



**Universidad Nacional de Río Cuarto
Facultad de Ciencias Económicas
Maestría en Desarrollo y Gestión Territorial**



**VULNERABILIDAD AGROCLIMÁTICA A LA SEQUÍA EN LA
REGIÓN CENTRO-SUR DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA**

Andrea Del Valle Rivarola

Tesis
Para optar al Grado Académico de
Magíster en Desarrollo y Gestión Territorial
Mención: Gestión del Desarrollo Local

Río Cuarto, 2009

VULNERABILIDAD AGROCLIMÁTICA A LA SEQUÍA EN LA REGIÓN CENTRO-SUR DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Andrea Del Valle Rivarola

Director: Ing. Agr. Ph. D. Roberto A. Seiler.

Co-Director: Ing. Agr. Ms. Sc. Marta G. Vinocur

Tribunal Examinador de Tesis:

Ing. Agr. Mag. Aldo Cicero

Ing. Agr. Mag. Victor H. Rotondo

Ing. Agr. MSc. Miguel A. Reynero

Presentación formal académica: 22 de Abril de 2009
Facultad de Ciencias Económica.
Universidad Nacional de Río Cuarto

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al proyecto internacional de investigación AIACC LA-29, que me permitió a través del otorgamiento de una beca de postgrado, iniciar mi perfeccionamiento académico-profesional y soportó financieramente todos los gastos generados en esta investigación.

A la UNRC por financiar mis estudios de cuarto nivel en el marco de beneficios recibidos por ser planta docente permanente de esta casa de altos estudios y por permitirme utilizar sin ninguna restricción las instalaciones de las mismas.

A la colaboración de distintos colegas de la universidad, técnicos del INTA y docentes del CREAN que me brindaron su aporte inestimable para solucionar distintos problemas surgidos en la metodología de la investigación.

Al director y co-directora de tesis, Ing. Agr. Roberto Seiler e Ing. Agr. Marta G. Vinocur, quienes me guiaron y por medio de sus continuos aportes de ideas, correcciones y sobre todo por sus constantes consejos me permitieron finalizar y concretar exitosamente esta investigación.

A los coordinadores de la maestría y compañeros que cursaron la primera cohorte, por los buenos momentos compartidos durante el cursado y por la formación de un grupo de compañeros agradables.

Finalmente quiero agradecer y dedicarle este logro a cada miembro de mi familia y especialmente a Federico, quienes supieron darme su respaldo, soportaron mis malos momentos anímicos, por brindarme su incondicional apoyo afectivo y contención en cada etapa de este proceso y que no me permitieron bajar los brazos ante los distintos escollos que han aparecido en estos años.

A todo ellos Muchas Gracias.

RESUMEN

El sector agropecuario es uno de los pilares fundamentales que impulsa y mantiene la economía del país. Las producciones se realizan mayoritariamente en secano, por lo que la agricultura continúa siendo una actividad fuertemente dependiente del tiempo y del clima y consecuentemente condicionada a los efectos de la variabilidad y del cambio climático. Si bien se observan evidencias de una tendencia hacia un clima más húmedo en la región pampeana, se advierte en la zona oeste de la misma recurrencia de sequías con distintas intensidades y duración, producto de la variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones.

La necesidad de disminuir el impacto de las sequías conduce en primera instancia a determinar el riesgo que enfrentan las actividades agropecuarias en relación con este fenómeno. La evaluación y el manejo del riesgo y vulnerabilidad en la agricultura abren la posibilidad de un enfoque conceptual para el análisis de una integración más efectiva entre la variabilidad y el cambio climático, la producción, la planificación y la adaptación a la variabilidad y a los cambios.

Considerando este escenario, la presente investigación tiene el propósito de caracterizar y cuantificar la vulnerabilidad agroclimática debido a la sequía en el sur de la provincia de Córdoba. El área de estudio comprendió los departamentos de Calamuchita, Tercero Arriba, Gral. San Martín, Unión, Marcos Juárez, Río Segundo, Río Cuarto, Juárez Celman, Pte. Roque Sáenz Peña y Gral. Roca. La disponibilidad de información meteorológica y la pertenencia a distintas Zonas Ecológicas Homogéneas, definidas por criterios edafo-climáticos, guiaron el proceso de selección de los departamentos a incluir en el estudio.

La metodología empleada consistió en la utilización de factores bio-físicos de la región en estudio, definidos en tres variables como lo son la precipitación de septiembre a marzo; la capacidad de almacenaje de agua del suelo y el déficit hídrico, según la demanda de agua de los sistemas de cultivos practicados en la región.

La primera variable se calculó utilizando datos de 18 localidades dentro del área de estudio, con series pluviométricas del período de 1961-1990, provenientes del Servicio Meteorológico Nacional y del Servicio de Agrometeorología de la UNRC. En la segunda variable de análisis se consideró la textura del suelo como factor esencial en la determinación de la capacidad de almacenaje, utilizando para ello el mapa de suelos de la República Argentina en una escala de 1:500.000 y determinando el agua utilizable en

milímetros por cada 30 cm de profundidad del suelo según distintas texturas. La tercera variable se obtuvo a través del cálculo del requerimiento de agua de los distintos sistemas de cultivos y su posterior comparación con la oferta de agua para la región, en el período de septiembre a marzo.

Estas variables fueron sometidas a distintos niveles de análisis (estadísticos, cruzamiento de información, entre otras), obteniéndose una serie de datos que fueron utilizados para construir mapas de distribución regional de las precipitaciones para el período 1961-1990, distribución regional del déficit hídrico y distribución regional de la capacidad de almacenaje hídrico de los suelos.

Para identificar sectores con diferentes grados de vulnerabilidad a la sequía se combinaron todos los factores obtenidos anteriormente, mediante el sistema de información geográfico IDRISI versión Kilimanjaro, utilizando el Método de Evaluación por Criterios Múltiples con límites de transición gradual (EMC). Para ello las variables fueron transformadas de acuerdo a una misma escala de valoración de la vulnerabilidad, de manera que resulten comparables y compatibles y fueron ponderadas en términos de su importancia relativa al objetivo especificado, en este caso la vulnerabilidad a la sequía. El resultado final fue un mapa con distintos valores de vulnerabilidad en una escala de 0-255 puntos, donde se asume que el mayor valor obtenido corresponde a áreas más vulnerables a sequías. La vulnerabilidad a las sequías en el sur de Córdoba que se presenta en el mapa permite reconocer categorías de baja, moderada, alta y muy alta vulnerabilidad, mostrando una zonificación gradual de este a oeste dentro del área de estudio. Estos resultados representan una información de valor para futuras aplicaciones de planificación y preparación ante el fenómeno de las sequías y para la disminución de impactos.

Palabras claves: sequías, vulnerabilidad agroclimática, SIG.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas y cuadros.....	x
Capítulo I: Introducción.....	1
Siglas utilizadas.....	2
El cambio climático global y su impacto.....	4
El cambio climático y las sequías a escala regional.....	9
Conceptualización y definición de sequía.....	13
Vulnerabilidad y riesgo de sequía agrícola.....	16
Objetivos y propuesta de investigación.....	21
Capítulo II: Materiales y Métodos vinculados a la investigación.....	23
Siglas utilizadas.....	24
El área de estudio.....	25
Determinación de la oferta hídrica regional.....	29
Determinación del déficit hídrico regional.....	30
Capacidad de almacenaje hídrico del suelo.....	41
Definición de áreas vulnerables.....	44
Capítulo III: Análisis de la oferta hídrica en el sur de la provincia de Córdoba.....	49
Siglas utilizadas.....	50
Introducción.....	51
Variabilidad intra e interanual de las precipitaciones.....	52
Variabilidad espacial de las precipitaciones.....	60
Distribución espacial de la oferta hídrica para el período septiembre a marzo	

(Serie 1961-90).....	62
Zonificación de la vulnerabilidad según la oferta hídrica regional.....	65
Capítulo IV: Análisis de la capacidad de almacenaje hídrico del suelo en la región centro-sur de Córdoba.....	68
Siglas utilizadas.....	69
Introducción.....	70
Texturas y clases texturales.....	71
Descripción de las clases texturales presentes en el área de estudio.....	74
Capacidad de almacenaje hídrico del suelo.....	77
Zonificación de la vulnerabilidad según la capacidad de retención hídrica del suelo.....	78
Capítulo V: Análisis del déficit hídrico y zonificación de la vulnerabilidad a la sequía en el sur de Córdoba.....	82
Siglas utilizadas.....	83
Introducción.....	84
Descripción de los sistemas de cultivos predominantes en los departamentos del sur de Córdoba.....	85
Requerimiento de agua del sistema productivo agrícola departamental.....	88
Déficit hídrico medio a nivel regional.....	91
Vulnerabilidad según el déficit hídrico.....	92
Zonificación de la vulnerabilidad agroclimática a la sequía.....	94
Conclusiones.....	99
Bibliografía.....	103
Anexos.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Fig. 1: Ubicación del área de estudio.....	27
Fig. 2: Red de estaciones meteorológicas en el área de estudio.....	29
Fig. 3: Red de estaciones bordes o extra-regionales.....	29
Fig. 4: Evolución de la curva del coeficiente Kc durante los distintos estadios de Un cultivo.....	32
Fig. 5: Capacidad de agua útil en suelos de diferentes clases texturales.....	42
Fig. 6: Escala de valores utilizada por la matriz de comparación.....	46
Fig. 7: Toma de riesgo según el método Fuzzy.....	47
Fig. 8: Variabilidad interanual de la disponibilidad de agua en el período septiembre- Marzo en Marcos Juárez (1961-1990).....	53
Fig. 9: Variabilidad interanual de la disponibilidad de agua en el período septiembre- Marzo en Río Cuarto (1961-1990).....	54
Fig. 10: Variabilidad interanual de la disponibilidad de agua en el período septiembre- Marzo en Pilar (1961-1990).....	55
Fig. 11: Variabilidad interanual de la disponibilidad de agua en el período septiembre- Marzo en Laboulaye (1961-1990).....	56
Fig. 12: Distribución anual de las precipitaciones como promedios mensuales de todas las estaciones consideradas en el estudio (1961-90).....	59
Fig. 13: Comparación de la variabilidad interanual de las precipitaciones del período Septiembre-marzo de las localidades situadas en el sector occidental de la región en estudio (Serie 1961-90).....	60

Fig. 14: Mapa de distribución espacial de las precipitaciones para el bimestre diciembre- enero (Serie 1961-90).....	61
Fig. 15: Mapa de distribución espacial de las precipitaciones para el bimestre noviembre- diciembre (Serie 1961-90).....	61
Fig. 16: Mapa de distribución espacial de las precipitaciones para el trimestre diciembre- febrero (Serie 1961-90).....	62
Fig. 17: Mapa de distribución espacial de la disponibilidad hídrica para el período septiembre-marzo (Serie 1961-90).....	64
Fig. 18: Mapa de precipitación media anual en mm (Serie 1961-90).....	64
Fig. 19: Función lineal de decremento monotónico de la oferta hídrica regional.....	65
Fig. 20: Nivel de vulnerabilidad según la disponibilidad hídrica en el centro- sur de Córdoba.....	67
Fig. 21: Clases texturales del suelo.....	72
Fig. 22: Distribución de clases texturales pertenecientes a la región de estudio.....	76
Fig. 23: Nivel de vulnerabilidad según la capacidad de almacenaje de agua útil en los suelos en el centro-sur de Córdoba.....	81
Fig. 24: Mapa de Requerimiento de agua promedio a nivel departamental en el centro -sur de la provincia de Córdoba.....	91
Fig. 25: Mapa de distribución espacial del déficit hídrico en términos de probabilidad, en el centro-sur de la provincia de Córdoba.....	92
Fig. 26: Función lineal de incremento monotónico del déficit hídrico regional.....	93
Fig. 27: Nivel de vulnerabilidad según el déficit hídrico en la región centro-sur de Córdoba.....	94
Fig. 28: Delimitación de área vulnerables a la sequía en el centro-sur de la provincia	

de Córdoba..... 97

ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS

Contenido	Pág.
Tabla 1: Datos pluviométricos utilizados para la determinación de la oferta hídrica regional.....	36
Tabla 2: Participación en hectáreas sembradas de distintos cultivos en los sistemas Productivos de cada departamento, durante cinco campañas agrícolas (1998/99 a 2002/03).....	37
Tabla 3: Requerimiento de agua del departamento Río Cuarto según los cultivos sembrados en el mismo.....	39
Tabla 4: Requerimiento de agua para el cultivo de soja perteneciente al departamento Río Cuarto.....	40
Tabla 5: Déficit hídrico medio por localidad para el período septiembre-marzo.....	41
Tabla 6: Comparación de las investigaciones realizadas en EEUU sobre la CAD en suelos de distintas clases texturales.....	43
Tabla 7: Capacidad de agua utilizable en los suelos de distintas clases texturales en el área de estudio.....	44
Tabla 8: Precipitaciones medias mensuales de la región (Serie 1961-90).....	59
Tabla 9: Tamaño de partículas para dos sistemas de clasificación.....	71
Tabla 10: Reclasificación de la CAD en nivel de vulnerabilidad.....	79
Tabla 11: Fecha media de siembra por cultivo en cada departamento del área de estudio.....	88
Tabla 12: Ajuste de las longitudes de los estadíos de los distintos cultivos y coeficientes	

de cultivos.....	89
Tabla 13: Requerimiento de agua para cada departamento del centro-sur de Córdoba y de las localidades extra-regionales de acuerdo al sistema productivo predominante.....	90
Tabla 14: Matriz de ponderación de las variables investigadas.....	95
Tabla 15: Resultados de la matriz de ponderación y nivel de consistencia de la misma...	96
Cuadro 1: Modelo cartográfico de las etapas metodológicas desarrolladas.....	48

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Siglas utilizadas en el capítulo I

AMS:	American Meteorological Society
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
BIRF:	Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento
CEPAL:	Comisión Económica para América Latina
CRRH:	Comité Regional de Recursos Hidráulicos
FAO:	Food and Agriculture Organization
ENOS:	El Niño-Oscilación del Sur
GCM:	Global Circulations Models
GEF:	Global Environmental Facility
GEI:	Gases de efecto invernadero
GOES:	Satélite geostacionario- US Geostationary Operational Satellite
IIASA :	Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados
INA:	Instituto Nacional de Aguas
INTA:	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISDR:	International Strategy for Disaster Reduction
NDMC:	National Drought Mitigation Center
NDVI:	Normalized Difference Vegetation Index
OEA:	Organización de los Estados Americanos
OMM:	Organización Meteorológica Mundial
PAN:	Programa de Acción Nacional de Lucha contra la desertificación
PDI:	Palmer Drought Index
PNUD:	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP en inglés)
PNUMA:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP en inglés)
PROSAP:	Proyecto Desarrollo Agrícola Provincial de Argentina
RDS:	Red de Desarrollo Sostenible
SECyT:	Secretaría de Ciencia y Técnica de la Rep. Argentina
SAyDS:	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable

SAGPyA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación

SMN: Servicio Meteorológico Nacional

TAR: Third Assessment Report

TWAS: Third World Academy of Sciences

UNRC: Universidad Nacional de Río Cuarto

USFEMA: United States Federal Emergency Management Agency

USPCC RARM: United State Presidential Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management

El Cambio Climático Global y sus impactos

La ocurrencia y la severidad de las adversidades naturales, así como los daños resultantes, han ido en aumento en los últimos años. La Cruz Roja Internacional señala en relación al tema, haber intervenido en un promedio de 428 desastres entre 1994 y 1998, mientras que entre 1999 y 2003 esta cifra aumentó a 707 desastres. Los eventos más frecuentes en la última década han sido los de origen hidrometeorológico y geofísico, que han ocasionado más del 90% de las víctimas y por lo menos el 85% del total de las pérdidas económicas calculadas (Federación Internacional de La Cruz Roja, 2004). Es así que fenómenos como las sequías, los incendios forestales, las inundaciones, los tornados entre otros, han producido un creciente número de víctimas y daños socio-económicos, comprometiendo el desarrollo de comunidades y afectando sobre todo a las más pobres (CEPAL- PNUMA, 2002).

Todas estas catástrofes parecen tener un punto en común. La mayoría de los científicos especializados en cuestiones climáticas coinciden en asociar estas alteraciones climatológicas con el calentamiento global (RDS, 1998). Éste consenso indica que el clima global se verá alterado significativamente durante este siglo, como resultado del incremento en las concentraciones de los gases llamados de efecto invernadero (GEI), tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos (IPCC, 2001a). Ésta situación puede ser generada por factores naturales y antrópicos. Dentro de los primeros se encuentran los cambios en las emisiones solares o en la actividad volcánica y dentro de los segundos se incluyen, entre otras causas, la quema de grandes masas de vegetación para ampliar la frontera agrícola, el uso masivo de combustibles fósiles como principal fuente de energía y los procesos industriales que generan enormes emisiones de gases nocivos (CRRH, 2003). Los GEI actúan atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre dentro de la atmósfera, situación que deriva en dos efectos principales. En primer lugar en un incremento de la temperatura planetaria entre 1,5°C a 4° C y segundo, en una alteración de los patrones globales de precipitaciones (IPCC, 2000).

El aumento de la temperatura del planeta puede producir importantes cambios en todos los subsistemas naturales que integran el medio natural, con repercusión en las sociedades y en el uso de las tierras. Diversas investigaciones han puesto de manifiesto estas posibles modificaciones, entre ellas la realizada por Durán *et al.* (1997) quienes sintetizan los siguientes aspectos:

- *Un aumento del nivel de los océanos por derretimiento de los hielos polares. Esto afectará a las poblaciones que se ubican en las zonas costeras, por inundación de las mismas.*
- *El derretimiento de los glaciares terrestres, que influirá negativamente en el suministro de agua potable, el riego y la generación de energía hidroeléctrica en localidades situadas en zonas montañosas.*
- *Cambios planetarios en la circulación atmosférica y oceánica, los que pueden provocar variaciones en la distribución actual de los tipos de clima y de los riesgos naturales relacionados con dichos factores. Así por ejemplo, zonas actualmente húmedas pueden convertirse en semiáridas. También se verán alterados los ciclos de sequías e inundaciones y el corredor de los huracanes (situado históricamente en las aguas cálidas del Ecuador) será más amplio, pudiendo afectar regiones que hasta ahora estaban libre de los mismos.*
- *Un aumento en la intensidad y frecuencia de algunos eventos naturales, como sequías, huracanes y tornados. Los modelos de predicción climática muestran que el aumento de la temperatura de los océanos en sólo un grado puede traducirse en huracanes hasta unos 40% más intensos que los actuales.*
- *El incremento de la temperatura podrá provocar también pérdidas de cosechas por la aceleración del ciclo reproductivo de enfermedades y plagas, induciendo a la búsqueda de nuevas variedades de cultivos resistentes a las nuevas condiciones climáticas.*
- *La reestructuración de los ecosistemas permitirá la propagación de algunas especies vegetales y animales sin sus antiguas barreras naturales, como así también la extinción de otras especies que no puedan adaptarse a los cambios acelerados del clima, influyendo en la pérdida de la biodiversidad.*

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2000) concuerda en que los sectores principales en los que el impacto del cambio climático podría ser importante son los ecosistemas naturales (por ejemplo, bosques, tierras de pastoreos o humedales), los recursos hídricos, las zonas costeras, la agricultura y la salud humana. Aunque existe un acuerdo general sobre estas conclusiones, hay una gran incertidumbre con respecto a las magnitudes y a las tasas de estos cambios a escalas regionales.

En América del Sur se ha observado un aumento de la temperatura media del aire, particularmente en latitudes medias y altas y cambios en las cantidades e intensidades de la precipitación en varios países de la región (sur de Brasil, Paraguay y Argentina). Algunas de estas variaciones podrían ser atribuidas a los efectos del cambio climático global y a las continuas emisiones de GEI en la región¹ (IPCC, 2001b). Así por ejemplo, intensas lluvias e inundaciones son fenómenos más frecuentes en los países de la costa del océano Pacífico como Perú, Ecuador y Chile, mientras que los países de la costa del océano Atlántico - Brasil y Uruguay- han experimentado un incremento de la intensidad y frecuencia de eventos climáticos adversos como las sequías.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) desarrolló conjuntamente con el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), una metodología basada en la combinación de principios medioambientales (modelo de zonas agro-ecológicas) y de distintos escenarios climáticos propuestos por el IPCC-TAR, para predecir en el sector agrícola las principales consecuencias del calentamiento global. Los resultados muestran que los efectos que tendrá el cambio climático en la agricultura de América Latina y el Caribe serán muy negativos, principalmente por aumento de la temperatura y por el cambio en los patrones de precipitaciones. Estos elementos repercutirán significativamente sobre la producción de cultivos de secano y en la posibilidad de una mayor frecuencia de ocurrencia de fenómenos

¹ El valor estimado de la contribución de los países de América Latina a las emisiones globales de GEI en 1990 es relativamente baja, con un valor aproximado al 4,28% equivalente en dióxido de carbono. El mayor emisor de GEI es México, seguido por Brasil, Argentina, Venezuela y en menor grado por Colombia y Chile. El análisis de los GEI en estos países ha mostrado que la mayor parte de las emisiones provienen del sector energético en México, Venezuela y Costa Rica y de los continuos cambios en el uso de la tierra en Perú y Bolivia (IPCC, 2000).

extremos como la sequía, que alterarán los rendimientos de las cosechas y la reserva ganadera existente en cada lugar (Fischer *et al.*, 2002).

Los efectos negativos citados que puede producir el calentamiento global sobre el sector agrícola son coincidentes también con las investigaciones expuestas por el IPCC (2000). Estas proyectan, según las simulaciones realizadas por los Modelos de Circulación General (GCM por su sigla en inglés) y los modelos de cultivos, una disminución de los rendimientos de varios cultivos (por ejemplo la cebada, vid, maíz, papa, soja y trigo) en Brasil, Chile, Argentina y Uruguay, aún considerando en estos modelos el efecto directo de la fertilización y la ejecución de medidas de adaptación en el ámbito de la explotación agropecuaria. En el caso específico de Argentina, los resultados de la aplicación de cinco GCM acoplados indican que la región centro-oeste del país, al oeste del meridiano 67° W, podría experimentar un aumento entre 1° y 3°C en la temperatura media y una disminución (10 a 15%) de las precipitaciones durante el verano (IPCC, 1998). Para la región oriental (Pampa Húmeda y Mesopotamia) estiman un incremento (+0,6 a +0,2 mm/día) en las precipitaciones y en la temperatura media (+ 0,5 a +1° C) en los meses de verano y otoño. En la zona oeste de la Pampa Húmeda, hasta el meridiano de 67° W el incremento de las precipitaciones proseguiría mejorando las tierras de cultivos y pastoreo y la expansión de la frontera agropecuaria (Labraga, 1998; Labraga y López, 2000; Rodríguez Loustau, 2002).

Éste proceso de cambio en el clima global también podría perturbar la variabilidad climática natural a la que está expuesta la región, es decir la alternancia entre el “clima normal” y un conjunto recurrente de anomalías climáticas. En América Latina la variabilidad climática está relacionada entre otras causas con la Oscilación del Sur (OS) y el fenómeno de El Niño (EN), llamados conjuntamente ENOS, que generan anomalías en los regímenes pluviométricos. Por ejemplo, durante los años Niño (fase cálida) las precipitaciones en algunas áreas de América del Sur son menores, aumentando la probabilidad de sequía. También puede conducir a mayores precipitaciones y temperaturas del aire, como en los desiertos costeros del Perú y Chile (IPCC, 2000). En la actualidad aún no hay un consenso con respecto a cambios en el ENOS inducidos por el calentamiento global a largo plazo, pero sí existe un acuerdo entre los científicos de utilizar

los efectos del ENOS para definir escenarios reales que podrían ser útiles como analogías para el cambio climático y para el estudio de las respuestas potenciales de los distintos sectores afectados, tanto a nivel local o nacional (Campos *et al.*, 1996).

Uno de los sectores económicos donde los eventos ENOS tienen una fuerte incidencia es sobre la producción agrícola, afectando directamente la rentabilidad económica de las empresas agropecuarias. Investigaciones desarrolladas en el centro-este de la Argentina han demostrado, a través de la utilización de distintos modelos de predicción y simulación, que la fase cálida de ENOS se correlaciona con un leve aumento del rendimiento del maíz, dado la presencia de mayores precipitaciones. Por el contrario cuando ocurre la fase fría (La Niña) del evento, se evidenció un descenso muy marcado del rendimiento del maíz ocasionado por una disminución de precipitaciones y aumento del déficit hídrico (Ferreira *et al.*, 2001). Las principales consecuencias de la ocurrencia de La Niña son una alta probabilidad de una pronunciada disminución de las precipitaciones anuales en la Argentina, principalmente en las regiones del Noroeste, Centro y Cuyo (Minetti *et al.*, 2000) y una disminución del almacenaje hídrico por debajo de lo normal (Spescha y Forte Lay, 2002). Otros estudios realizados en la región pampeana, concuerdan con estas tendencias de los rendimientos durante las dos fases del evento ENOS, principalmente sobre la producción de maíz, soja y sorgo (Magrin *et al.*, 1997, 1998 y Podestá *et al.*, 2002).

El sector agropecuario en Argentina es uno de los pilares fundamentales que impulsa y mantiene la economía del país. Éste se caracteriza mayoritariamente por la producción de secano, por lo que se convierte en un sector altamente dependiente de las condiciones meteorológicas imperantes y del clima en sí mismo. Los escenarios planteados por los distintos GCM asociados a modelos de rendimientos de los cultivos, hacen pensar en un panorama de grandes cambios para la producción de cereales, en función del aumento de las temperaturas provocado por el calentamiento global y de la mayor recurrencia de fenómenos Niños (Magrin, *et al.*, 1997; Ferreira, *et al.*, 2001 y Podestá, *et al.*, 2002). Poner en conocimiento del sector agrario las alteraciones que se están produciendo en el clima es un nuevo desafío para el mundo científico y para el propio productor. Para los científicos significa acordar distintas concepciones que se tienen sobre el cambio climático,

sus consecuencias y sobre todo en la propuesta de nuevas políticas y acciones tendientes a disminuir el efecto de dicho cambio. Para el productor agropecuario significa un desafío reevaluar los riesgos climáticos (frecuencia, intensidad y severidad) a los que se encuentra expuesto en el momento de realizar su actividad, como también las nuevas decisiones sobre tipos de cultivos, variedades y prácticas culturales para disminuir el impacto de las adversidades climáticas (Ravelo y Rotondo, 1987a).

El Cambio Climático y las sequías a escala regional

En la provincia de Córdoba existen efectos manifiestos del cambio climático, como lo es por ejemplo, la propensión a un ciclo más húmedo del clima. Según las investigaciones desarrolladas por Sierra *et al.* (1993/94), el régimen de precipitaciones en la región pampeana ha sufrido un continuo aumento, reflejado principalmente en el corrimiento hacia el oeste de las isohietas de 1000 mm, 750 mm y 500mm. Similares resultados fueron obtenidos por Ravelo *et al.* (2002) quienes demostraron a través de un análisis de tendencias de la serie pluviométrica de Córdoba desde 1931-2000, un incremento de las lluvias de 0,2 a 4 mm por año de acuerdo a las diferentes estaciones climáticas. Seiler y Vinocur (2006) en sus investigaciones en desarrollo sobre la variabilidad climática en el sur de Córdoba, han percibido una modificación en los valores medios de precipitación y temperatura en los últimos sesenta años. En general los valores medios de precipitación y temperatura fueron más elevados para el período 1961/90 comparado con la serie de 1931/60. Esta situación explicaría en gran proporción el avance de la agricultura sobre áreas tradicionalmente ganaderas y el aumento de inundaciones en la Pampa Ondulada, a la vez que en algunas áreas de la Pampa Seca (Sierra *et al.*, 1993/94).

Si bien se observa una clara tendencia hacia un clima más húmedo en la región pampeana, se ha encontrado que en la zona oeste de la misma, la intensidad de las sequías no ha disminuido (Ravelo, 2000). Dentro del patrón de ocurrencia de las mismas se destacan dos episodios de sequías extremas en los años 1988-89 y 1995-96, asociados a la

recurrencia de intensos eventos La Niña. La recurrencia de las sequías se ve empeorada por las propias condiciones de aridez o semiaridez que predominan en más de las dos terceras partes del territorio argentino y por la manifiesta irregularidad de las precipitaciones (variaciones en tiempo y espacio), lo que se constituye en el factor más limitativo para la expansión actual del área agrícola (Pascale y Damario, 1983, 1988).

En Argentina las sequías constituyen uno de los fenómenos más recurrentes y severos, capaces de provocar una gran disminución en los rendimientos de las producciones regionales y nacionales, principalmente en la agricultura de secano. En la última década los impactos de las sequías se han puesto de manifiesto a través de la elevada cantidad de solicitudes de emergencia agropecuaria, como por ejemplo en la región central y sur de la provincia de Córdoba. Según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de La Nación, la superficie declarada en emergencia y/o desastre agropecuario por sequía e inundaciones en la provincia de Córdoba, desde octubre de 2002 hasta mayo de 2003, ascendía a 277 mil hectáreas sobre un total de 4.664.341 hectáreas productivas, afectando a 1830 productores rurales. Los principales departamentos perjudicados fueron Calamuchita, Juárez Celman, Río Cuarto, Roque Sáenz Peña, Tercero Arriba, Marcos Juárez y Río Segundo, entre otros (SAGPyA, 2003).

Distintos artículos publicados en los medios periodísticos argentinos, dan cuenta de las consecuencias negativas ocasionadas por las sequías en el sector agropecuario de la región pampeana, los que implican no sólo pérdidas económicas sino también impactos sociales para el sector:

“...La sequía, con sus temidas secuelas de destrucción y miseria, se expande en la región pampeana. De una localización original en La Pampa y sudoeste de Buenos Aires, en la actualidad se extiende al sudeste y oeste bonaerense y a grandes áreas de las provincias de Córdoba, San Luis y Santa Fe. La siembra de granos gruesos está detenida, lo que también paralizó al mercado de alquileres.” Por Carlos Moreno. No afloja la sequía en la región pampeana. Diario La Nación. Suplemento El Campo. 20/09/2003.

“...La prolongada ausencia de lluvias que hoy exhibe la mayor parte de la geografía agropecuaria del país ha creado una situación insostenible que está causando cuantiosas pérdidas en el presente y cuyas consecuencias seguirán resintiendo la producción aún en las próximas campañas. Hay vastas zonas urgidas de soluciones inmediatas, donde el ganado, literalmente, está muriendo de hambre”. Informe de Federación Agraria. La falta de lluvias produce estragos en vastas regiones del país. 07/10/2003.

“...Las sequías —y los demás desastres naturales— que afectan a la producción agropecuaria no son demolidores únicamente para los productores sino que el país todo se ve perjudicado ya que las pérdidas de cosechas y de haciendas significan menores ingresos para el fisco.” Por Danilo Lima. Paradojas del clima: cuando el clima castiga al campo. Newsletter e-campo. 9/10/2003. <http://www.e-campo.com>.

“...La provincia de Córdoba produjo en la campaña 2003/2004 un total de 14.983.638 toneladas de granos, volumen inferior en un 23.32% al del ciclo precedente. La merma se atribuyó a las adversas condiciones climáticas que predominaron durante buena parte de la primavera y el verano pasados, que atrasaron las siembras y resintieron la evolución de los cultivos...”. Por Newsletter e-campo. Córdoba: menor cosecha. 01/09/2004. <http://www.e-campo.com>.

El impacto socio-económico que produce la ocurrencia y recurrencia del fenómeno de la sequía en la región pampeana, ha sido rescatado como preocupación central por un conjunto de investigaciones abocadas a su estudio. Uno de ellos es el Programa de Acción Nacional de Lucha contra la desertificación en Argentina (PAN) elaborado y ejecutado por la Secretaria de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable de la Nación y financiado por distintos organismos internacionales como FAO, PNUMA, PNUD/UNOS (SAyDS, 1995). El programa está compuesto por numerosos proyectos de alcance nacional y su objetivo principal es luchar contra la desertificación y mitigar los efectos de la sequía. Uno de los proyectos integrantes del programa es el de *Alerta Temprana para la sequía y la mitigación de sus impactos* (<http://www.medioambiente.gov.ar/suelo/programas/pan>), que se encuentra en implementación a partir del año 1998, ejecutado por un grupo de científicos pertenecientes a distintas instituciones (SMN, INTA, INA, gobiernos

provinciales y universidades nacionales). El proyecto cuenta con varios planes pilotos² en los cuales se detectaron y evaluaron las sequías agrícolas históricas ocurridas en la región pampeana, utilizando como indicadores el índice de sequía de Palmer (PDI)³, imágenes satelitales GOES, información de precipitaciones y evapotranspiración potencial mensual de las series 1931-1960 y 1961-1990, conjuntamente con distintas series de rendimientos de cultivos en ensayos experimentales en el área de estudio. Los resultados obtenidos de los planes pilotos concuerdan en que no hay un patrón de distribución espacial de las sequías extremas, pero aparecen ciertas áreas de la región pampeana con eventos regulares de menor magnitud, mientras que otras áreas en el oeste y sudoeste presentan sequías severas en ambos períodos.

Diversas investigaciones han tratado de estimar y medir el impacto de las sequías en la región pampeana utilizando principalmente enfoques agrícolas y climáticos. Para el primer caso se encuentran los estudios desarrollados por Donnari y Scian (1997) y Pascale y Damario (1996), quienes evaluaron la influencia de las sequías sobre los rendimientos de los cultivos de trigo y girasol. En el segundo enfoque se puede citar las investigaciones realizadas por Ravelo y Rotondo (1987a, 1987b) y Lucero y Rodríguez (1991), quienes han analizado series pluviométricas provenientes de estaciones meteorológicas de superficie. Ravelo y Pascale (1997) efectuaron la identificación y evaluación las sequías para varias localidades de Córdoba y Buenos Aires utilizando información de estaciones meteorológicas e imágenes de satélites. También se ha caracterizado a las sequías mediante el uso de índices que miden su intensidad (Scian y Donnari, 1997; Rotondo y Seiler, 1999) y a través de la información satelital (Ravelo, 2000; Seiler *et al.*, 1998, 2000).

La mayoría de estos trabajos de investigación concuerdan en que las zonas áridas y semiáridas más allá de la región pampeana húmeda, se caracterizan por una gran variabilidad en la ocurrencia y cantidad de las precipitaciones y por ende del agua edáfica disponible para los cultivos. También se ha identificado que la variabilidad de las sequías y

² Los planes pilotos son: “Evaluación de sequías extremas en la región pampeana Argentina durante el período 1930-1990.”; “Desarrollo y validación de un sistema de alerta temprana de sequía en la región pampeana semiárida, provincias de La Pampa y San Luis. República Argentina” y “Desarrollo de un sistema para la detección, seguimiento y evaluación de las sequías agrícolas en Argentina”

³ El índice de Palmer permite identificar la ocurrencia de períodos con sequías y con excesos hídricos para una determinada región o lugar.

de los excesos hídricos es mayor en las zonas semiáridas, mientras que en las zonas húmedas presentan períodos secos y húmedos más marcados y definidos.

Conceptualización y definición de sequía

El concepto de sequía es en sí mismo muy amplio y polisémico, por lo cual se plantean diversas formas para comprender, asimilar y darle un significado único. La ausencia de una definición universal y precisa de este fenómeno genera dificultades de interpretación sobre cuándo se produce una sequía, cómo evaluar su severidad y cómo tomar decisiones más acertadas, sean preventivas o mitigatorias, ya sea a nivel político, gubernamental o en el sector privado. No obstante, por la importancia del tema y la dedicación científico-técnica, se han generado al presente una cantidad de análisis útiles de referencia para nuevos avances. Un ejemplo es lo realizado por el Centro Nacional de Mitigación contra la Sequía (NDMC, 2003) perteneciente a la Universidad de Nebraska (EEUU), que ha fijado una serie de parámetros que se deberían contemplar al momento de definir qué es una sequía, según detallan a continuación:

1. La sequía es un fenómeno recurrente y normal del clima, el que no debe considerarse como un evento inusual y azaroso.
2. Se debe partir de una deficiencia de precipitación en un período extendido en el tiempo, usualmente una estación o más y dicha deficiencia debe afectar el almacenamiento o provisión de agua para algunas actividades, grupos o sectores del medio ambiente.
3. La sequía debe ser considerada relativa a una condición de balance promedio entre las precipitaciones y la evapotranspiración en un área particular, denominada como “situación normal” (tiempo y efectividad de las lluvias).
4. La sequía no debe ser sólo considerada como un fenómeno físico o evento natural producto sólo de la variabilidad climática, dado que en muchas ocasiones es consecuencia de la alteración del ciclo hidrológico que produce el hombre a través de

distintas actividades (deforestación, sistemas de irrigación inapropiados o el mal manejo del recurso suelo).

Según Redmond (2002) y Heim (2002), el término sequía tiene distintas acepciones o significados de acuerdo al tipo de público que interpreta el concepto y a su diferente distribución temporal y geográfica. También destacan que las primeras definiciones de sequía se focalizaron principalmente sobre causas meteorológicas o hidrológicas y que la mayoría de los conceptos de sequía involucraban un balance hídrico. Esto implica que la oferta y demanda de agua deben ser consideradas en la definición. Ésta característica de concepto multifacético ya había sido reconocida a principios de la década de 1980 a través de una investigación llevada a cabo por Wilhite y Glantz (1985), quienes analizaron más de 150 definiciones publicadas sobre sequía y denotaron diferencias en términos regionales, de necesidades y de perspectivas disciplinarias. No obstante, dentro de la comunidad científica meteorológica internacional, representada por ejemplo por la Organización Meteorológica Mundial o la Sociedad Americana de Meteorología (OMM, 1992; AMS, 1997), acordaron en definir en términos generales a la sequía como “*una prolongada ausencia o marcada deficiencia de precipitaciones que impacta en los niveles de almacenamiento de agua para algunas actividades o grupos específicos*” o también como “*un período del tiempo anormalmente más seco, con una ausencia de precipitaciones lo suficientemente prolongada para causar serios desbalances hídricos*”. Asimismo la AMS (1997), basándose en las investigaciones de Wilhite y Glantz (1985), agrupó las definiciones y tipos de sequías dentro de cuatro grandes categorías, de acuerdo a su perspectiva disciplinaria y al tipo de variable incorporada en las definiciones (físicas, biológicas y socioeconómicas). Según este trabajo surgen las siguientes definiciones:

- ***Sequía Meteorológica:*** Definida usualmente a partir del grado de sequedad o aridez (en comparación con las precipitaciones normales) y la duración del período de sequedad. Ésta definición está ligada a una región específica y se basa en la comprensión de la climatología regional. Para el caso de la sequía meteorológica en particular es la condición atmosférica resultante de la ausencia o reducción de precipitaciones y que puede desarrollarse rápidamente o finalizar abruptamente en una región o área geográfica determinada.

- **Sequía Agrícola:** Ocurre cuando no hay suficiente humedad en el suelo (en la capa superficial al nivel de las raíces) para cubrir las necesidades de agua de los cultivos durante un tiempo particular o en la estación de crecimiento. Se analizan principalmente los factores como son la escasez de precipitaciones, diferencias entre la evapotranspiración actual y potencial, déficit de agua en el suelo y la reducción de los niveles de los reservorios para evaluar la sequía. A los factores anteriormente nombrados se suman otros como las temperaturas elevadas, baja humedad relativa y vientos desecantes que agravan la situación de sequedad.
- **Sequía Hidrológica:** Se refiere a la deficiencia en el abastecimiento del agua superficial y subterránea. La frecuencia y severidad de una sequía hidrológica son definidas a escala de una vertiente o de una cuenca hídrica. Éste tipo de sequía se produce cuando ha transcurrido un período extendido de déficit de precipitaciones y se traduce en una disminución de los niveles tanto de las aguas superficiales como sub-superficiales
- **Sequía Socio-económica:** Ocurre cuando la escasez de agua comienza a afectar a la gente, individual o colectivamente. Es decir cuando se produce una falla en el abastecimiento y demanda de un determinado bien económico (agua, alimentos relacionados a los cultivos, la pesca, energía hidroeléctrica, etc.), asociados ya sea a una sequía meteorológica, hidrológica y/o agrícola.

Además de esta categorización, distintos trabajos e investigaciones desarrolladas por Wilhite y Glantz (1985), AMS (1997), Heim (2002) y NDMC (2003), realizan aportes amplios en referencia a la clasificación y tipologías de sequías.

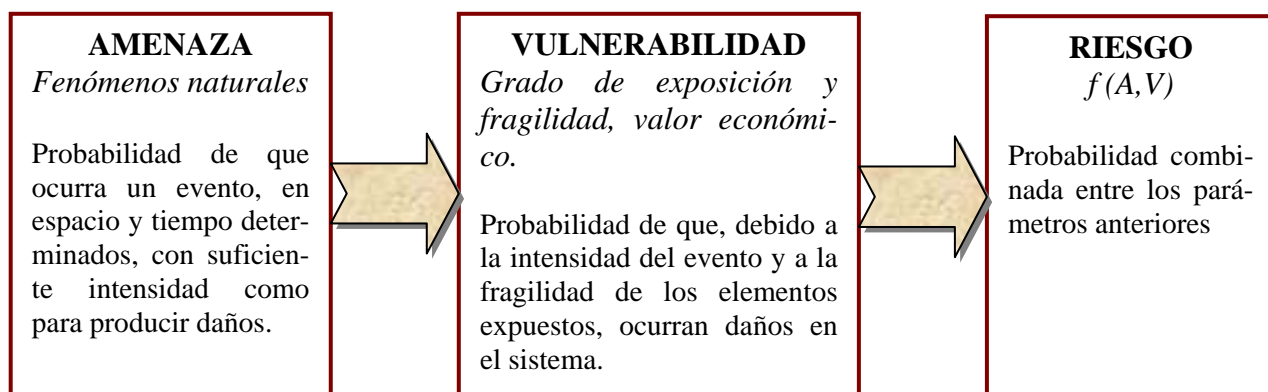
En Ésta investigación la sequía es considerada desde una visión agrícola, cuya severidad es medida en función de la humedad existente en el suelo y la misma varía de acuerdo a los niveles de evapotranspiración, a la intensidad y a la frecuencia de las precipitaciones. Es decir que hay una deficiencia en las precipitaciones que provoca un cambio en el almacenaje de agua del suelo y que causa un serio desbalance hídrico afectando directamente algunas actividades, en particular los rendimientos de los cultivos y

la producción ganadera (Heim, 2002; OMM, 1992). Wilhite y Glantz (1985) valoraron en su investigación la complejidad que rodea a una sequía agrícola en el sentido de estimar su severidad e impacto, conjugando en un sólo hecho la sequía meteorológica y el déficit de humedad del suelo con el impacto que sufre la producción agrícola (disminución del rendimiento de los cultivos) y la producción ganadera. Por lo tanto la ocurrencia de una sequía agrícola depende ampliamente del tiempo, del clima, del uso del suelo (combinación de cultivos practicados), de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y de las prácticas culturales implementadas en los cultivos (Wilhelmi y Wilhite, 2002).

Vulnerabilidad y riesgo de sequía agrícola

La necesidad de disminuir el impacto de las sequías conduce en primera instancia a determinar el riesgo que enfrentan las actividades agropecuarias en relación con este fenómeno. El riesgo climático en agricultura es visto como una posible incertidumbre en los ingresos provocado por la variabilidad climática, que puede significar una reducción de los rendimientos y de la producción (Wilhelmi, *et al.*, 2002).

