidad de riego (Nr), para maíz.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Maíz (mm/mes)</b>													
Pp. efectiva	95,7	94,1	--	--	--	--	--	--	52,1	99,2	84,0	79,1	504,2
Etc Maíz	230,6	118,7	--	--	--	--	--	--	40,8	76,3	135,2	211,4	813,0
Nr	134,9	24,6	--	--	--	--	--	--	--	--	51,2	132,3	343,0
Exceso	--	--	--	--	--	--	--	--	11,3	22,9	--	--	34,2

Tabla 14: Necesidad de riego (Nr), para soja de primera.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Soja 1ra (mm/mes)</b>													
Pp. efectiva	95,7	94,1	108,4	--	--	--	--	--	--	--	84,0	79,1	461,3
Etc Soja 1ra	221,0	163,2	109,3	--	--	--	--	--	--	--	103,4	192,2	789,1
Nr	125,3	69,1	0,9	--	--	--	--	--	--	--	19,4	113,1	327,8
Exceso	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,0

Tabla 15: Necesidad de riego (Nr), para maíz.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Maíz (m<sup>3</sup>/ha mes)</b>													
Nr	1.349	246	--	--	--	--	--	--	--	--	512	1.323	3.430
Exceso	--	--	--	--	--	--	--	--	113	229	--	--	342

Tabla 16: Necesidad de riego (Nr) para soja de primera.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Soja 1ra (m<sup>3</sup>/ ha mes)</b>													
Nr	1.253	691	9	--	--	--	--	--	--	--	194	1.131	3.278
Exceso	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

Se estimó así la demanda hídrica total para cultivos extensivos de soja y maíz y se cuantificó el recurso hídrico necesario para sus necesidades de riego complementario, comparando este requerimiento con la oferta hídrica disponible.

El volumen total requerido para atender el consumo de cada cultivo se obtuvo considerando 456.026 ha dedicados a la siembra de soja de 1ra y 120.007 ha a la siembra de maíz.

Los resultados del volumen mensual neto para maíz se expresan en la Tabla 17 y para soja en la Tabla 18.

Tabla 17: Volumen mensual neto para cultivo de maíz.

	ENE	FEB	MAR	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Maíz (hm<sup>3</sup>/ mes)</b>								
Vol. neto	161,89	29,52	--	--	--	61,44	158,77	411,62
Exceso	--	--		13,56	27,48	--	--	41,04

Tabla 18: Volumen mensual neto para cultivo de soja de 1ra.

	ENE	FEB	MAR	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Soja 1ra (hm<sup>3</sup>/ mes)</b>								
Vol. neto	571,40	315,11	4,10	--	--	88,47	515,77	1.494,85
Exceso	--	--	--	--	--	--	--	0

Considerando eficiencias de aplicación del orden del 75%, para riego por aspersión con equipos autopropulsados (pivote central) y para ambos cultivos, se obtuvieron las siguientes demandas hídricas mensuales para los cultivos considerados, expresadas en volumen mensual bruto por cultivo (Tablas 19 y 20)

Tabla 19: Volumen mensual bruto para cultivo de maíz.

	ENE	FEB	MAR	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Maíz (hm<sup>3</sup>/ mes)</b>								
Vol. Bruto	215,85	39,36	--	--	--	81,92	211,69	548,82

Tabla 20: Volumen mensual bruto para cultivo de soja de 1ra.

	ENE	FEB	MAR	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Soja 1ra (hm<sup>3</sup>/ mes)</b>								
Vol. Bruto	761,87	420,15	5,47	--	--	117,96	687,69	1.993,14

Sumando los volúmenes brutos obtenidos para cada mes en ambos cultivos se obtiene la demanda hídrica mensual bruta (DHMB), en hm<sup>3</sup>/mes (Tabla 21).

Tabla 21: DHMB (Demanda hídrica mensual bruta).

	ENE	FEB	MAR	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Total (hm<sup>3</sup>/ mes)</b>								
DHMB	977,72	459,51	5,47	--	--	199,88	899,38	2.541,96

El caudal continuo (Qc) en la CRA se expresa en la Tabla 22 y la dotación de riego (Dot) en la Tabla 23:

Tabla 22: Caudal continuo (Qc)

	ENE	FEB	MAR	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Qc (l/s)</b>								
	365.038,83	189.942,96	2.042,26	--	--	77.114,19	335.790,02	969928,26

Tabla 23: Dotación de riego. (Dot).

	ENE	FEB	MAR	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>Dot (l/s.ha)</b>								
	0,63	0,33	0,004	--	--	0,13	0,58	1,674

A partir de los resultados obtenidos, se realizaron, las gráficas correspondientes a las tres curvas de demanda (DHMB, Qc y Dot) (Figuras 9, 10 y 11).

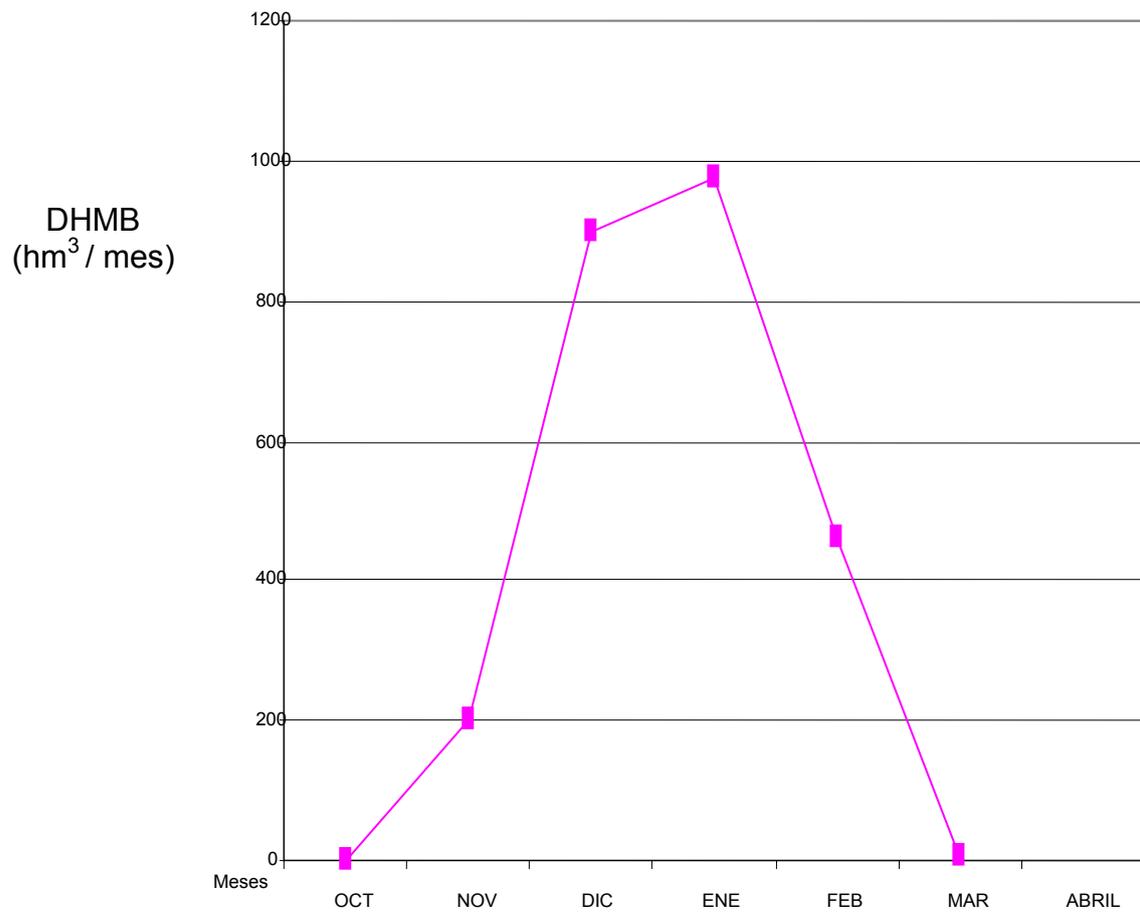


Figura 9 Curva de demanda hídrica mensual bruta (hm<sup>3</sup>/ mes).