Históricamente los términos riesgo, amenaza y vulnerabilidad han sido usados indistintamente, aunque cada uno tiene un significado específico. Krinsky y Plough (1988) y Eastman *et al.* (1997), señalan que el riesgo climático es la probabilidad estadística de daño, pérdida o distinta afectación debida a una adversidad climática. “*Es una condición potencial que se materializa cuando se produce un evento físico dañino y es a partir de entonces cuando se habla de desastre, en función del grado de impacto de un evento particular. Riesgo es, en consecuencia una condición sine qua non, por la futura existencia de daños y pérdidas y por tanto, de posibles desastres o catástrofes*” (Sanahuja Rodríguez, 1999. p.1). Jones y Boer (2004) consideran que el riesgo puede ser entendido según dos aproximaciones teóricas-metodológicas. Por un lado desde la visión basada en la amenaza natural y por otro desde la vulnerabilidad.



Desde la aproximación teórica-metodológica basada en la vulnerabilidad, el riesgo es definido como la probabilidad de exceder uno o más criterios de vulnerabilidad, estableciendo umbrales o límites críticos a partir de los cuales se determina la mayor o menor vulnerabilidad, considerando aspectos bio-físicos del lugar, socio-económicos y capacidades de adaptación de la sociedad afectada por un evento adverso (Jones y Boer, 2004). En este sentido la vulnerabilidad asume un carácter dinámico, ya que se refiere principalmente a la capacidad de la población de absorber, responder y recuperarse de un evento peligroso, entre otros criterios considerados (Sanahuja Rodríguez, 1999, p. 14).

Estos autores consideran que ambos enfoques son complementarios en cualquier investigación sobre el impacto en la sociedad de un evento natural adverso y pueden ser desarrollados por separados o en conjunto, es decir que se considera no sólo el fenómeno en sí mismo, sino también las características socio-económicas de la sociedad afectada por dicho evento. Considerando ambas perspectivas y coincidiendo con las reflexiones finales de Brooks (2003. p. 13), se podría decir que el riesgo posee tres elementos fundamentales para su estudio integral, los cuales son la amenaza de ocurrencia de un evento climático, la vulnerabilidad física-biológica del espacio o sistema donde ocurre dicho fenómeno y la vulnerabilidad socio-económica de la sociedad expuesta, que incluye su capacidad de adaptación y las adaptaciones ya implementadas.

Aún existen dentro de los estudios dedicados a la vulnerabilidad una diferencia subyacente en términos de connotación y medición de la vulnerabilidad. Mientras que para

muchos el eje del debate de la vulnerabilidad gira sobre el riesgo y sobre qué predispone a la gente o lugares al riesgo, otros han puesto su mirada en temas como la resiliencia o capacidad adaptativa para disminuir los niveles de vulnerabilidad (Anderson and Woodrow, 1989, 1993; Watts and Bohle, 1993; Blaikie *et al.*, 1994; Kasperson *et al.*, 1995). Estas diferentes connotaciones del término vulnerabilidad surgen de los distintos enfoques epistemológicos y las subsecuentes prácticas metodológicas que se utilizan para su estudio. Pero aún así, la mayoría de las definiciones coinciden en referirse a la **vulnerabilidad** como *el grado de susceptibilidad de un espacio geográfico o sociedad a una determinada amenaza, donde el nivel de vulnerabilidad depende del grado de exposición a la misma y de la capacidad de sobrellevar los efectos una vez ocurrida la adversidad* (Wilhelmi y Wilhite, 2002).

En esta investigación se adopta la perspectiva del riesgo según la aproximación teórica-metodológica basada en la amenaza natural (riesgo= amenaza x vulnerabilidad). El término vulnerabilidad va a ser desarrollado desde una perspectiva agroclimática, haciendo hincapié en la exposición de elementos bio-físicos, como lo son tipos de cultivos característicos de la región en estudio, demanda de agua requerida por dichos cultivos, la capacidad de los suelos de almacenar agua, a una amenaza climática como lo es la falta de precipitaciones (sequía), transformándose así en un hecho dinámico por la complejidad de las relaciones que se establecen entre dichos componentes (Wilhelmi, *et al* 2002). De esta forma, el riesgo de sequía agrícola será el producto de la exposición a la adversidad climática y de la vulnerabilidad propia de los sistemas de producción ante condiciones de déficit hídrico (Wilhite, 2000).

Así se establece y genera una íntima relación entre el riesgo y la vulnerabilidad, pudiendo enfocar los estudios tanto desde de uno como de otro concepto. Por ejemplo las comunidades o sistemas considerados como más vulnerables, probablemente serán los que se encuentran expuestos a mayor riesgo de sufrir algún impacto. Aunque distintos sistemas puedan enfrentar el mismo evento adverso, no tendrán el mismo nivel de vulnerabilidad, debido principalmente a una compleja interacción entre los factores exógenos (amenazas y eventos externos) y las características físico-biológicas y socio-económicas propias de la comunidad o sistema expuesto a un evento extremo.

A pesar de la existencia de distintos enfoques teóricos-metodológicos para abordar el estudio de la vulnerabilidad, es posible predecir o medir el grado de vulnerabilidad. El International Strategy for Disaster Reduction (ISDR, 2002) considera al respecto que la evaluación del riesgo basado en la vulnerabilidad y en el análisis de las amenazas es un paso requerido para la adopción de políticas y/o estrategias adecuadas y satisfactorias de reducción de desastres. Algunos de los indicadores para medir la vulnerabilidad pueden ser el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), los precios de los productos agrícolas o a través de encuestas a los productores para evaluar la capacidad de respuesta ante un riesgo determinado. Otra forma de evaluar la vulnerabilidad ha sido a través de la evaluación de la seguridad alimentaria de una región, mapeando la disponibilidad de alimentos como en el caso de Mozambique (Diriba, 1997). En los últimos años, las investigaciones sobre vulnerabilidad y riesgo han enfatizado la elaboración de mapas de vulnerabilidad, en el cual se combinan una serie de indicadores y factores causales para identificar áreas o regiones en mayor o en menor riesgo. Ejemplo de ello es la elaboración de mapas de tierras en peligro de inundación y de riesgos múltiples para los Estados Unidos desarrollado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias en EEUU (USFEMA, 2004), a partir de los cuales se plantean distintas estrategias de manejo de riesgo (seguros contra inundaciones, subvenciones, programa de prevención, entre otros). Un antecedente de realización de mapas de riesgos múltiples es el desarrollado por la Organización de los Estados Americanos (OEA, 1993), quienes analizaron y mapearon diversas amenazas para América Latina y El Caribe, evaluando infraestructura de producción económica e instalaciones críticas, la población y la diferencia entre sectores económicos.

Con el mismo propósito surgen numerosos intentos en el ámbito científico-técnico de mapear y dimensionar el riesgo por países, regiones, zonas y localidades, como por ejemplo los estudios de riesgos desarrollados por LA RED en Centroamérica, que incluyen países como El Salvador, Nicaragua, Guatemala y México entre otros (La Red, 2003). También nace la inquietud por construir índices o indicadores de vulnerabilidad y riesgo que pueden complementar los esfuerzos para medir la magnitud, intensidad y recurrencia de amenazas (Sanahuja Rodríguez, 1999). En este sentido las herramientas de la Geografía, principalmente los sistemas de información geográfica, se han convertido en

indispensables para el análisis y evaluación de los riesgos. A nivel país se encuentran las investigaciones realizadas por Basualdo y Heiitzenknecht (2000) como antecedente para realizar una zonificación del riesgo agro-climático en el sector agropecuario, financiado por PNUD- PROSAP-BIRF, cuya metodología se basa en el cálculo de probabilidades de ocurrencia de déficit y excesos hídricos, inundaciones, heladas y temperaturas extremas para cada uno de los meses del año y en la ponderación del impacto de estas variables meteorológicas sobre los rendimientos de trigo, maíz, soja y girasol.

En general, se puede decir que el objetivo primordial que sustenta a la mayoría de los estudios y evaluaciones de vulnerabilidad, es comprender el grado de los riesgos que amenazan a las comunidades y/o sistemas, de dónde provienen las amenazas, a qué y a quiénes afectarán principalmente, de qué se dispone para reducirlas y qué se debe hacer para ser más resiliente. Entendido de esta manera, se trata de un instrumento de diagnóstico útil para establecer mejores programas de prevención, atenuar riesgos y en especial para la elaboración de programas que apunten a un desarrollo sustentable de las actividades humanas.

OBJETIVOS Y PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

Ante el escenario de efectos manifiestos debidos al cambio climático y a la variabilidad climática en la región pampeana y en particular por ser parte de este estudio la zona sur de la provincia de Córdoba como área más marginal respecto de aquella, resulta de utilidad el desarrollo de una metodología con un enfoque agroclimático, para identificar los sectores más expuestos a las consecuencias directas de las sequías, principalmente en las áreas recientemente incorporadas a la agricultura o en donde se han introducido nuevos cultivos con mayores requerimientos hídricos. El presente trabajo de investigación aborda los siguientes objetivos:

Objetivo General:

Caracterizar la vulnerabilidad agroclimática a la sequía en la Región Sur de la provincia de Córdoba, desde la perspectiva del riesgo.

Esta caracterización debe permitir elaborar una zonificación de la vulnerabilidad a la sequía, proporcionando una herramienta útil para mitigar los efectos negativos ocasionados por dicho fenómeno, ya sea a escala local o regional. Además, esta propuesta intenta ser un aporte parcial de valor a un proyecto de investigación que se desarrolló en la UNRC, denominado “*Evaluación Integrada de la vulnerabilidad social y la adaptación al cambio y la variabilidad climática en los productores agropecuarios en México y Argentina*” (UNEP-GEF-TWAS, LA 29, 2002), y proyectos subsiguientes cuya área de estudio comprende la Región Sur de la provincia de Córdoba.

El análisis de las sequías puede ser realizado mediante el uso de índices climáticos o biofísicos que consideren las variaciones espaciales y temporales de las precipitaciones, la humedad edáfica, los excesos y deficiencias hídricas y el estado de la vegetación. En el caso especial de esta investigación, el riesgo de las sequías será evaluado desde una perspectiva biofísica-agronómica.

Objetivos específicos:

Los objetivos específicos que se plantean para cumplir con la propuesta general son los siguientes:

- a) Determinar el comportamiento de las variables biológicas, físicas y climáticas de la región en estudio.
- b) Establecer una zonificación de las áreas afectadas por las sequías y la correspondiente vulnerabilidad asociada a dicho fenómeno.

CAPITULO II
MATERIALES Y MÉTODOS VINCULADOS A LA
INVESTIGACIÓN

Siglas utilizadas en el capítulo II

- CAD: Capacidad de agua disponible
- CC: Capacidad de campo
- CLP: Combinación lineal ponderada
- CREAN: Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales
- CWR: Crop Water Requirement (requerimiento de agua de los cultivos)
- EEA: Estaciones experimentales agropecuaria
- EMC: Evaluación de múltiples criterios
- ETP: Evapotranspiración potencial
- ETo: Evapotranspiración de referencia
- FAO: Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
(sigla en inglés)
- INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- Kc: Coeficiente de cultivo
- PBI: Producto Bruto Interno
- PMP: Punto de marchitez permanente
- RET: Red Nacional de Evaluación de cultivares de Trigo
- SMN: Servicio Meteorológico Nacional
- UNRC: Universidad Nacional de Río Cuarto
- ZEH: Zonas Ecológicas Homogéneas

El área de estudio

El área de estudio de esta investigación comprendió la mitad sur de la provincia de Córdoba, ubicada entre los 31° 42' - 35° 10' de lat. S y entre los 65° 15' - 61° 45' de long. W, abarcando los departamentos de Calamuchita, Tercero Arriba, Gral. San Martín, Unión, Marcos Juárez, Río Segundo, Río Cuarto, Juárez Celman, Pte. Roque Sáenz Peña, Gral. Roca y San Javier (Figura 1). La disponibilidad de información meteorológica y la pertenencia a distintas Zonas Ecológicas Homogéneas (ZEH)⁴, definidas por criterios edafo-climáticos (INTA *et al.*, 1994), guiaron el proceso de selección de los departamentos a incluir en el estudio.

La superficie en estudio incluye 8.116.598 ha del total de 16.500.000 ha que posee la provincia y en ella se reconocen diferentes características fisiográficas que originan una configuración espacial propia. Según las investigaciones dirigidas por Vazquez *et al.* (1979), Chiozza y Figueira (1981) y Gorgas y Tassile (2003) se puede diferenciar a grandes rasgos en el sur de Córdoba la formación de las Sierras Grandes y Chicas, pertenecientes al sistema de las Sierras Pampeanas en el sector oeste y la llanura oriental, de pendiente muy suave que declina desde los 500 m de altura al pie de la sierra hasta los 100 m, en el límite con la provincia de Santa Fe. La aparente horizontalidad que posee la llanura cordobesa es alterada por algunos relieves entre los que se distinguen:

- La depresión del arroyo Tortugas-San Antonio: se halla localizado en el sector norte del departamento Marcos Juárez; es un umbral que separa la cuenca de la laguna de Mar Chiquita al norte de la depresión meridional hacia la que escurre el río Quinto.
- Una zona ondulada (Pampa ondulada) ubicada en el centro-este de los departamentos Marcos Juárez y Unión que posee pendientes entre 0,5 y 3%, con un drenaje natural libre y suelos bien desarrollados, plenamente incorporados a la actividad agrícola.

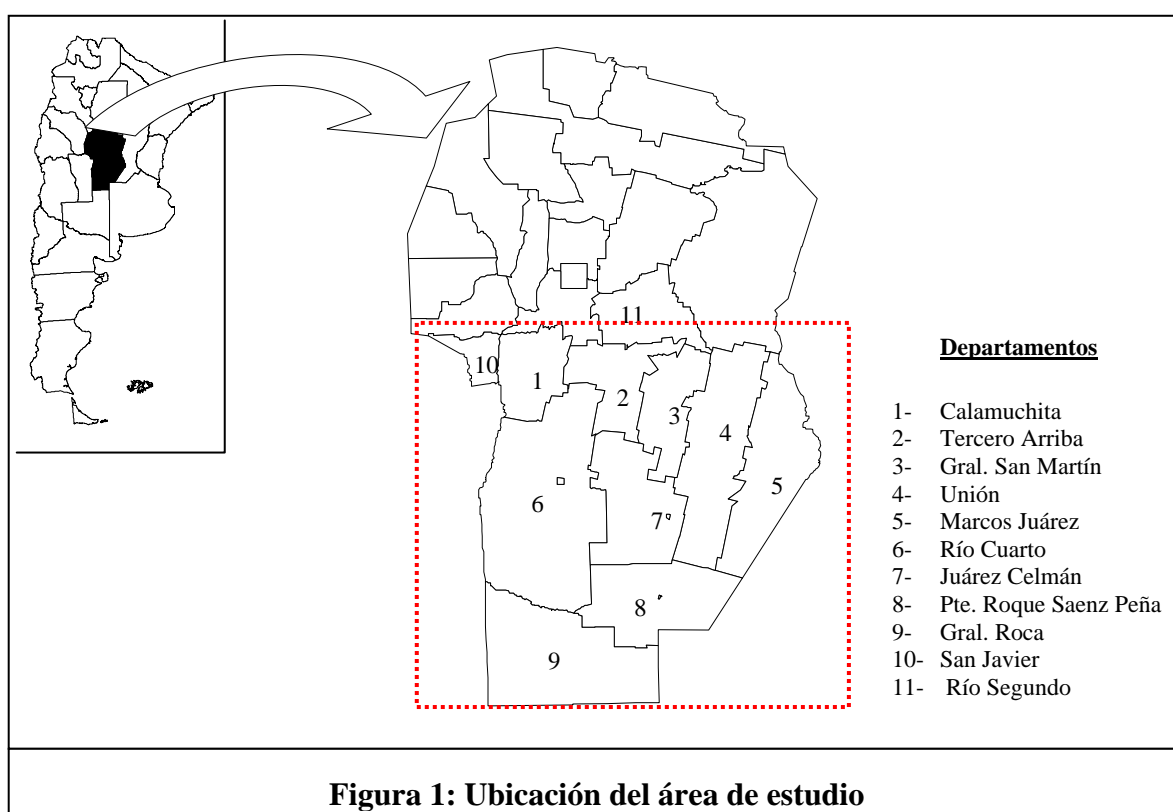
⁴ Las Zonas Ecológicas Homogéneas incluidas en esta área son las siguientes: ZEH 2 (sector serrano del Oeste), ZEH 7 (sector semiárido central), ZEH 8 (sector semiárida y subhúmeda central), ZEH 9 (sector húmedo del este), ZEH 10 (sector semiárido del centro-oeste), ZEH 11 (sector semiárido subhúmedo del sureste), ZEH 12 (sector semiárido del sur).

- Una zona plana a deprimida ubicada en el centro-sureste de la región (Pampa loésica plana, Pampa arenosa y Pampa arenosa anegable) que coincide con el sector de máximo hundimiento de la fosa pampeana causante de una red hidrográfica indefinida con presencia de lagunas y cañadas, fuertemente susceptible a procesos de inundación.
- Una zona alta en el borde occidental de la región, con predominio de depósitos superficiales de loess sobre el que evolucionaron suelos profundos, ricos en materia orgánica y de gran fertilidad (Pampa loésica alta). En el sector suroeste, el predominio de grandes mantos de materiales arenosos, a veces en forma de médanos, determina la presencia de suelos más frágiles, fácilmente erosionables por el viento cuando son sometidos a un mal manejo (Pampa medanosa).

El sector agropecuario ocupa el 83% de la superficie provincial y el 56,4% de las actividades agropecuarias se concentran en la región sur de Córdoba, destacándose la producción de cultivos de alto valor como son la soja, maíz, trigo y maní, lo que demuestra la relevancia económica que posee el área en estudio a escala provincial (CPCE, 2000). De acuerdo a los datos proporcionados por el INTA-Centro Regional Córdoba (2002), la provincia de Córdoba aporta el 14% del PBI agropecuario del país y posee el 14% del stock ganadero nacional, el 17% de la producción de cereales y el 25% de las oleaginosas. Además, se destaca como la primera productora de maní y sorgo a nivel nacional, seguida por la producción de soja y maíz (2do. lugar) y finalmente interviene en el tercer puesto con el trigo y girasol, de lo que se deduce su importancia en términos de aportes a la producción agropecuaria nacional.

La gran aptitud agrícola y ganadera que manifiesta la región es producto de la combinación de las condiciones fisiográficas mencionadas anteriormente y de las condiciones climáticas que prevalecen en la misma. De acuerdo a su ubicación latitudinal la región se halla en la faja de clima templado, con una amplitud térmica anual no superior a los 16 °C y un régimen monzónico de las precipitaciones, concentradas desde mediados de primavera hasta el inicio del otoño. Alguna variabilidad en la distribución y el total anual de las precipitaciones, considerando la serie 1961-1990, permite distinguir un gradiente de Este a Oeste desde más de 900 mm en la porción oriental del territorio

(templado subhúmedo) a menos de 600 mm en el sector occidental, en los límites con San Luis y La Rioja (templado semiárido) (Ravelo, 2003). Hay que destacar la influencia de las sierras cordobesas en la distribución de las lluvias, las que generan un descenso de la temperatura y un aumento de las precipitaciones que benefician los faldeos orientales de las mismas (Chiozza y Figueira, 1981). Los fenómenos climáticos adversos que afectan a las principales subregiones agrícolas de la provincia son las heladas y las sequías agrícolas (Gorgas y Tassile, 2003), mientras que en el área de estudio son más frecuentes la ocurrencias de sequías, granizo e inundaciones (Rivarola *et al.*, 2003; Vinocur *et al.*, 2004). Estas adversidades manifiestan sus efectos negativos a través de la reducción de la productividad de los cultivos, de la degradación de las condiciones ambientales (deterioro del suelo por inundación) y la generación de condiciones favorables para los incendios en zonas rurales, entre otros.



La identificación de áreas vulnerables a la sequía en la región se realizó mediante tres variables bio-físicas fundamentales para la producción agrícola, como lo son: la oferta

hídrica regional producida por las precipitaciones acumuladas en el período de septiembre a marzo; el déficit hídrico regional según la demanda de agua de los diferentes cultivos practicados en la región y la capacidad de almacenaje de agua del suelo.

Para el cálculo de las dos primeras variables se utilizaron datos de 18 localidades dentro del área de estudio, de las cuales se disponen de datos de precipitaciones mensuales de la serie 1961-1990. Las localidades seleccionadas fueron Alejo Ledesma, Buchardo, Carnerillo, Coronel Moldes, Hernando, Huinca Renanco, Isla Verde, Italó, Laboulaye, Las Acequias, Las Vertientes, Marcos Juárez, Pilar, Reducción, Río Cuarto, Río Tercero, Sampacho y Uacha (Figura 2). Aunque Carnerillo (1978/90) e Isla Verde (1966/90), poseen una serie menor de 30 años, fueron incluidas en el análisis para mejorar la cobertura espacial de las variables calculadas. Además, se seleccionaron 17 localidades bordes o extra-regionales, siguiendo el mismo criterio de elección anterior (disponibilidad de una serie pluviométrica de 30 años y cobertura espacial homogénea), con el propósito de lograr una continuidad espacial de las variables, especialmente para el trazado de isolíneas. Estos sitios fueron Villa Mercedes, Villa Reynolds, San Luis, Villa Dolores, Chepes, Chamental, Santiago del Estero, Córdoba, Villa de María del Río Seco, Ceres, Rafaela, Rufino, Pergamino, Junín, Nueve de Julio, Trenque Lauquen y General Pico (Figura 3). La mayoría de los datos de las estaciones meteorológicas extraregionales corresponde a las series climatológicas 1961-70, 1971-80 y 1981-90, pertenecientes a las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional; en el caso específico de Santiago del Estero se recurrió a los datos provistos por el Ing. Agr. Msc. Pedro Boletta, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. En el área de estudio algunos datos meteorológicos provienen de estaciones del SMN (Pilar, Río Cuarto, Laboulaye), del INTA (Marcos Juárez) y de la red cooperativa del Servicio de Agrometeorología de la UNRC. La base de datos fue estructurada y procesada a través de un software estadístico denominado Statistix versión 8 For Windows (Analytical Software, 2003).

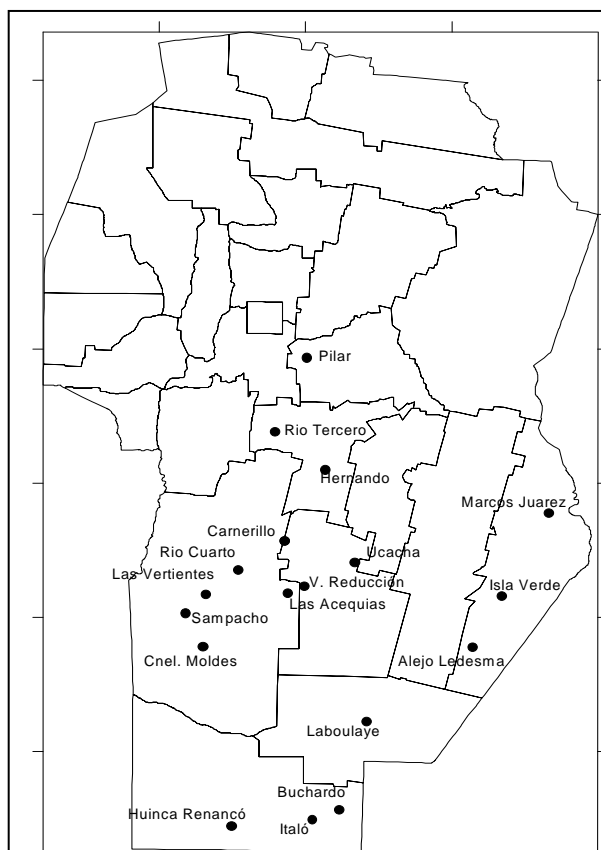


Figura 2: Red de estaciones meteorológicas en el área de estudio

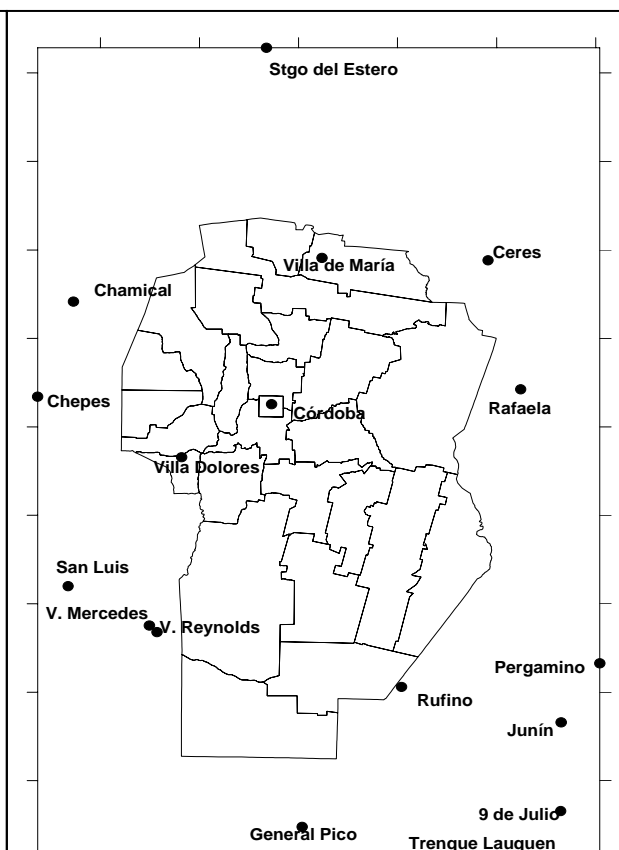


Figura 3: Red de estaciones meteorológicas bordes o extra-regionales.

Determinación de la oferta hídrica regional

Con los datos de las precipitaciones mensuales de cada estación se procedió a la obtención de valores promedio acumulados del período septiembre a marzo de la serie 1961-1990 (Tabla 1). La base de datos se construyó para cada localidad a partir de datos pluviométricos mensuales de la serie 1961-1990. De cada estación se acumularon los valores pluviométricos desde septiembre de un año a marzo del año siguiente (por ej. septiembre de 1961 a marzo de 1962) de todos los años de la serie. Además luego se promediaron los meses acumulados, obteniendo de esta manera un valor medio del período en cada localidad. También se calcularon acumulaciones medias bimensuales y trimestrales dentro del período septiembre-marzo, con el objetivo de apreciar posibles

concentraciones en la oferta de agua. La distribución espacial de las precipitaciones de septiembre a marzo dentro de la región considerada se analizó mediante la aplicación del programa Surfer 32 versión 6 (Golden Software Inc. 1995). La interpolación utilizada en este caso fue el de las medias móviles ponderadas por la distancia al cuadrado (Inverse distance to a power 2). Éste interpolador se basa en el principio de autocorrelación espacial, asumiendo que los puntos más próximos al punto muestral son iguales o más parecidos que los puntos más lejanos (Bosque Sendra, 1997; Keckler, 1997; Eastman, 2003).

Determinación del déficit hídrico regional

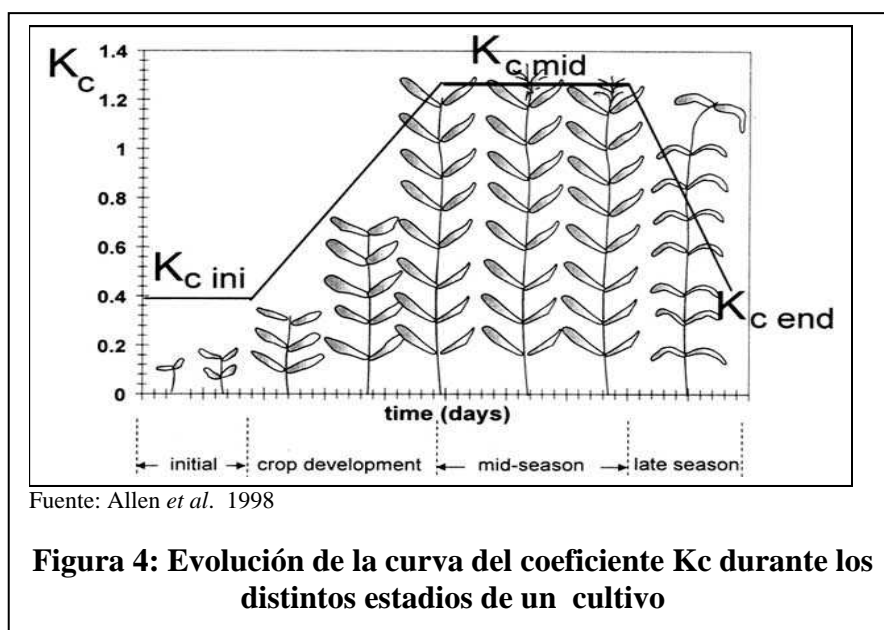
Los requerimientos de agua varían entre especies y entre cultivares, a lo largo de la estación de crecimiento y entre ambientes. Su conocimiento es útil para decidir las prácticas de manejo que permitan una mayor coincidencia entre la oferta natural de agua y la demanda del cultivo (Della Maggiora *et al.*, 2002). El déficit hídrico regional se obtuvo a partir del cálculo del requerimiento de agua de los distintos cultivos, representado por la evapotranspiración potencial de los cultivos durante el ciclo, para cada departamento comprendido en el área de estudio. Para el cálculo del requerimiento de agua se utilizó el programa CROPWAT 4.0 (FAO, 1992), que permite la estimación del requerimiento hídrico regional en función de los cultivos existentes o combinación de ellos, la evapotranspiración potencial y el coeficiente K_c de los cultivos.

La selección de los cultivos se realizó teniendo en cuenta los de mayor superficie sembrada en cada uno de los 11 departamentos que incluye el área de estudio y que a su vez abarcan la mayor superficie cultivada como promedio de cinco campañas agrícolas recientes (1998/99 a 2002/03) (Tabla 2). El mismo criterio se utilizó para seleccionar los cultivos en el área incluida como extra-regional. En este caso los cultivos seleccionados fueron maíz, sorgo granífero, trigo, soja, maní y girasol. Los datos de la superficie ocupada por cada cultivo por departamentos fueron obtenidos de las bases de estimaciones de producción agrícola existentes en la Secretaría de Agricultura y Ganadería y Alimentación de la Provincia de Córdoba (2004) de los cultivos departamentales y de la

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación (2004) de los cultivos en las provincias limítrofes al área de estudio.

La evapotranspiración potencial (ETP), también conocida como evapotranspiración de referencia (ET_o), fue obtenida por medio del método de FAO-Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). El método de Penman, requiere datos de radiación solar, temperatura del aire, humedad del aire y velocidad del viento, variables meteorológicas que determinan la demanda evaporativa atmosférica y afectan la cantidad de agua que el cultivo puede absorber para diferentes condiciones de humedad edáfica, estado de crecimiento y cobertura vegetal (Gardner *et al.*, 1985). Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizaron datos climáticos de cuatro estaciones meteorológicas (Río Cuarto, Laboulaye, Marcos Juárez y Pilar) representativas del área de estudio y que a su vez contaban con todas las variables meteorológicas requeridas. A cada departamento dentro del área de estudio se le asignaron los datos climáticos de las estaciones localizadas en el mismo. Las estaciones meteorológicas extra-regionales se conservaron para este análisis. Los datos climáticos utilizados para estimar el requerimiento hídrico regional son valores mensuales promedios de la serie 1961-1990 (SMN 1981; 1986 y 1992).

El coeficiente de cultivo (K_c) asume valores en función del estado de desarrollo del cultivo y de la cobertura foliar desarrollada por el mismo en cada etapa fenológica (Andriani, 1997). Por lo tanto, habrá varios valores de K_c para un mismo cultivo durante su ciclo evolutivo (Figura 4).



Los valores de Kc para cada cultivo se calcularon a través de la fórmula empírica propuesta por el programa CropWat⁵, realizando ajustes según las fechas de siembra y las longitudes de los estadios de los distintos cultivos. Estos ajustes se lograron siguiendo las investigaciones desarrolladas por especialistas en cada cultivo. En soja se emplearon los estudios desarrollados por Giorda *et al.* (1997) quienes identificaron distintos niveles de estrés hídrico en las diferentes etapas fenológicas del cultivo (emergencia a floración; floración a comienzo de llenado de semilla y comienzo a fin de llenado de semilla), conjuntamente con los ensayos conducidos por Baigorri y Croatto (2000) en la EEA INTA Marcos Juárez entre las campañas 1994/95 y 1998/99, caracterizando el desarrollo y crecimiento de cultivares de soja de grupos de maduración III al VII en fechas de siembra de Julio a Febrero. En maní se utilizaron los estudios llevados a cabo por Pedellini *et al.* (1998) con cultivares Runner y Valencia, identificando fecha de siembra y duración de las distintas etapas vegetativas y reproductivas del maní en la región centro-sur de Córdoba. En girasol se siguió la investigación de Uhart (2001) sobre los efectos de la fecha de siembra en el rendimiento, tomando cultivares de ciclos intermedios a intermedios-largo con fecha de siembra desde principios de diciembre hasta mediados de enero para la provincia de Córdoba. Para determinar duración de ciclo y fecha de siembra en trigo se emplearon las observaciones realizadas por Bainotti *et al.* (2004) en los ensayos de

⁵ El Cropwat utiliza el *crop Kc* que es el valor promedio del coeficiente de cultivo para un período de tiempo determinado. Se calcula a través de una interpolación lineal entre el valor de Kc para cada estadio del cultivo multiplicado por el área cubierta por dicho cultivo.

evaluación de cultivares de trigo pertenecientes a la RET (Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Trigo) en el campo experimental de la EEA INTA Marcos Juárez durante el año 2003 y por Centeno y Aponte (2004), quienes evaluaron entre 18 a 22 variedades de trigo de diferentes ciclos durante tres campañas agrícolas (2000, 2002 y 2003) en el departamento San Justo. En el caso del maíz se contó con el aporte de las investigaciones de Vallone *et al.* (2002) y de Arce *et al.* (2003) realizadas en la EEA INTA Marcos Juárez, sobre la influencia de la fecha de siembra en la duración de las etapas fenológicas con ensayos de maíz común y maíz transgénico Bt. En ambos casos se utilizaron ensayos de larga duración de maíz en una misma fecha de siembra pero con distintas alternativas de rotación de cultivos durante el ciclo 2002/03. En forrajes (avena, centeno y alfalfa) se utilizó el trabajo realizado por Amigone (2003) sobre la elección de cultivares, implantación y aprovechamiento de los mismos realizando distintos ensayos en la EEA INTA Marcos Juárez. Otra corroboración se realizó a través del catálogo de semillas Nidera (2004) con respecto a fechas de siembra y longitud de ciclo de los distintos cultivos en la provincia de Córdoba. Además se consideraron las comunicaciones personales de investigadores de las cátedras de Cereales, Oleaginosas y Fitopatología de la Fac. de Agronomía y Veterinaria de la UNRC⁶, y de Estaciones Experimentales del INTA (Río Cuarto, Manfredi, Marcos Juárez y Laboulaye)⁷.

A partir de la información sobre los cultivos, la evapotranspiración potencial y los coeficientes Kc, se procedió a la aplicación del programa CROPWAT, para calcular el requerimiento de agua durante el período septiembre a marzo de cada cultivo y de la combinación de cultivos desarrollada en cada departamento involucrado en el área de estudio y de las localidades extra-regionales. El programa calcula el requerimiento de agua departamental (CWR por su sigla en inglés) utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{CWR} = \text{Eto} * \text{Crop Kc}$$

⁶ Cátedra de Cereales: Ing. Agr. C. Castillo; Cátedra de Oleaginosas: Ing. Agr. O. Giayetto y G. Cerioni; Cátedra de Fitopatología: Ing. Agr. A. Marinelli.

⁷ Ing. Agr. Pedro Vallone (INTA Marcos Juárez); Ing. Agr. Jorge Baldesarri e Ing. Agr. Federico Piatti (INTA Manfredi); Ing. Agr. Marcelo Domínguez (INTA Laboulaye); Ing. Agr. José Marcelino (INTA Río Cuarto).

Donde E_{to} es la evapotranspiración de referencia de los cultivos medida en milímetros para un determinado período (10 días). Esta se calcula según los parámetros climáticos de la estación meteorológica considerada. El $Crop K_c$ es el valor promedio del coeficiente de cultivo para cada estadio fenológico, multiplicado por el área sembrada ó cubierta por dicho cultivo. De esta forma, un cultivo que sólo ocupa una superficie del 50% del total departamental tendrá la mitad del valor del K_c original para dicho cultivo. El CWR final puede ser calculado para todo el conjunto de cultivos sembrados por departamento ó en su defecto puede ser estimado para cada cultivo en particular (Tabla 3 y 4). En este caso se utilizó la primera opción, obteniendo el requerimiento de agua para cada departamento.

El valor CWR obtenido para cada departamento fue comparado con su correspondiente oferta hídrica del período septiembre a marzo en las estaciones meteorológicas ubicadas en cada uno de los departamentos (Tabla 5). Para ello se utilizó la curva de distribución empírica de frecuencia acumulada de los valores de las precipitaciones en el período considerado. A partir de esa distribución se calculó el porcentaje o probabilidad de que la demanda de agua se encuentre por debajo de la oferta generada por las precipitaciones como parámetro indicador del déficit hídrico. Para el cómputo de las distribuciones de frecuencias se utilizó el programa estadístico Statistix versión 8 For Windows (Analytical Software, 2003). En el caso específico de las localidades extra-regionales, al poseer solamente promedios por década de las precipitaciones de la serie 1961-90, se debió utilizar la tabla de distribución normal (tabla de valores Z) para averiguar la probabilidad de déficit, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\delta}$$

Donde X es la demanda de agua requerida por los cultivos para una localidad x ; \bar{X} es el promedio de precipitaciones para el período septiembre a marzo para la localidad x y δ es la desviación estándar regional, obtenida al promediar todos los desvíos estándares de

las precipitaciones con respecto a la normal de las distintas series pluviométricas pertenecientes a las localidades dentro de la región de estudio. Finalmente **Z** es la probabilidad de ocurrencia de casos por debajo del nivel hídrico requerido por los cultivos para las localidades extra-regionales.

La distribución espacial del déficit hídrico regional durante el período septiembre a marzo caracterizado por la forma descrita anteriormente, fue determinada a través de una interpolación de medias móviles ponderadas por la distancia al cuadrado de los datos anteriores, utilizando el programa Surfer 32 versión 6 (Golden Software Inc., 1995). Los mapas de la distribución de la oferta y del déficit hídrico generados a través del módulo interpolación del Surfer 32, fueron almacenados en formato ASCII para su posterior tratamiento y transformación a capas vectoriales en el sistema de información geográfica IDRISI versión Kilimanjaro (Clark Labs-Clark University, 2003).

Tabla 1: Datos pluviométricos utilizados para la determinación de la oferta hídrica regional

PERÍODO	LOCALIDAD	SEP MAR	SEP OCT	OCT NOV	NOV DIC	DIC ENE	ENE FEB	FEB MAR	SEP NOV	DIC FEB
1961-1990	Alejo Ledesma	703,3	134	185,5	219,7	233,6	109,7	235,9	232,1	347,5
1978-1990	Camerillo	674	108,1	173,8	240,3	247,5	221,7	208,3	218,3	351,8
1961-1990	Cnel. Moldes	611,1	89,1	151,7	217,2	242,9	207	184,7	183,7	329,6
1961-1990	Hernando	607,3	106,6	161,9	220	235,4	192,6	171,8	200,1	319,1
1961-1990	Hipolito Bouchard	676,3	113,40	174,4	193,60	219,3	231,20	241,1	215,9	322,3
1961-1990	Huinca Renanco	640	104,3	173,3	209,9	229,5	213,9	203,3	207,1	321,0
1966-1990	Isla Verde	691,7	127,7	172,9	203,7	238,1	240,6	232,3	221,4	238,1
1961-1990	Italo	636,5	112,6	172,8	190,9	212,2	215,5	215,7	208,5	310,5
1961-1990	Laboulaye	673,4	111,6	176,4	207,7	213,7	213,3	246,0	213,8	318,8
1961-1990	Las Acequias	703,9	129,4	195,3	251,1	272,6	218,1	191,7	239,6	359,0
1961-1990	Las Vertientes	633,9	106,0	182,1	235,9	242,2	199,3	181,4	216,0	325,2
1961-1990	Mc. Juarez	713,6	148,4	192,8	221,8	240,6	225,9	225,7	247,3	348,8
1961-1990	Pilar	683,8	106,1	163,0	237,1	276,0	240,5	204,4	203,5	380,2
1961-1990	Río Cuarto	689	122,2	196,1	256,4	262,5	199,8	188,9	237,5	340,9
1961-1990	Río Tercero	656,5	113	157,6	229,3	267,6	227,6	187,8	201,0	368,9
1961-1990	Sampacho	727,4	117,5	191,9	258,4	288,1	248,3	205,3	234,1	390,1
1961-1990	Uacha	672,1	128,2	198,7	227,6	244,5	215,8	190,9	236,7	334,9
1961-1990	Villa Reducción	628,9	115,9	181,0	216,8	226,0	189,1	186,1	216,8	305,0
1961-1990	Villa Mercedes	540,6	76,3	128,9	183,6	213,4	188,5	173,4	153,9	294,5
1961-1990	Rufino	781,5	148,0	209,3	225,6	251,0	250,2	269,1	261,5	362,3
1961-1990	Villa Reynolds	572,3	86,7	139,6	193,2	226,5	226,5	196,4	167,8	308,4
1961-1990	San Luis	521,4	55,0	113,4	178,6	210,8	210,8	196,7	132,5	297,9
1961-1990	Villa Dolores	538	64,2	105,8	185,6	237,8	237,8	212,6	131,2	331,2
1961-1990	Chepes	356,2	35,0	60,0	109,5	158,4	158,4	165,6	74,8	235,3
1961-1990	Chamical	410,2	32,6	82,5	137,5	171,5	171,5	173,2	94,2	249,2
1961-1990	Stgo. del Estero	538	47,3	101,0	163,9	228,5	228,5	243,4	114,8	339,7
1961-1990	Córdoba	698,8	106,8	175,3	240,1	271,8	271,8	241,2	209,4	378,8
1961-1990	V. Ma. del Río Seco	730,1	89,4	151,7	222,5	266,9	266,9	275,1	185,1	401,9
1961-1990	Ceres	524,1	88,2	128,4	166,4	192,7	192,7	184,2	160,5	278,4
1961-1990	Rafaela	755,8	136,0	181,4	215,3	239,0	239,0	255,2	236,1	370,4
1961-1990	Pergamino	749,2	177,5	213,5	187,6	209,3	209,3	237,1	271,8	330,4
1961-1990	Junin	766,5	160,9	215,8	209,7	230,0	230,0	234,6	270,4	334,8
1961-1990	Nueve de Julio	776,9	175,5	214,0	214,1	238,3	238,3	248,9	279,3	359,2
1961-1990	Trenque Lauquen	713,8	159,6	210,8	221,8	213,4	213,4	203,5	273,0	311,9
1961-1990	Gral. Pico	665,2	128,6	181,0	202,4	216,6	216,6	214,1	229,1	316,0

Tabla 2: Participación en hectáreas sembradas de distintos cultivos en los sistemas productivos de cada departamento, durante cinco campañas agrícolas (1998/99 a 2002/03)

Departamentos	Cereales	98_99	99_00	00_01	01_02	02_03	Promedio campañas 1998-99 a 2002-03	Total Ha. Agrícolas	Participación Promedio por cultivo (%)
Calamuchita	Maíz	5.000	4.000	5.000	6.000	4.000	4.800	48.600	9,9
	Sorgo granífero	3.000	3.000	3.000	2.000	1.000	2.400		4,9
	Trigo	4000	5.000	6.000	6.000	4.000	5.000		10,3
	Soja	31.000	34.000	39.000	39.000	39.000	36.400		74,9
	Maní								0,0
	Girasol								0,0
Gral. Roca	Maíz	32.000	40.000	55.000	35.000	35.000	39.400	281.900	14,0
	Sorgo granífero	18.000	16.000	14.000	6.000	4.500	11.700		4,2
	Trigo	40.000	42.000	45.000	70.000	70.000	53.400		18,9
	Soja	20.000	25.000	52.000	53.000	62.000	42.400		15,0
	Maní			8.000	12.000	10.000	10.000		3,5
	Girasol	185.000	180.000	130.000	120.000	10.000	125.000		44,3
Gral. San Martín	Maíz	7.500	10.000	12.000	15.000	35.500	16.000	188.716	8,5
	Sorgo granífero	17.500	17.500	11.400	7.500	2.000	11.180		5,9
	Trigo	25.000	31.000	31.000	38.000	43.000	33.600		17,8
	Soja	67.000	74.000	81.000	95.000	117.000	86.800		46,0
	Maní	54.000	38.000	40.300	37.900	22.000	38.440		20,4
	Girasol	6.400	3.500	1.800	780	1.000	2.696		1,4
Juarez Celmán	Maíz	82.500	87.000	94.000	98.000	84.000	89.100	398.494	22,4
	Sorgo granífero	18.000	18.000	18.000	16.000	16.200	17.240		4,3
	Trigo	22.000	24.200	39.000	46.800	42.120	34.824		8,7
	Soja	88.000	135.000	170.000	204.000	255.000	170.400		42,8
	Maní	109.000	68.000	48.100	37.000	28.700	58.160		14,6
	Girasol	39.000	42.000	22.050	20.000	20.800	28.770		7,2
Marcos Juárez	Maíz	70.000	90.000	65.000	65.000		72.500	784.750	9,2
	Sorgo granífero	20.000	20.000	18.000	6.000	70.000	26.800		3,4
	Trigo	105.000	158.000	175.000	200.000	6.000	128.800		16,4
	Soja	489.500	510.000	545.000	577.000	567.000	537.700		68,5
	Maní	700	500	500	500		550		0,1
	Girasol	31.000	31.000	21.000	4.500	4.500	18.400		2,3
Pte. Roque Saenz Peña	Maíz	25.000	30.000	32.000	20.000	22.000	25.800	223.260	11,6
	Sorgo granífero	5.000	2.500	1.500	500	500	2.000		0,9
	Trigo	38.000	39.000	40.000	46.000	42.000	41.000		18,4
	Soja	47.000	62.000	76.000	68.000	73.000	65.200		29,2
	Maní	2.000	1.800	9.000	8.000	5.500	5.260		2,4
	Girasol	100.000	110.000	83.000	65.000	62.000	84.000		37,6

Tabla 2: Participación en hectáreas sembradas de distintos cultivos en los sistemas productivos de cada departamento, durante cinco campañas agrícolas (1998/99 a 2002/03) (Cont.)