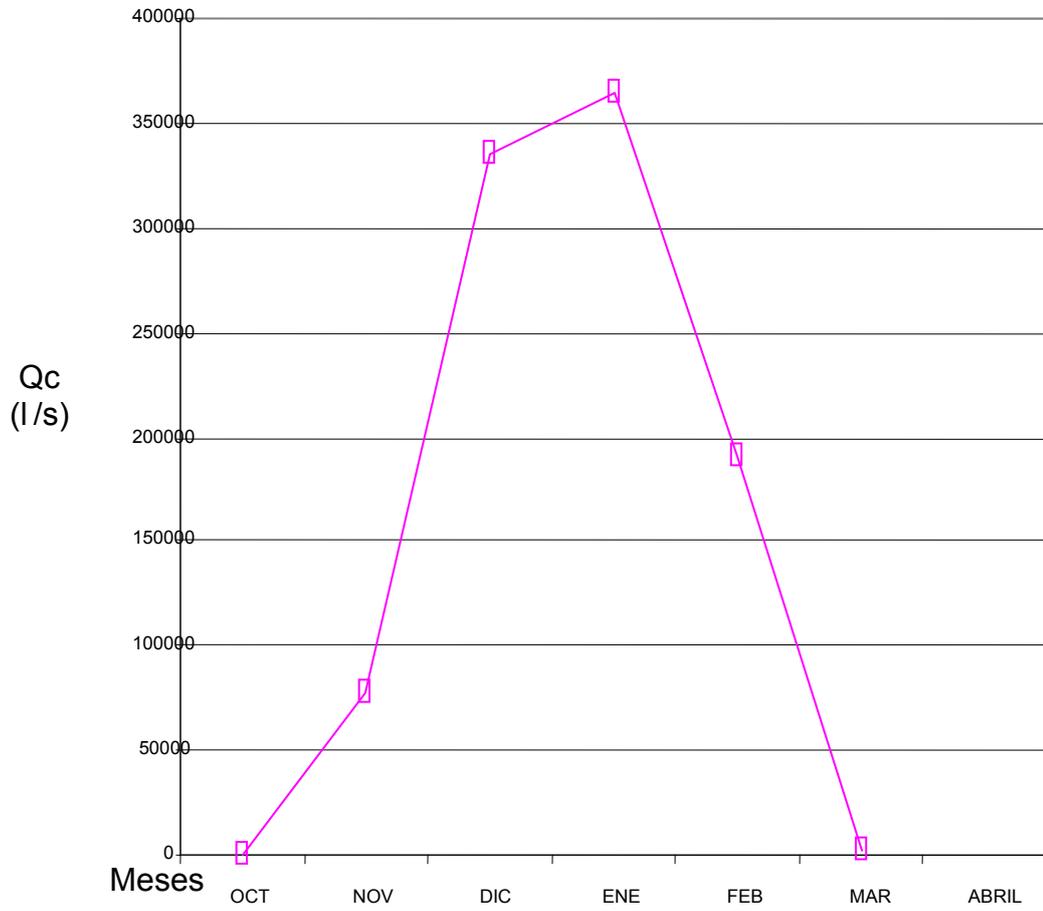


Figura 10 Curva de demanda de caudal continuo Qc (l/s).

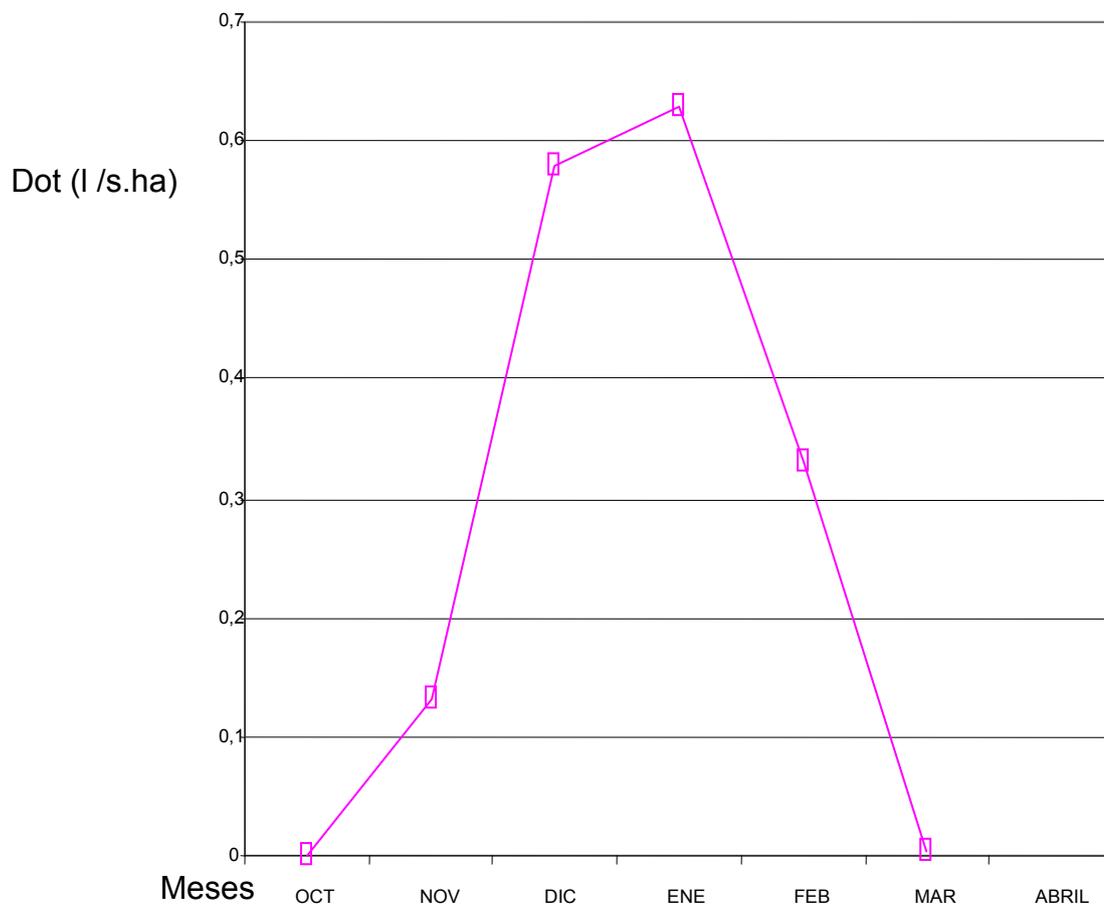


Figura 11 Curva de demanda de dotación de riego Dot (l/s.ha)

Conociendo la curva de demanda de dotación de riego, posteriormente se analizaron los valores de recarga del Acuífero Pampeano que, según antecedentes bibliográficos, toman un valor estimativo de 50 cm/año, según expresa la siguiente relación:

$$50 \text{ cm / año} \times 10 \text{ mm / cm} = 500 \text{ mm / año}$$

$$500 \text{ mm / año} \times 10 \text{ m}^3 / \text{mm ha} = 5.000 \text{ m}^3 / \text{ha año}$$

Para la superficie total considerada 576.033 ha, la oferta del recurso hídrico es:

$$\begin{aligned} 5.000 \text{ m}^3 / \text{ha año} \times 576.033 \text{ ha} &= 2.880.165.000 \text{ m}^3 / \text{año} = \\ &= 2.880,165 \text{ hm}^3 / \text{año} \end{aligned}$$

Para la misma superficie, la demanda hídrica anual bruta, se establece como 2.541,96 (hm<sup>3</sup> / año) (Tabla 21).

Por lo tanto, el balance oferta – demanda, es representado por la siguiente relación:

$$2.880,165 \text{ hm}^3 / \text{año} - 2.541,960 \text{ hm}^3 / \text{año} = 338,205 \text{ hm}^3 / \text{año}$$

Comparando estos resultados obtenidos, se observa que la oferta del recurso hídrico es superior a la demanda, por lo cual permite el aprovechamiento del recurso hídrico en las actuales hectáreas cultivadas, y además permite un incremento de la superficie sembrada con cultivos extensivos bajo riego complementario.

Para estimar el incremento de la superficie sembrada se mantiene la actual proporción porcentual de áreas sembradas con soja de primera y maíz.

Considerando los valores de recarga del Acuífero Pampeano, ya calculados previamente, y las superficies consideradas para cada cultivo, se calculó la oferta.

- En maíz:

Valor de recarga del Acuífero Pampeano: **5.000 m<sup>3</sup> / ha año**

Superficie sembrada cultivo de maíz: 120.007 ha

$$5.000 \text{ m}^3 / \text{ha año} \times 120.007 \text{ ha} = 600.035.000 \text{ m}^3 / \text{año} =$$

$$= 600,035 \text{ hm}^3 / \text{año}$$

Siendo así la oferta hídrica para el cultivo de maíz de **600,035 hm<sup>3</sup> / año**

- En soja de 1ra:

Valor de recarga del Acuífero Pampeano: **5.000 m<sup>3</sup> / ha año**

Superficie sembrada cultivo de soja de 1ra: 456.026 ha

$$5.000 \text{ m}^3 / \text{ha año} \times 456.026 \text{ ha} = 2.280.130.000 \text{ m}^3 / \text{año} =$$

$$= 2.280,130 \text{ hm}^3 / \text{año}$$

Siendo así la oferta hídrica para el cultivo de soja de 1ra de **2.280,130 hm<sup>3</sup> / año**

Comparando las ofertas hídricas para cada cultivo, con los valores de volumen bruto mensual para cada uno de ellos (Tablas 19 y 20), se obtienen los volúmenes excedentes por cultivo:

- Para maíz:

Siendo:

Oferta hídrica para el cultivo de maíz: **600,035 hm<sup>3</sup> / año**

Demanda hídrica bruta para cultivo de maíz: **548,820 hm<sup>3</sup> / año**

$$600,035 \text{ hm}^3 / \text{año} - 548,820 \text{ hm}^3 / \text{año} = 51,215 \text{ hm}^3 / \text{año}$$

El volumen excedente para el cultivo de maíz es de **51,215 hm<sup>3</sup> / año**

- Para soja de 1ra:

Siendo:

Oferta hídrica para el cultivo de soja de 1ra: **2.280,130 hm<sup>3</sup> / año**

Demanda hídrica bruta para cultivo de soja de 1ra: **1.993,140 hm<sup>3</sup> / año**

$$2.280,130 \text{ hm}^3 / \text{año} - 1.993,140 \text{ hm}^3 / \text{año} = 286,990 \text{ hm}^3 / \text{año}$$

El volumen excedente para el cultivo de soja de 1ra es de **286,990 hm<sup>3</sup> / año**

Es decir que el volumen calculado como excedente en el balance de oferta y demanda de **338,205 hm<sup>3</sup> / año**, corresponderían **51,215 hm<sup>3</sup> / año** al cultivo de maíz y **286,990 hm<sup>3</sup> / año** al cultivo soja de 1ra.

Estos volúmenes excedentes, se corresponderían a un incremento de la superficie regada por cultivo de:

- Para maíz:

Volumen excedente para el cultivo de maíz: **51,215 hm<sup>3</sup> / año**

Demanda hídrica bruta para cultivo de maíz: **548,820 hm<sup>3</sup> / año**

Superficie sembrada cultivo de maíz: 120.007 ha

Demanda hídrica bruta por hectárea para cultivo de maíz: **0,005 hm<sup>3</sup> ha / año**

Por lo tanto el incremento de la superficie regada de maíz es:

$$51,215 \text{ hm}^3 / \text{año} \div 0,005 \text{ hm}^3 \text{ ha} / \text{año} = 10.243,000 \text{ ha}$$

- Para soja de 1ra:

Volumen excedente para el cultivo de soja de 1ra: **286,990 hm<sup>3</sup> / año**

Demanda hídrica bruta para cultivo de soja de 1ra: **1.993,140 hm<sup>3</sup> / año**  
Superficie sembrada cultivo de soja de 1ra: 456.026 ha  
Demanda hídrica bruta por hectárea para cultivo de soja de 1ra: **0,004 hm<sup>3</sup> ha / año**

Por lo tanto el incremento de la superficie regada de soja de 1ra es:

$$286,990 \text{ hm}^3 / \text{año} \div 0,004 \text{ hm}^3 \text{ ha} / \text{año} = 71.747,700 \text{ ha}$$

El incremento del área a regar, con los recursos hídricos disponibles, corresponde a un total de **81.990,700 ha**, de las cuales **10.243,000 ha** serían para el cultivo de maíz y **71.747,700 ha** para el cultivo de soja de 1ra.

Si bien en el presente análisis sólo se han tenido en cuenta la oferta hídrica de las precipitaciones y del Acuífero Pampeano y no se han considerado recursos superficiales o del Acuífero Puelche, la superficie a incrementar factible de ser regada, con un criterio de sustentabilidad en el largo plazo del acuífero, correspondería aproximadamente a 82.000 ha.

### ***Consideraciones finales***

En referencia a la disponibilidad de agua para riego complementario, la calidad se aseguró en base a las clasificaciones de aptitud de agua para uso agrícola del US Salinity Lab. (1954) y de la FAO. A través de ambas metodologías se clasificaron las aguas como aptas para riego y la cantidad se evaluó considerando solamente dos fuentes de agua como componentes de la oferta hídrica total: la precipitación efectiva y las aguas subterráneas localizadas en el Acuífero Pampeano.

La precipitación efectiva se tomó en cuenta al estimar las necesidades de riego de los cultivos de maíz y soja. Del acuífero pampeano, solamente se consideraron extraíbles los volúmenes coincidentes con la recarga anual, para mantener invariables los niveles piezométricos y con ello no alterar el equilibrio hídrico y salino, haciendo sustentable el aprovechamiento de sus aguas mediante la captación por bombeo. El volumen anual disponible es de 2.880 hm<sup>3</sup>.

La demanda hídrica anual de la superficie cultivada (576.000 ha) es de 2.542 hm<sup>3</sup>, por lo que la oferta hídrica de agua subterránea satisface el requerimiento hídrico del riego complementario de toda el área actualmente con maíz y soja, y con el excedente de 338 hm<sup>3</sup>, pueden incorporarse un total de 82.000 ha, discriminadas por cultivo en 10.243 ha de maíz y 71.747 ha de soja de primera siembra. Estas superficies, de posible expansión de la producción de maíz y soja bajo riego complementario, se encuentran disponibles en tierras de la mejor aptitud agrícola, unas 800.000 ha de las clases I, II y III.

Serán sus beneficiarios directos: los productores agropecuarios, usuarios actuales y potenciales de esta modalidad de riego, como de los proyectistas y operadores de los sistemas regados y de los sectores gubernamentales y no

gubernamentales de investigación, enseñanza, extensión y administración de los servicios asociados con el manejo de aguas, suelos y cultivos.

Reiterando que en este trabajo se desestimó el aprovechamiento de otros recursos hídricos disponibles, como los superficiales encauzados y los subterráneos localizados en el acuífero Puelche, se recomienda, en primer lugar, ajustar los criterios de uso del acuífero Pampeano, considerando su recarga anual en función de los registros climáticos, con el objetivo de preservar el recurso hídrico.

De no ser así, el acuífero Pampeano a largo plazo se vería seriamente afectado por sobreexplotación, que contribuiría peligrosamente a la contaminación salina por ascenso de los niveles de los acuíferos subyacentes.

En segundo lugar, se recomienda profundizar los estudios hidrogeológicos, incorporando el Puelche, para estar en condiciones de aumentar la oferta hídrica para uso del riego, en base a modelizaciones que relacionen las áreas agrícolas disponibles con los registros climáticos y la tecnología de cultivo y riego en la cuenca, con un criterio sustentable.

#### √ **Análisis de la evolución de la salinización y/o sodificación.**

Durante las campañas agrícolas de maíz y soja consideradas, las láminas de riego aplicadas fluctuaron entre 150 y 200 mm y las lluvias ocurridas variaron entre 850 y 1.200 mm anuales. La Tabla 24 muestra los datos analíticos de las aguas, que resultaron de la clase C3S2, con valores medios de  $CE_a$  de 0,90 dS/m y de  $RAS_a$  de 12,20.

Tabla 24: Clases de aptitud agrícola en las aguas de riego.

	<b>Clase de agua</b>	<b>pH</b>	<b>CEa (dS/m)</b>	<b>RASa</b>
<b>Rojas, Bs As</b>	<b>C3S2</b>	<b>7,40</b>	<b>1,00</b>	<b>12,90</b>
<b>Salto, Bs As</b>	<b>C3S2</b>	<b>7,25</b>	<b>0,80</b>	<b>11,50</b>

En las Tablas 25 y 26 figuran los datos de salinidad y sodicidad de los suelos regados, cuyas magnitudes no indican la ocurrencia de disturbios drásticos o degradaciones irreversibles que comprometan la calidad del suelo, fluctuando dentro de los siguientes rangos: la  $CE_{ex}$  entre 0,22 y 0,68 dS/m y el PSI entre 1,33 y 4,71 %. La salinidad no evidencia un patrón de variación definido, posiblemente debido al lavado, mientras que la sodicidad aumenta con los riegos pero luego disminuye hasta que se reinician los mismos. Es importante resaltar que no se verifican tendencias de acumulaciones de sales ni de sodio en el suelo y la alternancia de los valores corrobora el modelo conceptual formulado por Génova (1993).

Tabla 25: Salinidad de los suelos regados.

Salinidad del extracto de saturación C <sub>Ex</sub> (dS/m)	Clase de agua	Profundidad del suelo (cm)	Inicial	Pretemporada y posttemporada de riego					
				1 (a)	2 (b)	3 (a)	4 (b)	5 (a)	6 (b)
Rojas	C3S2	0-30	0,26	0,68	0,43	0,55	0,51	0,42	0,52
Rojas	C3S2	30-50	0,24	0,62	0,52	0,54	0,53	0,50	0,58
Salto	C3S2	0-30	0,23	0,42	0,35	0,60	0,31	0,63	0,59
Salto	C3S2	30-50	0,22	0,43	0,40	0,31	0,22	0,35	0,64
(a)	Muestreo realizado antes de empezar la temporada de riego								
(b)	Muestreo realizado inmediatamente después de finalizada la temporada de riego								

Tabla 26: Sodicidad de los suelos regados.

Sodicidad PSI	Clase de agua	Profundidad del suelo (cm)	Inicial	Pretemporada y posttemporada de riego					
				1 (a)	2 (b)	3 (a)	4 (b)	5 (a)	6 (b)
Rojas	C3S2	0-30	1,99	1,60	3,80	2,93	4,10	2,24	4,68
Rojas	C3S2	30-50	2,50	1,33	2,68	2,71	3,10	2,15	3,86
Salto	C3S2	0-30	1,10	2,90	2,88	4,71	4,00	3,60	3,98
Salto	C3S2	30-50	1,08	3,15	3,12	2,92	3,33	3,10	2,62
(a)	Muestreo realizado antes de empezar la temporada de riego								
(b)	Muestreo realizado inmediatamente después de finalizada la temporada de riego								

Las Tablas 27 y 28 muestran los valores medios de los indicadores, agrupados por horizontes del suelo, con los que se calcularon la RT y la RL a cambios salinos y sódicos.

Se puede observar que la salinidad presentó diferencias en las mediciones de posttemporada, que fueron menores que las de pretemporada (Tabla 27). Además, en ambos horizontes, los PSI medidos inmediatamente después de ocurridos los riegos, superaron a los de pretemporada (Tabla 28).

Tabla 27: Resistencia y resiliencia del suelo a cambios en la salinidad.