Departamentos	Cereales	98_99	99_00	00_01	01_02	02_03	Promedio campañas 1998-99 a 2002-03	Total Ha. Agrícolas	Participación Promedio por cultivo (%)
Río Cuarto	Maíz	248.000	290.000	320.000	355.000	314.000	305.400	711.900	42,9
	Sorgo granífero	24.000	25.000	20.000	22.000	23.000	22.800		3,2
	Trigo	29.000	42.000	42.000	52.000	48.000	42.600		6,0
	Soja	137.000	153.000	198.000	235.000	271.000	198.800		27,9
	Maní	77.000	50.000	78.000	71.000	55.000	66.200		9,3
	Girasol	123.500	115.000	50.000	43.000	49.000	76.100		10,7
Río Segundo	Maíz	40.000	20.000	16.500	30.500	30.000	27.400	413.535	6,6
	Sorgo granífero	58.000	40.000	25.000	17.000	20.000	32.000		7,7
	Trigo	57.000	74.000	78.000	89.000	80.000	75.600		18,3
	Soja	145.000	268.000	283.300	294.000	310.000	260.060		62,9
	Maní	25.000	15.500	18.000	16.500	12.000	17.400		4,2
	Girasol	2.000	1.200	600	500		1.075		0,3
San Javier	Maíz	5.700	4.000	3.900	4.000	2.500	4.020	5.487	73,3
	Sorgo granífero								0,0
	Trigo	750	450	900	900	500	700		12,8
	Soja			250	250	450	317		5,8
	Maní								0,0
	Girasol				400	500	450		8,2
Tercero Arriba	Maíz	30.000	20.000	22.000	28.000	28.000	25.600	452.130	5,7
	Sorgo granífero	40.000	42.000	31.000	20.000	12.000	29.000		6,4
	Trigo	50.000	54.400	60.000	60.000	40.000	52.880		11,7
	Soja	220.000	280.000	300.000	325.000	340.000	293.000		64,8
	Maní	66.000	40.000	45.000	30.000		45.250		10,0
	Girasol	4.000	2.000	500	500	25.000	6.400		1,4
Unión	Maíz	32.000	80.000	47.000	70.000	70.000	59.800	509.200	11,7
	Sorgo granífero	15.000	15.000	8.000	8.000	8.000	10.800		2,1
	Trigo	75.000	98.000	120.000	175.000	110.000	115.600		22,7
	Soja	165.000	270.000	350.000	340.000	420.000	309.000		60,7
	Maní	4.000	2.000	1.900	1.400	1.700	2.200		0,4
	Girasol	20.000	15.000	8.000	8.000	8.000	11.800		2,3

Tabla 3: Requerimiento de agua del departamento Río Cuarto según los cultivos sembrados en el mismo.

Crop Water Requirements Report Departamento Río Cuarto								
- Crop # : [All crops]								
- Block # : [All blocks]								
- Calculation time step = 10 Day(s)								
- Irrigation Efficiency = 70%								
Date	ETo (mm/period)	Planted Area (%)	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS (l/s/ha)
1/1	66,01	94,00	0,94	61,79	38,49	30,53	31,27	0,52
11/1	64,26	94,00	0,94	60,19	37,81	30,34	29,86	0,49
21/1	61,98	94,00	0,86	53,09	37,12	30,12	22,97	0,38
31/1	59,22	90,70	0,75	44,25	34,98	28,68	15,56	0,26
10/2	56,05	83,00	0,64	36,12	30,91	25,59	10,53	0,17
20/2	52,55	48,60	0,43	22,69	17,29	14,43	8,26	0,14
2/3	48,84	40,00	0,37	18,31	13,22	11,13	7,18	0,12
12/3	45,00	39,40	0,31	14,12	11,87	10,07	4,06	0,07
22/3	41,17	37,00	0,22	9,10	9,86	8,43	0,67	0,01
1/4	37,44	20,20	0,10	3,70	4,74	4,09	0,00	0,00
11/4	33,91	9,00	0,05	0,65	0,72	0,63	0,02	0,00
21/4	30,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/5	27,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	25,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	23,76	6,00	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,00
31/5	22,56	6,00	0,02	0,47	0,28	0,28	0,19	0,00
10/6	21,98	6,00	0,02	0,46	0,25	0,25	0,21	0,00
20/6	22,05	6,00	0,02	0,46	0,26	0,26	0,21	0,00
30/6	22,75	6,00	0,03	0,61	0,16	0,16	0,46	0,01
10/7	24,07	6,00	0,04	0,87	0,00	0,00	0,87	0,01
20/7	25,98	6,00	0,05	1,18	0,00	0,00	1,18	0,02
30/7	28,42	6,00	0,05	1,55	0,00	0,00	1,55	0,03
9/8	31,34	6,00	0,06	1,80	0,00	0,00	1,80	0,03
19/8	34,63	6,00	0,06	1,99	0,10	0,10	1,90	0,03
29/8	38,23	6,00	0,06	2,20	0,56	0,51	1,69	0,03
8/9	42,01	6,00	0,06	2,42	0,81	0,74	1,68	0,03
18/9	45,88	6,00	0,06	2,64	1,02	0,94	1,70	0,03
28/9	49,72	6,00	0,06	2,86	1,25	1,14	1,72	0,03
8/10	53,41	40,40	0,14	7,60	10,47	9,21	0,00	0,00
18/10	56,85	57,80	0,19	10,57	17,71	15,07	0,00	0,00
28/10	59,93	76,80	0,24	14,12	27,47	22,62	0,00	0,00
7/11	62,56	93,40	0,32	19,90	37,37	30,02	0,00	0,00
17/11	64,65	94,00	0,44	28,73	40,69	32,09	0,00	0,00
27/11	66,16	94,00	0,63	41,53	42,51	33,15	8,38	0,14
7/12	67,05	94,00	0,81	54,08	42,96	33,36	20,72	0,34
17/12	67,32	94,00	0,89	60,23	42,19	32,84	27,38	0,45
27/12	33,58	94,00	0,92	30,81	20,54	16,07	14,74	0,49
Total	1615,49			611,20	523,65	422,88	216,78	[0,11]

* ETo data is distributed using polynomial curve fitting.
* Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting.

Tabla 4: Requerimiento de agua para el cultivo de soja perteneciente al departamento Río Cuarto

Crop Water Requirements Report								
- Crop # 2 : SOYBEAN - Block # : [All blocks] - Planting date : 1/11 - Calculation time step = 10 Day(s) - Irrigation Efficiency = 70%								
Date	ETo (mm/period)	Planted Area (%)	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain (mm/period)	Effect. Rain (mm/period)	Irr. Req.	FWS (l/s/ha)
1/11	61.04	27.00	0.08	4.94	10.10	8.24	0.00	0.00
11/11	63.46	27.00	0.08	5.14	11.19	8.92	0.00	0.00
21/11	65.33	27.00	0.11	7.40	11.94	9.37	0.00	0.00
1/12	66.59	27.00	0.17	11.44	12.31	9.57	1.86	0.03
11/12	67.23	27.00	0.23	15.48	12.29	9.54	5.93	0.10
21/12	67.27	27.00	0.26	17.25	11.96	9.33	7.92	0.13
31/12	66.19	27.00	0.26	16.98	11.13	8.81	8.17	0.14
10/1	64.46	27.00	0.26	16.53	10.88	8.72	7.82	0.13
20/1	62.23	27.00	0.26	15.96	10.68	8.66	7.30	0.12
30/1	59.52	27.00	0.26	15.27	10.44	8.55	6.71	0.11
9/2	56.38	27.00	0.26	14.46	10.10	8.35	6.11	0.10
19/2	52.91	27.00	0.26	13.57	9.62	8.03	5.54	0.09
1/3	49.21	27.00	0.26	12.62	9.00	7.57	5.06	0.08
11/3	45.39	27.00	0.22	10.05	8.21	6.96	3.08	0.05
21/3	41.55	27.00	0.16	6.50	7.29	6.23	0.27	0.00
31/3	19.36	27.00	0.11	2.08	3.27	2.81	0.00	0.00
Total	908.12			185.68	160.41	129.67	65.78	[0.07]

* ETo data is distributed using polynomial curve fitting.
 * Rainfall data is distributed using polynomial curve fitting.

Tabla 5: Déficit hídrico medio por localidad para el período septiembre a marzo

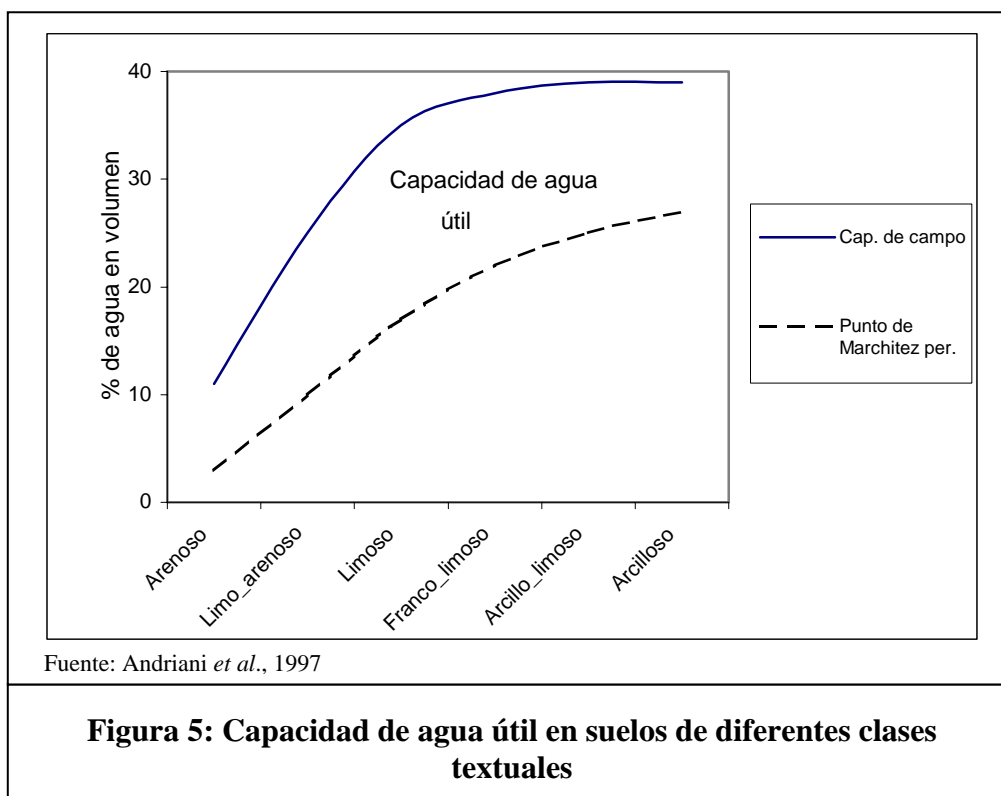
PERÍODO	LOCALIDAD	Probabilidad de casos por debajo del CWR (%)	PERÍODO	LOCALIDAD	Probabilidad de casos por debajo del CWR (%)
1961-1990	Alejo Ledesma	24,2	1961-1990	Villa María	28,7
1978-1990	Carnerillo	45,5	1961-1990	Embalse	32,3
1961-1990	Coronel Moldes	44,2	1961-1990	Villa Mercedes	51,2
1961-1990	Hernando	28,0	1961-1990	Villa Reynolds	51,2
1961-1990	H. Bouchard	22,4	1961-1990	San Luis	88,7
1961-1990	Huinca Renanco	31,6	1961-1990	Villa Dolores	28,7
1966-1990	Isla Verde	40,2	1961-1990	Chepes	76,6
1961-1990	Italo	34,6	1961-1990	Chamical	89,0
1961-1990	Laboulaye	17,1	1961-1990	Stgo. del Estero	53,2
1961-1990	Las Acequias	24,1	1961-1990	Córdoba	19,4
1961-1990	Las Vertientes	47,5	1961-1990	Vi. Ma. del Río Seco	6,5
1961-1990	Marcos Juárez	33,3	1961-1990	Ceres	45,2
1961-1990	Pilar	11,2	1961-1990	Rafaela	9,3
1961-1990	Río Cuarto	33,0	1961-1990	Rufino	12,0
1961-1990	Río Tercero	27,1	1961-1990	Pergamino	8,6
1961-1990	Sampacho	23,9	1961-1990	Junin	14,7
1961-1990	Ucacha	43,1	1961-1990	Nueve de Julio	6,2
1961-1990	Villa Reducción	45,8	1961-1990	Trenque Lauquen	10,7
1961-1990	Bel Ville	27,5	1961-1990	Gral. Pico	18,2

Capacidad de almacenaje hídrico del suelo

Según Buckman y Brady (1970) la capacidad que tiene un suelo de almacenar agua varía notoriamente con la textura del mismo e influye directamente en el crecimiento vegetal. Así por ejemplo un suelo arenoso posee menor capacidad que un suelo arcilloso, mientras que un suelo bien estructurado que posee un mayor volumen de poros y una mejor distribución de tamaño de los mismos, como por ejemplo los suelos franco-limosos, son los que retienen más agua útil (Figura 5) (Andriani *et al.*, 1997). Esta capacidad del suelo suele denominarse Capacidad de Agua Disponible (CAD) o agua útil. Hace referencia a la cantidad total de agua utilizable por las plantas, almacenada entre la Capacidad de Campo⁸ (CC) y el Punto de Marchitez Permanente⁹ (PMP) (Micucci *et al.*,

⁸ La capacidad de campo se define como la cantidad de agua que es retenida en el suelo luego de drenar el agua gravitacional, es decir es el contenido de agua en suelo después de 48 hs de un riego o de una lluvia abundante.

2002). La capacidad de almacenaje de agua disponible es una de las características básicas en los suelos de uso agrícola, ya que la misma representa el período que los cultivos pueden soportar sin aporte externo de agua (Porta *et al.*, 1999; Labrador Moreno, 2001).



La influencia que posee la textura sobre la capacidad de retener agua útil en los suelos fue investigada por Longwell *et al.* (1963) en el Estado de Tennessee (EEUU), quienes determinaron la cantidad de agua aprovechable en cm de agua por cm de profundidad del suelo según las texturas existentes en el suelo. Similares resultados fueron obtenidos por Russell y Russell (1964), proporcionando niveles del agua utilizable en milímetros por cada 30 cm de profundidad del suelo, según distintas texturas para el sector agrícola en el valle de California (EEUU) (Tabla 6). En el país, Damiano y Taboada (2000) realizaron un estudio sobre la CAD usando funciones de pedo-transferencia en

⁹ El punto de marchitez permanente se define como el contenido de agua por debajo del cual las plantas no son capaces de extraer agua del suelo, alcanzando su estado de marchitez parcial o total como resultado del estrés hídrico.

suelos agrícolas de las diferentes subregiones pampeanas y observaron que los valores estimados de la CAD en el perfil variaron de acuerdo a los sub-grupos de suelos existentes y con la composición granulométrica en las clases texturales de los mismos, delimitando un gradiente hídrico vectorial de dirección SO-NE que se corresponde con las distintas clases texturales existentes en la región.

SUELO	agua utilizable mm/30 cm según Longwell <i>et al</i> (1963)	agua utilizable mm/30 cm según Russell y Russell (1964)
Areno-franco	22.2	20.3
Franco	57.3	59.8
Franco-limoso	70.2	73.7
Franco-arenoso	36.3	33.0
Arenoso	4.5	7.6

Para esta investigación, la capacidad de almacenaje hídrico se aproximó en función de la textura de los suelos. Se utilizó para ello el Mapa de Suelos de la República Argentina en 1: 500.000 (INTA, 2000) y a través del software Idrisi (Clark Labs-Clark University, 2003) se logró una reclasificación de la tipología de los suelos dentro de la provincia de Córdoba, en función de las proporciones de arena, limo y arcilla contenidas en los suelos¹⁰. De esta forma se agruparon los suelos en las siguientes texturas: areno franco, franco, franco limoso, franco arenoso y arenoso.

La capacidad de almacenaje de agua útil para cada textura existente en el área de estudio se aproximó siguiendo el estudio realizado por Russell y Russell (1964), adaptando el agua utilizable en milímetros por cada metro de profundidad del suelo. Cada valor fue asignado a su correspondiente textura utilizando el módulo *Assign* de IDRISI (Tabla 7). El resultado final fue un mapa de la distribución regional de la capacidad de almacenaje hídrico del suelo.

¹⁰ En esta etapa se contó con el apoyo del Ing. Agr. José Santa perteneciente al Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) de la Fac. de Cs. Agrarias de la Univ. Nac. Córdoba.

Tabla 7: Capacidad de agua utilizable en suelos de distintas clases de texturas en el área de estudio		
SUELO	agua utilizable mm por 30 cm.	agua utilizable mm por 100 cm.
Areno-franco	20.3	68
Franco	59.8	200
Franco-limoso	73.7	246
Franco-arenoso	33.0	110
Arenoso	7.6	26

Fuente: Adaptado de Russell y Russell (1964)

Definición de áreas vulnerables

La vulnerabilidad a la sequía se asume definida por la interacción entre la *disponibilidad hídrica regional*, que es uno de los principales factores que determina el desarrollo de los cultivos; la *capacidad de almacenaje ó disponibilidad de agua en el suelo* durante el período de crecimiento de los cultivos, que influye directamente en el rendimiento de los mismos y *el déficit hídrico regional* que marca la deficiencia de la disponibilidad de humedad según la demanda de agua de los cultivos. Definida de esta forma la vulnerabilidad a la sequía, se procedió a delimitar áreas vulnerables mediante la combinación de las tres variables mencionadas anteriormente, utilizando el sistema de información geográfico IDRISI versión Kilimanjaro (Clark Labs-Clark University, 2003). Como resultado se obtuvieron niveles de aptitud para el desarrollo de los cultivos, en función de las variables hídricas y del suelo.

Una forma de tomar decisiones en un sistema de información geográfica sobre la elaboración de mapas de aptitud considerando diversos criterios, es mediante la utilización del Método de *Evaluación por Criterios Múltiples – EMC* - (Ramachandran e Eastman, 1996). Dentro del EMC puede evaluarse a través del criterio buliano o álgebra buliana o mediante el criterio de estandarización no buliana, también conocido con el nombre de “*Fuzzy o límites de transición gradual*”, con una combinación lineal ponderada (Eastman et al., 1997). El primer criterio de evaluación parte de la concepción que todas las

variables tienen la misma importancia en el mapa final de aptitud y no permite un intercambio completo entre los mismos, ya que define áreas “absolutamente apropiadas” o “absolutamente inapropiadas”. Para el trabajo se seleccionó el segundo criterio nombrado dentro de este módulo del IDRISI, a los fines de diferenciar distintas zonas de vulnerabilidad a la sequía dentro del área de estudio. Éste criterio permite darle a todos los lugares un valor que representa su grado de aptitud, mediante la asignación de ponderaciones a los factores, agrupándolos y luego utilizando un promedio lineal ponderado (CREAN, 2003).

La ejecución de esta etapa metodológica se realizó mediante la utilización de distintos módulos del IDRISI Kilimanjaro, que a continuación se describen:

1. Se transformaron todas las capas vectoriales, que contenían la información de las isohietas de oferta y déficit hídrico, a formato raster logrando una continuidad en el territorio de los valores de las isolíneas, usando una misma escala de valoración de vulnerabilidad, siendo las mismas comparables y compatibles. Para ello se utilizó el *módulo fuzzy* aplicando una función lineal con incremento monótono en el caso del déficit hídrico regional. En este caso se supone que a menor déficit menor es la vulnerabilidad a la sequía. Para la oferta hídrica regional se aplicó un decremento monótono, suponiendo que a menores valores de precipitación mayor es la vulnerabilidad a la sequía. En el caso de la capacidad de almacenaje hídrico regional se establecieron a priori sus valoraciones de vulnerabilidad, dado que los datos originales son categóricos (tipos de textura), y solamente requirió asignarle un valor a cada criterio basado en algún conocimiento previo, en este caso los estudios Russell y Russell (1964).
2. Se procedió a realizar una ponderación de las variables nombradas a través del *módulo weight*. En éste se emplea una matriz de comparación apareada (pairwise comparison), la que cuenta con una escala continua de nueve valores, cuyo máximo y mínimo valor se encuentra entre 9 (extremadamente importante) y 1/9 (extremadamente menos importantes), respectivamente (Figura 6). El valor 9 significa que la variable ubicada en la fila es más importante en relación con la que se encuentra en la columna. Mientras que el valor 1/9 indica que la variable ubicada en la fila es menos importante

en comparación con la variable de la columna. Si ambas variables tienen el mismo peso o importancia, se le asigna el valor de 1.

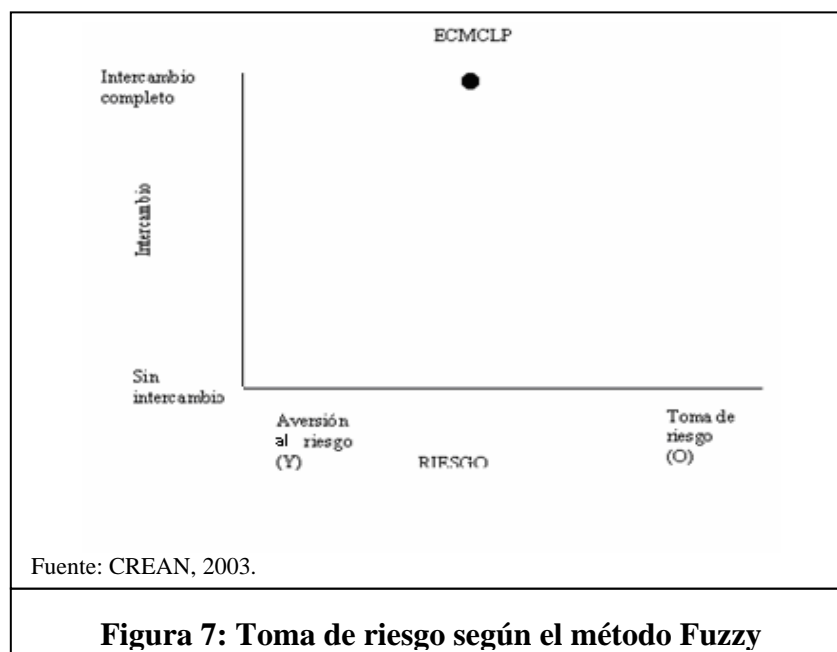
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremely	Very strongly	Strongly	Moderately	Equally	Moderately	Strongly	Very strongly	Extremely
Less important					More important			

Fuente: Eastman, 2003.

Figura 6: Escala de valores utilizada por la matriz de comparación

Las variables fueron comparadas de a dos por vez en términos de su importancia relativa al objetivo especificado. En este caso el nivel de vulnerabilidad de sequía y el nivel de consistencia alcanzado por la matriz de ponderación fue de 0,01 en un rango tolerado entre 0 a 0,10 puntos.

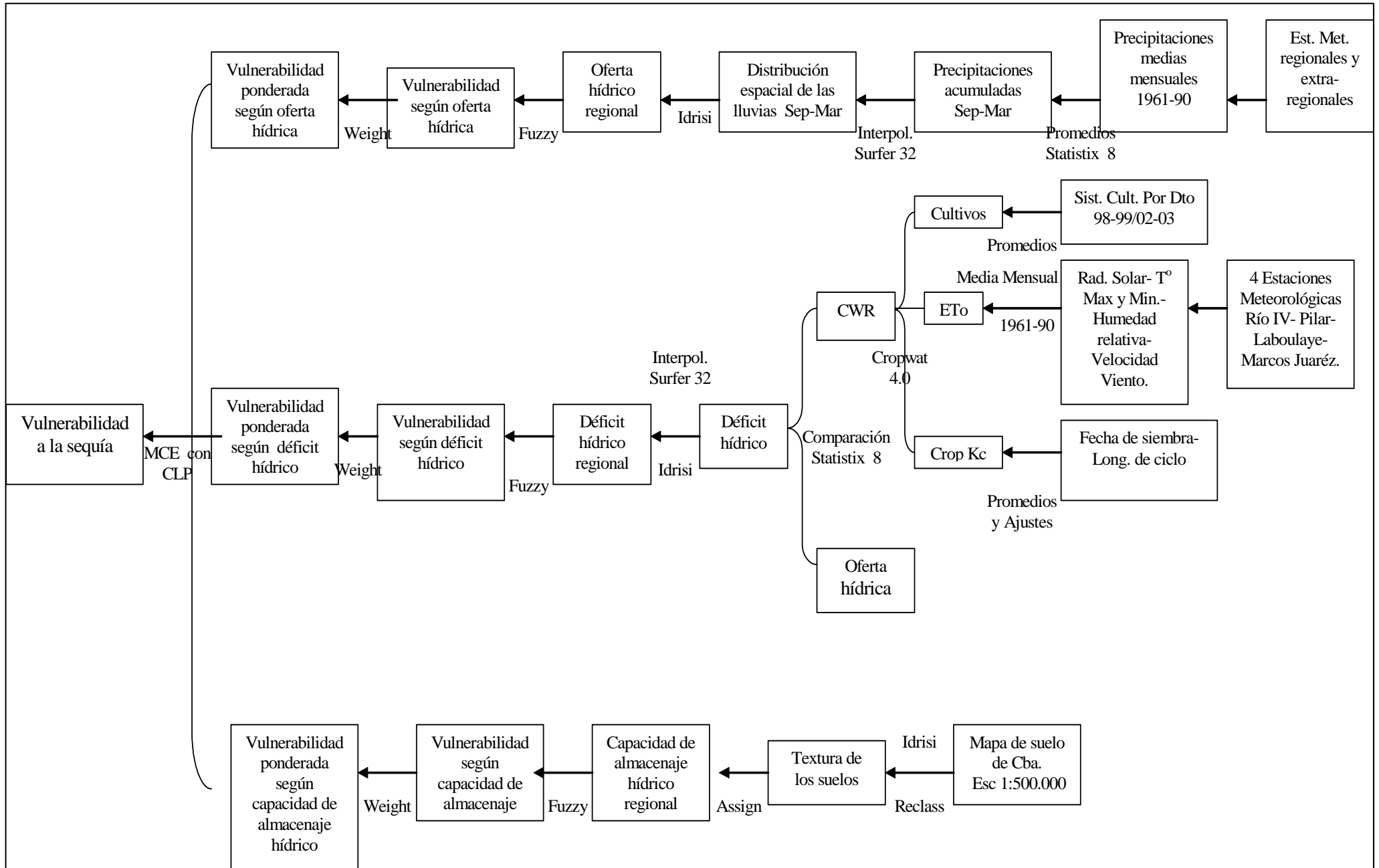
3. El último paso efectuado fue realizar una combinación lineal ponderada (CLP) de las tres variables estandarizadas a través del *modulo MCE (multi-criteria evaluation)*. A través de la CLP, cada factor estandarizado fue multiplicado por su correspondiente peso. Los resultados fueron sumados y luego la suma fue dividida por el número de factores. El resultado final fue un mapa con distintos valores de vulnerabilidad en una escala de 0-255, donde se asume que el mayor valor obtenido corresponde a áreas más vulnerables a sequías. De esta forma, el procedimiento CLP permite un intercambio completo entre todas las variables consideradas y la proporción en la que cualquier variable individual puede compensarse por otra, está en función de su peso o ponderación. Por lo tanto esta técnica puede ser considerada como intermedia en el análisis del riesgo, es decir que no muestra una aversión o rechazo al riesgo extremo ni toma riesgos extremos en las decisiones (Figura 7) (CREAN, 2003).



Esta metodología fue aplicada en distintas investigaciones sobre definición de áreas de distinta aptitud agrícola en base a variables bio-físicas (García Nieto *et al.*, 1999; Cevallos Silva y López Banco 2003 a, b), como así también en estudios sobre la gestión y manejo de desastres naturales identificando zonas de riesgos o vulnerables a distintas amenazas naturales (Ramachandran y Eastman, 1996; Chen *et al.*, 2001; Gall, 2002). Estos autores coinciden en que la metodología fuzzy presenta las siguientes ventajas sobre otros métodos de evaluación convencional: a) reconoce que no todos los factores involucrados en la investigación tienen el mismo peso o impacto; b) presenta una mayor desagregación de las aptitudes o zonificación del riesgo, y c) no depende de la percepción subjetiva de los especialistas para definir áreas de aptitud.

En el Cuadro 1 se presenta una síntesis de las distintas etapas metodológicas implementadas en el desarrollo de la investigación, proporcionando lo que comprendería un modelo cartográfico dentro de los sistemas de información geográfica. Dicho modelo es una representación gráfica de los datos y de los procedimientos analíticos usados en este estudio. Su objetivo fundamental es ayudar a la organización del análisis y a definir la estructura de los procedimientos necesarios de la investigación; también sirve como una fuente de documentación y referencia para el análisis.

Cuadro 1: Modelo cartográfico de las etapas metodológicas desarrolladas.



CAPITULO III
ANÁLISIS DE LA OFERTA HÍDRICA EN EL SUR DE
LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Siglas utilizadas en el capítulo III

CV: Coeficiente de variación

DEF: Diciembre-Enero-Febrero

INDEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Argentina

JJA: Junio-Julio-Agosto

MAM: Marzo-Abril-Mayo

SON: Septiembre-October-Noviembre

UNRC: Universidad Nacional de Río Cuarto

Introducción:

La oferta hídrica estacional se refiere a la disponibilidad de agua utilizable por los cultivos para cumplir con sus procesos biológicos o ciclo vital, a través del desarrollo de las sucesivas fases fenológicas. El principal aporte natural de agua al suelo proviene de las lluvias, las que conjuntamente con la temperatura son los elementos climáticos principales para el crecimiento de las plantas (Pascale y Damario, 2004). Su ritmo temporal y su distribución espacial condicionan los ciclos agrícolas.

El análisis de la oferta hídrica se realiza a través de dos componentes importantes, uno de las cuales es la caracterización del régimen de las precipitaciones. Esto indica la distribución estacional de las lluvias a lo largo del año. La aptitud agrícola y ganadera de una región no sólo depende de la cantidad anual de lluvia, sino también de cómo se hallan repartidas las mismas en los doce meses del año.

La provincia de Córdoba se caracteriza por tener un régimen pluviométrico monzónico. Las precipitaciones presentan una mayor concentración en el semestre cálido, es decir desde mediados de primavera hasta el inicio del otoño (el 80% de las lluvias ocurren entre Octubre y Abril), período en el cual se implantan la mayoría de los cultivos característicos de la región (Ravelo, 2003). Otra característica de las precipitaciones en la región es que van disminuyendo gradualmente de este a oeste, con totales medios anuales que varían entre 900 y 550 mm respectivamente (INDEC-UNRC, 1998). Cabe destacar que el gradiente pluviométrico es afectado por el relieve de las sierras cordobesas, marcando un aumento de las precipitaciones en el pedemonte oriental de las mismas.

La otra componente pluviométrica para el análisis de la oferta hídrica es la variabilidad intra e interanual de las precipitaciones. Ésta se refiere básicamente a variaciones en las condiciones medias pero recurrentes de las lluvias, que pueden cuantificarse como desvíos porcentuales de la precipitación anual con respecto a la media anual o por coeficientes de variación. En el caso de la oferta hídrica, distintos estudios han documentado el impacto de la variabilidad en las precipitaciones sobre el rendimiento

final (disminución o pérdida) de los cultivos, transformándose en un factor de alto riesgo en la productividad agrícola (FAO, 1997). Por tal razón, el conocimiento de dicho componente es importante para una planificación racional de la agricultura de la región.

Variabilidad intra e interanual de las precipitaciones

A partir de las series disponibles de precipitaciones para la región (período 1961-1990) se realizó el análisis de la oferta hídrica regional. En primer lugar se acumularon los valores pluviométricos desde septiembre de un año a marzo del año siguiente (por ej. septiembre de 1961 a marzo de 1962) para observar la variabilidad interanual de las lluvias. Luego se promediaron los meses acumulados, obteniendo de esta manera un valor medio para el período en cada localidad. El valor obtenido se utilizó posteriormente para determinar la distribución regional de la oferta hídrica. También se calcularon acumulaciones medias bimensuales y trimestrales dentro del período septiembre-marzo.

A los efectos de analizar la variabilidad de las lluvias en el área de estudio, se seleccionaron cuatro localidades espacialmente distribuidas dentro de la misma. Las localidades consideradas fueron Marcos Juárez (al este), Río Cuarto (al oeste), Pilar (al norte) y Laboulaye (al sur). El comportamiento de las lluvias en las restantes localidades se presenta en el Anexo I

Marcos Juárez:

Régimen pluviométrico: Posee un régimen hídrico donde se destacan diferencias estacionales de la ocurrencia de precipitación. Ésta muestra una mayor concentración en el verano (DEF) con 39% de las lluvias, en primavera (SON) un 28%, seguido por un 25% en el otoño (MAM) y un 8% en invierno (JJA). Ésta distribución pluviométrica es característica de un régimen monzónico (Tabla 8).

En el análisis de las acumulaciones medias bimensuales y trimestrales de las precipitaciones dentro del período septiembre-marzo se refleja una mayor concentración de las lluvias en los bimestres de diciembre-enero (240,6 mm), seguido por enero-febrero (225,9 mm) y por último febrero-marzo (225,7 mm). Esto demuestra que en general las

precipitaciones se hallan concentradas en el segundo trimestre del período considerado (diciembre a febrero).

Variabilidad inter anual: La serie pluviométrica de esta localidad muestra un promedio de 713,6 mm en el período septiembre-marzo, con una desviación estándar de 179 mm y un coeficiente de variación de 25%.

La variabilidad inter anual con respecto a la media de la serie 1961-1990 se observa en la Figura 8, con presencia de dos casos con valores extremos inferiores entre 400 a 500 mm y con tres casos con valores extremos superiores a los 900 mm.

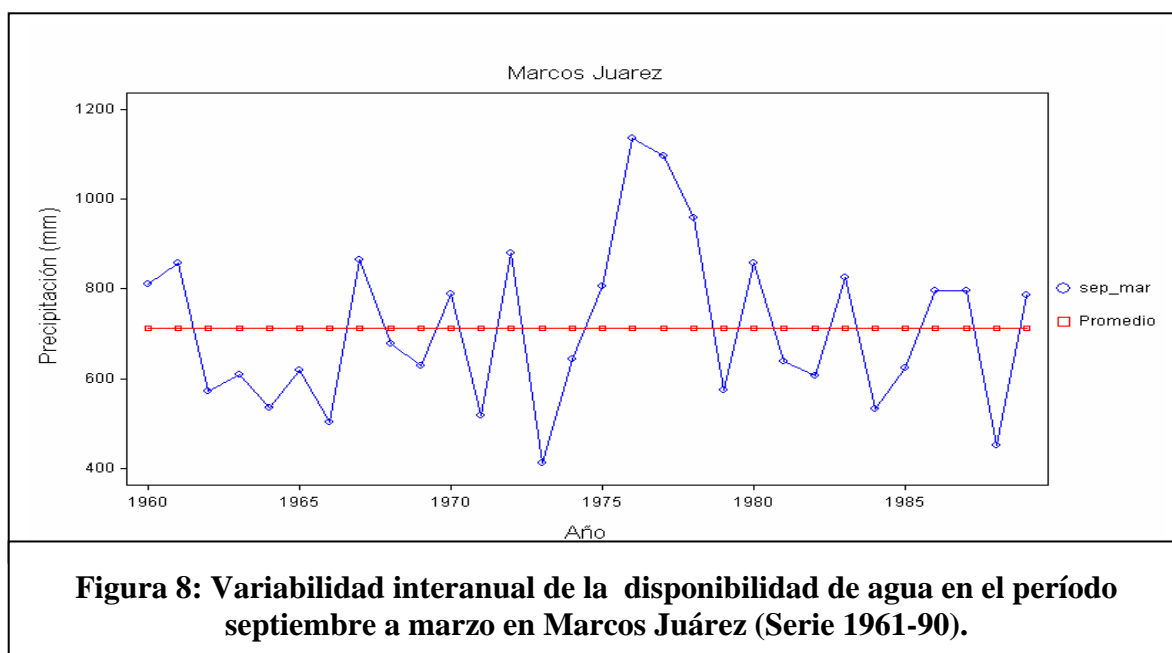


Figura 8: Variabilidad interanual de la disponibilidad de agua en el período septiembre a marzo en Marcos Juárez (Serie 1961-90).

Río Cuarto:

Régimen pluviométrico: se destaca, al igual que en Marcos Juárez, una concentración estacional de las precipitaciones, cuyos porcentajes de distribución se encuentran repartidos en verano (DEF) 43%, en primavera (SON) 30%, en otoño (MAM) 22% y en invierno (JJA) 5%. Esto indica que el régimen de precipitaciones es monzónico, ya que hay una concentración superior al 60% de las lluvias en el semestre cálido (Tabla 8).

En el análisis de las acumulaciones medias bimensuales y trimestrales de las precipitaciones dentro del período septiembre-marzo se observa una mayor concentración en los bimestres de diciembre-enero (262,5 mm), noviembre-diciembre (256,4 mm) y en

tercer lugar enero-febrero (199,8 mm). Al igual que la anterior localidad el trimestre que registra mayores precipitaciones dentro del período en estudio es el comprendido entre diciembre a febrero (340,9 mm).

Variabilidad inter anual: El promedio de la serie pluviométrica de 30 años para septiembre a marzo es de 689 mm, con una desviación estándar de 178 mm y un coeficiente de variación del 25%. En la Figura 9 se observa la variabilidad de la distribución de los valores pluviométricos del período septiembre-marzo, con notables cambios entre años. Se visualizan para el período 1961/90, tres ocurrencias con valores extremos superiores a los 1000 mm y dos picos con valores inferiores a los 400 mm.

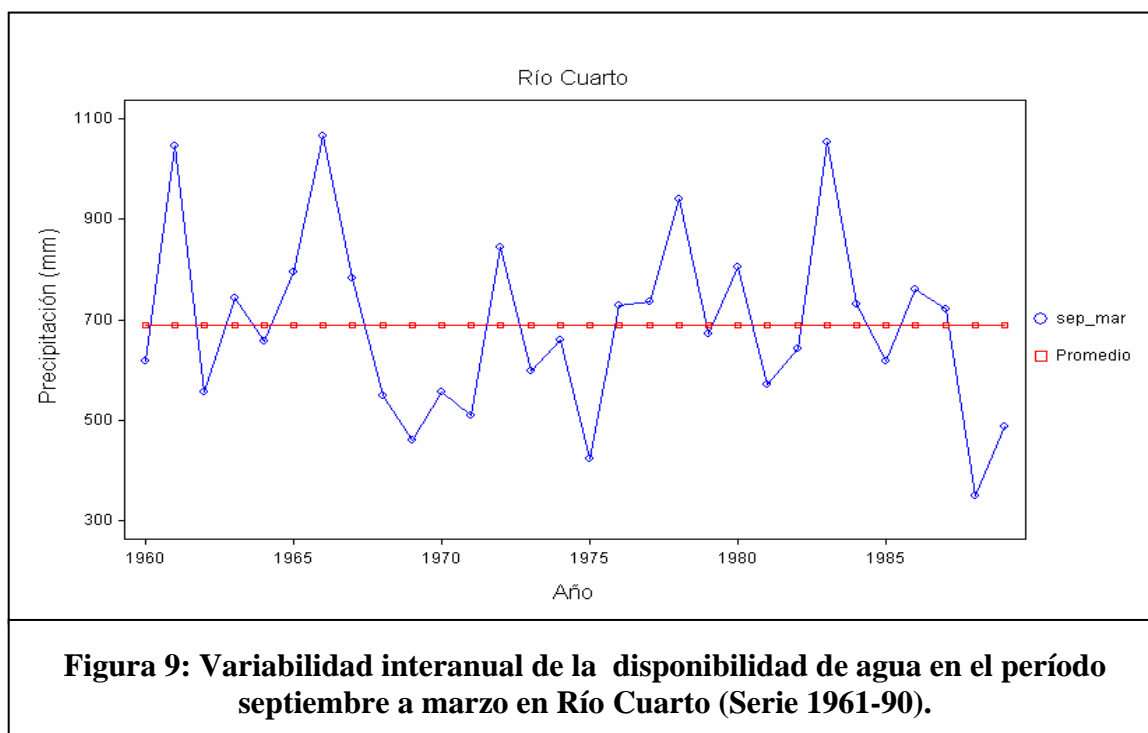


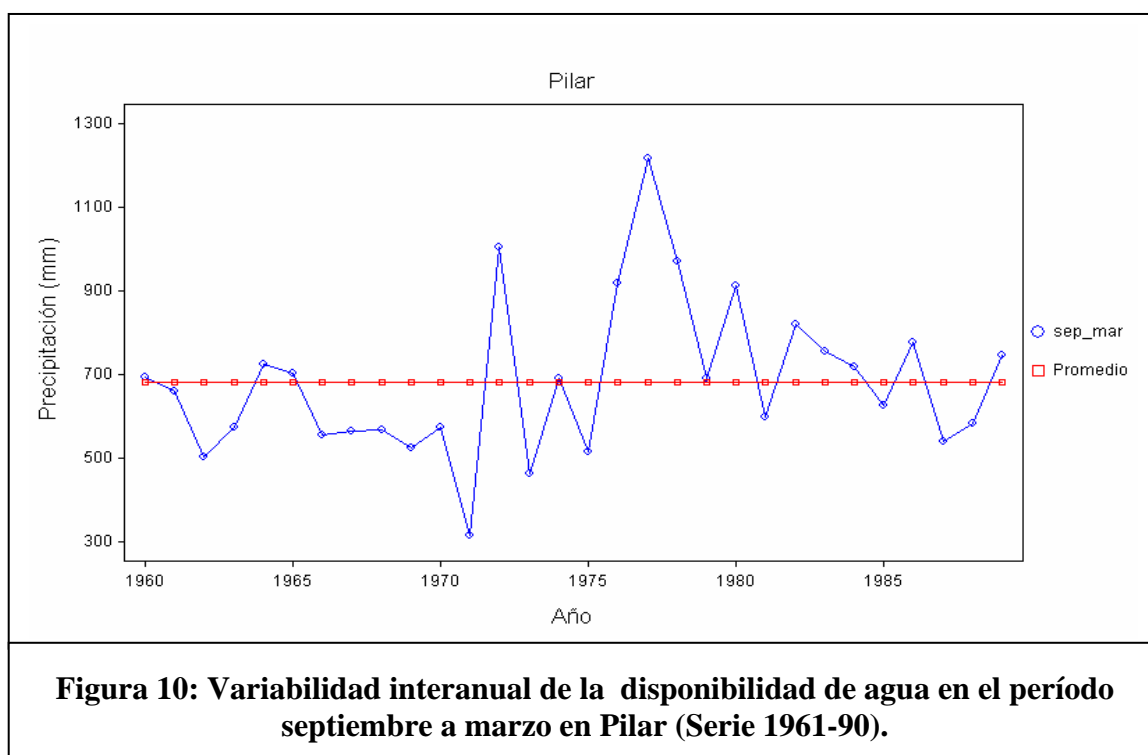
Figura 9: Variabilidad interanual de la disponibilidad de agua en el período septiembre a marzo en Río Cuarto (Serie 1961-90).

Pilar:

Régimen pluviométrico: el régimen hídrico de esta localidad presenta una mayor ocurrencia de precipitaciones en los meses más cálidos del año. Ésta característica permite clasificar al régimen de precipitaciones de Pilar como monzónico. La distribución estacional de las lluvias se produce de la siguiente forma: el 48% en verano (DEF), un 26% en primavera (SON), un 21% en otoño (MAM) y un 5% en invierno (JJA) (Tabla 8).

Las acumulaciones medias bimensuales y trimestrales de las precipitaciones dentro del período septiembre-marzo muestran que diciembre-enero (276 mm), enero-febrero (240,5 mm) y noviembre-diciembre (237,1) son los bimestres más húmedos, mientras que el trimestre diciembre-febrero (380,2 mm) es el que concentra los máximos valores pluviométricos.

Variabilidad inter anual: El promedio de precipitaciones para el período 1961-1990 alcanza los 683.8 mm, con una desviación estándar de 182 mm y un coeficiente de variación de 25%. En la Figura 10 se observa la variabilidad de las precipitaciones entre años. Es posible distinguir en la serie un período comprendido entre 1971-1980 de fuerte variabilidad de las precipitaciones ocurridas, donde se presenta el valor extremo inferior de la muestra (< 400 mm) y dos casos de mayor valor pluviométrico (> 900 mm).



Laboulaye:

Régimen pluviométrico: se caracteriza por un régimen hídrico también con variaciones estacionales de la precipitación. El 36% de las precipitaciones se concentran en verano (DEF), un 30% se producen en primavera (SON), un 26% en otoño (MAM) y

un 8% en invierno (JJA), por lo cual se puede decir que esta distribución pluviométrica es también característica de un régimen monzónico (Tabla 8).

Considerando las acumulaciones de precipitaciones bimestrales y trimestrales en el período considerado se observa que los bimestres febrero-marzo (246 mm), diciembre-enero y enero-febrero (213 mm c/u) son los que concentran los mayores valores pluviométricos, consecuentemente el trimestre más húmedo es el que se extiende desde diciembre a febrero (318,8 mm).

Variabilidad inter anual: El promedio de precipitaciones para el período septiembre-marzo entre 1961-1990 es de 673,4 mm, con un desvío estándar de 132 mm y un coeficiente de variación del 19%. La distribución de los valores tienen un sesgo negativo, es decir hay una mayor frecuencia de casos con valores inferiores a la media de la muestra. En la Figura 11 se observa la variabilidad interanual de los valores de las precipitaciones, con presencia de un caso superior a los 1000 mm y tres casos con valores inferiores a los 500 mm.

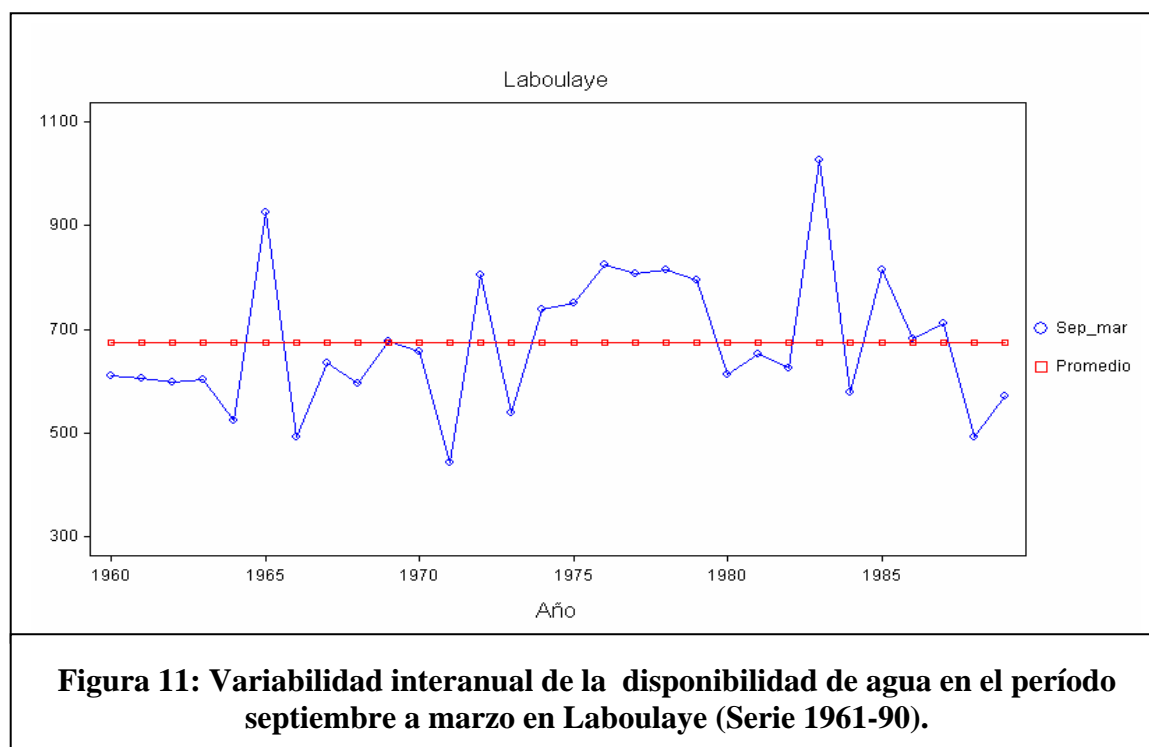


Figura 11: Variabilidad interanual de la disponibilidad de agua en el período septiembre a marzo en Laboulaye (Serie 1961-90).

Climáticamente las cuatro localidades representan características del régimen hídrico de la región en estudio. Al respecto todas pertenecen al régimen pluviométrico monzónico, con concentraciones desde 66% hasta 74% de las lluvias en el semestre cálido y una disminución notable de las precipitaciones en el semestre frío. En estación invernal se manifiesta la menor ocurrencia (del 5% al 8%). Las acumulaciones bimestral y trimestral de las precipitaciones del período septiembre-marzo, muestran que en los bimestres diciembre-enero y enero-febrero se observa la mayor concentración de las lluvias en las localidades de Marcos Juárez y Pilar, mientras que en el caso de Río Cuarto los bimestres más húmedos son noviembre-diciembre y diciembre-enero y para la localidad de Laboulaye los bimestres más húmedos son diciembre-enero y febrero-marzo. El trimestre diciembre-febrero resulta ser el más húmedo en todos los casos.

Estas cifras concuerdan con los resultados obtenidos por Seiler y Vinocur (2006) en la región de estudio, en la cual identificaron que en el norte y oeste del área el 45 % de la precipitación anual total se produce durante los meses de verano, el 22% en el otoño; 28% en la primavera y una proporción pequeña (5%) durante el invierno, mientras que en el sector oriental y sur estos porcentajes cambian a 39%, 26%, 27% y 8% respectivamente para cada estación. Esto implicaría que las áreas del nordeste tienen una frecuencia reducida de veranos secos y en la porción occidental de la región las probabilidades para el desarrollo de deficiencias de agua y sequedad durante el verano son altas.

A pesar que las cuatro localidades poseen el mismo régimen hídrico, es posible identificar a grandes rasgos la existencia de una marcada variabilidad interanual de las precipitaciones en cada una de las localidades, con desviaciones que rondan entre el 20% a 25% respecto de la media (a excepción de Laboulaye que presenta indicadores con valores inferiores a las otras localidades). En general se observa que los promedios de lluvias varían entre los 600 a 700 mm con algunas excepciones que superan los 700 mm.

Las series pluviométricas del período 1961-1990 pertenecientes a las 18 localidades del área de estudio muestran un patrón de comportamiento de las lluvias similar al anteriormente descrito. En trece localidades los meses de diciembre-enero concentran las mayores cantidades de lluvias, seguidos por el bimestre noviembre-diciembre (Tabla 1 y 8). Es de destacar dentro del semestre cálido que el mes de febrero presenta una disminución en los valores pluviométricos. Aunque esta situación hídrica se recupera en el

mes de marzo, representa un momento crítico para el desarrollo de los cultivos de verano (Tabla 8 y Figura 12). Otra característica es que las series pluviométricas de las localidades consideradas presentan un coeficiente de variación entre 20% a 28% para el período septiembre-marzo y un desvío promedio de 165 milímetros.

Todas las localidades presentan gran alternancia en cuanto a los montos totales anuales de un año a otro, mostrando una evolución irregular de la gráfica pluviométrica (ver anexo I). Ésta variabilidad interanual de las precipitaciones posee un comportamiento similar entre las localidades investigadas, como lo es el caso de la comparación de las series pluviométricas del período septiembre-marzo de las localidades situadas en el sector occidental del área de estudio. En la Figura 13, a modo de ejemplo, se comparan las localidades de Las Acequias, Coronel Moldes, Río Cuarto, Sampacho y Las Vertientes. Se observa la similitud en la marcha interanual de las precipitaciones, es decir los aumentos o disminuciones presentan una correspondencia en el tiempo de ocurrencia en las cinco localidades, si bien existen pequeñas diferencias al inicio de la serie de Coronel Moldes y Las Acequias.

La variabilidad interanual también fue observada en el análisis realizado por Seiler y Vinocur (2006) quienes compararon las series pluviométricas de 1931-1960 y 1961-1990 correspondientes al área de estudio. Hallaron un incremento significativo de las lluvias producidas en el verano y otoño, con valores que alcanzan 15% y 4% respectivamente para cada estación. En cuanto a la primavera y el invierno muestran mayor variabilidad espacial. En la primavera se observó un aumento de las precipitaciones en el sector oriental y sur y una disminución de los valores en el centro de la región, mientras que el invierno presenta un escaso aumento en el oeste y sur de la región.

La tendencia de un aumento de las lluvias en la región fue manifestada por Ravelo *et al.* (2002) quienes encontraron para la provincia de Córdoba en el período 1931-2000 un incremento de las precipitaciones de 0.2 a 4 mm por año según las estaciones climáticas. Asimismo Rotondo (2004), en un estudio de índices de sequías evaluó las tendencias de las lluvias durante el período 1960-1999 en el sur de Córdoba, hallando que Río Cuarto, Sampacho, Hernando, Alejo Ledesma y Reducción muestran una tendencia estacionaria en el período utilizado, mientras que el resto de las localidades muestran distintos grados de tendencia. También observó que en las localidades ubicadas en el sur de la región

considerada, la tendencia de aumento de las lluvias fue mayor (Huinca Renanco, incremento anual de 7.5 mm; Buchardo, 7.4 mm por año).

Tabla 8: Precipitaciones medias mensuales de la región (Serie 1961-90)

Localidad	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	TOTAL
ALEJO LEDESMA	24,5	19,5	46,6	87,4	98,1	121,6	111,6	98,1	137,8	63,8	30,4	23,6	863,0
CARNERILLO	13,6	8,2	44,5	63,6	110,2	130,1	117,4	104,3	104,0	52,0	17,7	13,0	778,4
CORONEL MOLDES	21,0	12,1	32,0	57,1	94,6	122,6	120,3	86,7	98,0	60,0	25,8	15,0	745,0
HERNANDO	15,0	11,9	38,2	68,4	93,5	126,5	108,9	83,7	88,1	44,8	19,1	13,4	711,4
BOUCHARD	20,2	15,9	41,5	71,9	102,5	91,1	128,2	103,0	138,1	73,3	23,4	19,8	828,9
HUINCA RENANCO	18,8	16,0	33,8	70,5	102,8	107,1	122,4	91,5	111,8	58,3	16,5	14,8	764,4
ISLA VERDE	22,4	22,0	48,5	79,2	93,7	110,0	128,1	112,5	119,8	57,4	29,0	17,3	839,8
ITALO	15,8	16,5	35,7	76,9	95,9	95,0	117,2	98,3	117,4	63,4	21,5	17,0	770,7
LABOULAYE	18,3	19,5	37,4	74,2	102,2	105,5	108,2	105,1	140,9	72,1	29,1	18,9	831,2
LAS ACEQUIAS	13,4	15,7	44,3	85,1	110,2	140,9	131,7	86,4	105,3	49,9	31,4	15,9	830,1
LAS VERTIENTES	12,6	12,1	33,9	72,1	110,0	125,9	116,3	83,0	98,4	49,6	24,9	10,8	749,6
MARCOS JUAREZ	28,8	18,9	54,5	93,9	98,9	122,9	117,7	108,2	117,5	66,4	36,7	23,4	887,8
PILAR	15,5	9,2	40,5	65,6	97,4	139,7	136,3	104,2	100,2	52,3	17,9	13,0	791,8
RIO CUARTO	11,8	13,7	41,4	80,8	115,3	141,1	121,4	78,4	110,5	49,0	20,5	15,4	799,4
RIO TERCERO	11,4	10,3	43,4	69,6	88,0	141,3	126,3	101,3	86,5	32,7	18,6	9,8	739,2
SAMPACHO	18,7	15,8	42,2	75,3	116,6	141,8	146,3	102,0	103,3	50,3	26,1	11,7	850,1
UCACHA	16,3	16,1	38,0	90,2	108,5	119,1	125,4	90,4	100,5	51,0	30,8	17,8	804,2
VILLA REDUCCION	19,9	13,9	35,8	80,1	100,9	115,9	110,1	79,0	107,1	50,9	18,8	12,1	744,6
Promedio	17,7	14,9	40,7	75,7	102,2	122,1	121,9	95,3	110,3	55,4	24,4	15,7	796,1

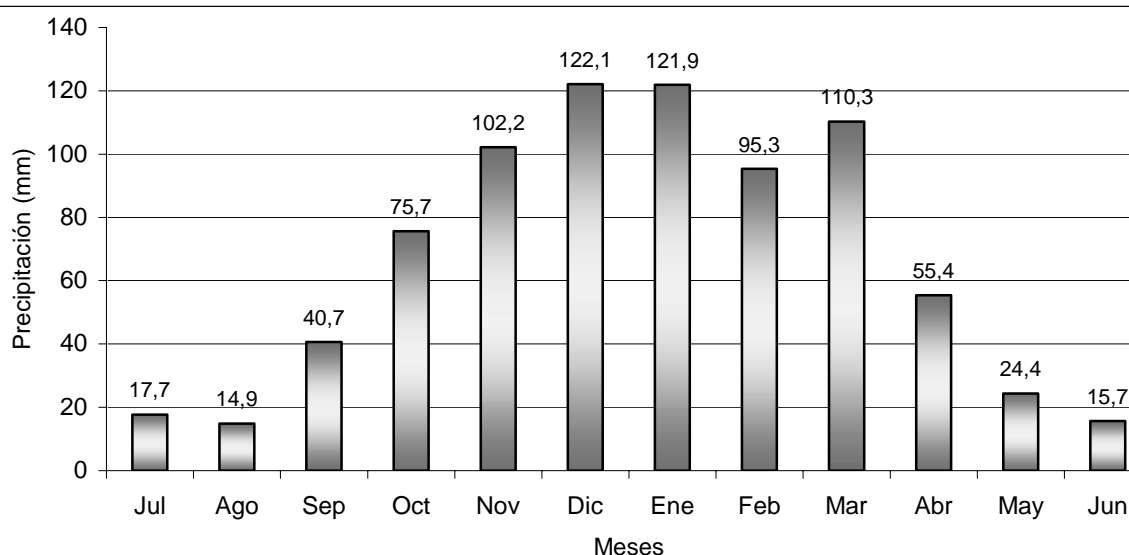


Figura 12: Distribución anual de las precipitaciones como promedios mensuales de todas estaciones consideradas en el estudio (Serie 1961-90)

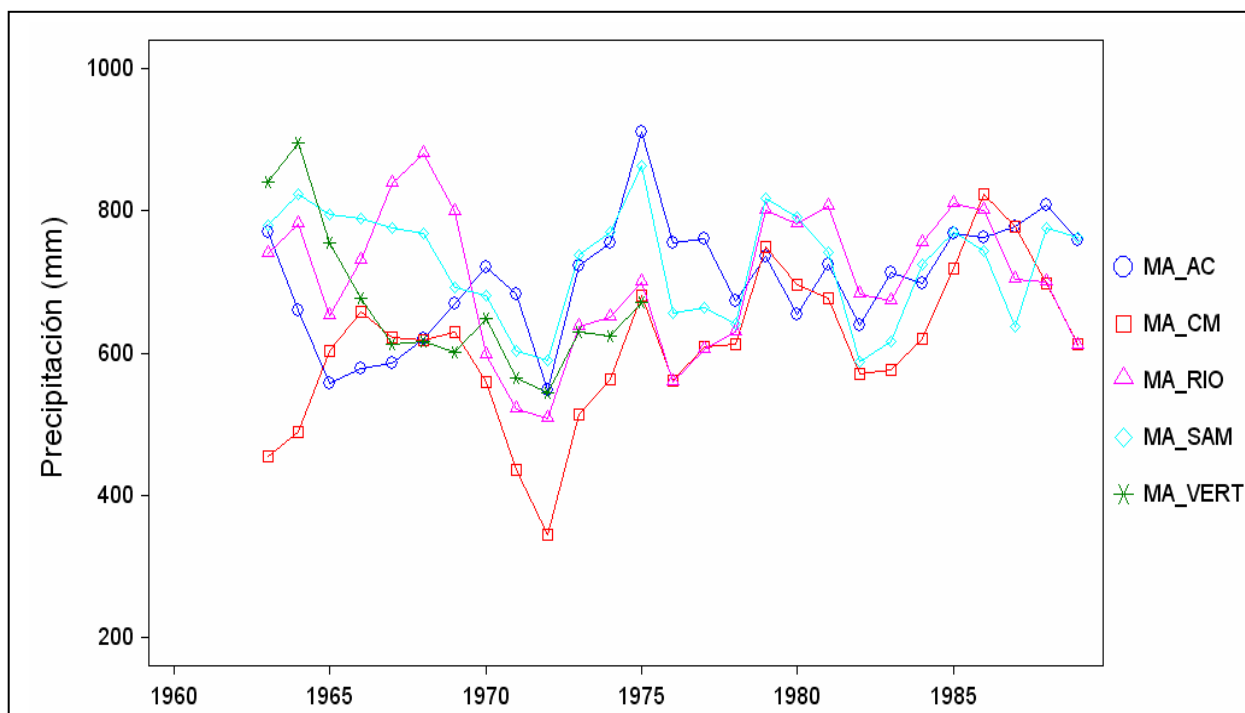


Figura 13: Comparación de la variabilidad interanual de las precipitaciones del período septiembre a marzo de las localidades situadas en el sector occidental de la región en estudio (Serie 1961-1990).

(MA_AC: Promedios móviles Las Acequias; MA_CM: Promedios móviles Coronel Moldes; MA_RIO: Promedios móviles Río Cuarto; MA_SAM: Promedios móviles Sampacho; MA_VERT: Promedios móviles Las Vertientes)

Variabilidad espacial de las precipitaciones

En las Figuras 14 y 15 se observa la distribución espacial de las lluvias para el bimestre diciembre-enero y noviembre-diciembre, realizadas a través de una interpolación de los datos pluviométricos de las localidades. Para el bimestre diciembre-enero las isohietas muestran un valor mínimo de 230 mm y un valor máximo de 260 mm, pudiendo identificar tres zonas de noroeste (máximo) a sureste (mínimo). Mientras que el bimestre noviembre-diciembre el mapa muestra un mínimo de 210 mm y un máximo de 240 mm, diferenciándose los departamentos del centro-oeste con precipitaciones entre 220 a 240 mm y los departamentos del sur y este de la región con lluvias menores a 220 mm.

En la distribución espacial de las precipitaciones para el trimestre diciembre-febrero (Figura 16) se refleja una situación similar a los bimestres anteriormente nombrados, es decir se identifican en la región de estudio tres áreas diagonales con un incremento de las precipitaciones en el sentido de sureste (300 mm)-noroeste (350) y también se observa que los departamentos Marcos Juárez y Río Cuarto son los que muestran una mayor variabilidad espacial en los montos pluviométricos, donde las isohietas se encuentran más concentradas.

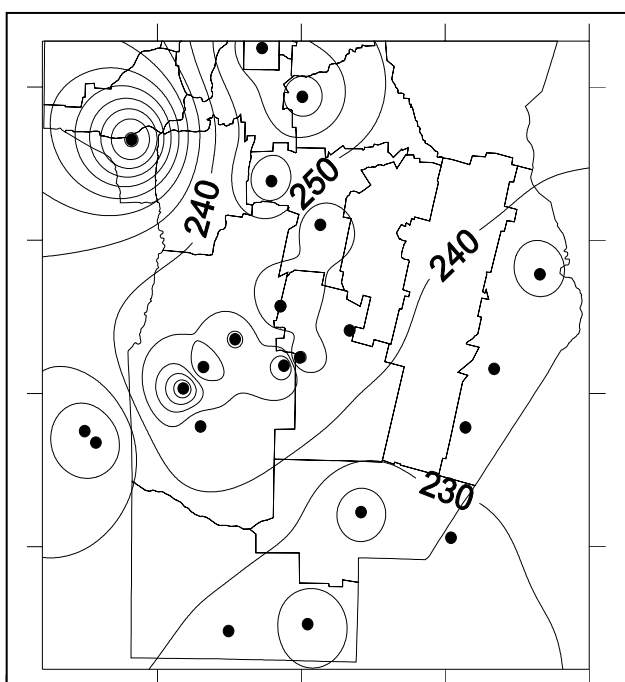


Figura 14: Mapa de distribución espacial de las precipitaciones para el bimestre diciembre-enero (Serie 1961-990)

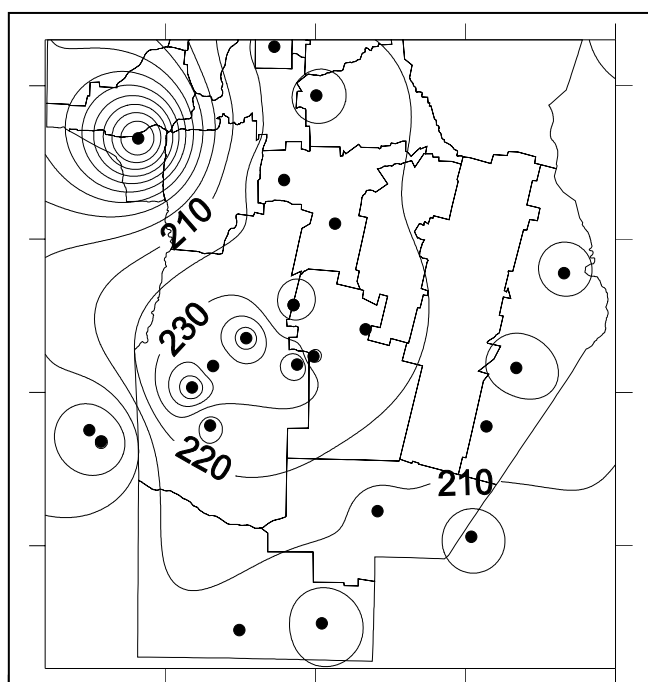
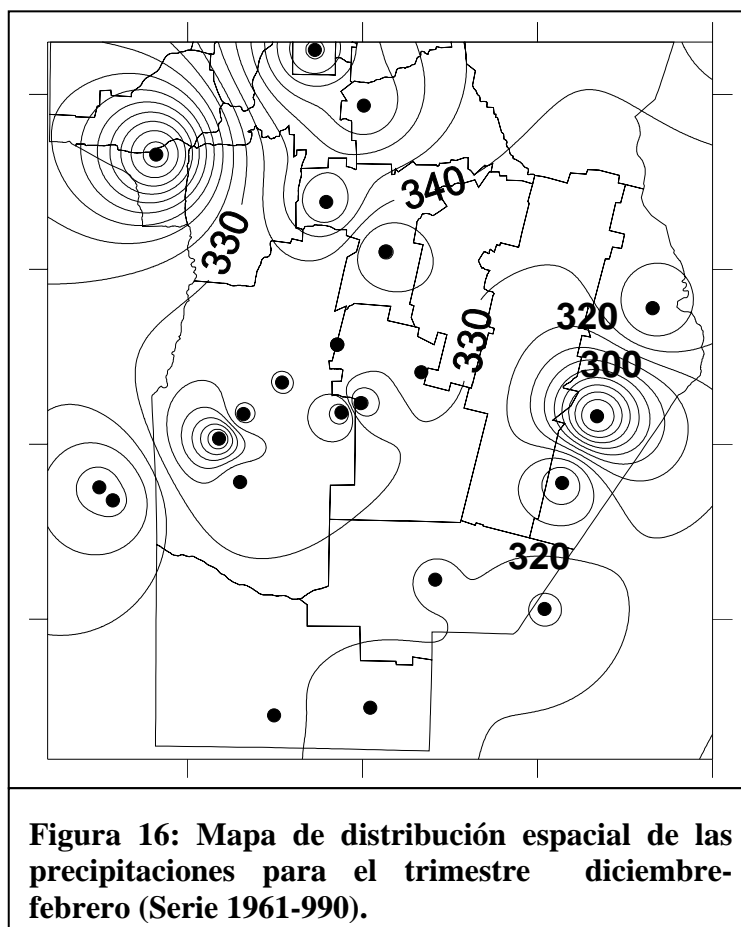


Figura 15: Mapa de distribución espacial de las precipitaciones para el bimestre noviembre-diciembre (Serie 1961-990)



Distribución espacial de la oferta hídrica para el período septiembre a marzo (Serie 1961-1990)

La precipitación es el elemento del clima considerado como de mayor efecto en el desarrollo de los cultivos y es caracterizado como un fenómeno muy variable en tiempo y espacio. Además de esas características de la precipitación, las respuestas biológicas de los cultivos pueden ser distintas según, la variación en las fechas de siembra, del estado fenológico, de la humedad inicial y del almacenaje del suelo, entre otros. Por tal razón, el conocimiento de la variabilidad, distribución espacial y tendencia pluviométrica es de vital importancia para una planificación racional de la agricultura de la región en estudio (Ravelo *et al.*, 2002 y Ravelo, 2003).

En el Figura 17 se presenta la distribución espacial de la disponibilidad de agua durante la estación de crecimiento de los principales cultivos de la región centro-sur de Córdoba, evaluada a través de las precipitaciones acumuladas de septiembre a marzo e interpoladas con el programa Surfer 32 versión 6 (Golden Software Inc. 1995). El resultado muestra una disminución gradual de la disponibilidad en sentido longitudinal de este a oeste (140 mm) en la región, pudiéndose diferenciar tres zonas: una oriental con precipitaciones entre 690 a 680 mm; una central donde las precipitaciones alcanzan valores entre 679-660 mm en la cual se destaca una zona aislada con mayores precipitaciones ubicada en el límite entre los departamentos Río Cuarto y Juárez Celman y finalmente una zona occidental con valores pluviométricos menores a 659 mm, que abarca el sur del departamento Río Cuarto, General Roca y el sector occidental del departamento Pte. Roque Sáenz Peña.

La disminución en sentido longitudinal de las precipitaciones hacia el oeste en el área de estudio ha sido manifestada por Vazquez *et. al* (1979), quienes retoman la carta de precipitaciones elaborada por De Fina *et. al* (1966), para delimitar cinco zonas pluviométricas con un aumento progresivo de las lluvias hacia el sector oriental de la provincia. Ravelo (2003) en su estudio referido al total anual de las precipitaciones de la serie 1961-1990 en la provincia de Córdoba, reafirma la existencia de un gradiente pluviométrico de este a oeste, desde más de 900 mm en la porción oriental del territorio (templado subhúmedo) a menos de 600 mm en el sector occidental en los límites con San Luis y La Rioja (templado semiárido) (Mapa 8). A su vez Chiozza y Figueira (1981) destacan la influencia de las sierras cordobesas sobre la distribución de las lluvias, generando un aumento de las precipitaciones que benefician los faldeos orientales de las mismas. Además argumentan que el mayor aporte de humedad para las precipitaciones proviene del océano Atlántico y por efecto de la continentalidad que posee la provincia, es decir la lejanía respecto del océano como fuente de humedad, es que se acentúa este gradiente.

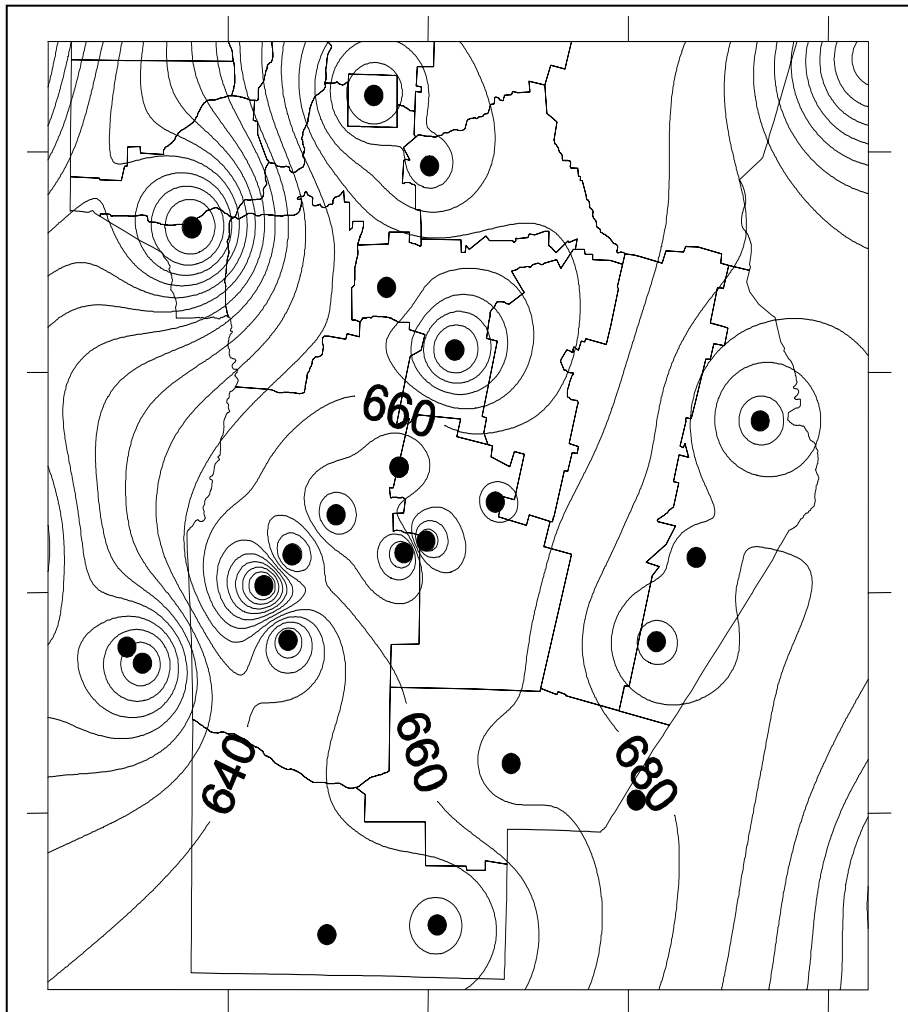
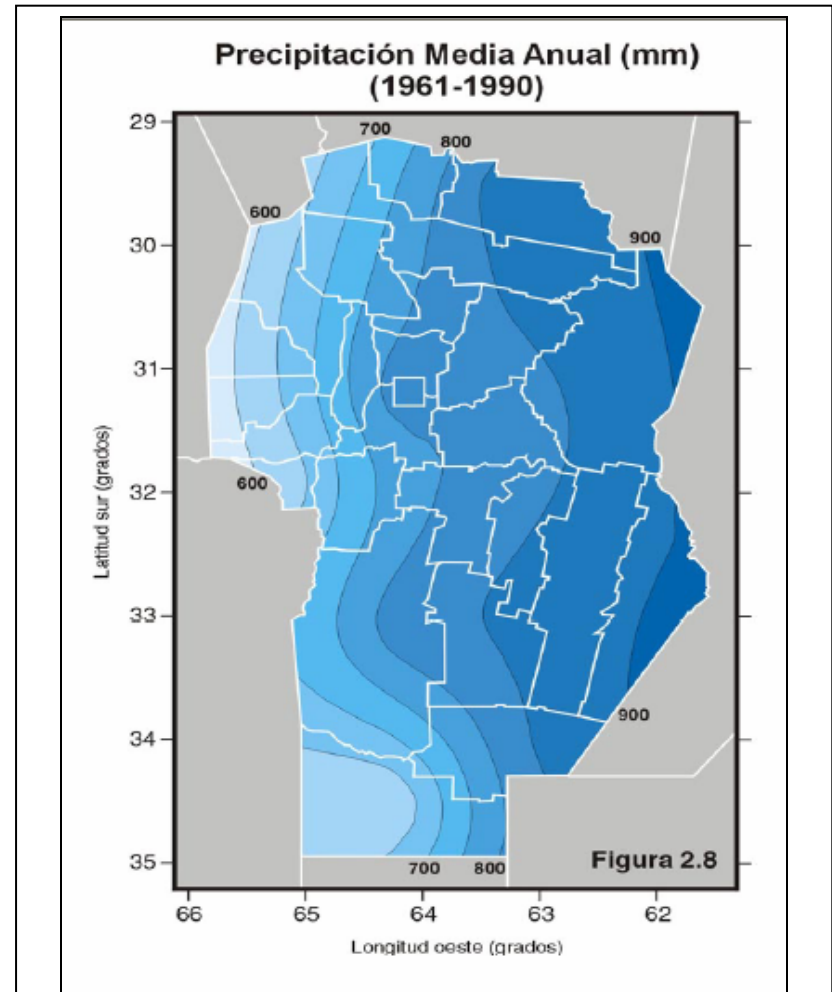


Figura 17: Mapa de distribución espacial de la disponibilidad hídrica para el período septiembre a marzo (Serie 1961-1990)



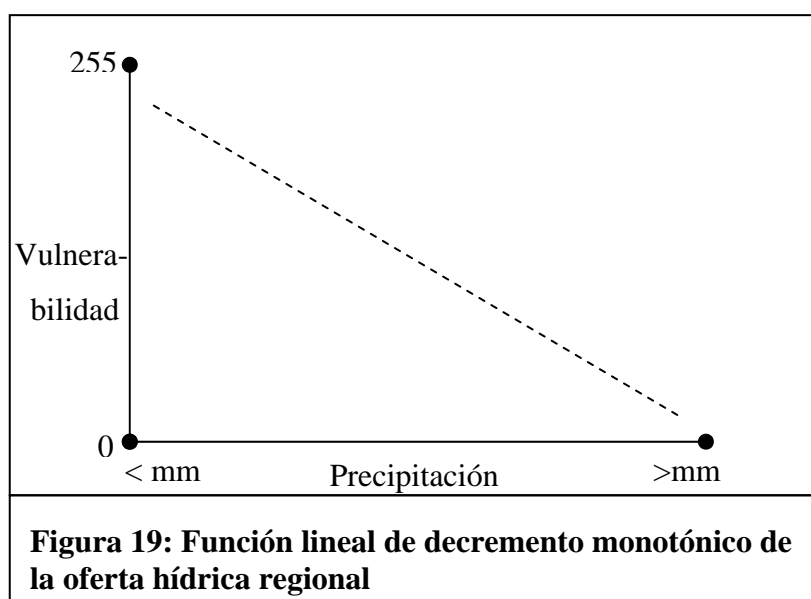
Fuente: Ravelo (2003).

Figura 18: Mapa de precipitación media anual en mm (Serie 1961-1990)

Zonificación de la vulnerabilidad según la oferta hídrica regional

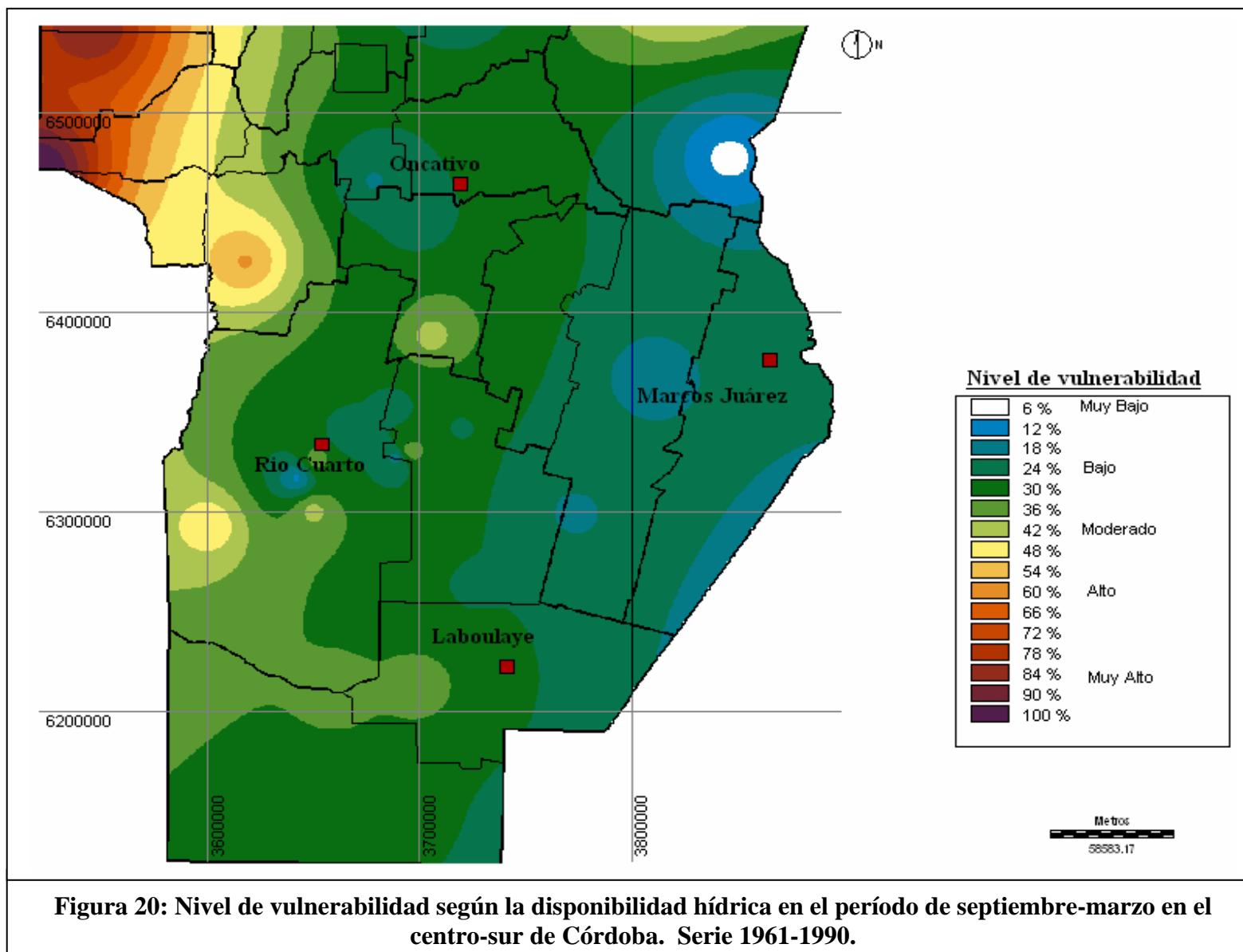
A partir de la distribución espacial de las precipitaciones de la serie 1961-1990, se procedió a delimitar zonas de vulnerabilidad mediante el sistema de información geográfico IDRISI (Clark Labs-Clark University, 2003). Esto permitió determinar niveles de aptitud para el desarrollo de los cultivos de verano, a partir de la oferta hídrica regional. Como ya se explicó en el Capítulo II una forma de tomar decisiones sobre mapas de aptitud considerando diversos criterios en un SIG, es mediante la utilización del Método de *Evaluación por Criterios Múltiples* (Ramachandran e Eastman, 1996) bajo el criterio de estandarización no buliana, también conocido con el nombre de “*Fuzzy o límites de transición gradual*”.

La variable oferta hídrica regional fue estandarizada a una escala continua de aptitud de 0 (menor vulnerabilidad) a 255 (mayor vulnerabilidad). La transformación de la escala de los factores a una escala estándar permite comparar y combinar las variables consideradas en esta investigación. A través del *modulo fuzzy* de IDRISI se estandarizó la disponibilidad hídrica regional, empleando para ello una función lineal de decremento monotónico. Esto es, a medida que disminuye el monto de las precipitaciones en la región, mayor es la vulnerabilidad ante la ocurrencia de una sequía (Figura 19). Luego dicha escala fue reclasificada en porcentajes de 0 a 100 puntos. El resultado obtenido fue una zonificación de la vulnerabilidad desde la perspectiva hídrica, ya que en esta instancia solamente se consideró la variable precipitación.



En la Figura 20 se muestra el resultado obtenido de la estandarización y se observa que la mayor parte del área en estudio se encuentra en el rango de vulnerabilidad muy bajo a moderado para la combinación de cultivos considerados en el período de septiembre a marzo, pero aún así se pueden diferenciar distintas zonas según niveles de vulnerabilidad.

Los departamentos Marcos Juárez, Unión y el sector oriental de los departamentos General San Martín, Juárez Celmán y Pte. Roque Sáenz Peña poseen un nivel de vulnerabilidad muy baja (18%), con áreas de menor vulnerabilidad aún (12%) ubicadas en el este del departamento Marcos Juárez y centro del departamento Unión. Luego se puede identificar una franja central de norte a sur con una vulnerabilidad baja (30%), extendiéndose por los departamentos de Tercero Arriba, sector occidental de Gral. San Martín, Juárez Celman, Pte. Roque Sáenz Peña, sector oriental del departamento de Río Cuarto y la mayor parte de la superficie del departamento Gral. Roca. Dentro la franja central se diferencian dos áreas con un 18% de vulnerabilidad (muy bajo) y una con mayor vulnerabilidad de 42 a 48% (moderado), las dos primeras se ubican al norte del departamento Tercero Arriba y en el noroeste de Río Cuarto y la tercera se halla en el sector sur de Tercero Arriba. Por último el borde occidental del área de estudio posee una vulnerabilidad moderada a alta (42% a 66%) con una inserción en el sector suroccidental del departamento Pte. Roque Sáenz Peña, siendo el departamento San Javier el que presenta mayor vulnerabilidad conjuntamente con la zona occidental del departamento Río Cuarto. En general el mapa muestra una mayor diferencia de la vulnerabilidad en sentido longitudinal (de este a oeste), en concordancia con el patrón de comportamiento de las precipitaciones dentro del área de estudio.