Lugar	Clase de agua	Profundidad del suelo (cm)	Salinidad C <sub>Ex</sub> (dS/m)			RT (sal)	RL (sal)
			A	B	C		
Rojas	C3S2	0-30	0,26	0,55	0,49	1,87	-0,28
Rojas	C3S2	30-50	0,24	0,55	0,54	2,26	-0,03
Salto	C3S2	0-30	0,23	0,55	0,42	1,81	-0,71
Salto	C3S2	30-50	0,22	0,36	0,42	1,91	0,28

Siendo:

A: valores iniciales sin riego.

B: valores medios correspondientes al inicio de la temporada de riego.

C: valores medios correspondientes a la finalización de la temporada de riego

RT (sal): resistencia del suelo a cambios en la salinidad.

RL (sal): resiliencia del suelo a cambios en la salinidad.

Tabla 28: Resistencia y resiliencia del suelo a cambios en la sodicidad.

Lugar	Clase de agua	Profundidad del suelo (cm)	Sodicidad PSI (%)			RT (sod)	RL (sod)
			A	B	C		
Rojas	C3S2	0-30	1,99	2,26	4,19	2,11	0,88
Rojas	C3S2	30-50	2,50	2,06	3,21	1,28	1,62
Salto	C3S2	0-30	1,10	3,74	3,62	3,29	-0,05
Salto	C3S2	30-50	1,08	3,06	3,02	2,80	-0,02

Siendo:

A: valores iniciales sin riego.

B: valores medios correspondientes al inicio de la temporada de riego.

C: valores medios correspondientes a la finalización de la temporada de riego

RT (sod): resistencia del suelo a cambios en la sodicidad.

RL (sod): resiliencia del suelo a cambios en la sodicidad.

Se puede observar en la Tabla 27 que las resistencias a cambios salinos presentaron la misma tendencia en los dos horizontes. La resiliencia edáfica a variaciones salinas con valores negativos, ocurren por el hecho que la salinidad medida en pretemporada fue mayor que la salinidad encontrada al finalizar la temporada de riegos

La cuantificación de la RT(sod) constituye una alternativa de medición del impacto del riego en el suelo, ya que relaciona los PSI máximos alcanzados al finalizar los aportes sódicos durante la temporada de riego, con los PSI de los suelos en condiciones de secano, midiendo la magnitud del disturbio provocado por el riego a partir de su incorporación, respecto a las condiciones sódicas iniciales.

La cuantificación de la RL(sod) evidencia el grado de recuperación logrado a expensas del intercambio de cationes y del lavado. Los valores negativos, aunque de muy pequeña magnitud, expresan que en Salto, los PSI medidos antes de la temporada de riego, fueron levemente superiores a los medidos cuando finalizó la misma.

### **Consideraciones finales:**

Se concluye que las magnitudes de la RT indican que durante la ocurrencia del disturbio, continuaron sin grandes cambios las funciones edáficas y que los valores de RL indican la elasticidad o grado de recuperación del suelo, manteniendo su calidad después de sufrido el disturbio. La cantidad de datos evaluados son escasos

e insuficientes para abordar en detalle el tamaño del área estudiada y la variabilidad intrínseca de la dinámica salina, por lo que no se pretende arribar a conclusiones definitivas sobre la sustentabilidad de los agroecosistemas.

La caracterización de la RT y la RL, disponiendo de mayor cantidad de datos espaciales y temporales, se considera útil para evaluar la sostenibilidad de los agroecosistemas, monitoreando la calidad de los suelos, para diagnosticar degradaciones por sales y para prevenirlas mediante tecnologías de manejo agronómico bajo riego.

## **CONCLUSIONES**

Es factible incrementar el área bajo riego complementario de cultivos extensivos en la Cuenca del Río Arrecifes, evaluando la disponibilidad de sus recursos hídricos y edáficos.

Se logró cuantificar la oferta hídrica total para el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos aplicando riego complementario en cultivos extensivos.

El riego produjo incrementos del PSI y aumentos y descensos de la  $CE_{ex}$ .

Los suelos regados registraron magnitudes de  $CE_{ex}$  y PSI que no evidenciaron la ocurrencia de degradaciones drásticas o irreversibles de su calidad.

La salinidad no presentó un patrón de variación definido.

La evolución de la sodicidad mostró una alternancia de valores máximos, coincidentes con las mediciones realizadas al finalizar la temporada de riego, y mínimos al comenzar la siguiente.

La  $CE_{ex}$  como el PSI encontrados en el horizonte superficial son levemente superiores a los correspondientes al horizonte más profundo.

La ausencia de tendencias acumulativas tanto de sales como de sodio en el suelo, corrobora el modelo conceptual formulado por Génova (1993) para las condiciones edafoclimáticas pampeanas y la modalidad de riego complementario.

La cuantificación de la RT y la RL a la degradación salina y sódica efectuadas con los modelos empleados, resume adecuadamente el comportamiento de los suelos estudiados.

La información generada sobre los recursos hídricos y edáficos disponibles en la Cuenca del Río Arrecifes, puede utilizarse en la planificación integral del desarrollo agrícola regional, basado en la incorporación del riego complementario.

## **BIBLIOGRAFIA**

ABRAHAM M (2007) Riego en Argentina (2da aproximación): Distribución del área regada a escala provincial y regional. SAGPyA; Subsecretaría de Agricultura, Ganadería y Forestación; Dirección Nacional de Producción Agropecuaria y Forestal; Dirección de Agricultura.

AUGE, M. (1986). Hydrodynamic behavior of the Puelche Aquifer in Matanza River Basin. *Ground Water* ·24 (5) 636 – 642 Dublin, Ohio.

AUGE, M. (2003). Regiones hidrogeológicas de la República Argentina. La Plata. Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo Editado por ALHSUD

AUGE, M. (2004). Regiones hidrogeológicas de la República Argentina y provincias de Buenos Aires, Mendoza y Santa Fe. Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea. En [www.alhsud.com/castellano/ebook](http://www.alhsud.com/castellano/ebook). Ed. propia. La Plata.

BERON R & LEMOS E (1983) “Conservación de Suelos y Manejo de Aguas de la Microcuenca Pergamino Área experimental demostrativa, Cuenca del Río Arrecifes, Prov de Buenos Aires” *Boletín de Divulgación Técnica N° 58 INTA EERA Pergamino*, pág 3 -7

BLANEY H & CRIDDLE W. (1950) Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data USDA Soil Conservation Service Technical Paper 96 Washington

BLUM, W. (1994). Soil resilience- General approaches and definition. In Proc. 15 th World Cong. of soil sci. Acapulco, México. pp 233-237.

BRUNO J, PRESUTTI M, GASPARI F, ORONA C & MAGNIN S (1998) “Degradación ambiental en Cuencas Hidrográficas” Avances en el Manejo del Suelo y Agua en la Ingeniería Rural Latinoamericana CLIR 98 La Plata Buenos Aires págs 323 – 331.

CABRINI S & CALCATERRA C. (2008) “Los sistemas de producción en la Cuenca del Arroyo Pergamino” Centro Regional Buenos Aires Norte Estación Experimental Agropecuaria Pergamino Ed INTA 2008

CABRINI S & CALCATERRA C. (2009) “Sistemas de producción en el Partido de Pergamino. Valoración Económica del Impacto sobre la Capacidad Productiva de los Suelos” Centro Regional Buenos Aires Norte Estación Experimental Agropecuaria

Pergamino Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales Ed INTA 2009 Nro 12

CARTA DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA. (1990). Escala 1:50.000. Varias hojas. Instituto de Suelos. CIRN. INTA. Castelar.

CASTIGLIONI, M. & J. SEJAS. (1996). Análisis de factores naturales para riego complementario de la zona Centro de Santa Fe. Ministerio de Agricultura de Santa Fe.

CECI, J. (1969). El agua subterránea del NE de la Pcia. de Buenos Aires. CIC. La Plata.

COSTA, J. (1998). "Calidad de agua para riego". *Cuadernillos AgroMercado N° XXVIII*, pp 8-11.

DOOREMBOS & PRUITT W. (1976) Las necesidades de riego de los cultivos Estudios FAO Riego y drenaje N°24 Roma

DORAN, J., SARRANTONIO, M. & LIEBIG, M.. (1996). Soil health and sustainability. In *Advances in Agronomy*, Vol 56, D. Sparks (ed). Acad. Press, San Diego, pp 1-54.

DYMAS (1974). "Contribución al mapa geohidrológico de la Provincia de Buenos Aires. Inéd. CFI La Plata

ETCHEVERE, P. H. MUSTO J.C. & J.E. OLMOS (1969). "Características y distribución de las principales series de suelos de la pampa ondulada". *En Reunión Argentina de la Ciencia del Suelos, 5ª, Santa Fe, 1969. Resúmenes de trabajos y comunicaciones, Santa Fe, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo,*. pp. 52 – 53

FRENGUELLI, J. (1950). "Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires. LEMIT. La Plata. Ser. II Nro 33 pag. 1 – 72.

GASPARI, F. J., VAZQUEZ, M., LANFRANCO, J. (2006). "Relación entre la erosión hídrica superficial y la distribución de la pérdida de calcio, magnesio y potasio del suelo". *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*. 106 (1) pag. 47 – 56. ISSN 0041-8676, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina.

GENOVA, L. (1988). "Impacto de las aguas bicarbonatadas sódicas en suelos regados complementariamente en la región típica maicera de la Pcia. de Buenos Aires". *Documento de informe de avance. Carta acuerdo RLAC-FAO-UNLP. La Plata*. 88 pp.