CAPITULO IV
ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAJE
HÍDRICO DEL SUELO EN LA REGIÓN CENTRO-SUR DE
CÓRDOBA.

Siglas utilizadas en el capítulo IV

CAD: Capacidad de agua disponible

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

ISSS: Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo

USDA: Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

Introducción

La acción del clima y del tiempo sobre una región puede ser más compleja según la interacción de esos factores con el suelo y con la topografía (por ejemplo, áreas deprimidas y cuencas inundables, suelos salinos, dificultad de drenaje, entre otras condiciones), de los que pueden resultar diferentes respuestas del medio ambiente a la variación de la eficiencia de la precipitación y los cambios potenciales de la producción (Seiler y Vinocur, 2006).

Dentro de las propiedades morfológicas del suelo, la textura estable en los mismos, mientras que la estructura y la cantidad y tipo de materia orgánica, que también influyen en las propiedades hídricas, son propiedades que pueden variar a corto y medio plazo (lluvias intensas, cambios en la vegetación, puesta en cultivo de los suelos, etc.). Conociendo la textura se pueden conocer muchas de las propiedades hídricas de los suelos, por lo que se puede atribuir a cada tipo de textura un determinado comportamiento hídrico (Zaballo, 2006). No obstante, la textura puede sufrir cambios por laboreo (mezcla de horizontes), erosión eólica (suelos más gruesos por pérdida de material), erosión hídrica (deposición de materiales más finos), etc. Es la propiedad que mejor caracteriza al suelo desde el punto de vista físico. La permeabilidad, la consistencia, la capacidad de intercambio de iones, de retención hídrica, distribución de poros, infiltración y estructura, son algunas de las características del suelo que en gran medida dependen de la textura (Pellegrini, 2003).

En éste estudio el análisis del suelo se realizará a partir de la textura y como ya se mencionó en el Capítulo II, la misma determina la capacidad que tiene un suelo de retener agua e influye directamente en el crecimiento vegetal.

La importancia que tiene la humedad del suelo para el crecimiento de los cultivos ha sido puesta de manifiesto por distintos autores. Pascale y Damario (2004) y Ravelo (2003), por ejemplo hacen referencia a que en el crecimiento de las plantas, el agua disponible en el suelo es un factor fundamental junto con la temperatura, para generar el aumento de la masa vegetal producida en el proceso fotosintético. La contribución del

agua edáfica en los subperíodos críticos de los cultivos es el principal factor bioclimático que determina en el rendimiento cuantitativo de los mismos. El conocimiento de la magnitud y de las variaciones que experimenta la humedad del suelo en tiempo y espacio, es un elemento muy importante en toda valoración agroclimática. Se ha comprobado que los rendimientos de los cultivos muestran una correlación más estrecha con la humedad del suelo y con los componentes del balance hídrico que con los milímetros de precipitación (Ravelo, 2003).

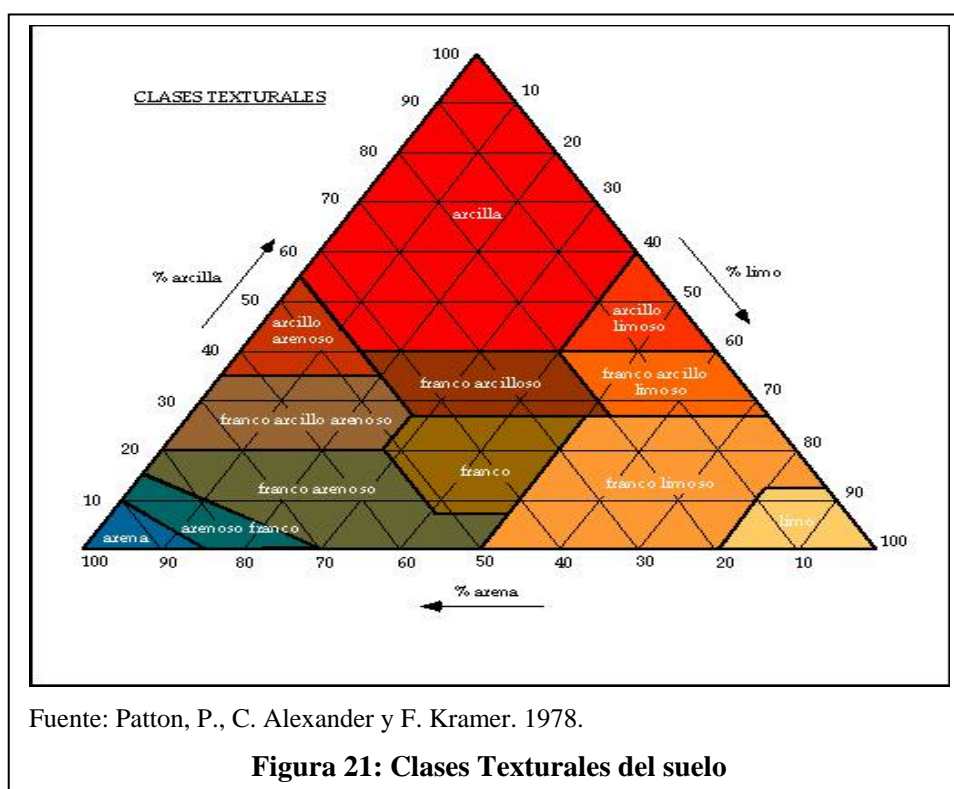
Texturas y clases texturales

La textura de un suelo es una propiedad física permanente, que se refiere a la expresión porcentual de las fracciones que la componen. Para separar las distintas fracciones granulométricas, arcilla, limo y arena se hace necesario establecer los límites entre cada una de ellas. Los criterios para ello son un tanto arbitrarios y dependen de los autores. En la Tabla 9 se indican los tamaños para las distintas fracciones, de acuerdo al criterio establecido por el Departamento de Agricultura de EE.UU (USDA) (Soil Survey Staff, 1979) adoptado por la Argentina. También se presenta el sistema de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (ISSS).

Tabla 9: Tamaño de partículas para dos sistemas de clasificación.			
		USDA (micrones)	ISSS (micrones)
Arena	muy gruesa	2000-1000	-
	gruesa	1000-500	2000-200
	media	500-250	-
	finas	250-100	20-200
	muy fina	100-50	-
Limo		50-2	20-2
Arcilla		< a 2	< a 2

Fuente: Pellegrini, 2003; Bricchi *et al.*, 2006

La combinación de estas tres fracciones determina una clase textural. Las clases texturales son agrupamientos donde las propiedades dependientes de la textura presentan un comportamiento homogéneo (propiedades agronómicas homogéneas). Normalmente referencian al grupo de partículas preponderantes. Las clases texturales dentro del sistema del USDA son doce y se disponen en un triángulo de textura, como se observa en la Figura 21. A éste triángulo se entra con los porcentajes de las fracciones granulométricas aportados por el análisis mecánico o análisis de textura.



En cada lado del triángulo de la Figura 21, se sitúa una de las fracciones, cuyo valor cero corresponde al 100 de la anterior y su 100 con el cero de la siguiente, siguiendo el sentido de las agujas del reloj. El triángulo se divide en una serie de áreas que corresponden a las diversas clases texturales que representan grupos de texturas con aptitudes o propiedades análogas. Las clases suelen asociarse en cuatro grupos principales que corresponden a las texturas arcillosas, limosas, arenosas y francas o equilibradas; según exista un componente dominante o una proporción adecuada de todos ellos.

▪ **Algunas consideraciones sobre las clases texturales**

Siguiendo distintas investigaciones (*e.g.* Pellegrini, 2003; Zaballo, 2006; Bricchi *et al.*, 2006) realizadas sobre las principales características de las clases texturales de los suelos, se pueden destacar ciertas particularidades de los mismos.

Los suelos arenosos tienen predominio de arena o partículas minerales mayores a 0,02 mm de diámetro (cuando las partículas son mayores de 0,2 mm se denominan gravas). Son suelos muy permeables, con una velocidad de infiltración que va de 13 a 20 mm/h, por su predominancia de macroporos. Su capacidad de retención de agua o capacidad de campo es baja y también lo es el agua disponible por las plantas o agua útil, presentan una baja microporosidad y deben ser regados frecuentemente. Como ventajas se puede destacar que son fáciles de trabajar y no presentan problemas de aireación. Se calientan rápidamente en primavera por lo que el ciclo vegetativo se anticipa, lo cual es muy importante porque retienen muy poca agua y nutrientes.

En los suelos limosos predominan los limos o partículas entre 0,02 y 0,002 mm. En ellos la permeabilidad varía mucho según sea su estructura. Puede ser muy lenta cuando la estructura es laminar (sin formar agregados) o bastante rápida cuando la estructura es granular. Suelen presentar una buena cantidad de agua disponible para las plantas, pues retienen mucha más agua que los suelos arenosos a capacidad de campo, aunque su punto de marchitamiento también es mayor.

Los suelos arcillosos tienen predominio de arcillas o partículas menores de 0.002 mm. Son muy impermeables (fácilmente encharcables) y mal aireados, en ellos prevalecen los microporos. Son los suelos que retienen mayor cantidad de agua, pero una gran parte de ella es retenida con mucha fuerza y no está disponible para las plantas (son los que presentan un punto de marchitamiento más alto). Tardan bastante en calentarse en primavera por lo que se conocen como suelos fríos. Estos retardan el inicio del ciclo vegetativo tras el período invernal. Presentan una permeabilidad baja, salvo que estén bien estructurados y formen un buen sistema de grietas. La velocidad de infiltración del agua se

sitúa entre tres y siete milímetros por hora por lo que una precipitación de mayor intensidad tiende a encharcarlos.

Por último, en los suelos francos no predomina claramente ninguno de los tres tipos de partículas sino que por el contrario, las fracciones se encuentran proporcionalmente balanceadas. Estos suelos son los mejores para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Presentan las ventajas de los distintos tipos de partículas, eliminándose sus desventajas. Son suelos aireados y permeables (pero no tanto como los arenosos) y de media-alta capacidad de retención de agua (aunque no retienen tanto como los arcillosos).

De las doce clases texturales del triángulo, la textura franca es la que posee las propiedades medias en cuanto a finura, retención hídrica y cohesión. La clase textural franco es la que asegura las mejores cualidades para el desarrollo de las plantas por poseer un adecuado gradiente de partículas finas, que brindan superficie activa, almacenaje de nutrientes y agua y una fracción gruesa que posibilita buena permeabilidad y por lo tanto aeración. Es decir que la textura franca representa una situación "media" de las propiedades del suelo. Cuando ésta clase textural se enriquece de otra fracción granulométrica, va adquiriendo las propiedades de la última. Por ejemplo, el enriquecimiento con arena produce disminución de la cohesión, plasticidad y adhesividad. Se transforman en suelos sueltos, fáciles de remover. El enriquecimiento en limo produce aumento ligero de la cohesión y plasticidad, manteniéndose la adhesividad en valores aproximadamente iguales. El aumento en la fracción de arcilla produce aumento de la cohesión, plasticidad y adhesividad en grado sumo. Son suelos pesados, difíciles de trabajar en seco o cuando están muy húmedos.

Descripción de las clases texturales presentes en el área de estudio

Utilizando el mapa de suelo de la República Argentina en una escala de 1: 500.000 (INTA, 2000) y mediante el sistema de información geográfico Idrisi (Clark Labs-Clark University, 2003), se extrajeron las clases texturales de los suelos dentro del área centro-sur de la Provincia de Córdoba de la provincia de Córdoba. La Figura 22 muestra que en el

área de estudio se encuentran presentes las siguientes clases texturales: arenoso, areno-franco, franco-arenoso, franco y franco-limoso. En general son suelos que varían de textura muy gruesas (arenosos) a texturas medias (franco-limosos).

La distribución espacial de los tipos de textura en el área de estudio se presenta de la siguiente forma:

- Los suelos muy gruesos (arenosos) tienen una escasa representación y se encuentran concentrados en la zona oeste de la región, más precisamente en las Sierras Grandes de la provincia de Córdoba.
- Los suelos gruesos (areno-franco) se encuentran ubicados en todo el sector Oeste de la región, en el área de las Sierras Grandes y Chicas del sistema de las Sierras Pampeanas. También se hallan en la zona sur-oeste de la región, en el límite de los departamentos Río Cuarto y General Roca.
- Los suelos moderadamente gruesos (franco-arenosos) se distribuyen irregularmente en toda la región de estudio. Asimismo podemos diferenciar tres sub-áreas: la primera de ellas en el norte de la región; una segunda sub-área en el centro-este y por último una sub-área estrecha en el Oeste de la región.
- Los suelos de textura media (franco y franco-limoso) son los que se distribuyen en mayor proporción en el área de estudio. Los suelos de textura franco se encuentran ubicados en mayor proporción en toda la zona oriental de la región, principalmente en los departamentos de Marcos Juárez y Unión. Los suelos de textura franco-limoso se ubican en la zona central de la región, como faja que se extiende en sentido norte-sur.

En definitiva los suelos de texturas franco y franco-limoso son los que cubren en mayor porcentaje la región Centro-Sur de la provincia de Córdoba. De las doce clases texturales consideradas, la textura franca es la que posee las propiedades medias en cuanto a finura, retención hídrica, cohesión y es la que asegura las mejores cualidades para el desarrollo de las plantas por poseer un adecuado gradiente de partícula finas, que brindan superficie activa, almacenaje de nutrientes y agua y una fracción gruesa que posibilita buena permeabilidad y aeración (Pellegrini, 2003)

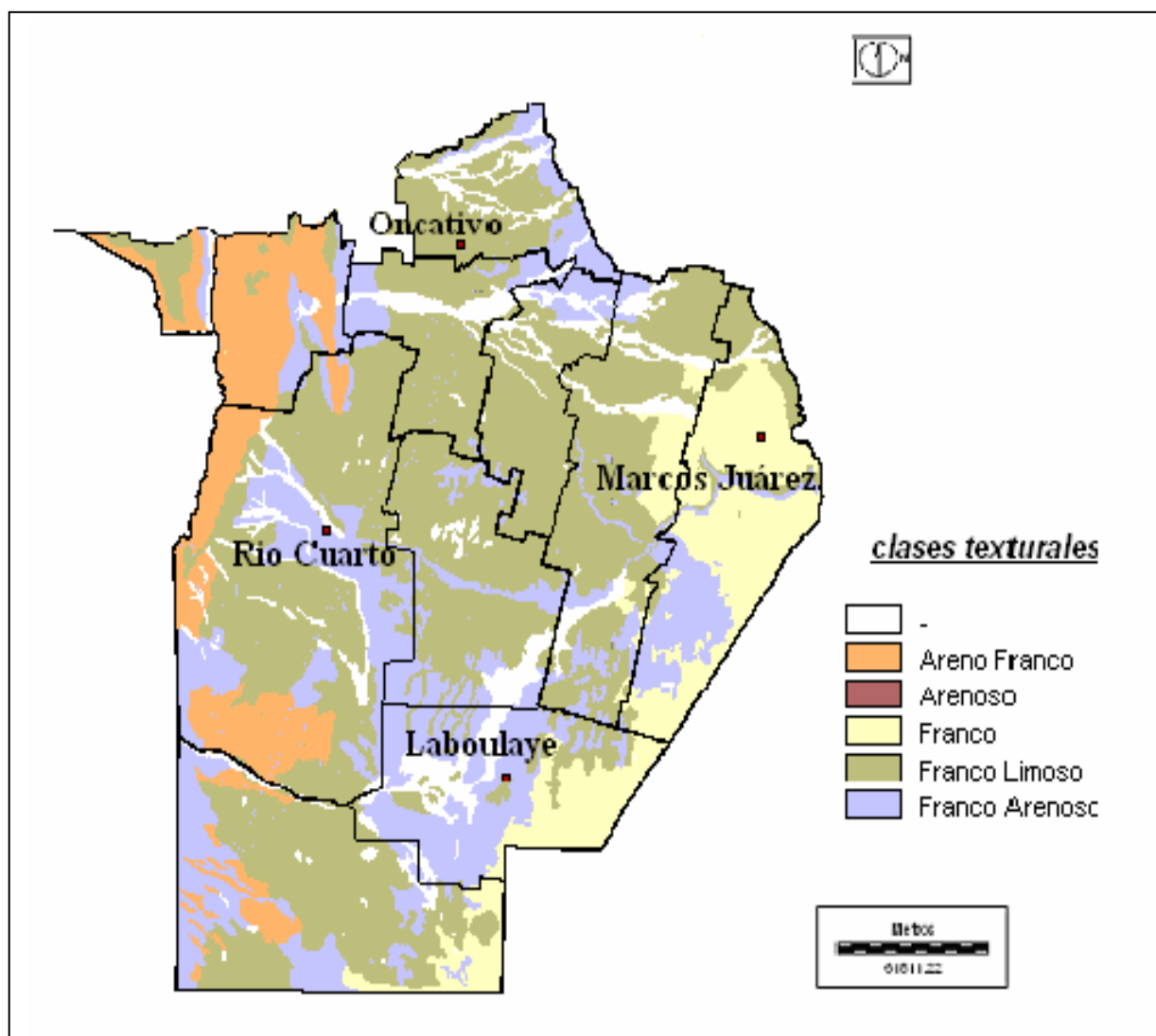


Figura 22: Distribución de clases texturales pertenecientes a la región de estudio.

Capacidad de almacenaje hídrico del suelo

Según Buckman y Brady (1970) la capacidad que tiene un suelo de almacenar agua varía notoriamente con la textura del mismo y estas condiciones influyen directamente en el crecimiento vegetal. Como se explicó en el Capítulo II (pag. 41) esta capacidad queda definida por el nivel de almacenaje de agua en capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente, los que determinan los límites máximo y mínimo de la humedad del suelo que puede ser utilizada por los cultivos. Esta agua útil es la aprovechable por las plantas y constituye la "reserva de agua" del suelo. Cuanta más alta sea ésta, mayor será la posibilidad de resistencia de las plantas a un período seco. Esta reserva marca la máxima duración del período entre lluvias para el mantenimiento de la vegetación en funcionamiento. Si bien esta capacidad de reserva está en función de la textura y la estructura del suelo, el tiempo de consumo o duración de la misma depende de la demanda atmosférica y de la cubierta vegetal, que imponen el ritmo de la evapotranspiración. (Micucci *et al.*, 2002; Porta *et al.*, 1999; Labrador Moreno, 2001).

La capacidad de almacenaje de agua útil de los suelos para cada textura existente en el área de estudio se aproximó siguiendo el estudio realizado por Russell y Russell (1964), que permite cuantificar el agua utilizable en milímetros por cada metro de profundidad del suelo. De esto resulta que los suelos con menor capacidad de agua disponible a un metro de profundidad en el área de estudio son los arenosos con 26 mm y los areno-franco con 68 mm, luego continúan los franco-arenosos con 110 mm y los de mayor capacidad son los franco y franco-limoso con 200 y 246 mm respectivamente.

Zonificación de la vulnerabilidad según la capacidad de retención hídrica del suelo

A partir de la determinación de la capacidad de almacenaje de agua útil para cada textura existente en el área, utilizando el módulo *Assign* de IDRISI Kilimanjaro (Clark Labs-Clark University, 2003) se elaboró un mapa de la distribución regional de la capacidad de almacenaje hídrico del suelo. Dicho mapa fue utilizado como base para establecer un mapa de aptitud para el desarrollo de cultivos. La elaboración del mismo se realizó mediante la utilización del Método de *Evaluación por Criterios Múltiples* (Ramachandran e Eastman, 1996) bajo el criterio de estandarización no buliana, también conocido con el nombre de “*Fuzzy o límites de transición gradual*”.

La variable capacidad de almacenaje hídrico regional fue estandarizada a una escala continua de aptitud de 0 (menor vulnerabilidad) a 255 (mayor vulnerabilidad), es decir a mayor cantidad de milímetros de agua disponible en los suelos para los cultivos, menos vulnerable es a sufrir una sequía. En éste caso como la variable posee datos categóricos, se requirió solamente darle un valor a cada categoría basándose en los conocimientos previos provenientes de distintas investigaciones sobre la potencialidad de cada textura de suelo de soportar un período seco o el de mejor aptitud hídrica para el desarrollo de los cultivos. Para ello se utilizó el módulo *reclass* de IDRISI, cambiando los valores de agua disponible para cada categoría a nuevos valores relativos de riesgo en el caso de producirse condiciones de una sequía agrícola.

Esa escala luego fue reclasificada nuevamente en porcentajes de 0 a 100 puntos. El resultado obtenido es una zonificación de la vulnerabilidad desde la perspectiva del suelo, ya que en ésta instancia solamente se considero la variable agua disponible en el suelo (Figura 23).

Los valores de la reclasificación se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10: Reclasificación de la CAD en niveles de vulnerabilidad			
Textura	CAD mm/m de prof.	Escala continúa (0 a 255)	Nivel de vulnerabilidad (%)
Franco-limoso	246 mm.	0	0
Franco	200 mm	75	30
Franco-arenosos	110 mm	125	50
Areno-franco	68 mm	200	80
Arenoso	26 mm	255	100

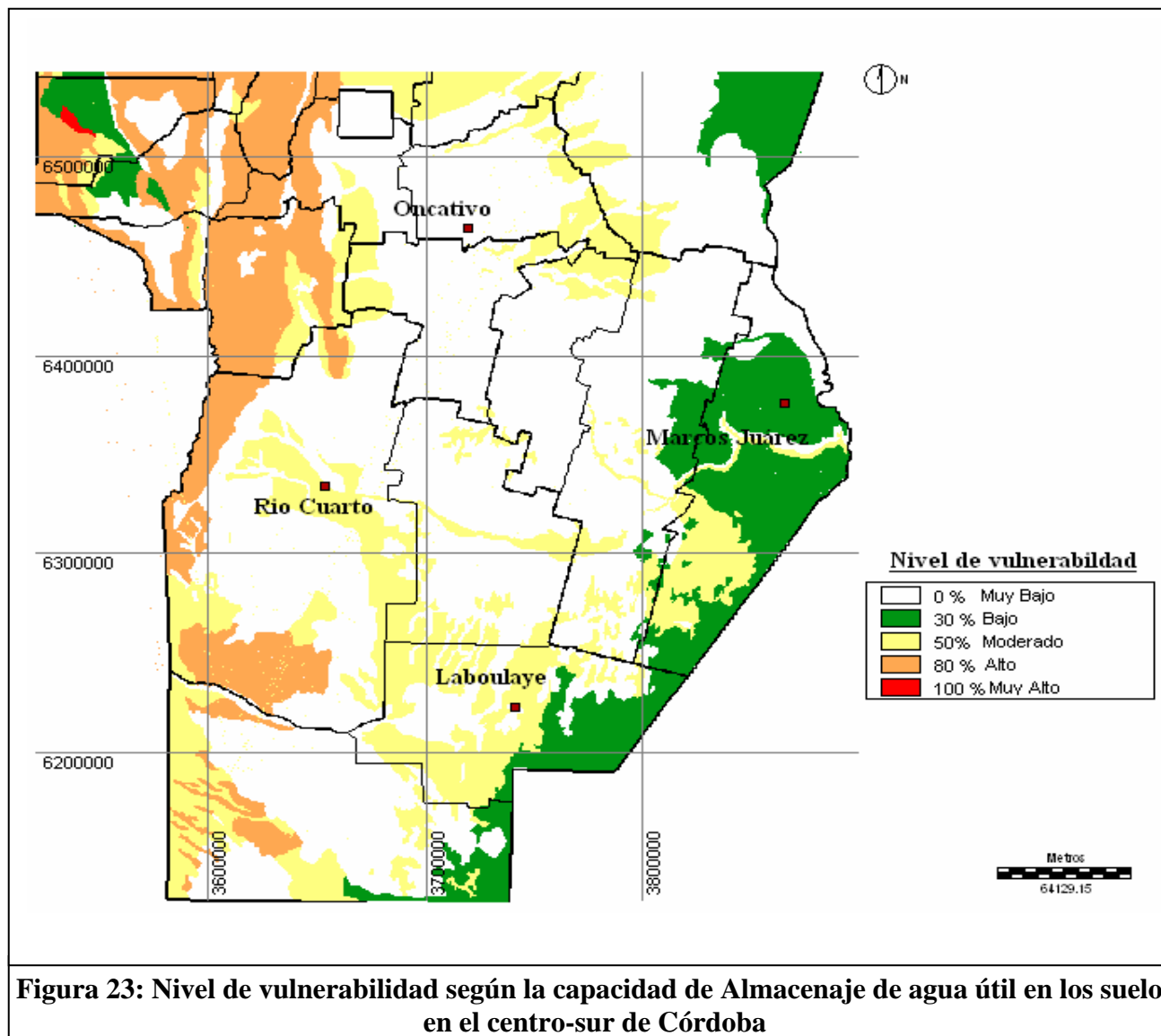
En la Figura 23 se observa que la mayor proporción de la región en estudio se encuentra entre una vulnerabilidad muy baja a baja (0 al 30%) respecto a soportar períodos de escasez de agua de acuerdo con la capacidad de almacenaje de agua útil de los suelos, ubicada en el centro-este y sur de Córdoba. También existe una pequeña área de baja vulnerabilidad localizada en el borde serrano occidental en el departamento San Javier. Notoriamente las áreas de menor vulnerabilidad coinciden con los ambientes geomorfológicos de la pampa loésica plana, pampa loésica alta, pampa ondulada y en menor medida con pequeñas proporciones de la pampa arenosa, pampa medanosa y pampa arenosa anegable, que son relictos loésicos de textura franca a franco-arenosa sepultados por acumulaciones arenosas más recientes, a partir de los cuales se han desarrollado los suelos de mayor aptitud de estas unidades. Las mismas han sido intensamente incorporadas a actividades eminentemente agrícolas, encontrándose afectadas por importantes procesos erosivos que son el resultado de las precipitaciones, del gradiente y longitud de las pendientes y del uso intensivo de los suelos, principalmente en aquellos que drenan hacia los principales ríos de la región (Gorgas y Tassile, 2003).

Rodeando al área de menor vulnerabilidad se encuentran los sectores de vulnerabilidad moderada (50%), con suelos franco-arenosos en transición de la pampa loésica plana y alta hacia los ambientes geomorfológicos de la pampa arenosa, anegable y

medanosa, caracterizados por un relieve ondulado con presencia de medanos estabilizados, medanos activos y cubetas de deflación ocupadas por lagunas permanentes y semi-permanentes. El sector anegable se destaca por su escasa pendiente y su relieve plano-concávo, lo que permite su fácil anegamiento e inundación afectando a campos de mayor productividad (Gorgas y Tassile, 2003).

Cabe destacar que el grado de vulnerabilidad puede, en éste sector, ser reducido por el aporte de humedad de las napas freáticas, contribuyendo al aumento de los rendimientos de los cultivos, aún en períodos secos. Investigaciones desarrolladas por Baigorri, *et al.* (2003), Baigorri (2005), Martini y Baigorri (2006), Garnero y Quiroga (2003) observaron lotes de soja y maíz con altos rendimientos, aún en campañas con reducidas precipitaciones, en la región comprendida entre el noroeste de la Provincia de Buenos Aires, extremo sudoeste de la Provincia de Santa Fe, noreste de la Provincia de La Pampa y el sudeste de la Provincia de Córdoba, que presenta un relieve muy plano. A partir de estos resultados, se confirmó que tales rindes estarían asociados al aporte de agua de la napa freática y del frente de ascenso capilar de la misma, complementando el aporte de las lluvias. En los casos en los que el aporte de la napa evita el estrés hídrico, es posible aprovechar la mayor potencialidad productiva de las fechas de siembra tempranas (mes de octubre) y la mayor capacidad de expresión del potencial de rendimiento de los cultivares de ciclo más corto. Las fechas de siembra tempranas a su vez otorgan la posibilidad de adelantar la fecha de cosecha y asegurar la disponibilidad de piso, en regiones con ésta limitante (Baigorri, 2005).

El borde occidental de la región se encuadra en un nivel de vulnerabilidad alta a muy alta (80 al 100%) concordando con el sector serrano y pedemontano (sierras Grandes, sierras Chicas y sierra de Comechingones), con suelos predominantemente arenosos, areno-franco y texturas gruesas gravilosas con presencia de depósitos loésicos en las áreas más planas del piedemonte. Es un área fuertemente afectada por procesos erosivos debido a su fuerte pendiente que se acentúa en las sierras propiamente dichas (Gorgas y Tassile, 2003).



CAPITULO V
ANÁLISIS DEL DEFICIT HÍDRICO Y ZONIFICACIÓN
DE LA VULNERABILIDAD A LA SEQUIA EN EL
SUR DE CÓRDOBA

Siglas utilizadas en el capítulo V

CWR: Crop Water Requeriment (requerimiento de agua del cultivo)

Eto: Evapotranspiración potencial

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Kc: Coeficiente de Cultivo

SAGyA: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Alimentación

UNRC: Universidad Nacional de Río Cuarto

Introducción:

La producción de los cultivos, tanto en cantidad como en calidad, está asociada a una adecuada provisión de agua durante el ciclo. Cuando la demanda de agua por la vegetación es mayor que la cantidad disponible durante un período determinado, o cuando su uso se ve restringido se produce un déficit hídrico, el cual provoca una situación de estrés y finalmente una disminución productiva.

El déficit se puede evaluar por medio del balance hídrico, el cual permite cuantificar la cantidad de agua recibida por medio de la precipitación comparada con la pérdida de agua debida a la evapotranspiración. Ésta última puede ser definida como la cantidad de agua que evapora el suelo y transpiran las plantas bajo determinadas condiciones atmosféricas y de humedad edáfica. En este proceso se distinguen dos estados de evapotranspiración: la potencial y la real. La potencial ocurre cuando la humedad edáfica se encuentra en capacidad de campo y el suelo está totalmente cubierto por una vegetación herbácea de baja altura. La evapotranspiración real por otra parte, representa la pérdida actual de agua bajo las condiciones existentes del ambiente, en cuyo caso la magnitud será igual a la potencial, o inferior cuando alguna de las restricciones de humedad y cobertura no se cumplan. La diferencia entre ambas representa la deficiencia hídrica (Ravelo, 2003).

El análisis del déficit hídrico regional se realizó a través de la comparación entre el requerimiento de agua de los distintos cultivos por departamento y la oferta hídrica regional. El cálculo del requerimiento de agua exige conocer los tipos de cultivos y áreas cultivadas por departamento, el coeficiente de cultivo (K_c) según las fechas de siembra y las longitudes de los estadios de los distintos cultivos y cuantificar la evapotranspiración potencial de los cultivos durante el ciclo. Para la estimación de la evapotranspiración potencial se utilizaron datos climáticos de cuatro estaciones meteorológicas (Río Cuarto, Laboulaye, Marcos Juárez y Pilar) representativos del área de estudio y que a su vez contaban con todas las variables meteorológicas requeridas.

El valor de requerimiento de agua de los cultivos obtenido para cada departamento fue comparado con su correspondiente oferta hídrica para el período registrada en las estaciones meteorológicas ubicadas en cada uno de los departamentos. Para ello se generaron las curvas de distribución empírica de frecuencia acumulada de los valores de las precipitaciones en el período considerado por departamento, calculando sobre las mismas el porcentaje o probabilidad de que la demanda de agua esté por debajo de la oferta generada por las precipitaciones, como parámetro indicador del déficit hídrico.

Descripción de los sistemas de cultivos predominantes en los departamentos del sur de Córdoba.

Las características ambientales del territorio provincial posibilitan el desarrollo de una diversidad de cultivos y una amplia gama de rubros ganaderos. El 56% de la superficie provincial permite practicar la agricultura en forma exclusiva o combinada con ganadería (Mercado y Moore, 2004).

Siguiendo las clasificaciones de los espacios productivos de la provincia de Córdoba realizados por el Centro Regional Córdoba del INTA (2002), INTA-UNRC-SAGyA (2003) y Mercado y Moore (2004), en el área de estudio se encuentra representado el sistema productivo de la planicie con sus variantes (planicie del este, planicie anegadiza, planicie medanosa) y el sistema de producción de las sierras. Cada uno de ellos presenta rasgos distintivos que se detallan a continuación:

- Sistema agrícola del este: Abarca los departamentos Marcos Juárez y Unión, históricamente agrícola-ganaderos, que sufrieron grandes cambios en su estructura en los últimos años. Estas transformaciones los llevaron a especializarse en agricultura, siendo actualmente sus principales cultivos la soja, el trigo y el maíz. Se practica en general el doble cultivo trigo-soja en rotación con ganadería. El departamento Marcos Juárez es el primer productor de trigo, soja y cebada de la provincia, dada la excelente disponibilidad hídrica y calidad de sus suelos que permiten el doble cultivo trigo-soja

en siembra directa. En los últimos años, la soja se transformó en monocultivo (ambos departamentos producen el 36% del total provincial) al ganarle terreno al maíz y al trigo (del que también producen el 30% del total provincial) (Mercado y Moore, 2004). Según los datos relevados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Alimentos de la provincia de Córdoba para las campañas agrícolas 1998/99 a 2002/03, los cultivos de mayor superficie sembrada en el departamento Marcos Juárez fueron la soja (68,5%), trigo (16,4%), maíz (9,2%) y en menor superficie sorgo granífero, girasol y maní. En el caso del departamento Unión, la mayor superficie sembrada correspondió a soja (60,7%), trigo (22,7%), maíz (11,7%) y en menor proporción sorgo, girasol y maní (ver Tabla N° 2 pag. 37 y 38).

- Sistema mixto de la planicie anegadiza: Este sistema mixto está integrado por los departamentos Río Segundo, Tercero Arriba y General San Martín, donde el 60% de la superficie se destina a agricultura y el 36% a ganadería. Se destacan los cultivos de soja, maíz y maní. Desde fines de la década de 1970 fue perdiendo espacio el maní a favor de la soja (ésta zona produce el 15% de soja del total provincial). La producción agrícola se completa con maíz y sorgo granífero. El departamento Tercero Arriba es el primer productor de sorgo granífero de la provincia y el tercero de maní y soja. Según los datos relevados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Alimentos de la provincia de Córdoba para las campañas agrícolas 1998/99 a 2002/03, los cultivos de mayor superficie sembrada en el departamento Río Segundo fueron la soja (62,9%), trigo (18,3%), sorgo granífero (7,7%) y en menor proporción maíz, maní y girasol. En el departamento Tercero Arriba el sistema productivo de las mismas campañas agrícolas comprende 64,8% de soja, trigo con 11,7%, maní 10% y en menor ocupación se encuentran sorgo granífero, maíz y girasol. En el caso del departamento Gral. San Martín se cultiva un 46% de soja, un 20,4% de maní, un 17,8 de trigo y en menor escala se posicionan el maíz, sorgo y girasol (ver Tabla N° 2 Pág. 37 y 38).
- Sistema agrícola-ganadero de la planicie medanosa: Este sistema corresponde a los departamentos Juárez Celman, Río Cuarto, Presidente Roque Sáenz Peña y General Roca. Hasta hace unos años entre un 60 y 70% de la superficie se dedicaba a la

ganadería y el resto a la agricultura. Actualmente, el 53% se destina a ganadería. Los sistemas de producción mixtos representan un sector importante, en los cuales los cultivos más relevantes son el maíz, la soja y el girasol. Río Cuarto es el primer productor de maíz de la provincia (32% de la superficie sembrada de la provincia) y el segundo de centeno, maní y girasol. General Roca es el primer productor de girasol. En la provincia se ha conformado un núcleo manisero localizada en los departamentos Juárez Celman y Río Cuarto.

Según los datos relevados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Alimentos de la provincia de Córdoba para las campañas agrícolas 1998/99 a 2002/03, los cultivos de mayor superficie sembrada en el departamento Juárez Celman fueron en primer lugar la soja (42,8%), seguido por el maíz (22,4%), maní (14,6%), trigo (8,7%) y con menor participación girasol y sorgo.

En el caso del departamento Río Cuarto el maíz es el cultivo de mayor participación con el 42,9%, luego la soja con el 27,9% y en menor proporción el girasol, maní, trigo y sorgo granífero.

Para el departamento Presidente Roque Sáenz Peña la participación de los cultivos comprende al girasol con el 37,6%, la soja con 29,2%, el trigo con el 18,4%, maíz con el 11,6% y en menor medida maní y sorgo.

En el departamento General Roca el sistema de cultivos para las campañas 1998 a 2003 se conformaba con girasol en 44,3%, trigo con el 18,9%, soja y maíz con el 15 y 14% respectivamente y en últimos lugares el sorgo y el maní (ver Tabla N° 2 pag. 37 y 38).

- Sistema de producción de las sierras: Representados por los departamentos San Javier y Calamuchita. El primero de estos cuenta con el 31% de la superficie irrigada de la provincia, ya que practican la agricultura bajo riego. Ambos se destacan por una fuerte presencia de la ganadería sobre la agricultura. Aún así el cultivo de mayor participación durante las campañas agrícolas 1998 a 2003 fueron la soja con el 74,9%, seguido en mucho menor proporción por el trigo con el 10,3 % y el maíz y sorgo con el 9,9% y el 4,9% respectivamente. En el caso del departamento San Javier la situación cambia, siendo la mayor proporción de la superficie ocupada por el maíz (73,3%), siguiendo el trigo con el 12,8%, el girasol y la soja (ver Tabla N° 2 pag. 37 y 38).

Requerimiento de agua del sistema productivo agrícola departamental

Conociendo la composición de los sistemas productivos de cada departamento que compone el área de estudio, se procedió a determinar la necesidad de agua del sistema, utilizando el modelo CROPWAT 4.0 (FAO, 1992) que permite la estimación del requerimiento hídrico regional en función de los cultivos existentes o combinación de ellos, de la evapotranspiración potencial y del coeficiente Kc de los cultivos, según se describiera en el Capítulo dos. El ajuste de los coeficientes de cultivos (Kc) se realizó según las fechas medias de siembra y las longitudes de los estadios de los distintos cultivos (Tabla 11 y 12). La evapotranspiración potencial de los cultivos durante el ciclo, fue calculada por el modelo utilizando datos climáticos de cuatro estaciones meteorológicas (Río Cuarto, Laboulaye, Marcos Juárez y Pilar) representativas del área de estudio y que a su vez contaban con todas las variables meteorológicas requeridas por el modelo para calcular la evapotranspiración potencial, siguiendo el método de FAO-Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Tabla 11: Fecha media de siembra por cultivo en cada departamento del área de estudio.*						
Departamento	Maíz	Soja	Girasol	Trigo	Sorgo	Maní
San Javier	1/10	15/11	25/10	1/06	-	
Calamuchita	15/10	15/11	-	30/05	20/11	-
Río Segundo	10/10	10/11	25/10	01/06	20/11	10/11
Tercero Arriba	15/10	01/11	20/10	30/05	20/11	20/11
Gral. San Martín	20/09	20/10	05/10	30/05	15/10	01/11
Unión	20/09	10/10	05/10	30/05	15/10	01/11
Marcos Juárez	20/09	20/10	05/10	30/05	15/10	01/11
Río Cuarto	10/10	01/11	20/10	30/05	15/11	11/11
Juárez Celman	10/10	1/11	20/10	30/05	15/11	11/11
Pte. Roque Sáenz Peña	15/10	15/11	25/10	30/05	01/12	20/11
Gral. Roca	15/10	15/11	25/10	30/05	01/12	20/11

Tabla 12: Ajuste de la duración de los estadios de los distintos cultivos y los coeficientes de cultivos. *

Cultivo	Longitud de estadio (días)					Coeficiente de cultivo (Kc)		
	Estadio I	Estadio II	Estadio III	Estadio IV	Total	Inicial	Medio	Final
Maíz	30	33	36	36	135	0,25	1,00	0,50
Soja	20	30	80	25	155	0,30	0,95	0,35
Girasol	25	30	35	20	110	0,35	1,13	0,45
Trigo	30	40	65	35	170	0,35	0,96	0,45
Sorgo	20	35	40	30	125	0,30	1,00	0,55
Maní	30	30	50	45	155	0,40	1,05	0,50

* Elaboración propia en base a: Arce *et al.* (2003), Baigorri y Croatto (2000), Bainotti *et al.* (2004), Centeno y Aponte (2004), Giorda *et al.* (1997), Nidera (2004), Pedellini *et al.* (1998), Uhart (2001) y Vallone *et al.* (2002).

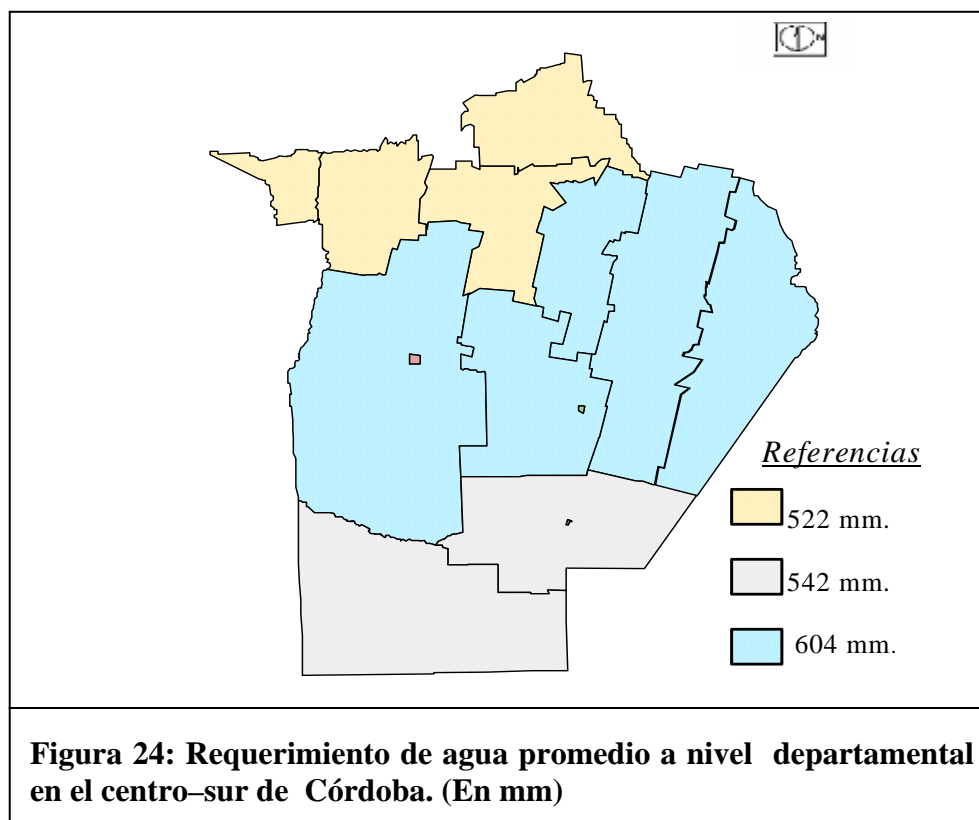
Los resultados obtenidos (salidas del modelo) se presentan en el Anexo II a través de tablas para cada departamento, en las que se detallan los valores decádicos de las siguientes variables: evapotranspiración potencial (Eto), Área sembrada (Planted area), coeficiente de cultivo (crop Kc), requerimiento de agua del cultivo (CWR), lluvia total y efectiva, requerimiento de riego y su correspondiente cuantificación por hectárea. En este caso el análisis se centralizó principalmente en el CWR, que es resultado de la combinación de las tres primeras variables.

A partir de las tablas anteriores se calcularon los requerimientos de agua del ciclo septiembre a marzo, de acuerdo al sistema productivo agrícola predominante en cada departamento, durante el período 1961/90 (Tabla 13).

Tabla 13: Requerimiento de agua para cada departamento del centro-sur de Córdoba y de las localidades extra-regionales, de acuerdo al sistema productivo predominante.

Período	Departamento	CWR (mm)	Período	Localidades Extra-regionales	CWR (mm)
1961-1990	San Javier	445,5	1961-1990	San Luis	721,07
1961-1990	Calamuchita	597,95	1961-1990	Chepes	475,61
1961-1990	Río Segundo	508,95	1961-1990	Chamical	612,35
1961-1990	Tercero Arriba	537,82	1961-1990	Stgo. del Estero	551,12
1961-1990	Gral. San Martín	602,05	1961-1990	Córdoba	556,9
1961-1990	Unión	591,56	1961-1990	Villa María del Río Seco	480,51
1961-1990	Marcos Juárez	610,47	1961-1990	Ceres	505,05
1961-1990	Río Cuarto	601,11	1961-1990	Rafaela	537,77
1961-1990	Juárez Celman	616,25	1961-1990	Rufino	587,71
1961-1990	Pte. Roque Sáenz Peña	548,32	1961-1990	Pergamino	524,24
1961-1990	Gral. Roca	534,59	1961-1990	Junín	593,68
			1961-1990	Nueve de Julio	523,53
			1961-1990	Trenque Lauquen	509,22
			1961-1990	Gral. Pico	515,95
			1961-1990	Villa Mercedes	577,44
			1961-1990	Villa Reynolds	577,44

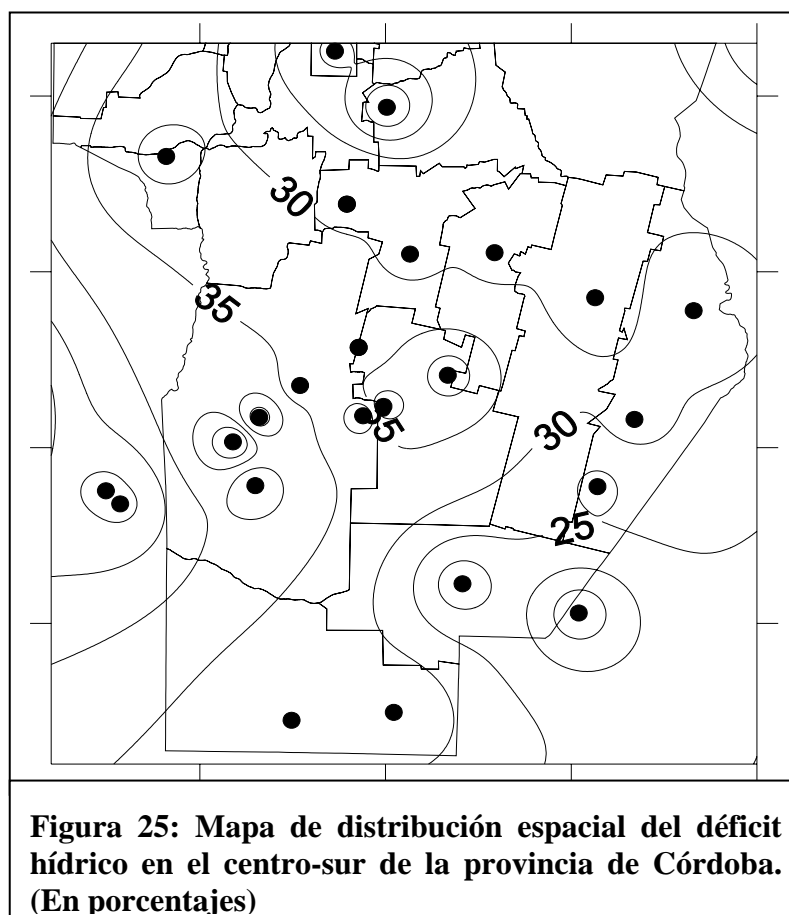
Analizando la Tabla 13, el requerimiento de agua en el centro-sur de la provincia de Córdoba varía entre los 445,5 mm a 616,25 mm en el período de septiembre a marzo. En la figura 24 se asocia el área de estudio a tres áreas latitudinales, norte, centro y sur, observándose que los departamentos ubicados al sur (Pte. Roque Sáenz Peña y Gral. Roca) poseen una menor demanda de agua promediando los 542 mm, mientras que en los departamentos del centro (Río Cuarto, Juárez Celman, Gral. San Martín, Unión y Marcos Juárez) la demanda de agua aumenta a un promedio de 604 mm y finalmente en los departamentos ubicado al norte (San Javier, Calamuchita, Tercero Arriba y Río Segundo), la necesidad de agua vuelve a disminuir a un promedio de 522 mm.



Déficit hídrico medio a nivel regional

El valor de CWR obtenido para cada departamento fue comparado con su correspondiente oferta hídrica mediante la curva de distribución empírica de frecuencia acumulada de los valores de las precipitaciones. Esto permitió el cálculo de la probabilidad de que la demanda de agua esté por debajo de la oferta generada por las precipitaciones, como parámetro indicador del déficit hídrico (Tabla 5, pag. 41). En la Figura 25 se presenta un mapa de distribución espacial del déficit hídrico regional elaborado en base a las probabilidades obtenidas. En el mapa se observa que en el área de estudio el déficit hídrico alcanza su menor valor en el sector este-sureste, con montos entre 20 a 30 %, incrementándose paulatinamente estos valores hacia el sector occidental con un déficit mayor al 35 %. Ésta situación concuerda con la descrita por Ravelo (2003), quien

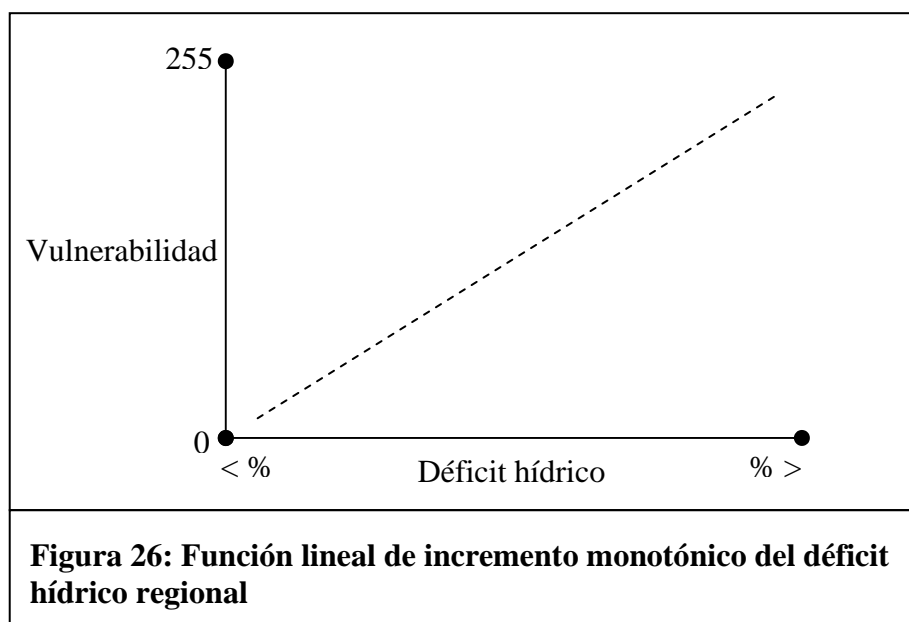
estimó que el déficit hídrico anual para la provincia de Córdoba varía entre los 80 mm en el área de Marcos Juárez y asciende hasta los 480 mm en Villa Dolores.



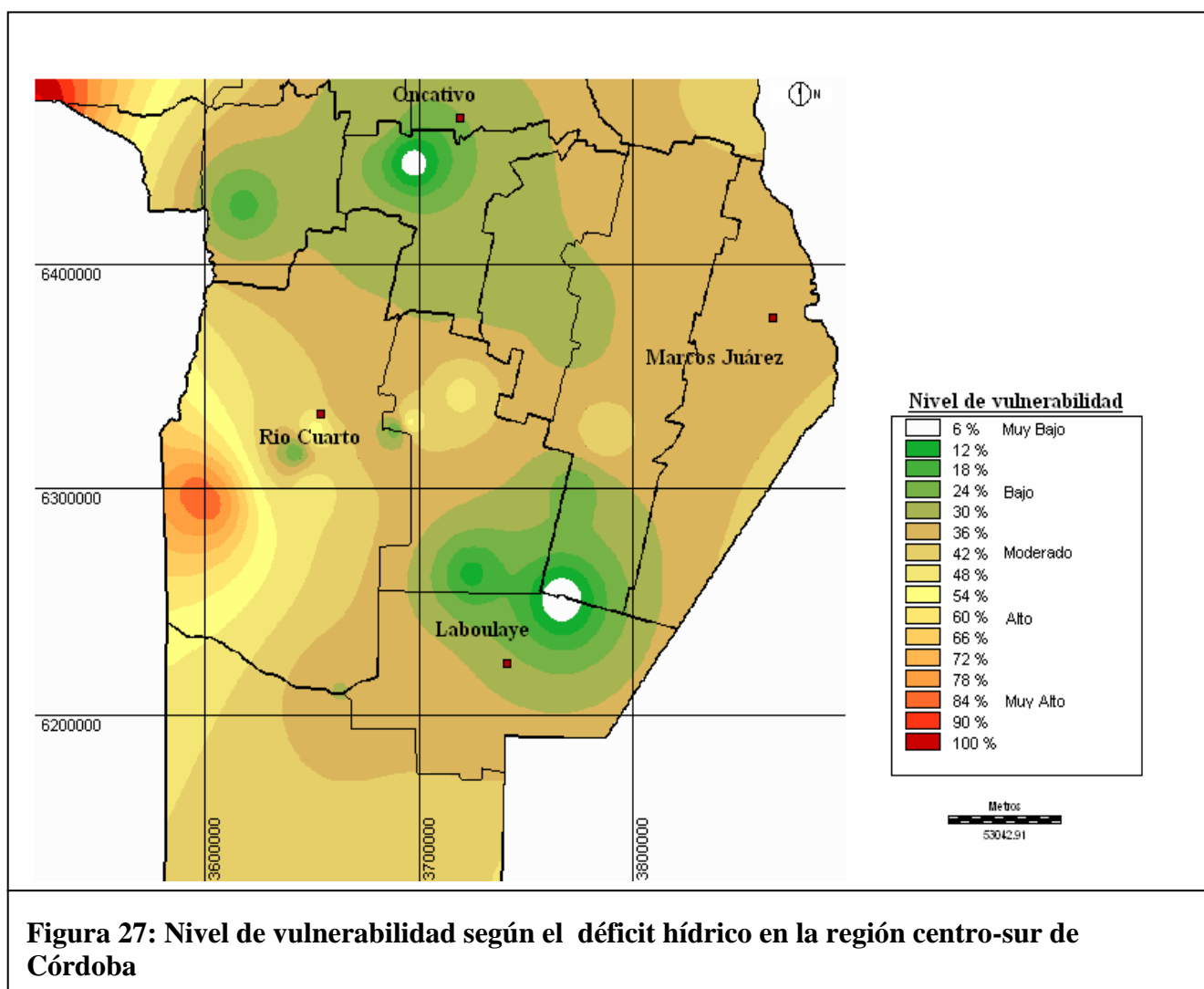
Vulnerabilidad según el déficit hídrico

A partir de la distribución espacial del déficit hídrico, se procedió a delimitar zonas de vulnerabilidad mediante el sistema de información geográfico Idrisi (Clark Labs-Clark University, 2003). Esto permitió determinar niveles de aptitud para el desarrollo de los cultivos, de acuerdo a la limitante hídrica que marca la deficiencia entre la disponibilidad de humedad y la demanda de agua de los cultivos. Como ya se explicó en el Capítulo II la zonificación se logró por medio del Método de *Evaluación por Criterios Múltiples*.

La variable déficit hídrico regional fue estandarizada a una escala continua de 0 (menor vulnerabilidad) a 255 (mayor vulnerabilidad), a través del *módulo fuzzy* de IDRISI, aplicando una función lineal con incremento monotónico. Se supone que a menor déficit menor es la vulnerabilidad frente a una sequía. Esto es, a medida que aumenta la demanda de agua por parte de los sistemas productivos en correspondencia con la cantidad de agua disponible, mayor será la vulnerabilidad ante una sequía (Figura 26). Luego dicha escala fue reclasificada en porcentajes de 0 a 100 puntos. El resultado obtenido fue una zonificación de la vulnerabilidad desde la perspectiva de la deficiencia hídrica.



La Figura 27 muestra el mapa con los resultados obtenidos de la estandarización. En ella se observa que la mayor parte del área en estudio se encuentra en el rango de vulnerabilidad entre muy bajo a moderado (12 a 42%), incrementándose paulatinamente hacia el sector occidental de la región, principalmente el borde oeste y sur de los departamentos Río Cuarto y Pte. Roque Sáenz Peña, donde el nivel de vulnerabilidad es alto alcanzando valores entre el 60% y 80%.



Zonificación de la vulnerabilidad agroclimática a la sequía

Recapitulando los conceptos de riesgo y vulnerabilidad desarrollados en el Capítulo I, el riesgo se lo estudia según la aproximación teórica-metodológica basada en la amenaza natural y es igual a la amenaza por la vulnerabilidad. El término vulnerabilidad ha sido desarrollado desde una perspectiva agroclimática, haciendo hincapié en factores bio-físicos de la región sur de Córdoba, principalmente analizando la disponibilidad hídrica

(precipitaciones), los sistemas de cultivos predominantes, la demanda de agua de dichos cultivos y la capacidad de los suelos de almacenar agua. La amenaza climática a la que están expuestos estos factores ha sido analizada a través de la sequía agrícola, es decir cuando no hay suficiente humedad en el suelo para cubrir las necesidades de agua de los cultivos durante un tiempo particular o en la estación de crecimiento. De esta forma, el riesgo de sufrir una sequía agrícola será el producto de la exposición a la adversidad climática y de la vulnerabilidad propia de los sistemas de producción ante condiciones de déficit hídrico (Wilhite, 2000). Aunque distintos sistemas puedan enfrentar el mismo riesgo, no tendrán el mismo nivel de vulnerabilidad debido principalmente a una compleja interacción entre los factores exógenos (amenazas y eventos externos) y las características físico-biológicas propias de la comunidad o sistema expuesto a un evento extremo.

Definida de esta forma la vulnerabilidad a la sequía, se procedió a delimitar áreas vulnerables mediante la combinación de las tres variables, oferta hídrica, déficit hídrico y capacidad de almacenaje hídrico del suelo, utilizando el sistema de información geográfico Idrisi (Clark Labs-Clark University, 2003). Como resultado se obtuvieron niveles de exposición o vulnerabilidad en función de las variables hídricas y del suelo. En primer lugar se procedió a realizar una ponderación de las variables nombradas a través del *módulo weight*. Las variables fueron comparadas de a dos por vez en términos de su importancia relativa al vulnerabilidad de sequía (Tabla 14 y Tabla 15).

Tabla 14: Matriz de ponderación de las variables investigadas.

VARIABLES	Déficit hídrico	Capacidad de almacenaje hídrico del suelo	Oferta hídrica
Déficit hídrico	1		
Capacidad de almacenaje hídrico del suelo	1/3	1	
Oferta hídrica	3	7	1

Variable	Ponderación	Nivel de consistencia
Oferta hídrica	0,6694	0,01*
Déficit hídrico	0,2426	
Capacidad de almacenaje hídrico del suelo	0,0879	

* Rango de tolerancia: 0 a 0,10 puntos

La escala de la matriz, es continua de nueve valores, cuyo máximo y mínimo valor se encuentra entre 9 (mayor peso) y 1/9 (menor peso) respectivamente, si ambas variables tienen el mismo peso o importancia, se le asigna el valor de 1. Observando la tabla 14 se evidencia una mayor importancia de la variable oferta hídrica sobre las demás, esto se debe a que tanto el déficit como la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo dependen primeramente de que el medio ambiente proporcione el agua. Es por ello el nivel de ponderación alcanzado por la variable de oferta hídrica es la mayor dentro de la matriz, siguiéndole en importancia el déficit hídrico y en última instancia la capacidad de retener agua el suelo (Tabla 15). La consistencia lograda por la matriz es de 0,01, lo que significa un muy buen nivel de tolerancia en la ponderación realizada, según el rango permitido entre 0 a 0,10 puntos.

Posteriormente a la ponderación de cada uno de los factores intervinientes, se efectuó una combinación lineal ponderada (CLP) de los mismos, multiplicándose cada factor por su peso correspondiente. El resultado final fue un mapa (Figura 27) con distintos valores en una escala de 0-255, donde se asume que el mayor valor obtenido corresponde a áreas más vulnerables a sequías.

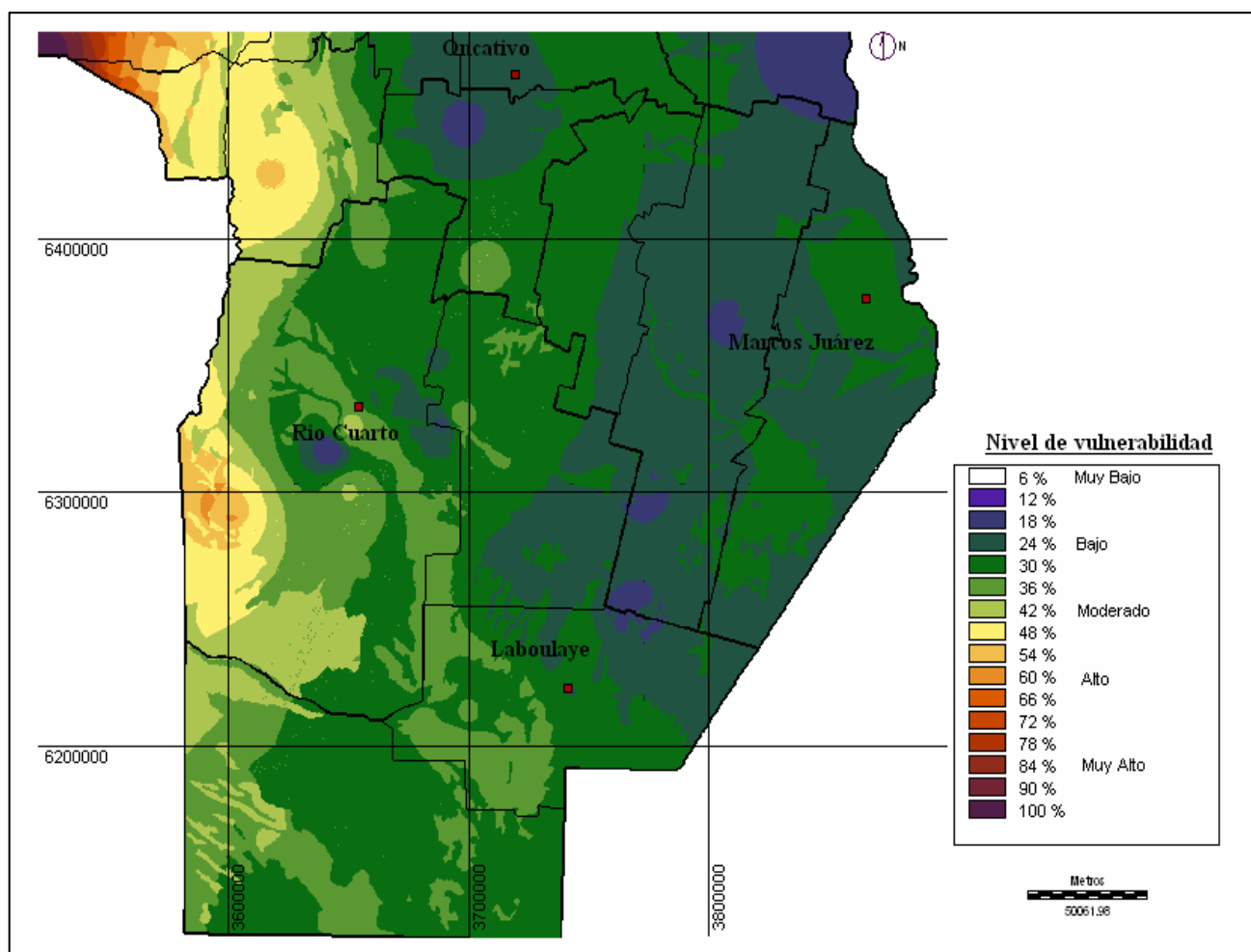


Figura 28: Delimitación de áreas vulnerables a la sequía en el centro-sur de la provincia de Córdoba

La Figura 28 muestra una zonificación gradual de la vulnerabilidad a la sequía en sentido longitudinal dentro del área de estudio. La zona oriental muestra un bajo nivel de vulnerabilidad con porcentajes del 24% al 35%, donde se destacan tres áreas de menor vulnerabilidad (12%), ubicadas en el departamento Unión producto de un aumento de las lluvias. Esto se debe a la asociación entre mayor oferta de agua, con un promedio para el período septiembre a marzo de 690 a 680 mm, la presencia de suelos francos a francos limosos que son los que poseen la mayor capacidad de almacenaje hídrico y el registro de menor déficit hídrico de acuerdo al sistema productivo predominante agrícola que ronda entre un 20 a 30%.

La zona central del área de estudio alcanza una vulnerabilidad moderada (del 36 % al 48%), a excepción de un espacio focalizado al oeste del departamento Río Segundo y Tercero Arriba que se encuentra por debajo de la vulnerabilidad moderada. Si bien las precipitaciones disminuyen en esta zona alcanzando valores promedios entre 660 a 670 mm en el período septiembre a marzo, beneficia hacia una vulnerabilidad moderada la presencia en la mayor parte de la región suelos francos limosos y francos arenosos con muy buena capacidad de almacenar agua. El déficit hídrico evidencia un leve incremento del 30 al 35% de acuerdo a los requerimientos hídricos de los sistemas productivos, en aquellos que predomina un sistema mixto con una fuerte presencia en los últimos años de la agricultura en detrimento de la ganadería.

Por último se encuentra la zona occidental donde la vulnerabilidad a la sequía alcanza niveles de alto a muy alto (54 % al 84%), cuyas áreas de mayor vulnerabilidad coinciden con la zona serrana de la provincia, con suelos francos arenos y arenos francos que poseen baja capacidad de retención de agua, sumado a una disminución de valores pluviométricos menores a 659 mm y un mayor déficit hídrico, superior al 35% debido a una alta demanda hídrica de los sistemas productivos agrícola-ganadero de los departamentos Río Cuarto, Gral. Roca, Calamuchita y San Javier.

CONCLUSIONES

La vulnerabilidad a la sequía es dinámica y resulta de la combinación de factores biofísicos, del manejo y uso del suelo, de las políticas agrícolas y de aspectos socio-económicos de la población. La mayoría de las definiciones de vulnerabilidad coinciden en referirse al grado de susceptibilidad de un espacio geográfico ó sociedad a una determinada amenaza, donde el nivel de vulnerabilidad depende del grado de exposición a la misma y de la capacidad de sobrellevar los efectos una vez ocurrida la adversidad. Por lo tanto se considera que la evaluación del riesgo basado en la vulnerabilidad y en el análisis de las amenazas es un paso necesario para la adopción de políticas y/o estrategias adecuadas y satisfactorias para la reducción de los posibles impactos que puedan producir los eventos naturales.

La disponibilidad de agua, evaluada a través de las precipitaciones acumuladas de septiembre a marzo, demostró una disminución gradual de este a oeste (120 mm) en la región, pudiéndose diferenciar tres zonas: una oriental con precipitaciones entre 700 a 660 mm, con una menor vulnerabilidad ante el fenómeno de las sequías; una central donde las precipitaciones alcanzan valores entre 659-600 mm con una vulnerabilidad moderada y una zona occidental con valores pluviométricos menores a 600 mm, de mayor vulnerabilidad.

Con respecto a de la capacidad de almacenaje de agua del suelo, se observó que los suelos de textura franco-limoso y franco, son los que cubren en mayor porcentaje el área de estudio (centro-este) y son los que poseen mayor capacidad de retención hídrica, por lo tanto son los menos vulnerables a situación de sequías. Entre las zonas de menor almacenamiento hídrico se encuentran el borde occidental de la región en estudio y las áreas de los principales sistemas fluviales con suelo franco-arenoso y arenoso-franco, que son las áreas de mayor vulnerabilidad.

El déficit hídrico muestra, a diferencia que las precipitaciones, un aumento progresivo en sentido longitudinal (este a oeste de la región). En el centro-este la vulnerabilidad

inducida por el déficit alcanza valores entre el 12 a 42%, mientras que al oeste asciende a valores entre el 60 y 80%.

La combinación y ponderación de las tres variables consideradas –disponibilidad de agua, capacidad de almacenaje de agua del suelo y el déficit hídrico- demostró una zonificación gradual de la vulnerabilidad ante situaciones de sequías, de este a oeste dentro del área de estudio. La zona oriental muestra un bajo nivel de vulnerabilidad con porcentajes del 24% al 35%, la zona central alcanza una vulnerabilidad moderada (del 36 % al 48%) y finalmente la zona occidental es donde la vulnerabilidad a la sequía alcanza niveles de alto a muy alto (54% al 84%).

Una forma de reducir la vulnerabilidad en el corto plazo es a través de estrategias adaptativas, que pueden ser definidas como las acciones realizadas para atenuar, enfrentar y tomar ventajas de las consecuencias de los eventos climáticos. Dentro del conjunto de estrategias, éstas se pueden dividir en tres niveles fundamentales: las que corresponden a adaptaciones agronómicas, a adaptaciones económicas y a adaptaciones públicas.

Las adaptaciones agronómicas apuntan a diversificar el riesgo a nivel de la explotación agropecuaria. Es decir, incluye toda acción desarrollada por los agricultores para adaptarse al cambio en las condiciones climáticas. Abarca acciones como el manejo de las fechas de siembra de manera tal que los períodos críticos de los cultivos no coincidan con épocas de estrés hídrico o de altas temperaturas; el manejo de grupos de variedades o híbridos para poder optar por ciclos cortos, intermedios o largos según la disponibilidad hídrica y fechas de siembra; el control de malezas para evitar la competencia por el agua; el manejo de la cobertura del suelo que permita alcanzar y mantener mejores niveles de reserva de agua y que se articula con la rotación de cultivos (*i.e.* maíz-trigo, trigo-soja) ó con la incorporación de otros cultivos como el girasol y sorgo en el área. El manejo del agua es clave para soportar la mayor demanda ambiental ante un período de sequía y una forma de hacerlo es a través de tecnologías de labranza, por ejemplo la siembra directa, que permite la formación de una cobertura de rastrojo en el suelo, que mejora la retención del agua.

Las adaptaciones económicas, también se realizan a nivel de la explotación agropecuaria e incluyen acciones como la toma de seguros multiriesgo climático, como alternativa para reducir el impacto económico de la adversidad sobre los cultivos; incorporación de riego complementario, para palear períodos críticos de deficiencia hídrica. Si bien ésta tecnología representa una adaptación agronómica, se puede incluir dentro de las económicas por su alto costo de inversión inicial y por los estudios necesarios que se deben realizar previos a su implementación.

Las adaptaciones políticas son acciones incorporadas por el sector gubernamental, ya sea a escala regional o nacional y están orientadas a prever y satisfacer las demandas realizadas desde el sector agropecuario ante la ocurrencia de fenómenos climáticos adversos. Las adaptaciones pueden incluir la investigación y el desarrollo de nuevas especies o variedades que sean resistentes al estrés hídrico, provisión de información a través del desarrollo de sistemas públicos de alerta temprana y monitoreos de las sequías, desarrollo de sistemas de información geográfica para evaluar el riesgo agroclimático a nivel regional, promoción de un mercado de seguro agrícola claro y confiable, brindándole estabilidad al sistema productivo agropecuario. Consensuar una propuesta de política de Estado que atienda los riesgos climáticos y económicos de todos los productores en tiempo y forma, contemplando una ley de emergencia agropecuaria que no sólo prorrogue los vencimientos de impuestos y obligaciones contraídas por el productor agropecuario, sino que implique la unión con una política pública de seguros y un fondo para atender desastres y catástrofes de los bienes no asegurables, constituirán acciones para alcanzar una adaptación más eficiente, flexible e integradora.

Lo propuesto aquí representa una corriente continua de actividades, acciones, decisiones, a la vez que políticas para las cuales la identificación de información crítica, la comprensión de la vulnerabilidad, la disponibilidad de modernas metodologías de evaluación, entre otros numerosos factores convergentes, constituyen elementos necesarios para la obtención de resultados más eficaces y adecuados. En sentido general los resultados de este trabajo, se piensa que son una base de información necesaria.

Finalmente la presente investigación pretende ser un aporte útil a la identificación de áreas vulnerables ó propensas al impacto de las sequías a nivel regional, logrando zonificar la región centro-sur de Córdoba bajo ésta perspectiva. Otro aporte que se intentó lograr en ésta investigación es el tratamiento de la sequía desde una óptica integradora del fenómeno, es decir no sólo centrado en el factor lluvia, sino que además se estudió la respuesta del suelo en base a su capacidad de retener agua y la necesidad hídrica de los cultivos. La metodología aquí propuesta, combinada con técnicas de SIG, abre la posibilidad de estudios complementarios incorporando variables socio-económicas en la evaluación de la vulnerabilidad frente a las sequías. Los resultados logrados pueden representar además, una información directa valiosa para la gestión, desarrollo y aplicación de diferentes formas de adaptación, como son los seguros, créditos, prácticas de manejo, definición de políticas, entre otras, que apunten a un desarrollo sustentable de las actividades humanas y a una disminución de la vulnerabilidad del sector a la variabilidad y al cambio climático en el corto y largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen R. G., L. Pereira, D. Raes y M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper Nro. 56. pp. 100. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>
- AMS (American Meteorological Society). 1997. Meteorological drought-policy statement. *Bull, Amer. Meteor. Soc* 78: 847-849.
- Amigone, M. 2003. Verdeos de invierno: sugerencias para la correcta elección de cultivares, implantación y aprovechamiento. EEA INTA-Marcos Juárez. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/verdeos/verdeos04.htm>
- Analytical Software. 2003. Statistix version 8 for Windows.
- Anderson, M. B. y Woodrow, P. J. 1989. Rising from the ashes: development strategies in times of disaster. Westview Press. Boulder. Colorado.
- Anderson, M. B. y Woodrow, P. J. 1993. Reducing vulnerability to drought and famine. En Field, J. (Ed.). The challenge of famine. Kumarian Press. 131-146.
- Andriani, J.M (Coord.). 1997. Uso del agua y riego. En Giorda, L. y H. Baigorri (editores). 1997. El cultivo de la soja en Argentina. INTA, Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez-EEA Manfredi (Coordinación subprograma soja); Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación; Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos. Ed. Editar.
- Arce, J., H. Marelli y B. Masiero. 2003. Ensayo de larga duración del maíz (ciclo 2002/2003). Proyecto de Gestión ambiental. INTA Marcos Juárez. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/maiz/mlarga03.htm>
- Baigorri, H.L. 2005. Manejo del cultivo de soja en suelos con influencia de napa freática. INTA Centro Regional Córdoba-EEA Marcos Juárez. Disponible en: www.elsitioagricola.com
- Baigorri, H.L, J. M. Cisneros, M. Estenssoro, E. Martín, S. Rang, J.C. Sardoy y S. Begnis. 2003. Aprendiendo a utilizar la napa freática en la producción de la soja. INTA EEA Marcos Juárez. Disponible en: www.elsitioagricola.com

- Baigorri H. L y D. Croatto. 2000. Manejo del cultivo de la soja en Argentina. INTA Centro Regional Córdoba-EEA Marcos Juárez. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-Macrorregión Pampeana Norte- Centro Regional Córdoba – EEA Marcos Juárez. Editar.
- Bainotti, C., J. Frascina, J. Salines, B. Masiero, M. Cuniberti, E. Alberione, L. Riveri, M. Galich, M. Formica y A. Galich. 2004. Evaluación de cultivares de trigo en la EEA Marcos Juárez durante el año 2003. EEA INTA Marcos Juárez. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/documentos/trigo/evatr04.htm>
- Basualdo, A y Heiizenknecht, G. 2000. Elaboración de mapas de riesgo, en el marco del componente proyecto Análisis de riesgo y seguro agropecuario. PNUD-PROSAP-BIRF.
- Blaikie, P., T. Cannon, I. Davis y B. Wisner. 1994. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. Routledge. London. Traducido al español por La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Disponible en <http://www.desenredando.org>.
- Bosque Sendra, J. 1997. Modelos digitales del terreno: definición general e interpolación (p. 371- 393). En Bosque Sendra, J. Sistemas de información geográfica. 2 da. Edición. Ed. RIALP S.A. Madrid.
- Bricchi, E. y A. Degioanni (Comp). 2006. Sistema suelo: su origen y propiedades fundamentales. Ed. Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Brooks, N. 2003. Vulnerability, risk and adaptation: a conceptual framework. Working paper 38. Tyndall Centre for Climate Change Research. Disponible en: http://www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/working_papers.shtml
- Buckman, H. Y N. Brady. 1970. Formas del agua del suelo, su movimiento y sus relaciones con las plantas (p.90-110). En Buckman, H. Y N. Brady. Naturaleza y propiedades de los suelos. Traducido por S. Barceló. Ed. Montaner y Simons S.A. Barcelona
- Campos, M., A. Sanchez y D. Espinoza. 1996. Adaptation of hydropower generation in Costa Rica and Panama to climate change. Central American Project on Climate Change, Springer-Verlag. En IPCC, 2000. Impactos regionales del cambio

climático: evaluación de la vulnerabilidad: América Latina. OMM/WMO – PNUMA-UNEP

- Ceballos Silva, A. y J. López Blanco. 2003a. Delineation of suitable area for crops using a multi-criteria evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central México. *Agricultural Systems* 77: 117-136.
- Ceballos Silva, A. y J. López Blanco. 2003b. Evaluating biophysical variables to identify suitable areas for oat in Central México: a multi-criteria and GIS approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95: 371-377.
- Centeno, A. y F. Aponte. 2004. El trigo y la humedad del suelo. Boletín Técnico Año II - N° 7. UEE INTA San Francisco- UTN - Facultad Regional San Francisco. Córdoba.
- CEPAL-BID. 2000. Un tema del desarrollo: la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres. Documento LC/MEX/L428. Disponible en: <http://www.cepal.org>
- CEPAL-PNUMA. 2002. La sostenibilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades. Libro 68: 149-157.
- CPCE (Comisión Asesora de Economía del Consejo Profesional de Cs. Económicas de Córdoba). 2000. Economías regionales de la provincia de Córdoba (p.165-195). Ed. Eudecor SRL. Córdoba.
- CRRH (Comité Regional de Recursos Hidráulicos). 2003. Trabajando juntos por el agua. Experiencias de las Américas. 3rd World Water Forum. Serie Agua, Tiempo y Clima.
- Chen, K.; R. Blong y C. Jacobson. 2001. MCE-risk: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. *Environmental Modelling & Software* 16: 387-397.
- Chiozza, E. y R. Figueira (Dir.). 1981. Atlas total de la República Argentina. p. 64-67. Centro Editor de América Latina S.A. Bs. As.
- Clark Labs-Clark University. 2003. IDRISI versión 14.1 (Kilimanjaro). Massachussets. USA.
- CREAN (Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales). 2003. Curso a distancia: introducción a los sistemas de información geográfica y al análisis digital de imágenes. UNC- Fac. de Cs. Agropecuarias-CREAN.

- Damiano F. y M.A. Taboada. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedo-transferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* 18 (2): 77-88.
- De Finá, A; F. Gianetto; L. Sabella y L. Villanueva. 1966. Difusión geográfica de cultivos índices en la provincia de Córdoba y sus causas. Instituto de Suelos y Agrotécnia Nro. 26. Bs. As.
- Della Maggiora, A., J.M Gardiol y A.I. Irigoyen. 2002. Requerimientos hídricos. En Andrade, F y V. Sadras. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. EEA. INTA Balcarce- FCA. UNMP. 2da. Edición. pp: 157-173.
- Diario La Nación. 2003. Suplemento El Campo. No afloja la sequía en la región pampeana. 20/09/2003.
- Diriba, G. 1997. Roles of vulnerability analysis in disaster mitigation. World Food Programme. Paper presented at the Regional Workshop on Risk Reduction in Southern Africa, Disaster Mitigation for Sustainable Livelihoods Project. SADEP. University of the Western Cape.
- Donnari, M., y B. Scian. 1997. Relación entre variables agroclimáticas y rendimientos de trigo en la región pampeana. *Rev. Facultad de Agronomía* 17 (1): 19-23. Universidad de Buenos Aires.
- Durán, D., G. Baxendale, G. Buzai y L. Pierre. 1997. Las sociedades y los espacios geográficos: América. Ed. Troquel S.A. segunda edición. Bs. As.
- Eastman, J. R., S. Emani, S. Hulina, H. Jiang, A. Johnson y M. Ramachandran. 1997. Application of geographic information systems (GIS) technology in environmental risk assessment and management. Idrisi Project. Clark Labs- Clark University - UNEP Division of Environment Information & Assessment. Disponible en <http://www.clarklabs.org/10applic/risk/start.htm>
- Eastman, J.R. 2003. Surface Interpolation. En Eastman, J.R. Idrisi Kilimanjaro: guide to GIS and image processing. Clark Labs- Clark University. Pp. 261-266.
- FAO. 1992. CropWat 4 Windows version 4.3.
- FAO. 1997. La agricultura y los cambios climáticos: la función de la FAO. Disponible en <http://www.fao.org/Noticias/1997/971201-s.htm>

- Federación Agraria Argentina. 2003. La falta de lluvias produce estragos en vastas regiones del país. En Newsletter e-campo. 07/10/2003. Disponible en <http://www.e-campo.com>.
- Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja. 2004. Informe mundial sobre desastres: Datos sobre desastres, estadísticas y tendencias principales. Disponible en <http://www.ifrc.org/sp/publicat/wdr2004/chapter8.asp>
- Ferreyra, R., G. Podestá, C. Messina, D. Lestón, J. Dardanelli, E. Guevara y S. Meira. 2001. A linked-modeling framework to estimate maize production risk associated with ENSO-related climate variability in Argentina. Agric. For. Meteorol. 107: 177-192
- Fischer, G., M. Shah y H. Van Velthuizen. 2002. Climate change and agricultural vulnerability. p. 38-83. IIASA-FAO- UN. Disponible en: <http://www.eldis.org/static/DOC10242.htm>
- Gall, M. 2002. GIS multicriteria decision making in disaster management: the Búzi and Save rivers basin (Monzambique). University of Salzburg.
- García Nieto, H., J. López Blanco, R. Moreno Sánchez, M. Villers Ruiz y R. García Daguer. 1999. Potencial agrícola del distrito de desarrollo rural 004, Celaya, Guanajuato, México. Una aplicación del enfoque de límites de transición gradual (fuzzy) utilizando SIG. Boletín de Investigaciones Geográficas N° 38: 69-84. UNAM-México.
- Gardner, B.R., R. Pearce y R. Mitchel. 1985. Physiology of crops plants. Iowa State Univ. Press. USA.
- Garnero, G. y A. Quiroga. 2003. Caracterización de ambientes para el cultivo de soja y la influencia de la napa de agua. INTA EEA Anguil. Disponible en: www.inta.gov.ar/anguio/info/boletines/bol77/cap22.pdf
- Giorda, L. y H. Baigorri (editores). 1997. El cultivo de la soja en Argentina. INTA, Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez-EEA Manfredi (Coordinación subprograma soja); Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación; Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos. Ed. Editar.
- Golden Software. 1995. Surfer (Win 32) version 6.01.