GENOVA, L. (1989). Taller FAO sobre Análisis de métodos empleados en la recuperación de tierras y la prevención de la degradación de tierras bajo riego y drenaje de América Latina. Riego complementario en el norte de Buenos Aires: bases para prevenir la degradación de suelos. Organizado por la RLAC-FAO y el Programa Nacional de Drenaje de Tierras del Perú PRONADRET. 24 y 29 de octubre de 1989. Chiclayo, Perú.

GENOVA, L. (1993). Estudio de la degradación de suelos bajo riego complementario de cultivos extensivos con aguas subterráneas del acuífero Pampeano en el norte de Buenos Aires. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. 347:348 pp. Octubre de 1993. Mendoza.

GÉNOVA, L. (1994). Riego complementario de maíz, soja y trigo en el norte de Buenos Aires: efectos de la salinidad de las aguas subterráneas en los suelos y su influencia en los rendimientos. Actas del Primer Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola. Patrocinado por FAO, ASAE y CONICYT. Universidad de Concepción, Chile.

GENOVA, L. (1995). Diseño y operación de riego complementario por surcos de maíz, soja, sorgo y girasol en la Región Pampeana Húmeda. 2do. Seminario de Actualización Técnica en Riego. Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica-Centro Argentino de Ing. Agrónomos-Sociedad Rural Argentina-INTA. Pág. 25-38. Bs. Aires.

GÉNOVA, L. (2004). Salinidad y sodicidad edáfica de agroecosistemas regados complementariamente en el centro y sur de la Provincia de Buenos Aires. Resúmenes del XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Comisión 4, pp. 343. Trabajo completo en CD-ROM. Paraná, 22 al 25 de junio de 2004. 6 pp.

GENOVA, L. (2007). Resiliencia a la degradación salina y sódica de algunos suelos pampeanos regados complementariamente con aguas subterráneas bicarbonatadas sódicas. Tesis doctoral. Fac. de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 295 pp.

GENOVA, L. (2011). Calidad del agua subterránea para riego complementario en la Pampa húmeda argentina. Revista de la Facultad de Agronomía UNLP Vol 110 (2) pág. 63-81 La Plata.

GÉNOVA, L., J. E. MARASSI, M. ETCHEVERRY & W. CHALE. (1998). Optimización de la operación de riego complementario de cultivos extensivos en el Norte de Buenos Aires. En CD-Rom CLIR'98. Avances en el manejo del suelo y agua en la Ingeniería Rural Latinoamericana. Topografía, aguas y suelos. ISBN N° 950-34-0124-0. Balbuena, Benez y Jorajuría editores. Congreso Latinoamericano de Ingeniería Rural CLIR '98. La Plata.

GÉNOVA, L., J. E. MARASSI, M. ETCHEVERRY & W. CHALE. (2000). Optimización del uso de aguas y suelos en el riego complementario de maíz, soja y trigo en el Norte bonaerense. Abstracts de la 11th. International Soil Conservation Organization Conference. ISCO 2000. "Land conservation and food production in the third millenium". Trabajo 2-72, pág. 175. Octubre 22 al 27 de 2000. Buenos Aires.

GENOVA, L. & E. PALACIOS VELEZ. (1985). Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum L.*) a niveles de humedad del suelo en dos etapas fenológicas y a la fertilización nitrogenada. Agrociencia N° 59 : 55-70. México.

GENOVA, L., SOZA, E., ANDREAU, R., ETCHEVERRY, M. & CHALE, W. (2007) "Impacto del riego complementario en la salinidad y sodicidad de suelos pampéanos" En Avances en Ingeniería rural 2005-2007. Capítulo II. Manejo de agua y suelo. Pág. 286-293. Editores responsables M. Bocco y J. Cosiansi. ISBN 978-987-1253-29-6. Ed. SIMA. Córdoba

GIRA, A.C. 2001. Programa de agroecología GIRA A.C.. [www.gira.org.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=90&Itemid=115](http://www.gira.org.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=115)

GONZALEZ, N. (2004). Los ambientes hidrogeológicos de la Provincia de Buenos Aires. CISAUA-UNLP. La Plata. 20 pp.

GORGAS, J.A, E. LOVERA & J. TASSILE. (1996). Posibilidades de riego suplementario en cultivos extensivos de cosecha en la Pcia. de Córdoba. Sec. Agric. Rec. Hídricos. 15 pp

HERRICK, J. & WANDER, M. (1998). Relationships between soil organic carbon and soil quality in cropped and rangeland soils. The importance of distribution, composition and soil biological activity. In Soil Proceses and the Carbon Cycle. R. Lal et al (eds). Adv. in Soil Sci. CRC Press, B. Ratón, Florida, p. 405-426.

INDEC (2002). Datos Censo Agropecuario 2002 Buenos Aires, 196 págs.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. (1998). Síntesis de discusión del taller sobre calidad de aguas para riego. Proy. IPG. Noviembre 9-10 de 1998. Pergamino. 3 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. C. FEOLI EDITOR.(1994). Riego complementario en cultivos agrícolas en el Norte de la Pcia. de Buenos Aires. Centro Regional Buenos Aires Norte. EEA Pergamino.

JACKSON, M. L. (1982). Análisis químico de suelos. Ed. Omega, Barcelona. 663 pp.

KLINGEBIEL, A & P. MONTGOMERY, (1961). Land capability Classification, USDA, SCS, Agr. Handbook N° 210. Washington D.C

LANG, I. (1994). Soil resilience in stressed agro-ecosystems. In Proc. 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, México. Vol 2 a:217-220.1994.

MASERA, O; ASTIER, M. & LOPEZ-RIDAURA, S. (1999). Sustentabilidad y evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales. El marco MESMIS. Mundi-Prensa-GIRA-UNAM. México.

MONSERRAT, P., VILLAR PEREZ, L. (1993). Los agroecosistemas. Historia Natural'93: Actas de la XI Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural: Jaca, 13-18 de Septiembre de 1993: págs. 157-168.

PARR, J.F., PAPENDICK, R.I., HORNICK, S.B. Y MEYER, R.E. (1992). Soil quality: attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. American J. of Alternative Agriculture 7: 5-11.

PROGRAMA CROPWAT – FAO. (1990). Programa para cálculo de la precipitación efectiva (Método del US Bureau of Reclamation, SCS, USA, de la evapotranspiración de referencia (Método de Penman-Monteith) y requerimientos de riego. By AGOL-FAO. Roma.

PROGRAMA DE SERVICIOS AGRARIOS PROVINCIALES PROSAP. 2006. Servir al agro. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Ministerio de Economía y Producción de la R. Argentina. Bs. Aires. 180 pp.

PROYECTO IPG-INTA. 1998. Síntesis de discusión del taller sobre calidad de aguas para riego. Proy. IPG. Noviembre 9-10 de 1998. Pergamino. 3 pp.

PROYECTO SAGyP – INTA - IICA. 1988. Proyecto de Cooperación para la Modernización del Sector Agropecuario. Estudio de factibilidad técnica, económica y financiera del riego complementario y Uso de Aguas Subterráneas en la región maicera típica. 33 pp.

REYNOSO, L; SASAL, C; PORTELA, S & ANDRIULO, A. (2005). "Vulnerabilidad del acuífero Pampeano a la contaminación en el Norte de la provincia de Buenos Aires. Aplicación de la metodología DRASTIC, RIA, 34 (1): 85 – 99. INTA Argentina.

RICHARDS, L . (1954). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de agricultura N° 60. Laboratorio de Salinidad del Departamento de Agricultura de los EE. UU. de América, Riverside, California. Washington. 172 pp.

ROZANOV, B. (1994). Stressed soil system and soil resilience in drylands. In Proc. 15th World Cong. of Soil Sci. Acapulco, Méx. Pp. 238-245.

SAGPyA - PROSAP. (1995). Disponibilidad del Agua Subterránea para Riego Complementario en las Provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Córdoba y Santa Fe.

SANTA CRUZ, J. (1986). Estudio de factibilidad técnica, económica y financiera del riego complementario en la zona maicera típica de la Pcia. de Buenos Aires. Aguas subterráneas. Informe de avance. Convenio SAGyP-IICA. Buenos Aires.

SCOPPA, C, (1976). La mineralogía de los suelos de la llanura pampeana en la interpretación de su génesis y distribución. En Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, 7ª, Bahía Blanca, 1975. Idia Suplemento N° 33: 659 – 673.1976,

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL Estadísticas climáticas correspondientes a las estaciones meteorológicas de las localidades de San Pedro, Junín y Pergamino, series 1970 - 1999.

SEYBOLD, C; HERRICK, J. & BREJDA, J. (1999). Soil resilience: a fundamental component of soil quality. Soil Sci. 164:4:224-234.

SZABOLCZS, Y. (1995). Introduction to the symposium on "Stressed ecosystems and soil resilience". In Proc. 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Méx. Vol 2 a:218-220.

WARKENTIN, B. (1996). The changing concept of soil quality. Journal of Soil Water Conserv. 50:226-228.

WILLIAMS, J & CHARTRES C.. (1991). Sustaining productive pastures in the tropics. I. Managing the soil resource. *Trap. Gras.*25:73-84.