- Gorgas, J.A y J.L. Tassile (Coord). 2003. Los suelos: nivel de reconocimiento a escala 1:500.000 (p. 23-60). Agencia Córdoba D.A.C y T. S.E.M-Dirección de Ambiente- INTA-Manfredi. Ed. Agencia Córdoba Ambiente S.E.
- Heim Jr, R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* Vol. 83 Nro. 8: 1149-1165. August 2002.
- INDEC-UNRC. 1998. Los municipios de ADESUR: estadísticas básicas. Bs. As.
- INTA-Centro Regional Córdoba. 2002. Plan de tecnología regional (2001-2004)- Centro Regional Córdoba. Documento institucional Nro. 180. Ediciones INTA. Bs. As.
- INTA- Instituto del suelo. 2000. Mapa del suelo de la Republica Argentina. CD.
- INTA-Universidad Nacional de Río Cuarto-Ministerio de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de la provincia de Córdoba. 1994. Monitoreo económico de los sistemas productivos predominantes del sector agropecuario de Córdoba. Proyección 1994/95. Serie Economía Agraria. Vol 1. Universidad Nacional de Río Cuarto (Eds.).
- INTA-UNRC-SAGyA. 2003. Monitoreo económico de los sistemas productivos predominantes del sector agropecuario de Córdoba. Ed. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- IPCC. 1998. The regional impacts of climate change: An assessment of vulnerability. p. 196-198. A special report of IPCC Working Group II. [Watson, R.T., M.C. Zinyowera and R.H. Moss (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and N.Y. USA.
- IPCC. 2000. Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad: América Latina- informe especial. p. 1-8, 25-28 [Canziani, O. y S. Díaz (coord.)] OMM/WMO – PNUMA-UNEP.
- IPCC. 2001a. Climate Change 2001: The Scientific Basis. p. 22-38. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu (Eds.)]. Cambridge University Press, UK.
- IPCC. 2001b. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. p. 695-724. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). [James J. McCarthy, Osvaldo

F. Canziani, Neil A. Leary, David J. Dokken and Kasey S. White (Eds.)]. Cambridge University Press, UK. pp 1000.

- ISDR (International Strategy for Disaster Reduction). 2002. Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives. Preliminary version. Geneva. United Nations.
- Jones, R y R. Boer. 2004. Assessing Current Climate Risks. p. 91-117. Adaptation Policy Framework: a guide for policies to facilitate adaptation to climate change. Technical paper 4. UNDP-GEF. Disponible en: <http://www.undp.org/cc/whatsnew.htm>
- Kasperson, J. X., R. Kasperson y B. Turner. 1995. Regions at risk, comparisons of threatened environments. United Nations University press. Tokyo.
- Keckler, D. 1997. Creating grid files (p. 5.1 – 5.65). En Keckler, D. Surfer for Windows version 6 user's guide: contouring and 3D surface mapping. Golden Software, Inc.
- Krinsky, S. and A. Plough. 1988. Environmental hazards: communicating risks as a social process. Auburn House, Dover, MA.
- Labrador Moreno, J. 2001. Relación entre fertilidad del suelo y conservación del agua siguiendo criterios de gestión agroecológica. Resúmenes de las V Jornadas Técnicas de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica.. El agua y la agricultura. Gestión ecológica de un recurso crítico. Mallorca. Disponible en <http://www.agroecologia.net/congresos/mallorca.htm>
- Labragera, J.C. 1998. Escenario de cambio climático para la Argentina. Ciencia Hoy Vol. 8 N° 44. Enero/Febrero 1998. Disponible en: <http://www.ciencia-hoy.retina.ar/hoy44/clima1.htm>
- Labragera, J.C y M.A. López. 2000. Escenario de cambio climático para la República Argentina: actualización 1999. IAI Newsletter N° 23: 16-22. Inter-American Institute for Global Change Research. Disponible en: <http://www.cenpat.edu.ar/calentamientog/EscenarioCambioClimatico.htm>
- La Red. 2003. <http://www.ensolared.org.pe/>
- Lima, D. Paradojas del clima: cuando el clima castiga al campo. Newsletter e-campo. 9/10/2003. Disponible en: <http://www.e-campo.com>

- Longwell, T., W. Parks y M. Springer. 1963. Moisture characteristics of representative Tennessee soils. Tennessee Agr. Exp. Sta. Bul. 367. En Blank, C. 1975. Relaciones suelo-planta. Ed. Hemisferio Sur S.R.L. Traducido al español por A. Rabuffeti.
- Lucero, O. y N. Rodríguez. 1991. Relación estadística entre la ocurrencia de sequías severas en Argentina y la temperatura de la superficie del Océano Pacífico tropical. Actas de la V Reunión Nac. de Agrometeorología, Córdoba, (Argentina): 223-236.
- Magrin, G., M. Travasso, R. Díaz y R. Rodríguez. 1997. Vulnerability of the agricultural systems of Argentina to climate change. Clim. Res. 9: 31-36.
- Magrin, G., M. Grondona, M. Travasso, D. Boullón, G. Rodríguez y C. Messina. 1998. Impacto del fenómeno El Niño sobre la producción de cultivos en la región pampeana. INTA-Instituto de Clima y Agua.
- Martín, E. y H.L Baigorri. 2006. Claves para la caracterización de un ambiente con influencia de napa freática. Disponible en: www.planetasoja.com/trabajos/trabajos800.php
- Mercado, Daniel y Moore. 2004. Enciclopedia geográfica de la provincia de Córdoba. Ed. Artes Graficas Rioplatense-La voz del interior. Bs.As.
- Micucci F.G.; M.A. Taboada y R. Gil. 2002. El Agua en la Producción de Cultivos extensivos: I. El suelo como un gran reservorio. Archivo Agronómico N° 6, Informaciones Agronómicas del Cono Sur N° 15. INPOFOS Cono Sur, Argentina. Disponible en <http://www.elsitioagricola.com/articulos/micucci>; <http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf>
- Minetti, J. L., M. Bobba, L. de la Zerda y M. Costa. 2000. Comportamiento regional de las sequías en el largo plazo para Argentina. Actas de VIII Reunión Argentina de Agrometeorología. p. 52. Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Cuyo.
- NDMC (National Drought Mitigation Center). 2003. Understanding and defining drought. Disponible en: <http://www.drought.unl.edu/whatis/concept.htm>
- Newsletter e-campo. Córdoba: menor cosecha. 01/09/2004. Disponible en: <http://www.e-campo.com>.
- Nidera. 2004. Catálogo Nidera semillas. Nidera S.A. Bs.As. Disponible en <http://www.nidera.com.ar>

- OEA (Organización de los Estados Americanos). 1993. Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de Estados Americanos. Washington D.C. Disponible en: <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/begin.htm>
- OMM (Organización Mundial de Meteorología). 1992. International meteorological vocabulary. WMO n° 182. Disponible en <http://www.wmo.ch>
- Pascale, A. J., y E. Damario. 1983. Variación del agua edáfica disponible para los cultivos en la región oriental de la Argentina. Rev. Facultad de Agronomía 4 (2): 141-181. Universidad de Buenos Aires.
- Pascale, A. J., y E. Damario. 1988. Características agroclimáticas de la región pampeana argentina. Rev. Facultad de Agronomía 9 (1-2): 41-54. Universidad de Buenos Aires.
- Pascale, A. J., y E. Damario. 1996. Modificación de las condiciones agroclimáticas para el cultivo del girasol en la Argentina durante el periodo 1961-90. Rev. Facultad de Agronomía 16 (1-2): 119-125. Universidad de Buenos Aires.
- Pascale, A y E. Damario. 2004. Bioclimatología agrícola y agroclimatología. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires. Ed. Fac. de Agronomía. Bs. As.
- Patton, P., C. Alexander y F. Kramer. 1978. Naturaleza y formación de los suelos (p. 358-359). En Patton, P., C. Alexander y F. Kramer. Curso de Geografía Física. Ed. Vicens Vives. Barcelona.
- Pedelini, R. y C. Casini (Eds). 1998. Manual del Maní. Tercera edición. EEA Manfredi- INTA- Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.
- Pellegrini, Andrea. 2003. Curso de edafología: textura del suelo. Departamento de ambiente y recursos naturales. Facultad de Agrarias y Forestales. Universidad Nacional La Plata. Disponible en: <http://ceres.agro.unlp.edu.ar/cursos/edafologia/TP3.doc>
- Podestá, G., D. Letson, C. Messina, F. Royce, R. Ferreyra, J. Jones, J. Hansen, I. Llovet, M. Grondona y J. O'Brien. 2002. Use of ENSO' related climate

information in agricultural decision making in Argentina: a pilot experience. *Agric. Sist.* 74: 371-392.

- Porta, J., M. López Acevedo, C. Roquero. 1999. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 2da. Edición. Mundi Prensa. Madrid.
- Ramachandran, M y R. Eastman. 1996. *Applications of GIS to vulnerability mapping: a West African food security case study*. Idrisi Resource Center – Salzburg University.
- Ravelo, A. C. y V. H. Rotondo. 1987a. Caracterización climática de las sequías en Río Cuarto, Córdoba. *Actas de la III Reunión Nac. de Agrometeorología, Córdoba, (Argentina)*: 165-169.
- Ravelo, A. C. y V. H. Rotondo. 1987b. Variabilidad de las sequías en regiones semiáridas y húmedas. *Actas de las 1ras. Jornadas nac. de zonas áridas y semiáridas. Univ. Nac. de Santiago del Estero*, pp.107
- Ravelo, A. C. y A. J. Pascale. 1997. Identificación de la ocurrencia de sequías mediante imágenes del satélite NOAA e información terrestre. *Rev. Fac. de Agronomía*. 7ª Reunión Argentina y 1ª Latinoamericana de Agrometeorología. Tomo 17 (1): 101-105.
- Ravelo, A. C. 2000. Caracterización agroclimática de las sequías extremas en la región pampeana argentina. *Rev. Arg. de Agrometeorología*, 20(2): 187-192.
- Ravelo, A., R. Irastorza y L. Luque. 2002. Variabilidad de la tendencia en series pluviométricas de la provincia de Córdoba (Argentina). *Rev. Arg. de Agrometeorología*, 2(1): 69-74.
- Ravelo, A. 2003. Los principales factores determinantes del clima de la provincia de Córdoba (p. 23-46). En Gorgas, J.A y J.L. Tassile (Coord). *Los suelos: nivel de reconocimiento a escala 1:500.000*. Agencia Córdoba D.A.C y T. S.E.M- Dirección de Ambiente- INTA-Manfredi. Ed. Agencia Córdoba Ambiente S.E.
- RDS (Red de Desarrollo Sostenible). 1998. Evidencias del calentamiento global en Centroamérica y la corriente del Niño. Greenpeace Centroamérica-Campaña de clima y energía. Nicaragua. Disponible en <http://www.sdnnic.org.ni/documentos.htm>
- Redmond, K. T. 2002. The depiction of drought. *Bul. Amer. Meteor. Soc.* Vol. 83 Nro. 8: 1143-1147. August 2002.

- Rivarola, A., M. Vinocur y R. Seiler. 2003. Coping with climate variability in central Argentina: an analysis of farmers' attitudes toward risk. 2003 Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community, Montreal, Canadá, 16-19 de Octubre de 2003. Web <http://sedac.ciesin.columbia.edu/openmeeting/downloads.html> (Trabajo completo)
- Rodríguez Loustau, M. 2002. Influencia del cambio climático global sobre la producción agropecuaria Argentina. Revista de la Facultad de Ciencia Agrarias y Tecnología de los Alimentos (20): 15-28. Facultad de Ciencias Agrarias de la Pontificia Universidad Católica Argentina. Disponible en: <http://www2.uca.edu.ar/esp/sec-fagrarias/esp/page.php?subsec=revista&page=vol20>
- Rotondo, V. y R. Seiler. 1999. Uso del índice estandarizado de precipitación para caracterizar sequías agrometeorológicas en Río Cuarto (Argentina). Actas XI Congreso Brasileiro de Agrometeorología y II Reunión Latinoamericana de Agrometeorología: 618. Florianapolis.
- Rotondo, V. 2004. Evaluación de índices de sequías agrometeorológicas en el sur de la provincia de Córdoba. Tesis para optar el grado académico de magíster en Ciencias Agropecuaria: mención Agrometeorología. Facultad de Ciencias Agropecuarias -Universidad Nacional de Córdoba.
- Russell, J. y J. E Russell. 1964. Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. 3ra. Edición. Aguilar. Madrid.
- SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos). 2003 Zonificación de Pedidos de Emergencia y/o desastres agropecuarios en la provincia de Córdoba. Disponible en: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/0-0/>
- Sanahuja Rodríguez, H.E. 1999. El daño y la evaluación del riesgo en América Central: una propuesta metodológica tomando como caso de estudio a Costa Rica.. LA RED-ITDG. Tercer Mundo Editores. Bogotá.
- SAyDS (Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sostenible). 1995. Plan de Acción Nacional para la lucha contra la desertificación. Disponible en: <http://www.medioambiente.gov.ar/suelo/>

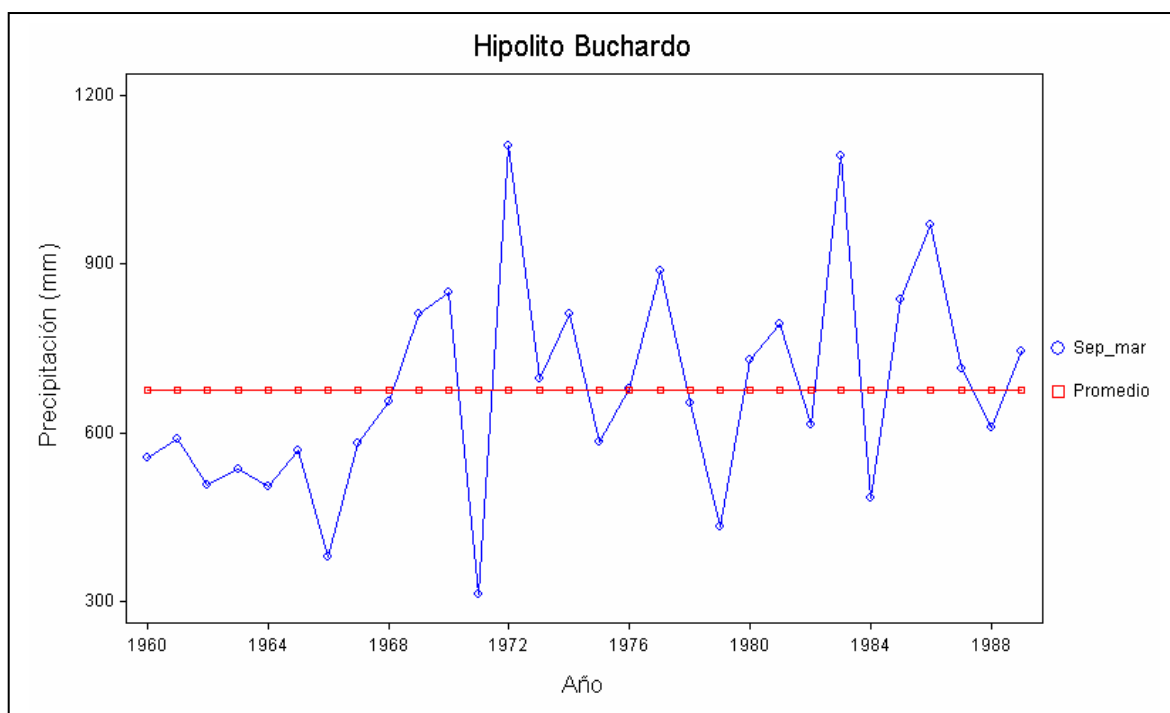
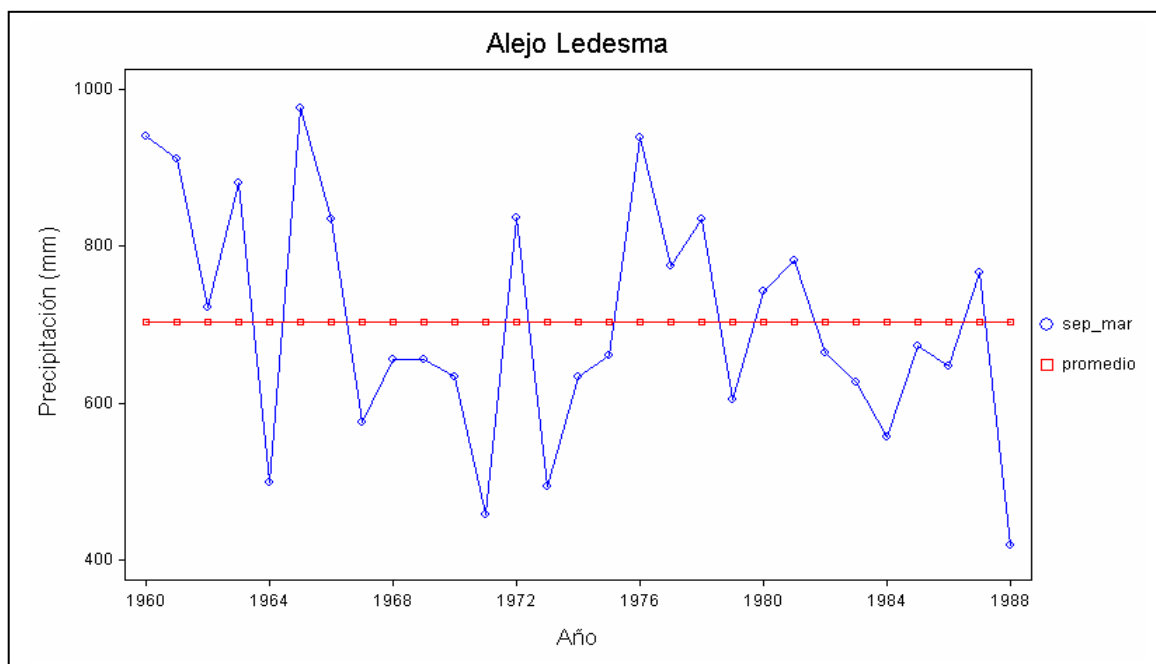
- Scian, B. y M. Donnari. 1997. Retrospective analysis of the Palmer drought severity index in the semi-arid Pampas region, Argentina. *Inter. J. Climatology*, 17: 313-322.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. 2004. Bases de estimaciones agrícolas: cereales. Disponible en <http://www.sagpya.gov.ar/http://hsi/bases/cereal.htm>
- Secretaria de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Córdoba. 2004. Información estadística y técnica agrícola. Disponible en: <http://www.cba.gov.ar/vercanal.jsp?idCanal=2067>
- Seiler, R., F. Kogan y J. Sullivan. 1998. AVHRR-based vegetation and temperature condition indices for drought detection in Argentina. *Adv. In Space Res.*, 21(3): 481-484.
- Seiler, R., F. Kogan y G. Wei. 2000. Monitoring weather impact and crop yield from NOAA AVHRR data in Argentina. *Adv. In Space Res.*, 26(7): 1177-1185.
- Seiler, R. y M. Vinocur. 2006. Characterization of current climate and scenarios of future climate change: Argentine-South of Córdoba case study region.. p. 38-69. *In* Gay, C. Vulnerability and adaptation to climate variability and change: the case of farmers in Mexico and Argentina. A Final Report submitted to Assessment of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), project No. LA 29. Disponible en http://www.aiaccproject.org/Final%20Reports/final_reports.html
- Sierra, E.M., R. Hurtado y L. Spescha. 1993/94. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la región pampeana 1941-1990. *Rev. Facultad de Agronomía* 14(2):139-144.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 1981. Estadística climatológica 1961-1970. Serie B N° 35. Bs. As.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 1986. Estadísticas meteorológicas 1971-1980. Estadística N° 36. Bs. As.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 1992. Estadísticas climatológicas 1981-1990. Serie B N° 37. Bs. As.
- Spescha, L. y J. Forte Lay. 2002. Impacto de La Niña en la reserva de agua edáfica en la región pampeana. *Rev. Arg. De Agrometeorología*, 2(1): 81-88.
- Soil Survey Staff. 1979. Soil Taxonomy. Agric. Handboock N° 436. USDA

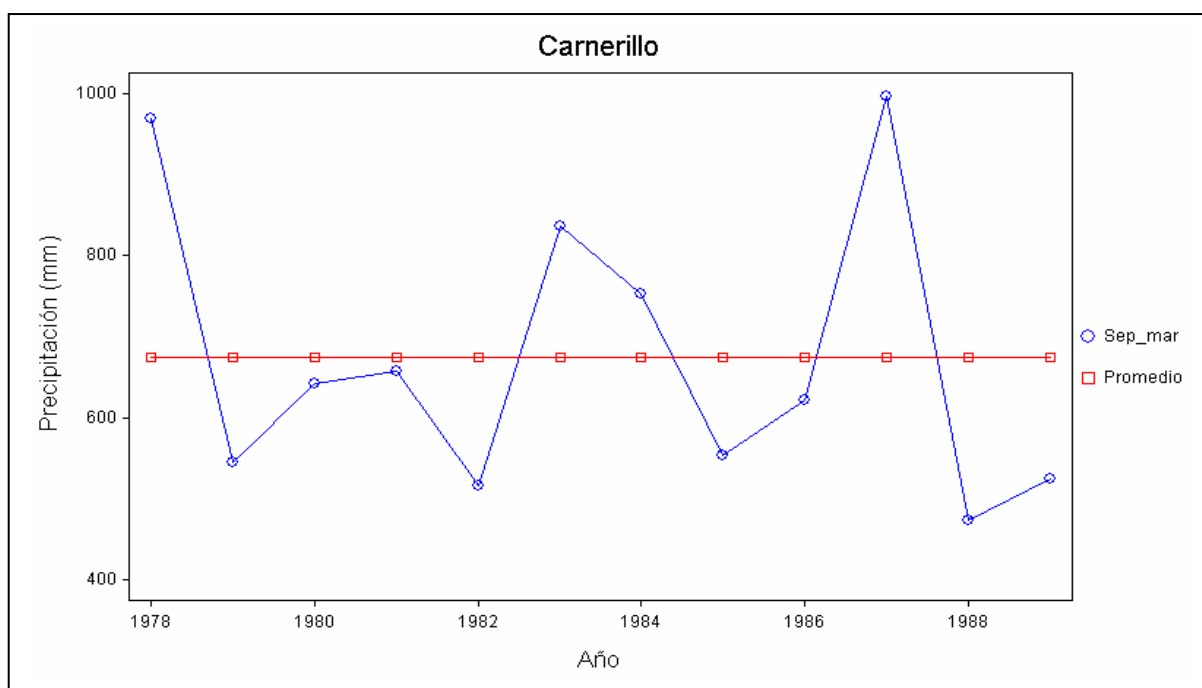
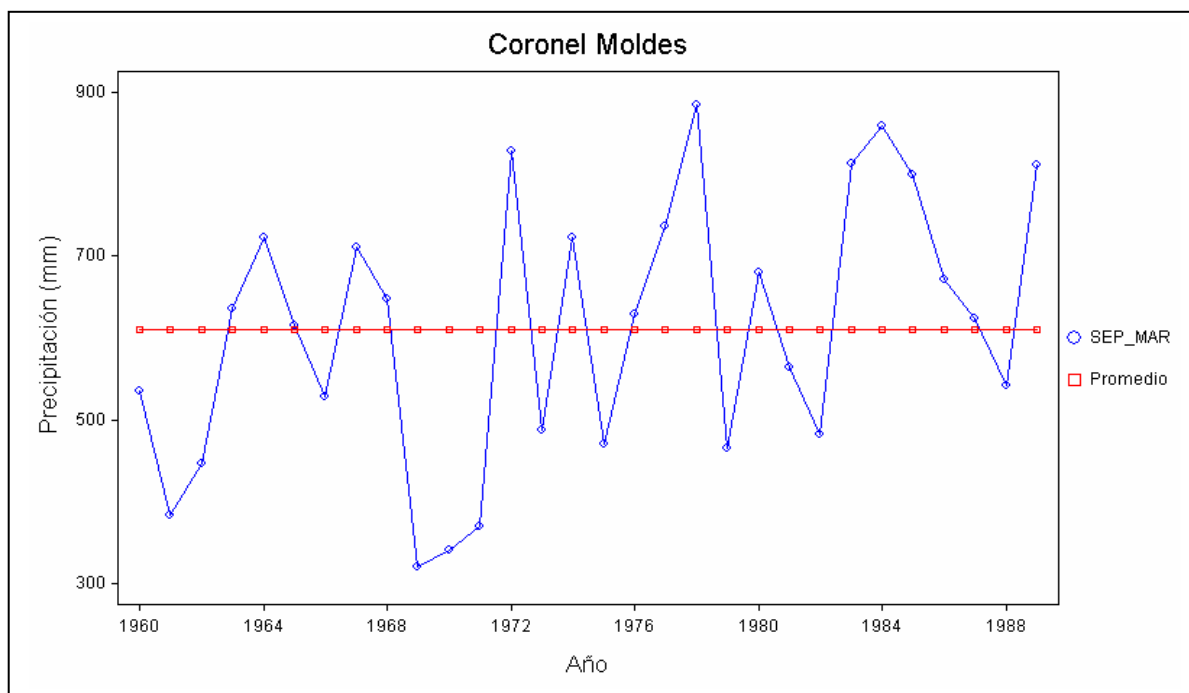
- Uhart, S.A. 2001. Efecto de la fecha de siembra sobre el cultivo del girasol. Morgan-Dow Agrosience. Disponible en <http://www.e-campo.com/sections/news/>
- UNEP-GEF-TWAS. 2002. Evaluación integrada de la vulnerabilidad social y la adaptación al cambio y la variabilidad climática en los productores agropecuarios en México y Argentina. Proyecto AIACC-LA 29.
- USFEMA (United State Federal Emergency Management Agency). 2004. Maps. Disponible en: <http://www.fema.gov/maps.shtm>
- USPCC RARM. 1997. Framework for Environmental Health Risk Management. Final Report Volume 1. US Presidential Congressional Commission on Risk Assessment and Risk Management. Washington DC.
- Vallone, P., V. Gudelj, C.Galarza y B. Masiero. 2002. Fechas de siembra de maíz común y maíz transgénico Bt. Campaña 2000/01- Maíz: actualización 2002. Boletín Extensión n° 73. INTA EEA Marcos Juárez.
- Vazquez, J. B; R. Miatello y M. Roqué (Dir.). 1979. Geografía física de la provincia de Córdoba. Ed. Boldt. Argentina.
- Vinocur, M., A. Rivarola y R. Seiler. 2004. Use of climate information in agriculture decision making: experience from farmers in central Argentina. Second International Conference on Climate Impacts Assessment. SICCIA. Grainau. Germany. Disponible en: <http://www.cses.washington.edu/cig/outreach/workshopfiles/SICCIA/program.shtml>
- Watts, M. J. y H. Bohle. 1993. The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography* 17 (1): 43-67.
- Wilhite, D. 2000. Drought as a natural hazard: concepts and definitions. In Wilhite DA (Ed.). *Drought: A Global Assessment, Natural Hazards and Disasters Series*. Vol. I. Routledge Publishers: UK; chapter 1.
- Wilhite, D.A. y M.H. Glantz. 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International* 10:111–120.
- Wilhelmi, O. y D.A. Wilhite. 2002. Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study. *Natural Hazards* 25:37–58.
- Wilhelmi, O., A. Kenneth, G. Hubbard y D. Wilhite. 2002. Spatial representation of agroclimatology in a study of agricultural drought. *Int. J. Climatol.* 22: 1399–1414.

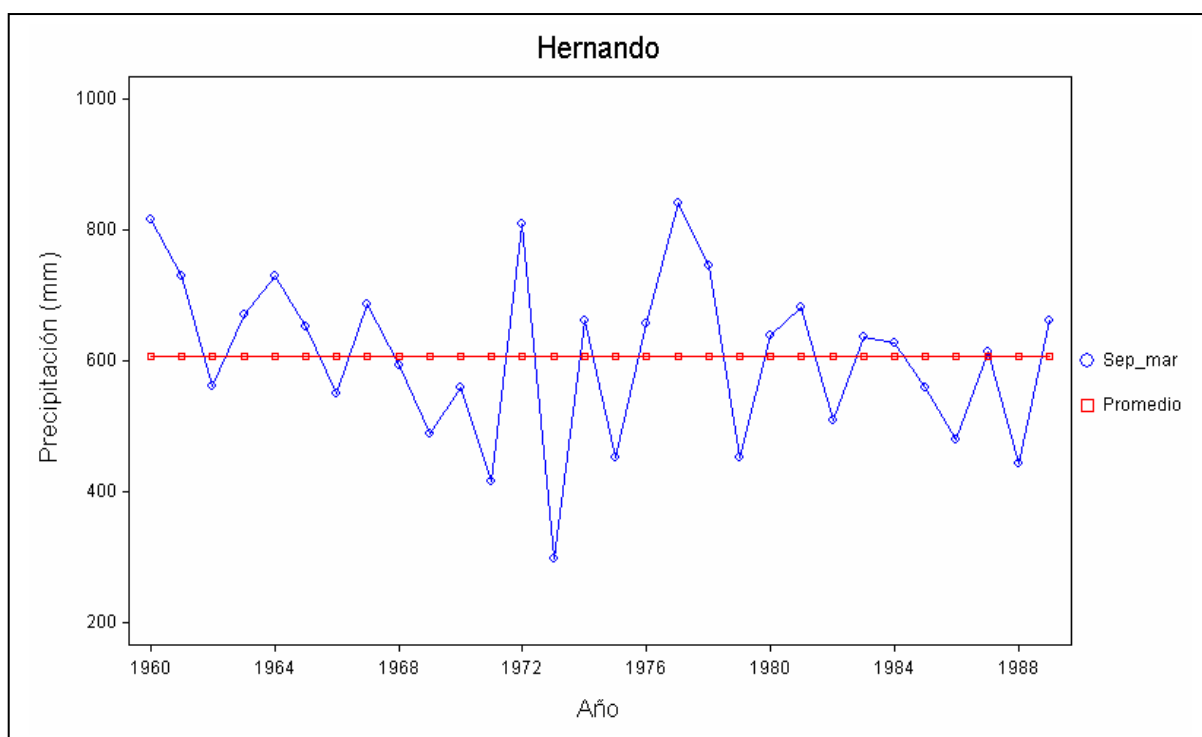
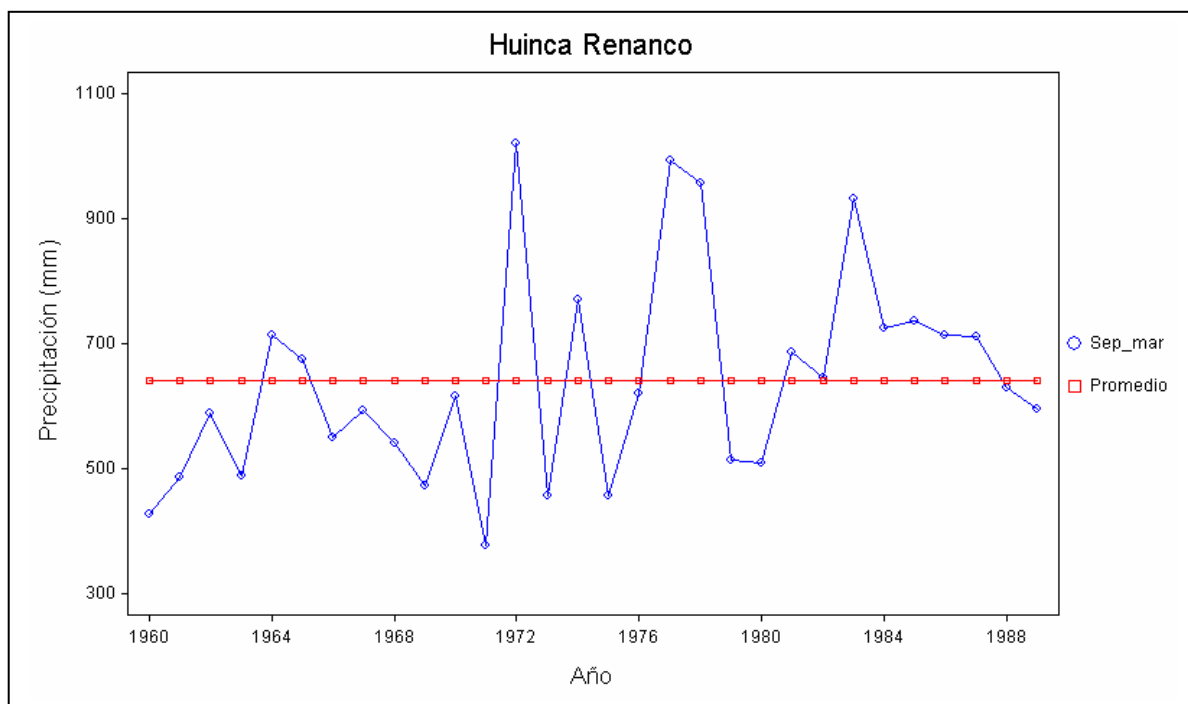
- Zaballos, J.P. 2006. El Agua en el Suelo 4: Textura del Suelo y Propiedades Hídricas. Disponible en <http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2006/07/05/33887.aspx>

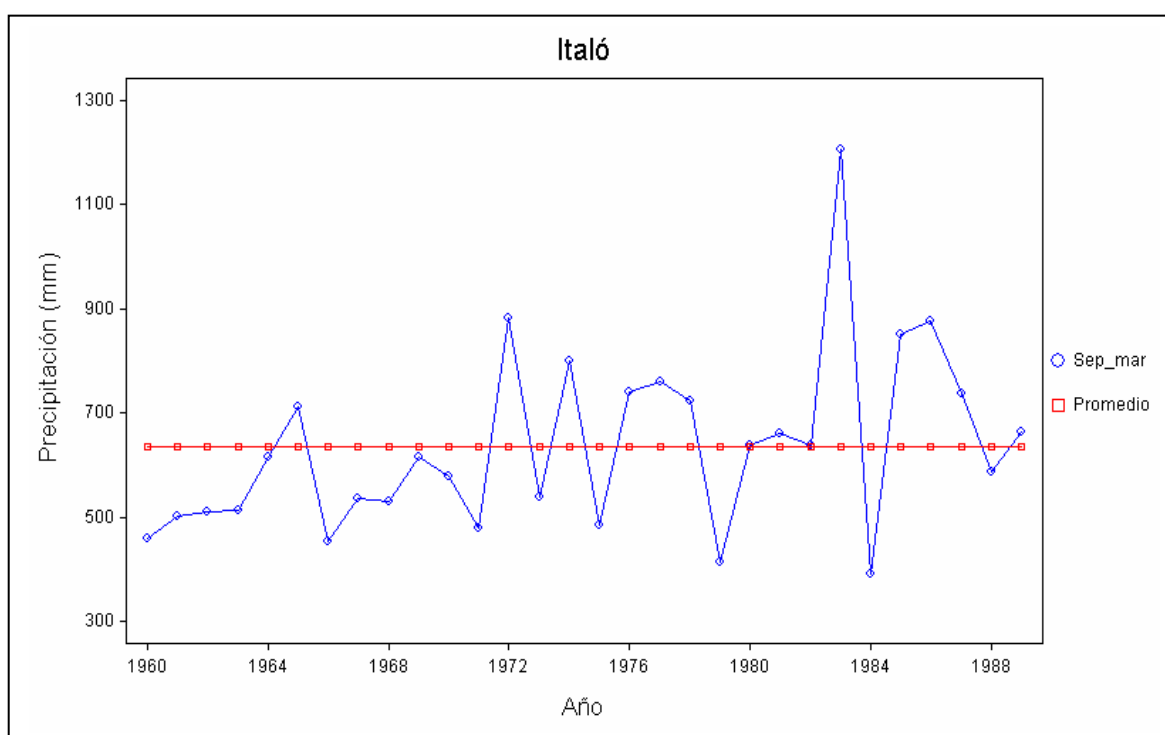
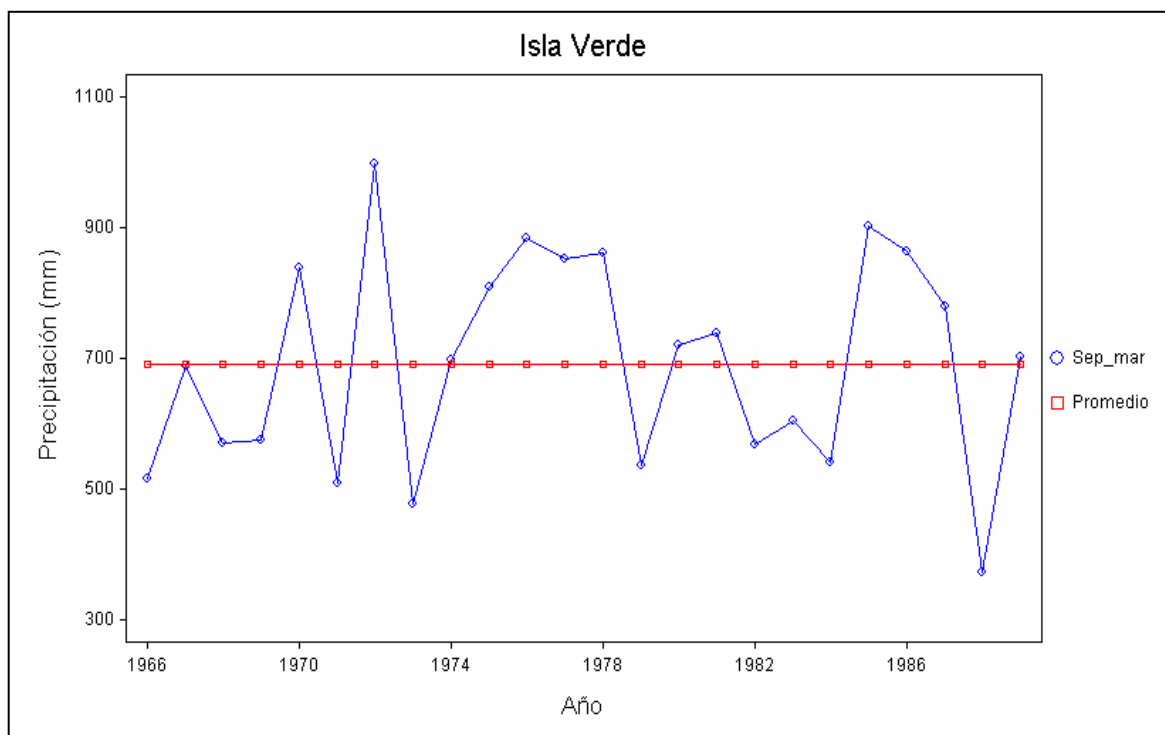
ANEXO I

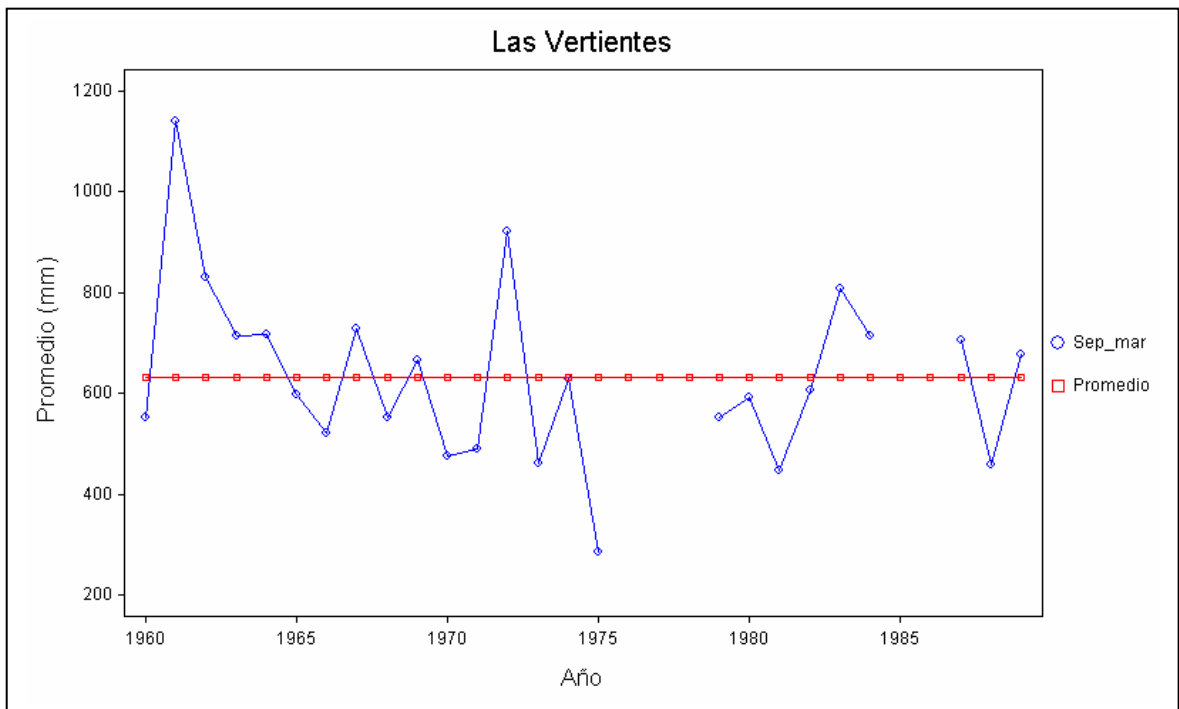
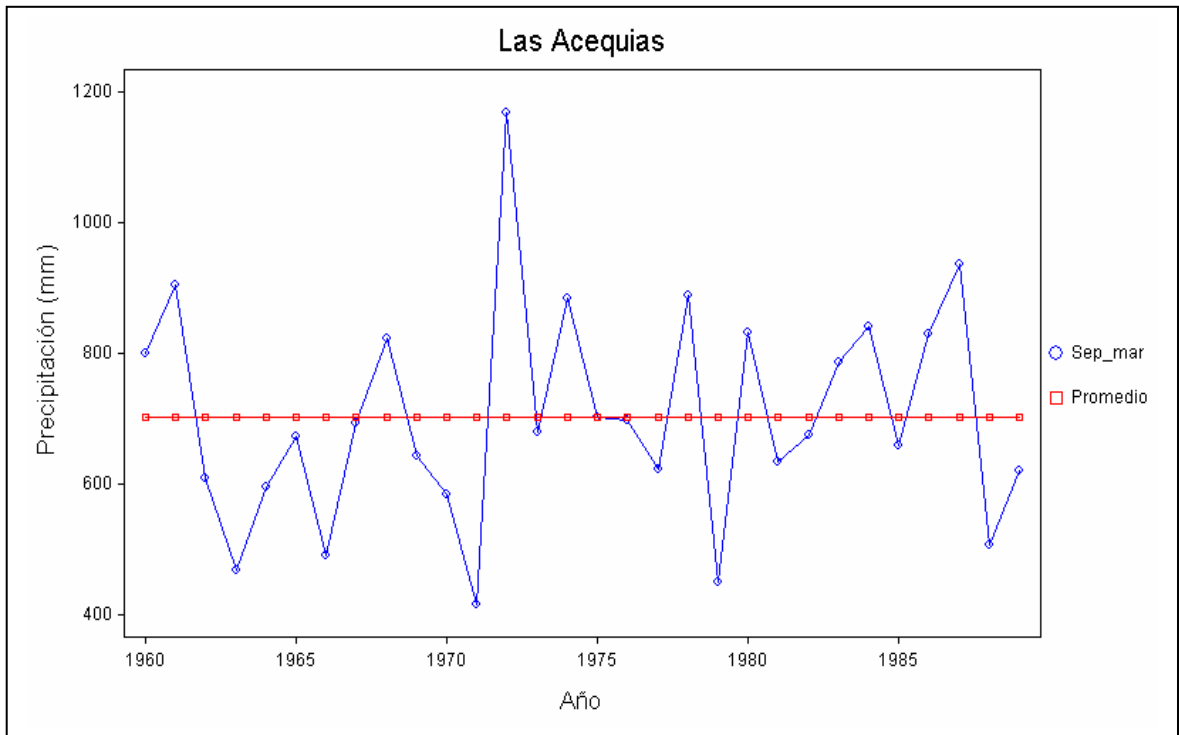
**VARIABILIDAD INTERANUAL DE LAS
PRECIPITACIONES EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE
CÓRDOBA: PERÍODO SEPTIEMBRE-MARZO DE 1961-
1990**

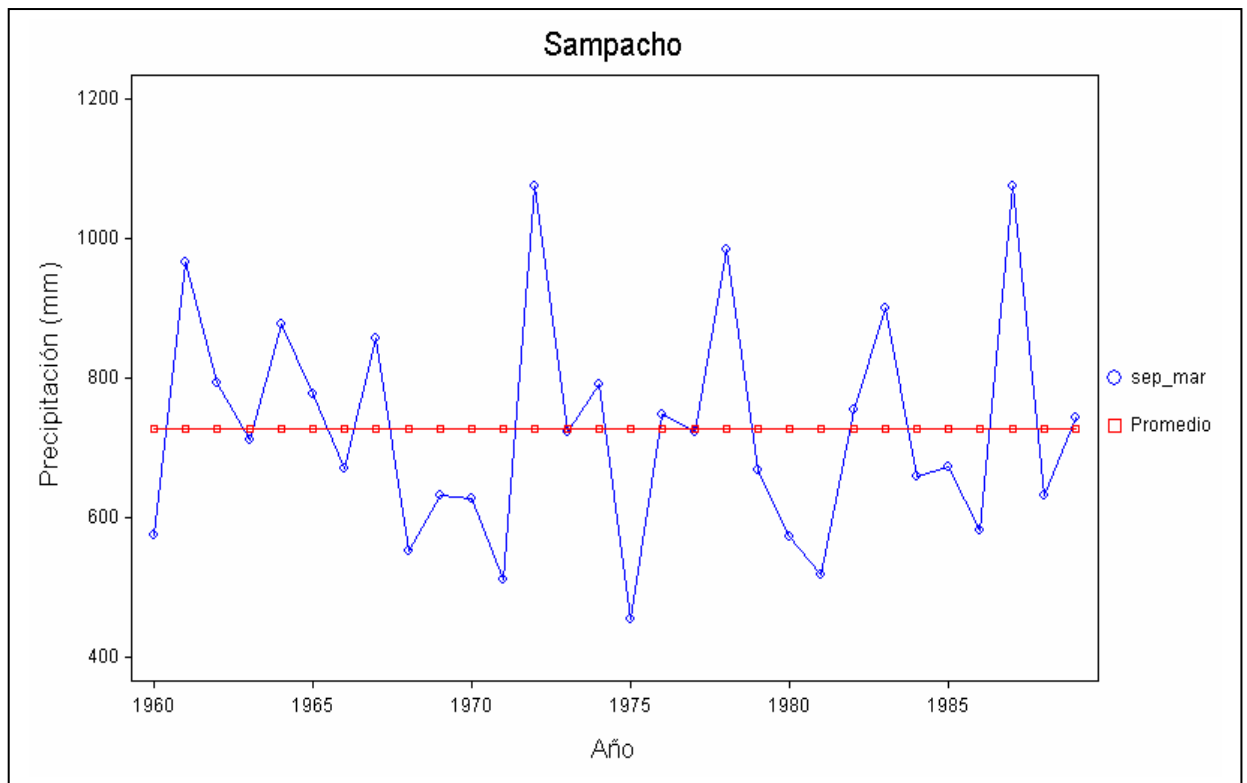
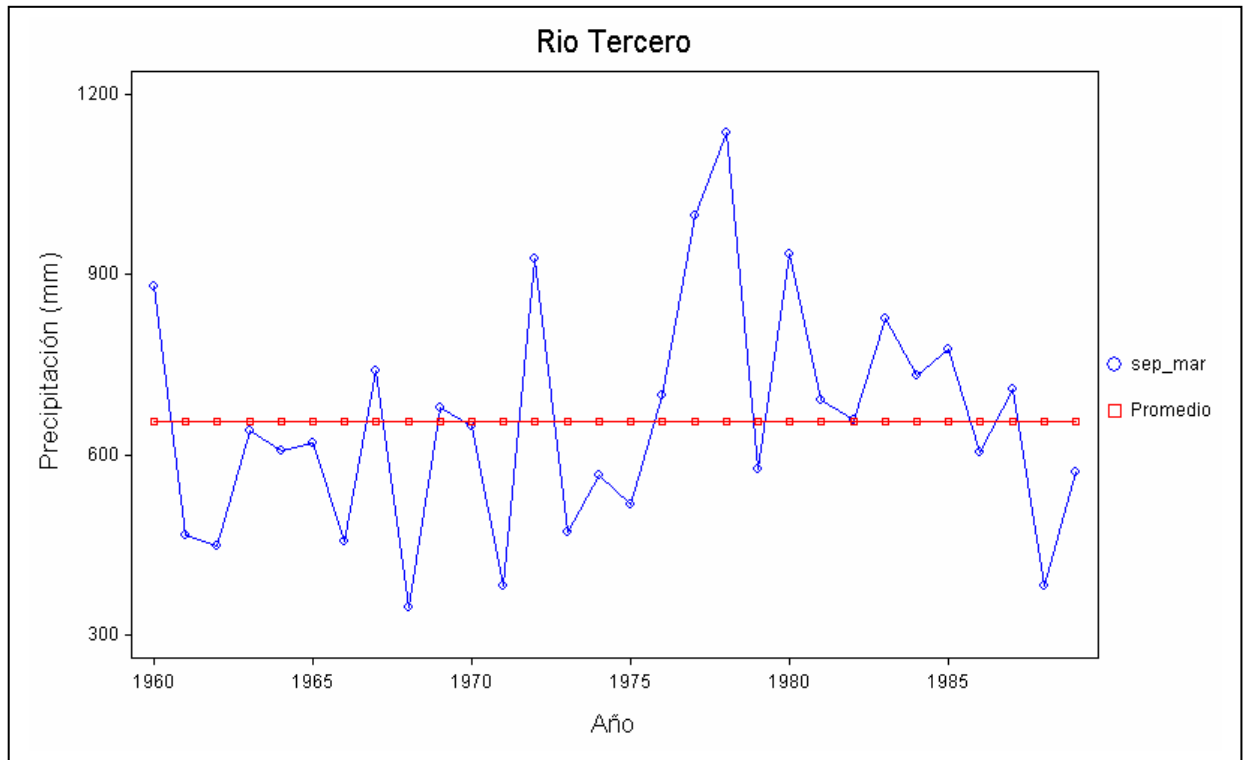