## ANEXO 1.

Tabla 1: Datos climatológicos Series del SMN 1961-2000 Junín Aero

<b>1991-2000</b>													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
T máx. (°C)	29,1	27,9	26,9	22,3	19,2	15,2	14,7	18,1	19,6	22,1	25,3	28,7	22,4
T min (°C)	16,4	15,2	14,2	10,6	8,2	5,2	3,2	4,7	7	10,2	12,7	15,4	10,3
T media (°C)	22,6	21,2	19,8	15,8	13,0	9,7	8,3	10,8	13,1	16,0	19,0	21,9	15,9
H R (%)	70,6	73,5	75,9	78,6	79,5	79,6	75,9	70,3	68,3	72,5	69,0	67,4	73,4
Viento (km/h)	11	10,1	9,6	9,9	9,1	11,1	11,4	12,8	14,3	13,8	13,1	13,2	11,6
Nubos. (octas)	3,5	3,2	3,1	3,9	4	4,6	3,8	3,4	3,7	3,9	3,7	3,6	3,7
Heliof. rel. (%)	61,3	63,7	57,2	51,4	51,4	42,2	51,8	56	50,7	52,4	57,4	57,5	54,4
Heliof. efec (hs)	8,6	8,5	7	5,7	5,2	4,1	5,2	6,1	6	6,8	8	8,2	6,6

<b>1981-1990</b>													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
°T máx. (°C)	30,3	28,5	25,8	22,3	18,7	15	14,7	17,3	19,2	22,6	25,8	28,9	22,40
°T min (°C)	17	16,2	13,8	10,6	6,9	4,3	3,9	5,3	6,5	10,2	13,3	16,6	10,38
°T media (°C)	23,4	22	19,2	15,8	12	8,9	8,5	10,7	12,5	16,2	19,4	22,1	15,9
H R (%)	69	74	79	81	79	82	81	77	73	72	70	66	75
Viento (km/h)	10,5	9,8	9,4	9,1	10,2	9,9	11,6	12	13,5	13,2	12,1	10,8	11
Nubos. (octas)	3,6	3,5	3,6	3,6	4	4,4	4,2	4,1	3,8	4	3,8	3,8	3,9
Heliof. rel. (%)	69	67	61	60	54	51	52	55	60	58	62	65	60
Heliof. efec (hs)	9,7	9	7,5	6,7	5,7	5,1	5,3	6	7,1	7,5	8,6	9,4	7,3

<b>1971-1980</b>													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
°T máx. (°C)	29,4	28	26,2	22,8	18,8	15,1	15,2	16,6	19,6	22,2	25,3	29,1	22,4
°T min (°C)	16,2	15,2	13,8	10	7,3	4,4	4,4	4,5	6,7	9,6	11,6	15	9,9
°T media (°C)	22,5	21,2	19,4	15,6	12,3	9,1	9,1	9,9	12,7	15,7	18,5	21,9	15,7
H R (%)	71	75	77	79	82	81	82	78	73	74	67	65	75
Viento (km/h)	13	11	11	11	11	12	13	14	15	15	15	14	13
Nubos. (octas)	3,6	3,5	3,4	3,5	4,5	4,3	4,5	3,9	3,6	3,9	3,6	3,7	3,8
Heliof. rel. (%)	66	65	60	61	52	50	50	57	60	57	66	63	59
Heliof. efec (hs)	9,3	8,7	7,4	6,8	5,3	4,9	5	6,2	7,1	7,5	9,3	9,1	7,2

<b>1961-1970</b>													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
°T máx. (°C)	30,8	30,2	26,5	23,0	19,6	15,1	15,4	17,0	19,6	21,5	25,7	28,7	22,7
°T mín (°C)	15,5	15,3	13,2	10,3	7,1	4,6	4,2	4,0	6,4	9,2	12,6	14,5	9,7
°T media (°C)	23,2	22,8	19,9	16,7	13,4	9,9	9,8	10,5	13,0	15,4	19,2	21,6	16,3
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
H R (%)	63	66	73	77	80	83	81	75	71	74	71	67	73,4
Viento (km/h)	12	11	11	10	10	11	12	12	13	13	12	13	11,7
Nubos. (octas)	3,6	3,4	3,4	3,6	4,2	4,9	4,8	3,9	3,7	3,9	3,6	3,8	3,9
Heliof. rel. (%)	66	68	60	57	53	43	46	54	54	52	59	60	56,0
Heliof. efec (hs)	9,3	8,6	7,2	6,8	5,3	4,9	5,1	6,3	7,1	7,6	9,2	8,9	7,4

Tabla 2: Datos precipitación media Series del SMN 1961-2000 Junín Aero

Serie	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
1961-1970	78,0	67,0	165,0	83,0	41,0	26,0	33,0	38,0	57,0	113,0	127,0	118,0	946,0
1971-1980	164,0	114,0	177,0	74,0	40,0	43,0	41,0	47,0	45,0	91,0	85,0	99,0	1020,0
1981-1990	113,1	126,2	129,1	89,5	44,5	18,7	33,8	20,0	52,0	134,4	117,1	74,8	972,9
1991-2000	112,3	82,6	90,7	153,4	80,8	44,4	18,2	32,7	40,4	128,6	106,4	123,2	1013,5
Media	116,8	97,5	140,5	100,0	51,6	33,0	31,5	34,4	48,6	116,8	108,9	103,8	988,1

Tabla 3: Datos climatológicos Series del SMN 1961-1990 Pergamino INTA

<b>Serie 1981-90</b>													
Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
T° máx °C	31	28,9	26,3	22,8	19,3	15,9	15	17,8	19,7	23	26	29,3	22,9
T° mín °C	17,7	16,9	14,4	11,1	7,5	4,8	4,5	5,7	6,9	10,7	13,9	16,2	10,9
HR %	64	72	77	80	79	81	81	74	70	70	69	63	73
Viento km/h	10,5	9,8	9,4	9,1	10,2	9,9	11,6	12	13,5	13,2	12,1	10,8	11
Heliof ef. Hs	9,7	9	7,5	6,7	5,7	5,1	5,3	6	7,1	7,5	8,6	9,4	7,3
Heliof.rel. %	69	67	61	60	54	51	52	55	60	58	62	65	60

<b>Serie 1971-80</b>													
Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
T° máx °C	29,8	28,1	26,2	23,1	19,5	15,7	15,6	16,9	19,7	22,4	25,3	28,9	22,6
T° mín °C	17	15,8	14	10,5	7,9	4,7	5,4	5,2	7	9,9	12,3	15,8	10,5
HR %	67	73	76	76	81	80	81	76	70	73	66	65	74
Viento km/h	11	10	10	10	10	11	12	12	13	13	13	12	11
Heliof ef. Hs	9,6	8,8	7,8	7,2	5,7	5,4	5,2	6,4	7,5	7,8	9,3	9,4	7,5
Heliof.rel. %	69	67	64	63	54	53	51	58	63	61	68	66	61

**Serie 1961-1970**

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
T° máx °C	30,5	30,5	27,1	23,7	20,2	11,4	16	17,5	20,1	21,8	25,9	29,3	22,8
T° mín °C	15,2	15,3	13,4	10	7,3	3,4	4,4	4,4	6,4	9,2	12	14,2	9,6
HR %	65	68	75	78	81	82	83	77	74	78	72	66	75
Viento km/h	11	9	10	8	10	11	11	12	14	14	11	11	11
Heliof ef. Hs	9,5	9,5	7,6	7,1	5,7	4,5	5,1	6,2	6,4	6,9	8,6	9,1	7,2
Heliof.rel. %	68	71	61	62	54	45	49	56	54	53	63	64	58
Pp mm	74	95	153	63	58	28	32	48	59	106	79	100	895

Tabla 4: Datos precipitación media Series del SMN 1961-1990 Pergamino INTA

Serie	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
1961-1970	74,0	95,0	153,0	63,0	58,0	28,0	32,0	48,0	59,0	106,0	79,0	100,0	895,0
1971-1980	141,0	142,0	159,0	66,0	37,0	54,0	55,0	52,0	64,0	117,0	87,0	105,0	1079
1981-1990	133,1	126,2	129,1	89,5	44,5	18,7	33,8	20,0	52,0	134,4	117,1	74,8	973,2
Media	116,0	121,1	147,0	72,8	46,5	33,6	40,3	40,0	58,3	119,1	94,4	93,3	982,4

Tabla 5: Datos climatológicos Series del SMN 1961-1990 San Pedro INTA

**Serie 1981-90**

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
T° máx °C	31,1	29,0	26,5	22,8	19,1	15,6	15,1	17,7	19,5	23,0	25,9	28,8	22,8
T° mín °C	18,2	17,5	15,3	12,1	8,7	5,9	5,7	7,0	8,1	11,5	14,6	16,7	11,8
HR %	67	74	79	82	82	84	84	77	74	73	72	68	76
Viento km/h	8,3	8,0	7,7	7,1	8,0	7,5	8,3	9,2	10,2	10,0	10,2	9,0	8,6
Heliof ef. Hs	9,2	8,4	7,4	6,4	5,5	5,0	5,2	6,1	6,8	7,6	8,5	8,9	7,1
Heliof.rel. %	65	63	60	57	53	50	51	56	57	59	62	61	58

**Serie 1971-80**

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
T° máx °C	29,9	28,3	26,4	22,8	19,5	16,0	15,9	17,1	19,8	22,8	25,5	29,0	22,8
T° mín °C	17,3	16,5	15,2	11,5	8,7	5,9	6,1	6,0	8,0	10,9	12,8	16,1	11,3
HR %	69	74	78	80	84	82	83	78	73	73	67	66	76
Viento km/h	9	8	8	8	8	9	9	9	11	11	11	10	9
Heliof ef. Hs	9,3	8,4	7,6	6,7	5,6	5,2	5,1	6,1	7,1	7,6	9,3	9,4	7,3
Heliof.rel. %	66	64	62	60	54	52	51	56	60	59	67	65	60

**Serie 1961-1970**

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
T° máx °C	30,2	29,5	27,2	23,6	20,2	14,4	17,1	17,8	21,5	22,5	26,8	30,2	23,4
T° mín °C	16,8	16,5	14,7	11,0	8,3	4,7	6,5	5,6	8,5	10,9	13,9	16,3	11,1
HR %	67	71	73	76	80	83	82	76	73	75	67	61	73,7
Viento km/h	13	13	12	12	13	14	14	14	15	15	13	13	13,4
Helióf. ef. Hs	9,2	9,4	7,8	7,2	5,9	4,7	5,0	6,9	6,6	6,9	8,8	9,3	7,4
Helióf. rel. %	68	68	66	65	54	44	48	53	53	51	70	63	58,6

Tabla 6: Datos precipitación media Series del SMN 1961-1990 San Pedro INTA

**Comparación Pp (mm)**

Serie	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
1961-1970	117	113	131	69	64	50	44	58	76	162	82	70	86,3
1971-1980	144	143	135	74	49	72	62	58	83	103	92	100	1115
1981-1990	115,1	133,5	130,2	98,9	60,2	36,4	48,7	31,5	61,3	135,0	135,8	100,5	1087,1
Media	125,4	129,8	132,1	80,6	57,7	52,8	51,6	49,2	73,4	133,3	103,3	90,2	762,8

Tabla 7: Datos precipitación media Series del SMN 1961-2000 Junín Aero - Pergamino INTA – San Pedro INTA

**Comparación Pp (mm)**

Serie	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	AÑO
Junín	116,8	97,5	140,5	100,0	51,6	33,0	31,5	34,4	48,6	116,8	108,9	103,8	988,1
Pergamino	116,0	121,1	147,0	72,8	46,5	33,6	40,3	40,0	58,3	119,1	94,4	93,3	982,4
San Pedro	125,4	129,8	132,1	80,6	57,7	52,8	51,6	49,2	73,4	133,3	103,3	90,2	762,8
Media	119,4	116,1	139,9	84,5	51,9	39,8	41,1	41,2	60,1	123,1	102,2	95,8	911,1

## **ANEXO 2.**

### **DESCRIPCIÓN DE LAS SERIES DE SUELO REPRESENTATIVAS.**

#### **Serie Pergamino**

(Hoja 3360-32 PERGAMINO Carta de Suelos de la RA) La Serie Pergamino es un suelo oscuro, profundo, bien drenado en las lomas y planos altos suavemente ondulados. Es un suelo típico representante de los buenos suelos pampeanos, con una amplia aptitud para cultivos, forrajes y pasturas. La capa arable, hasta una profundidad de 25 o 30 centímetros (horizonte A1) es granular, de textura franco limosa y de color pardo grisáceo muy oscuro. Luego se encuentra un horizonte B2t desde los 35 a los 40 cm hasta aproximadamente un metro. Color pardo oscuro y estructura prismática con abundantes barnices. La transición entre el B2t y el loess del substrato (horizonte C) es muy gradual. Este último se encuentra a una profundidad promedio de 1,60 m; es un material franco limoso, suelto y con escasa cantidad de calcáreo, tanto diseminado en la masa como en concreciones. Son suelos muy fértiles y productivos, con buena capacidad de retención de humedad; se los usa indistintamente para agricultura intensiva o extensiva como para ganadería. Aptitud de uso: Clase I; en zonas con pendientes superiores al 3% Clase II; en zonas con limitaciones de drenaje deficiente por ligera impermeabilidad y escurrimiento lento: Clase III.

#### **Serie Santa Lucia**

(Hoja 3360-32 PERGAMINO Carta de Suelos de la RA) La Serie Santa Lucia corresponde a un suelo oscuro, alcalino y algo anegadizo, situado al pie de pendientes largas y suaves que bajan hacia varios arroyos al Nordeste de Pergamino y en las cuencas de los arroyos del Medio y Pavón. La capa arable, franco limosa, hasta una profundidad de 25 o 30 centímetros (horizonte A1) con estructura en bloques. Allí se nota un brusco cambio al horizonte arcilloso B textural, pesado, de hasta aproximadamente un metro de espesor, alcalino. Estructura prismática dura, con barnices. La transición entre el B2t y el horizonte C es muy gradual. Las limitantes principales de estos suelos derivan de su drenaje imperfecto y de la alcalinidad del horizonte arcilloso. Por esta razón el suelo no es recomendable para agricultura. En cambio, puede ser aprovechado para pasturas naturales. Aptitud de uso: Clase VI.

#### **Serie Melincué**

(Hoja 3363-24 CRUZ ALTA Carta de Suelos de la RA) La Serie Melincué es un suelo oscuro, profundo, moderadamente bien drenado en zonas con escasa pendiente y desagüe medio, ocupando bajos y depresiones. El horizonte A1 de 30 cm de espesor, es de color gris muy oscuro y el horizonte A2 (ambos de reacción ligeramente ácida), es de color blanquecino, con evidente pérdida de materia orgánica. Ambos de textura franco limosa y con estructura en bloques. Luego se encuentra un horizonte B2t más pesado desde los 43 cm hasta aproximadamente 75 cm. Color pardo y estructura columnar, fuerte y con abundantes barnices. El

horizonte C es un material franco limoso, con abundantes concreciones calcáreas y reacción alcalina. A partir del metro de profundidad presenta exceso de sodio. Limitaciones: Drenaje deficiente por impermeabilidad. Aptitud de uso: Clase IV

### **Serie Arroyo Juarez**

(Hoja 3360-32 PERGAMINO Carta de Suelos de la RA) La Serie Arroyo Juarez corresponden a suelos mal drenados, fuertemente alcalinos con exceso de sodio, bajo la influencia del agua freática alcalina, normalmente situada en el primer metro de profundidad. Los primeros 20 centímetros, de color gris, franco limoso, y estructura en bloques fuertes, duros en seco. Allí se nota un brusco cambio al horizonte arcilloso B2t, pardo oscuro, con abundantes tosquillas calcáreas. El agua freática alcalina se encuentra comúnmente a una profundidad entre 50 y 90 cm. En su estado natural no son aptos para cultivos ni forrajes y requieren de técnicas de recuperación, se dedican a ganadería extensiva con escasa densidad de carga animal. Debido a la fuerte alcalinidad que presentan desde superficie, al elevado contenido de sodio intercambiable, a las condiciones de mal drenaje y peligro de anegamiento, este suelo no es apto para cultivo ni para forraje. Aptitud de uso: Clase VII.

### **Serie Santa Ana**

(Hoja 3560-7 y 8 ALEM JUNÍN Carta de Suelos de la RA) La Serie Santa Ana es un suelo oscuro, profundo, moderadamente bien a imperfectamente drenado, con una moderada a escasa capacidad de retención de agua, desarrollado a partir de sedimentos franco arenosos muy finos, en lomadas medanosas con moderado desarrollo. El horizonte A1 de 45 cm de espesor, es de color pardo oscuro en húmedo, con moderado tenor de materia orgánica y capacidad de retención de agua, de textura franco arenosa y reacción ligeramente ácida. Luego se encuentra un horizonte de transición AC de 28 cm de espesor, pardo y textura franco arenosa, pobre en materia orgánica, reacción netamente alcalina sódica y baja capacidad de intercambio catiónico. Es un suelo de moderada a buena capacidad agrícola. Limitaciones: Susceptibilidades a la erosión eólica. Aptitud de uso: Clase III

## DESCRIPCION DE LOS SUELOS PRESENTES EN LOS DIFERENTES DOMINIOS EDÁFICOS

**Argialbol argiacuico:** Se desarrolla en planicies muy extendidas que constituyen divisorias de agua.

Profundidad: profundo (120 cm)

Desarrollo: fuertemente desarrollado (A1 – A2 - B21t – B22t –B3 – C)

Drenaje: moderadamente bien drenado

Alcalinidad: sin alcalinidad

Salinidad: no salino

Características del horizonte superficial A1 (Ap – A12):

Espesor: 32 cm.

Materia orgánica: bien provisto (2,2%)

Textura: franco –limosa.

Características de los horizontes subsuperficiales

A2: Espesor: 11 cm. Textura: franco – limosa. Estructura: bloques subangulares.

B2t: Espesor: 33 cm., divididos en dos subhorizontes (B21t – B22t). Textura: arcillosa y franca. Estructura: columnar y prismática. Presenta escasos barnices comunes.

B3: Espesor: 30 cm. Textura: franco – limosa. Estructura: bien definida en prismas medios. Presenta barnices comunes y escasos moteados.

C: Textura: franco – limosa. Carece de estructura, presenta escaso carbonato y concreciones calcáreas comunes.

**Argialbol típico:** Se desarrolla en lomas ubicadas en amplias planicies.

Profundidad: profundo (140 cm)

Desarrollo: fuertemente desarrollado (A11 – A12 – A2 - B21t – B22 –B3 – C)

Drenaje: imperfectamente drenado

Alcalinidad: sin alcalinidad

Salinidad: no salino

Características del horizonte superficial A1 (A11 – A12):

Espesor: 21 cm.

Materia orgánica: muy provisto (4,3%)

Textura: franco –limosa.

Características de los horizontes subsuperficiales

A2: Espesor: 9 cm. Textura: franco – limosa. Estructura: bloques angulares y débiles; escasos moteados.

B2t: Espesor: 53 cm., divididos en dos subhorizontes (B21t – B22t). Textura: arcillosa y franca. Estructura: prismas y bloques angulares. Presenta escasos barnices.

B3: Espesor: 20 cm. Textura: franco a franco – limosa. Estructura: masiva. Presenta moteados y concreciones calcáreas escasas.

C: Textura: franco – limosa. Estructura masiva y moteados abundantes.

**Argiudol ácuico**: Se halla en posiciones planas de lomas amplias y al pie de las mismas.

Profundidad: muy profundo (150 cm)

Desarrollo: fuerte (A11 – A12 - B1 – B21t – B22t – B3 – C)

Drenaje: moderadamente bien drenado

Alcalinidad: sin alcalinidad

Salinidad: no salino

Características del horizonte superficial A1 (A11 – A12):

Espesor: 33 cm.

Materia orgánica: bien provisto (2,8%)

Textura: franco – limosa.

Características de los horizontes subsuperficiales

B1: Espesor: 10 cm. Textura: franco – limosa. Estructura: en bloques.

B2t: Espesor: 57 cm. Textura: franco – arcillo – limosa. Estructura: en prismas moderados. Presenta moteados precisos de hierro y manganeso.

B3: Espesor: 18 cm. Textura: franco – limosa. Estructura: en bloques. Presenta moteados de hierro y manganeso.

C: a partir de los 118 cm. de profundidad. Textura: franco – limosa. Con moteados comunes.

**Argiudol típico**: Se halla en lomas alargadas y pendientes cortas del paisaje ondulado.

Profundidad: muy profundo (225 cm)

Desarrollo: fuerte (A1 – B1 – B21t – B22t – B23t – B3 – Cca)

Drenaje: Bien drenado

Alcalinidad: sin alcalinidad

Salinidad: no salino

Características del horizonte superficial A1 (Ap – A12):

Espesor: 22 cm.

Materia orgánica: bien provisto (2,7%)

Textura: franco – limosa a franco – arcillo – limosa.

#### Características de los horizontes subsuperficiales

B1: Espesor: 14 cm. Textura: franco – limosa. Estructura: prismas moderados.

B2t: Espesor: 79 cm., divididos en tres subhorizontes (B21t – B22t – B23t). Textura: franco – arcillo – limosa a franco - limosa. Estructura: prismas moderados. Presenta abundantes barnices.

B3: Espesor: 39 cm. Textura: franco – limosa. Estructura: en bloques. Presenta abundantes barnices.

Cca: A partir de los 154 cm. de profundidad, con un espesor de más de 70 cm. Textura: franco – limosa. Presenta abundante carbonato de calcio pulverulento y en concreciones; los moteados de hierro – manganeso son escasos.

**Argiudol vértico**: Se halla en lomas bajas y en pendientes pronunciadas.

Profundidad: muy profundo (170 cm)

Desarrollo: fuerte (A1 – B1 – B21t – B22t – B3 – C)

Drenaje: moderadamente bien drenado

Alcalinidad: sin alcalinidad

Salinidad: no salino

#### Características del horizonte superficial A1:

Espesor: 28 cm.

Materia orgánica: muy provisto (3,4%)

Textura: franco – arcillo – limosa.

#### Características de los horizontes subsuperficiales

B1: Espesor: 10 cm. Textura: franco – arcillo - limosa. Estructura: bloques subangulares, medios y débiles que rompen en bloques menores.

B2t: Espesor: 73 cm., divididos en dos subhorizontes (B21t – B22t). Textura: arcillosa. Estructura: prismas medios y débiles. Presenta abundantes slickensides y clay skins.

B3: Espesor: 36 cm. Textura: arcillo – limosa. Estructura: en bloques medios y moderados que rompen en bloques menores. Presenta escasos barnices arcillosos y escasas concreciones calcáreas.

C: A partir de los 147 cm. de profundidad. Textura: franco – arcillo - limosa. Sin estructura definida. Se encuentran concreciones de carbonato de calcio.

**Hapludol entíco**: Se desarrolla en posiciones cuspidales de lomas y médanos.

Profundidad: profundo (125 cm)

Desarrollo: incipiente (A1 – AC – C)

Drenaje: bien drenado

Alcalinidad: sin alcalinidad

Salinidad: no salino

Características del horizonte superficial A1 (Ap – A12):

Espesor: 31 cm.

Materia orgánica: desprovisto (1,6%)

Textura: franco – arenosa.

Características de los horizontes subsuperficiales

AC: Espesor: 27 cm. Textura: areno - franca. Carece de estructura. Gradualmente pasa al horizonte C, de textura areno – franca y estructura masiva.

**Hapludol típico:** Se desarrolla en cordones y ondulaciones arenosas.

Profundidad: profundo (130 cm)

Desarrollo: débil (A1 – B2 – B3 –C)

Drenaje: bien drenado

Alcalinidad: sin alcalinidad

Salinidad: no salino

Características del horizonte superficial A1:

Espesor: 27 cm.

Materia orgánica: muy provisto (3,2%)

Textura: franco – arenosa.

Características de los horizontes subsuperficiales

B2: Espesor: 28 cm. Textura: franco – arenosa y débil estructura en bloques.

B3: Espesor: 40 cm. Textura: franco – arenosa y débil estructura en bloques.

Gradualmente pasa al horizonte C, de textura franco - arenosa.

**Natracualf típico:** Se encuentra en planos y pendientes adyacentes a las cabeceras de los arroyos de la región.

Profundidad: profundo (130 cm.)

Desarrollo: fuertemente desarrollado (A2 – B21t – B22t – B3 - C)

Drenaje: imperfectamente drenado

Alcalinidad: alcalino.

Salinidad: no salino

Características del horizonte superficial A2:

Espesor: 8 cm.

Materia orgánica: bien provisto (2,7%)

Textura: franco – limosa.

Rangos destacables: horizonte lixiviado con menos de 10% de sodio de cambio.

#### Características de los horizontes subsuperficiales

B2t: Espesor: 54 cm. Textura: franco - arcillosa. Estructura: prismática y en bloques. Presenta abundantes concreciones calcáreas y moteados escasos.

B3: Espesor: 41 cm. Textura: franco - limosa. Estructura: en bloques. Presenta abundantes concreciones calcáreas y escasas de hierro – manganeso.

C: Textura: limosa, con concreciones calcáreas abundantes.

A los 65 cm de profundidad se encuentra la capa freática.

**Natracuol típico**: Se encuentra en áreas bajas, pie de lomas y microdepresiones.

Profundidad: muy profundo (160 cm)

Desarrollo: fuerte (A11 – A12 - B21t – B22t – B3 – C)

Drenaje: pobremente drenado

Alcalinidad: es alcalino a partir de los 28 cm (30 % de Na de intercambio)

Salinidad: no salino

#### Características del horizonte superficial A1 (A11 – A12):

Espesor: 28 cm.

Materia orgánica: bien provisto (2,6%)

Textura: franco – limosa a franco – arcillo – limosa.

#### Características de los horizontes subsuperficiales

B2t: Espesor: 67 cm. Textura: arcillo – limosa a franco – arcillo - limosa. Estructura: prismas. Presenta carbonato de calcio pulverulento y concreciones calcáreas y de hierro – manganeso; los barnices son abundantes y los moteados escasos.

B3: Espesor: 40 cm. Textura: franco – limosa a franco – arcillo – limosa, escasa concentración de carbonatos y concreciones de calcio; presenta moteados de hierro y manganeso comunes.

C: A partir de los 135 cm. de profundidad. Textura: franco – limosa. Presenta carbonato de calcio en masa y escasas concreciones; los moteados y concreciones de hierro y manganeso son comunes.

**Natralbol típico**: Se ubica en terrazas intermedias y pie de pendientes.

Profundidad: muy profundo (170 cm)

Desarrollo: fuerte (A1 – A2 - B21t – B22t – B3 – C)

Drenaje: imperfectamente drenado

Alcalinidad: alcalino

Salinidad: no salino

Características del horizonte superficial A1:

Espesor: 14 cm.

Materia orgánica: muy provisto (2,6%)

Textura: franco –limosa.

Características de los horizontes subsuperficiales

A2: Espesor: 10 cm. Textura: franco – limosa. Estructura: bloques subangulares; escasos moteados.

B2t: Espesor: 51 cm., divididos en dos subhorizontes (B21t – B22t). Textura: franco – arcillo - limosa. Estructura: prismas irregulares. Presenta abundantes slickensides en el B21t y en el B22t hay concentraciones moderadas de material calcáreo pulverulento.

B3: Espesor: 75 cm. Textura: franco – limosa. Estructura: en prismas irregulares. Presenta abundantes concreciones calcáreas y moteados comunes.

C: Textura: franco – limosa. Abundantes concreciones y carbonato de calcio en masa.