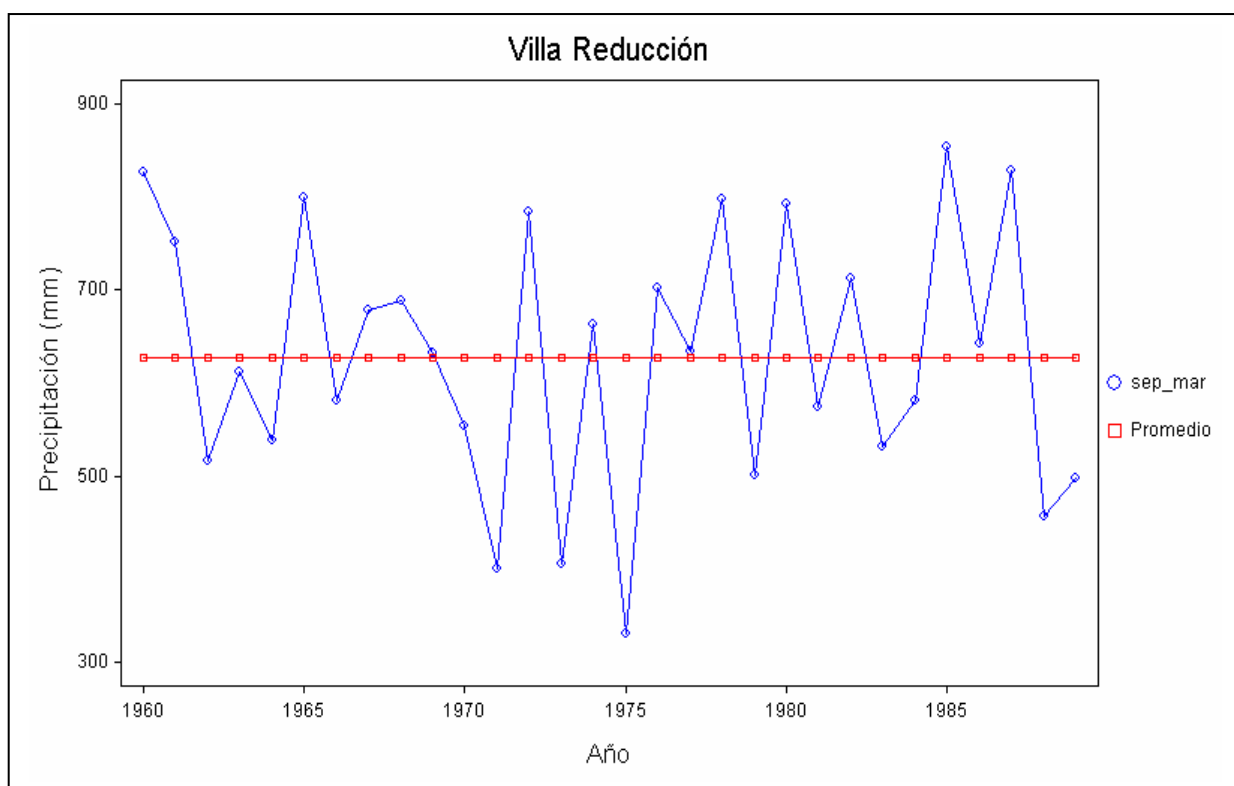
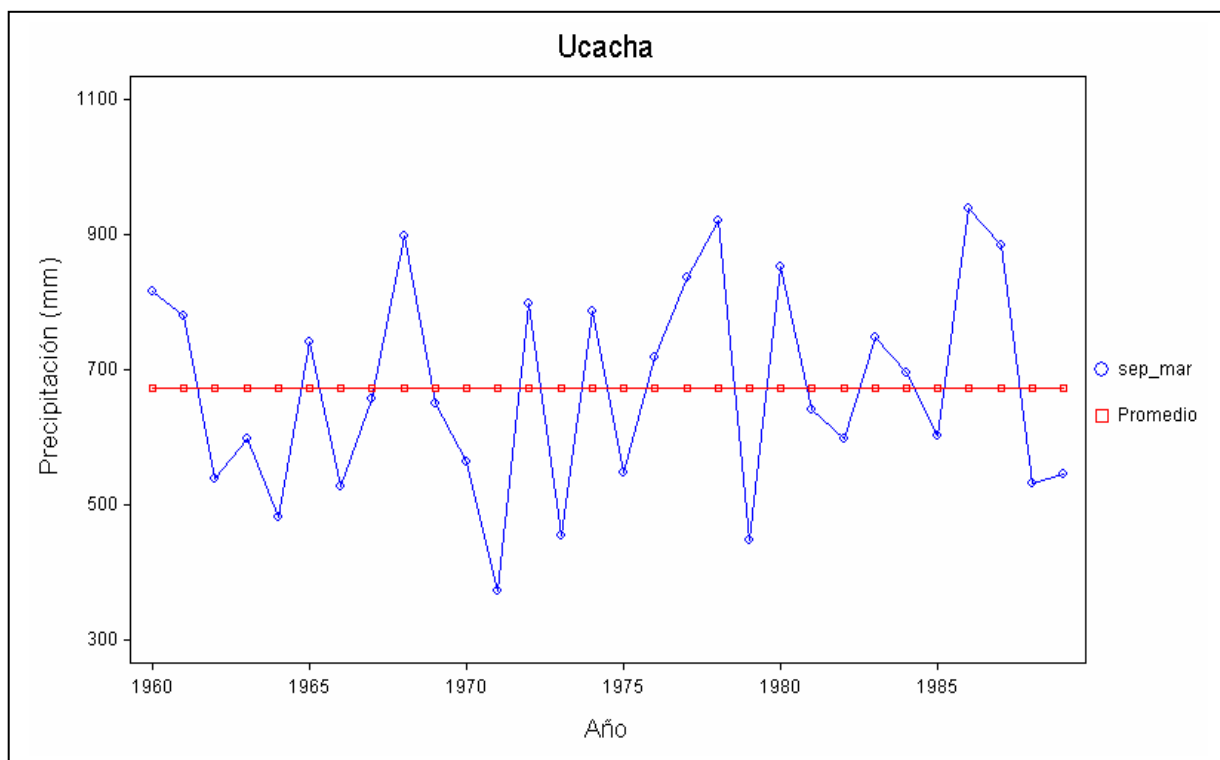












ANEXO II

**TABLAS DE REQUERIMIENTO DE AGUA POR
DEPARTAMENTO (SALIDAS DEL MODELO CROPWAT)**

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO TERCERO ARRIBA								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step =	10 Day(s)							
- Irrigation Efficiency =	70%							

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	56,71	88,00	0,82	46,37	39,51	30,75	15,62	0,26
11/1	55,17	88,00	0,85	46,74	38,46	30,25	16,49	0,27
21/1	53,15	88,00	0,85	45,03	37,18	29,62	15,41	0,25
31/1	50,70	87,70	0,83	42,30	35,56	28,73	13,57	0,22
10/2	47,89	87,00	0,82	39,37	33,55	27,51	11,86	0,20
20/2	44,78	85,20	0,80	35,96	30,90	25,72	10,24	0,17
2/3	41,49	81,00	0,77	31,92	27,18	22,96	8,96	0,15
12/3	38,10	81,00	0,65	24,88	24,63	21,11	3,77	0,06
22/3	34,71	76,80	0,45	15,81	20,58	17,89	0,00	0,00
1/4	31,43	36,00	0,17	5,50	8,49	7,47	0,00	0,00
11/4	28,34	10,00	0,06	1,68	1,81	1,63	0,05	0,00
21/4	25,54	10,00	0,05	0,41	0,45	0,41	0,00	0,00
1/5	23,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	21,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	19,63	12,00	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,01
31/5	18,67	12,00	0,04	0,78	0,28	0,27	0,51	0,01
10/6	18,28	12,00	0,04	0,77	0,00	0,00	0,77	0,01
20/6	18,46	12,00	0,04	0,78	0,27	0,27	0,51	0,01
30/6	19,23	12,00	0,05	1,04	0,60	0,58	0,45	0,01
10/7	20,54	12,00	0,07	1,49	0,62	0,60	0,88	0,01
20/7	22,38	12,00	0,09	2,03	0,55	0,54	1,49	0,02
30/7	24,69	12,00	0,11	2,68	0,30	0,29	2,39	0,04
9/8	27,40	12,00	0,12	3,16	0,00	0,00	3,16	0,05
19/8	30,45	12,00	0,12	3,51	0,14	0,13	3,37	0,06
29/8	33,74	12,00	0,12	3,89	1,07	0,96	2,92	0,05
8/9	37,18	12,00	0,12	4,28	1,57	1,43	2,85	0,05
18/9	40,67	12,00	0,12	4,69	1,81	1,69	2,99	0,05
28/9	44,11	12,00	0,12	5,08	2,02	1,90	3,18	0,05
8/10	47,39	13,80	0,12	5,50	2,68	2,48	3,02	0,05
18/10	50,41	18,80	0,11	5,69	4,29	3,84	1,84	0,03
28/10	53,07	58,00	0,21	11,36	16,07	13,84	0,00	0,00
7/11	55,30	82,80	0,27	14,89	26,31	22,02	0,00	0,00
17/11	57,03	83,20	0,30	16,99	30,36	24,71	0,00	0,00
27/11	58,20	88,00	0,46	26,99	35,55	28,35	0,00	0,00
7/12	58,81	88,00	0,62	36,69	38,20	30,02	6,67	0,11
17/12	58,85	88,00	0,76	44,69	39,84	31,00	13,69	0,23
27/12	29,28	88,00	0,79	23,20	20,22	15,66	7,54	0,25

Total	1396,01			556,22	521,09	424,69	154,27	[0,08]
				537.82				

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO GRAL. SAN MARTÍN								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step =	10 Day(s)							
- Irrigation Efficiency =	70%							

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	64,47	82,00	0,80	51,36	35,49	28,47	22,89	0,38
11/1	62,85	82,00	0,78	48,92	35,43	28,55	20,36	0,34
21/1	60,65	80,40	0,75	45,40	34,26	27,74	17,66	0,29
31/1	57,92	73,60	0,70	40,47	30,54	24,84	15,63	0,26
10/2	54,73	70,20	0,67	36,78	27,97	22,87	13,91	0,23
20/2	51,17	66,00	0,62	31,97	24,88	20,45	11,52	0,19
2/3	47,34	66,00	0,51	24,32	23,20	19,19	5,13	0,08
12/3	43,35	66,00	0,38	16,43	21,30	17,74	0,00	0,00
22/3	39,33	29,20	0,15	6,12	8,64	7,24	0,00	0,00
1/4	35,38	20,00	0,10	1,52	2,15	1,82	0,00	0,00
11/4	31,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/4	28,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/5	25,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	22,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	20,42	18,00	0,06	0,12	0,19	0,18	0,00	0,00
31/5	18,97	18,00	0,06	1,19	1,67	1,62	0,00	0,00
10/6	18,16	18,00	0,06	1,14	1,40	1,39	0,00	0,00
20/6	18,03	18,00	0,06	1,14	1,22	1,22	0,00	0,00
30/6	18,56	18,00	0,08	1,50	1,13	1,13	0,37	0,01
10/7	19,75	18,00	0,11	2,14	1,15	1,15	0,99	0,02
20/7	21,56	18,00	0,14	2,93	1,27	1,27	1,66	0,03
30/7	23,95	18,00	0,16	3,91	1,48	1,47	2,44	0,04
9/8	26,85	18,00	0,17	4,64	1,79	1,71	2,93	0,05
19/8	30,18	18,00	0,17	5,21	2,17	2,01	3,20	0,05
29/8	33,85	18,00	0,17	5,85	2,61	2,37	3,48	0,06
8/9	37,75	18,00	0,17	6,52	3,11	2,76	3,76	0,06
18/9	41,78	24,40	0,19	7,89	4,97	4,33	3,57	0,06
28/9	45,81	26,60	0,19	8,93	6,23	5,35	3,58	0,06
8/10	49,73	29,80	0,20	9,93	7,92	6,72	3,21	0,05
18/10	53,43	70,80	0,30	16,31	21,00	17,66	0,00	0,00
28/10	56,79	92,00	0,37	21,30	29,81	24,87	0,00	0,00
7/11	59,71	98,20	0,44	26,36	34,21	28,36	0,00	0,00
17/11	62,12	82,00	0,49	30,47	30,35	25,00	5,46	0,09
27/11	63,94	82,00	0,62	39,41	31,75	26,02	13,39	0,22
7/12	65,14	82,00	0,73	47,44	32,75	26,71	20,74	0,34
17/12	65,72	82,00	0,77	50,78	33,32	27,05	23,73	0,39
27/12	32,89	82,00	0,80	26,38	16,74	13,55	12,83	0,42

Total	1509,55			624,81	512,12	422,83	212,43	[0,11]
				602,05				

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO UNIÓN								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step	= 10 Day(s)							
- Irrigation Efficiency	= 70%							

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	64,47	78,00	0,73	47,35	33,76	27,08	20,26	0,34
11/1	62,85	78,00	0,71	44,68	33,71	27,16	17,51	0,29
21/1	60,65	76,40	0,68	41,26	32,56	26,36	14,90	0,25
31/1	57,92	66,40	0,62	35,73	27,56	22,41	13,32	0,22
10/2	54,73	63,40	0,59	32,28	25,25	20,65	11,64	0,19
20/2	51,17	62,00	0,46	23,83	23,37	19,21	4,62	0,08
2/3	47,34	62,00	0,32	15,06	21,79	18,02	0,00	0,00
12/3	43,35	13,20	0,05	2,30	4,41	3,66	0,00	0,00
22/3	39,33	1,00	0,01	0,24	0,29	0,24	0,00	0,00
1/4	35,38	1,00	0,01	0,08	0,11	0,09	0,00	0,00
11/4	31,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/4	28,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/5	25,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	22,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	20,42	22,00	0,08	0,15	0,23	0,22	0,00	0,00
31/5	18,97	22,00	0,08	1,46	2,04	1,97	0,00	0,00
10/6	18,16	22,00	0,08	1,40	1,71	1,70	0,00	0,00
20/6	18,03	22,00	0,08	1,39	1,49	1,49	0,00	0,00
30/6	18,56	22,00	0,10	1,84	1,39	1,39	0,45	0,01
10/7	19,75	22,00	0,13	2,62	1,41	1,41	1,21	0,02
20/7	21,56	22,00	0,17	3,58	1,55	1,55	2,03	0,03
30/7	23,95	22,00	0,20	4,78	1,81	1,80	2,98	0,05
9/8	26,85	22,00	0,21	5,67	2,18	2,10	3,58	0,06
19/8	30,18	22,00	0,21	6,37	2,65	2,46	3,91	0,06
29/8	33,85	22,00	0,21	7,15	3,19	2,89	4,25	0,07
8/9	37,75	22,00	0,21	7,97	3,81	3,37	4,60	0,08
18/9	41,78	31,60	0,24	9,84	6,44	5,61	4,23	0,07
28/9	45,81	34,60	0,24	11,15	8,10	6,96	4,19	0,07
8/10	49,73	85,40	0,39	19,43	22,78	19,34	0,09	0,00
18/10	53,43	99,00	0,41	21,91	29,21	24,58	0,00	0,00
28/10	56,79	99,60	0,46	26,00	32,20	26,87	0,00	0,00
7/11	59,71	97,80	0,58	34,87	34,07	28,24	6,63	0,11
17/11	62,12	78,00	0,65	40,25	28,87	23,78	16,46	0,27
27/11	63,94	78,00	0,74	47,48	30,21	24,75	22,73	0,38
7/12	65,14	78,00	0,75	48,76	31,15	25,41	23,35	0,39
17/12	65,72	78,00	0,75	49,34	31,70	25,73	23,60	0,39
27/12	32,89	78,00	0,75	24,63	15,93	12,89	11,74	0,39

Total	1509,55			620,82	496,92	411,40	218,27	[0,12]
				591,56				

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO DE MARCOS JUAREZ								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step	= 10 Day(s)							
- Irrigation Efficiency	= 70%							

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	64,47	84,00	0,79	51,21	36,36	29,17	22,04	0,36
11/1	62,85	84,00	0,77	48,70	36,30	29,25	19,45	0,32
21/1	60,65	82,40	0,75	45,32	35,12	28,43	16,89	0,28
31/1	57,92	74,80	0,70	40,37	31,04	25,25	15,12	0,25
10/2	54,73	72,10	0,68	37,14	28,72	23,48	13,66	0,23
20/2	51,17	70,00	0,66	33,54	26,38	21,69	11,85	0,20
2/3	47,34	70,00	0,52	24,82	24,60	20,35	4,47	0,07
12/3	43,35	70,00	0,36	15,51	22,59	18,82	0,00	0,00
22/3	39,33	14,80	0,06	2,28	4,49	3,76	0,00	0,00
1/4	35,38	1,00	0,01	0,08	0,11	0,09	0,00	0,00
11/4	31,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/4	28,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/5	25,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	22,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	20,42	16,00	0,06	0,11	0,16	0,16	0,00	0,00
31/5	18,97	16,00	0,06	1,06	1,49	1,44	0,00	0,00
10/6	18,16	16,00	0,06	1,02	1,24	1,24	0,00	0,00
20/6	18,03	16,00	0,06	1,01	1,08	1,08	0,00	0,00
30/6	18,56	16,00	0,07	1,34	1,01	1,01	0,33	0,01
10/7	19,75	16,00	0,10	1,90	1,02	1,02	0,88	0,01
20/7	21,56	16,00	0,12	2,61	1,13	1,13	1,48	0,02
30/7	23,95	16,00	0,14	3,47	1,32	1,31	2,16	0,04
9/8	26,85	16,00	0,15	4,12	1,59	1,52	2,60	0,04
19/8	30,18	16,00	0,15	4,64	1,93	1,79	2,84	0,05
29/8	33,85	16,00	0,15	5,20	2,32	2,10	3,09	0,05
8/9	37,75	16,00	0,15	5,80	2,77	2,45	3,34	0,06
18/9	41,78	23,20	0,17	7,18	4,73	4,12	3,06	0,05
28/9	45,81	25,60	0,18	8,17	5,99	5,15	3,02	0,05
8/10	49,73	27,90	0,18	9,00	7,40	6,29	2,71	0,04
18/10	53,43	85,20	0,34	18,13	25,30	21,27	0,00	0,00
28/10	56,79	99,60	0,38	21,65	32,20	26,87	0,00	0,00
7/11	59,71	98,40	0,44	26,10	34,28	28,42	0,00	0,00
17/11	62,12	84,00	0,54	33,58	31,09	25,61	7,96	0,13
27/11	63,94	84,00	0,70	44,87	32,53	26,66	18,21	0,30
7/12	65,14	84,00	0,80	52,31	33,55	27,36	24,95	0,41
17/12	65,72	84,00	0,81	53,02	34,14	27,71	25,30	0,42
27/12	32,89	84,00	0,81	26,50	17,15	13,88	12,62	0,42
Total	1509,55			631,75	521,15	429,88	218,06	[0,12]
				610,47				

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO RIO CUARTO								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step	= 10 Day(s)							
- Irrigation Efficiency	= 70%							

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	66,01	94,00	0,94	61,79	38,49	30,53	31,27	0,52
11/1	64,26	94,00	0,94	60,19	37,81	30,34	29,86	0,49
21/1	61,98	94,00	0,86	53,09	37,12	30,12	22,97	0,38
31/1	59,22	90,70	0,75	44,25	34,98	28,68	15,56	0,26
10/2	56,05	83,00	0,64	36,12	30,91	25,59	10,53	0,17
20/2	52,55	48,60	0,43	22,69	17,29	14,43	8,26	0,14
2/3	48,84	40,00	0,37	18,31	13,22	11,13	7,18	0,12
12/3	45,00	39,40	0,31	14,12	11,87	10,07	4,06	0,07
22/3	41,17	37,00	0,22	9,10	9,86	8,43	0,67	0,01
1/4	37,44	20,20	0,10	3,70	4,74	4,09	0,00	0,00
11/4	33,91	9,00	0,05	0,65	0,72	0,63	0,02	0,00
21/4	30,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/5	27,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	25,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	23,76	6,00	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,00
31/5	22,56	6,00	0,02	0,47	0,28	0,28	0,19	0,00
10/6	21,98	6,00	0,02	0,46	0,25	0,25	0,21	0,00
20/6	22,05	6,00	0,02	0,46	0,26	0,26	0,21	0,00
30/6	22,75	6,00	0,03	0,61	0,16	0,16	0,46	0,01
10/7	24,07	6,00	0,04	0,87	0,00	0,00	0,87	0,01
20/7	25,98	6,00	0,05	1,18	0,00	0,00	1,18	0,02
30/7	28,42	6,00	0,05	1,55	0,00	0,00	1,55	0,03
9/8	31,34	6,00	0,06	1,80	0,00	0,00	1,80	0,03
19/8	34,63	6,00	0,06	1,99	0,10	0,10	1,90	0,03
29/8	38,23	6,00	0,06	2,20	0,56	0,51	1,69	0,03
8/9	42,01	6,00	0,06	2,42	0,81	0,74	1,68	0,03
18/9	45,88	6,00	0,06	2,64	1,02	0,94	1,70	0,03
28/9	49,72	6,00	0,06	2,86	1,25	1,14	1,72	0,03
8/10	53,41	40,40	0,14	7,60	10,47	9,21	0,00	0,00
18/10	56,85	57,80	0,19	10,57	17,71	15,07	0,00	0,00
28/10	59,93	76,80	0,24	14,12	27,47	22,62	0,00	0,00
7/11	62,56	93,40	0,32	19,90	37,37	30,02	0,00	0,00
17/11	64,65	94,00	0,44	28,73	40,69	32,09	0,00	0,00
27/11	66,16	94,00	0,63	41,53	42,51	33,15	8,38	0,14
7/12	67,05	94,00	0,81	54,08	42,96	33,36	20,72	0,34
17/12	67,32	94,00	0,89	60,23	42,19	32,84	27,38	0,45
27/12	33,58	94,00	0,92	30,81	20,54	16,07	14,74	0,49

Total	1615,49			611,20	523,65	422,88	216,78	[0,11]
				601,11				

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO JUAREZ CELMAN								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step =	10 Day(s)							
- Irrigation Efficiency =	70%							

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	66,01	91,00	0,89	58,82	37,26	29,55	29,27	0,48
11/1	64,26	91,00	0,90	57,88	36,60	29,37	28,51	0,47
21/1	61,98	91,00	0,86	53,06	35,93	29,16	23,90	0,40
31/1	59,22	88,90	0,79	47,01	34,28	28,11	18,90	0,31
10/2	56,05	84,00	0,74	41,24	31,29	25,90	15,34	0,25
20/2	52,55	66,40	0,62	32,81	23,57	19,68	13,13	0,22
2/3	48,84	62,00	0,58	28,46	20,50	17,25	11,21	0,19
12/3	45,00	61,20	0,49	22,01	18,43	15,64	6,37	0,11
22/3	41,17	58,00	0,35	14,33	15,45	13,22	1,11	0,02
1/4	37,44	32,20	0,16	5,96	7,55	6,51	0,00	0,00
11/4	33,91	15,00	0,08	1,09	1,20	1,05	0,04	0,00
21/4	30,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/5	27,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	25,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	23,76	9,00	0,03	0,07	0,05	0,05	0,03	0,00
31/5	22,56	9,00	0,03	0,71	0,42	0,42	0,29	0,00
10/6	21,98	9,00	0,03	0,69	0,38	0,38	0,32	0,01
20/6	22,05	9,00	0,03	0,70	0,39	0,39	0,31	0,01
30/6	22,75	9,00	0,04	0,92	0,24	0,24	0,69	0,01
10/7	24,07	9,00	0,05	1,31	0,00	0,00	1,31	0,02
20/7	25,98	9,00	0,07	1,77	0,00	0,00	1,77	0,03
30/7	28,42	9,00	0,08	2,32	0,00	0,00	2,32	0,04
9/8	31,34	9,00	0,09	2,71	0,00	0,00	2,71	0,04
19/8	34,63	9,00	0,09	2,99	0,15	0,15	2,85	0,05
29/8	38,23	9,00	0,09	3,30	0,84	0,77	2,53	0,04
8/9	42,01	9,00	0,09	3,63	1,21	1,11	2,52	0,04
18/9	45,88	9,00	0,09	3,96	1,53	1,41	2,55	0,04
28/9	49,72	9,00	0,09	4,30	1,88	1,71	2,59	0,04
8/10	53,41	26,60	0,13	6,83	6,87	6,04	0,79	0,01
18/10	56,85	36,60	0,15	8,30	11,21	9,54	0,00	0,00
28/10	59,93	63,80	0,22	12,93	22,94	18,87	0,00	0,00
7/11	62,56	89,90	0,31	19,24	35,99	28,91	0,00	0,00
17/11	64,65	91,00	0,38	24,78	39,39	31,07	0,00	0,00
27/11	66,16	91,00	0,54	35,68	41,15	32,09	3,58	0,06
7/12	67,05	91,00	0,70	47,24	41,58	32,29	14,94	0,25
17/12	67,32	91,00	0,83	55,57	40,85	31,79	23,77	0,39
27/12	33,58	91,00	0,86	28,93	19,88	15,55	13,37	0,44
Total	1615,49			631,53	529,03	428,22	226,99	[0,12]
				616,25				

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO PRESIDENTE ROQUE SAENZ PEÑA								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step =	10 Day(s)							
- Irrigation Efficiency =	70%							

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	67,86	82,00	0,84	57,33	35,49	28,47	28,86	0,48
11/1	66,04	82,00	0,85	56,33	35,43	28,55	27,78	0,46
21/1	63,65	82,00	0,80	51,06	34,94	28,29	22,77	0,38
31/1	60,73	82,00	0,66	39,96	34,01	27,67	12,29	0,20
10/2	57,36	51,60	0,42	24,21	20,61	16,84	7,37	0,12
20/2	53,62	40,40	0,35	18,90	15,26	12,54	6,36	0,11
2/3	49,63	32,00	0,31	15,19	11,25	9,30	5,89	0,10
12/3	45,50	32,00	0,30	13,78	10,33	8,60	5,18	0,09
22/3	41,33	32,00	0,28	11,57	9,34	7,84	3,74	0,06
1/4	37,25	31,40	0,21	7,66	8,15	6,91	0,76	0,01
11/4	33,36	25,20	0,11	3,80	5,79	4,96	0,00	0,00
21/4	29,78	2,00	0,01	0,10	0,12	0,11	0,00	0,00
1/5	26,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	23,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	21,74	18,00	0,06	0,13	0,19	0,18	0,00	0,00
31/5	20,20	18,00	0,06	1,27	1,67	1,62	0,00	0,00
10/6	19,31	18,00	0,06	1,22	1,40	1,39	0,00	0,00
20/6	19,09	18,00	0,06	1,21	1,22	1,22	0,00	0,00
30/6	19,55	18,00	0,08	1,58	1,13	1,13	0,45	0,01
10/7	20,67	18,00	0,11	2,24	1,15	1,15	1,09	0,02
20/7	22,43	18,00	0,14	3,05	1,27	1,27	1,78	0,03
30/7	24,78	18,00	0,16	4,04	1,48	1,47	2,57	0,04
9/8	27,64	18,00	0,17	4,78	1,79	1,71	3,06	0,05
19/8	30,96	18,00	0,17	5,35	2,17	2,01	3,34	0,06
29/8	34,64	18,00	0,17	5,99	2,61	2,37	3,62	0,06
8/9	38,57	18,00	0,17	6,67	3,11	2,76	3,90	0,06
18/9	42,65	18,00	0,17	7,37	3,65	3,18	4,19	0,07
28/9	46,77	18,00	0,17	8,08	4,21	3,62	4,47	0,07
8/10	50,81	21,60	0,18	8,96	5,76	4,89	4,07	0,07
18/10	54,66	41,40	0,21	11,66	12,33	10,37	1,29	0,02
28/10	58,20	68,00	0,28	16,25	21,98	18,35	0,00	0,00
7/11	61,33	72,00	0,26	16,22	25,13	20,83	0,00	0,00
17/11	63,98	80,40	0,31	20,14	29,76	24,52	0,00	0,00
27/11	66,07	81,60	0,45	29,45	31,60	25,90	3,56	0,06
7/12	67,56	82,00	0,62	41,77	32,75	26,71	15,06	0,25
17/12	68,44	82,00	0,76	51,88	33,32	27,05	24,83	0,41
27/12	34,37	82,00	0,81	27,86	16,74	13,55	14,31	0,47

Total	1571,05			577,09	457,17	377,33	212,58	[0,11]
				548,32				

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO GENERAL ROCA								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step	= 10 Day(s)							
- Irrigation Efficiency	= 70%							

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	67,86	81,00	0,84	56,67	32,25	26,41	30,25	0,50
11/1	66,04	81,00	0,85	56,30	33,23	27,15	29,14	0,48
21/1	63,65	81,00	0,80	50,87	33,69	27,49	23,38	0,39
31/1	60,73	81,00	0,63	38,40	33,59	27,39	11,01	0,18
10/2	57,36	45,80	0,36	20,60	18,65	15,21	5,39	0,09
20/2	53,62	32,80	0,28	14,92	12,87	10,50	4,42	0,07
2/3	49,63	23,00	0,22	11,07	8,52	6,96	4,11	0,07
12/3	45,50	23,00	0,21	9,74	7,91	6,48	3,25	0,05
22/3	41,33	23,00	0,19	7,99	7,21	5,93	2,06	0,03
1/4	37,25	20,60	0,14	5,06	5,79	4,78	0,28	0,00
11/4	33,36	16,00	0,08	2,55	3,96	3,30	0,00	0,00
21/4	29,78	4,00	0,02	0,19	0,27	0,22	0,00	0,00
1/5	26,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	23,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	21,74	19,00	0,07	0,14	0,19	0,17	0,00	0,00
31/5	20,20	19,00	0,07	1,34	1,64	1,53	0,00	0,00
10/6	19,31	19,00	0,07	1,28	1,25	1,22	0,06	0,00
20/6	19,09	19,00	0,07	1,28	0,95	0,95	0,32	0,01
30/6	19,55	19,00	0,09	1,67	0,77	0,77	0,90	0,01
10/7	20,67	19,00	0,11	2,37	0,71	0,71	1,65	0,03
20/7	22,43	19,00	0,14	3,22	0,77	0,77	2,45	0,04
30/7	24,78	19,00	0,17	4,27	0,94	0,94	3,32	0,05
9/8	27,64	19,00	0,18	5,04	1,22	1,22	3,82	0,06
19/8	30,96	19,00	0,18	5,65	1,60	1,57	4,08	0,07
29/8	34,64	19,00	0,18	6,32	2,07	1,94	4,38	0,07
8/9	38,57	19,00	0,18	7,04	2,60	2,36	4,67	0,08
18/9	42,65	19,00	0,18	7,78	3,18	2,83	4,95	0,08
28/9	46,77	19,00	0,18	8,53	3,79	3,31	5,22	0,09
8/10	50,81	23,20	0,19	9,51	5,43	4,67	4,85	0,08
18/10	54,66	46,20	0,23	12,72	12,31	10,48	2,24	0,04
28/10	58,20	77,00	0,31	18,14	22,55	19,05	0,00	0,00
7/11	61,33	78,10	0,29	17,59	24,93	20,93	0,00	0,00
17/11	63,98	75,80	0,31	20,08	25,87	21,61	0,00	0,00
27/11	66,07	79,40	0,47	31,17	28,46	23,67	7,51	0,12
7/12	67,56	81,00	0,65	43,65	29,96	24,84	18,82	0,31
17/12	68,44	81,00	0,77	52,70	30,42	25,16	27,55	0,46
27/12	34,37	81,00	0,81	27,74	15,24	12,58	15,16	0,50

Total	1571,05			563,59	414,81	345,12	225,24	[0,11]
				534,59				

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO SAN JAVIER								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step	= 10 Day(s)							
- Irrigation Efficiency	= 70%							

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	52,48	87,00	0,87	45,71	35,83	28,37	17,33	0,29
11/1	50,97	87,00	0,79	40,35	38,50	30,20	10,14	0,17
21/1	49,03	87,00	0,68	33,36	40,72	31,77	1,60	0,03
31/1	46,68	87,00	0,55	25,78	42,19	32,82	0,00	0,00
10/2	44,00	29,50	0,18	7,91	14,46	11,25	0,00	0,00
20/2	41,06	6,00	0,06	2,34	2,89	2,26	0,08	0,00
2/3	37,95	6,00	0,06	2,16	2,76	2,16	0,00	0,00
12/3	34,75	6,00	0,06	1,98	2,54	2,01	0,00	0,00
22/3	31,57	6,00	0,05	1,68	2,25	1,80	0,00	0,00
1/4	28,50	6,00	0,04	1,11	1,91	1,55	0,00	0,00
11/4	25,62	6,00	0,03	0,54	1,26	1,05	0,00	0,00
21/4	23,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/5	20,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	18,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	17,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
31/5	16,70	13,00	0,05	0,68	0,33	0,33	0,35	0,01
10/6	16,38	13,00	0,05	0,75	0,34	0,34	0,41	0,01
20/6	16,59	13,00	0,05	0,75	0,49	0,49	0,27	0,00
30/6	17,34	13,00	0,05	0,95	0,76	0,71	0,23	0,00
10/7	18,61	13,00	0,07	1,38	1,03	0,89	0,50	0,01
20/7	20,37	13,00	0,09	1,92	1,07	0,92	1,00	0,02
30/7	22,56	13,00	0,11	2,57	0,52	0,48	2,09	0,03
9/8	25,13	13,00	0,12	3,14	0,00	0,00	3,14	0,05
19/8	28,01	13,00	0,12	3,50	0,20	0,20	3,30	0,05
29/8	31,11	13,00	0,12	3,88	0,84	0,84	3,04	0,05
8/9	34,34	13,00	0,12	4,29	1,22	1,20	3,09	0,05
18/9	37,62	13,00	0,12	4,69	1,67	1,56	3,13	0,05
28/9	40,84	64,10	0,25	10,37	10,67	9,65	0,73	0,01
8/10	43,90	86,00	0,31	13,40	16,73	14,89	0,00	0,00
18/10	46,71	88,40	0,30	13,91	19,81	17,45	0,00	0,00
28/10	49,19	94,00	0,34	16,98	23,57	20,62	0,00	0,00
7/11	51,25	95,20	0,49	25,16	26,32	22,84	2,32	0,04
17/11	52,84	88,30	0,62	32,52	26,61	22,83	9,69	0,16
27/11	53,90	87,00	0,78	42,03	28,44	24,03	18,00	0,30
7/12	54,44	87,00	0,83	45,44	30,67	25,44	20,00	0,33
17/12	54,44	87,00	0,86	46,87	32,89	26,74	20,13	0,33
27/12	27,07	87,00	0,87	23,58	17,25	13,82	9,76	0,32

Total	1282,22			461,68	426,74	351,51	130,31	[0,07]
				445,5				

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO CALAMUCHITA								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step =	10 Day(s)							
- Irrigation Efficiency =	70%							

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	66,01	90,00	0,85	56,12	36,85	29,23	26,89	0,44
11/1	64,26	90,00	0,86	55,41	36,20	29,05	26,36	0,44
21/1	61,98	90,00	0,86	53,08	35,54	28,84	24,24	0,40
31/1	59,22	90,00	0,84	49,89	34,70	28,45	21,43	0,35
10/2	56,05	90,00	0,83	46,44	33,52	27,75	18,68	0,31
20/2	52,55	87,00	0,80	41,98	30,85	25,76	16,21	0,27
2/3	48,84	80,00	0,75	36,78	26,45	22,26	14,52	0,24
12/3	45,00	80,00	0,75	33,56	24,08	20,43	13,13	0,22
22/3	41,17	76,50	0,67	27,67	20,40	17,45	10,22	0,17
1/4	37,44	75,00	0,49	18,30	17,12	14,78	3,52	0,06
11/4	33,91	75,00	0,33	8,94	11,54	10,07	0,00	0,00
21/4	30,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1/5	27,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11/5	25,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
21/5	23,76	10,00	0,04	0,08	0,05	0,05	0,03	0,00
31/5	22,56	10,00	0,04	0,79	0,47	0,47	0,32	0,01
10/6	21,98	10,00	0,04	0,77	0,42	0,42	0,35	0,01
20/6	22,05	10,00	0,04	0,77	0,43	0,43	0,35	0,01
30/6	22,75	10,00	0,04	1,02	0,27	0,26	0,76	0,01
10/7	24,07	10,00	0,06	1,45	0,00	0,00	1,45	0,02
20/7	25,98	10,00	0,08	1,96	0,00	0,00	1,96	0,03
30/7	28,42	10,00	0,09	2,58	0,00	0,00	2,58	0,04
9/8	31,34	10,00	0,10	3,01	0,00	0,00	3,01	0,05
19/8	34,63	10,00	0,10	3,32	0,17	0,16	3,16	0,05
29/8	38,23	10,00	0,10	3,67	0,94	0,86	2,81	0,05
8/9	42,01	10,00	0,10	4,03	1,34	1,24	2,80	0,05
18/9	45,88	10,00	0,10	4,40	1,70	1,57	2,84	0,05
28/9	49,72	10,00	0,10	4,77	2,09	1,90	2,87	0,05
8/10	53,41	13,00	0,10	5,37	3,37	2,96	2,41	0,04
18/10	56,85	20,00	0,10	5,92	6,11	5,20	0,72	0,01
28/10	59,93	20,00	0,09	5,37	7,11	5,86	0,00	0,00
7/11	62,56	34,00	0,12	7,36	13,80	11,05	0,00	0,00
17/11	64,65	88,50	0,28	18,10	38,32	30,22	0,00	0,00
27/11	66,16	90,00	0,31	20,64	40,70	31,74	0,00	0,00
7/12	67,05	90,00	0,45	30,48	41,13	31,94	0,00	0,00
17/12	67,32	90,00	0,64	42,88	40,40	31,44	11,43	0,19
27/12	33,58	90,00	0,77	25,73	19,66	15,38	10,35	0,34

Total	1615,49			622,64	525,73	427,24	225,40	[0,12]
				597,95				

Crop Water Requirements Report								
DEPARTAMENTO RIO SEGUNDO								

- Crop #	: [All crops]							
- Block #	: [All blocks]							
- Calculation time step = 10 Day(s)								
- Irrigation Efficiency = 70%								

Date	ETo	Planted Area	Crop Kc	CWR (ETm)	Total Rain	Effect. Rain	Irr. Req.	FWS
	(mm/period)	(%)			(mm/period)			(l/s/ha)

1/1	56,71	82,00	0,78	44,08	36,82	28,66	15,43	0,26
11/1	55,17	82,00	0,79	43,61	35,84	28,19	15,42	0,26
21/1	53,15	82,00	0,78	41,60	34,65	27,60	14,00	0,23
31/1	50,70	82,00	0,77	39,09	33,25	26,86	12,23	0,20
10/2	47,89	81,20	0,76	36,25	31,31	25,68	10,57	0,17
20/2	44,78	76,20	0,72	32,39	27,63	23,00	9,39	0,16
2/3	41,49	75,00	0,70	29,12	25,16	21,26	7,86	0,13
12/3	38,10	75,00	0,68	25,93	22,80	19,55	6,39	0,11
22/3	34,71	69,40	0,53	18,36	18,61	16,18	2,18	0,04
1/4	31,43	67,00	0,36	11,28	15,17	13,39	0,00	0,00
11/4	28,34	67,00	0,26	2,26	3,97	3,54	0,00	0,00
21/4	25,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/5	23,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11/5	21,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21/5	19,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31/5	18,67	18,00	0,06	1,06	0,35	0,35	0,71	0,01
10/6	18,28	18,00	0,06	1,15	0,00	0,00	1,15	0,02
20/6	18,46	18,00	0,06	1,16	0,41	0,40	0,76	0,01
30/6	19,23	18,00	0,08	1,45	0,90	0,88	0,57	0,01
10/7	20,54	18,00	0,10	2,12	0,93	0,90	1,21	0,02
20/7	22,38	18,00	0,13	2,92	0,83	0,81	2,11	0,03
30/7	24,69	18,00	0,16	3,90	0,44	0,43	3,46	0,06
9/8	27,40	18,00	0,17	4,73	0,00	0,00	4,73	0,08
19/8	30,45	18,00	0,17	5,26	0,21	0,20	5,06	0,08
29/8	33,74	18,00	0,17	5,83	1,60	1,44	4,39	0,07
8/9	37,18	18,00	0,17	6,42	2,35	2,15	4,28	0,07
18/9	40,67	18,00	0,17	7,03	2,71	2,54	4,49	0,07
28/9	44,11	18,00	0,17	7,62	3,03	2,85	4,77	0,08
8/10	47,39	22,80	0,18	8,63	4,42	4,08	4,55	0,08
18/10	50,41	24,30	0,16	8,26	5,54	4,97	3,29	0,05
28/10	53,07	25,00	0,14	7,43	6,77	5,86	1,57	0,03
7/11	55,30	71,90	0,26	14,55	23,21	19,36	0,00	0,00
17/11	57,03	81,40	0,27	15,27	29,64	24,13	0,00	0,00
27/11	58,20	82,00	0,32	18,71	33,12	26,42	0,00	0,00
7/12	58,81	82,00	0,47	27,92	35,60	27,97	0,00	0,00
17/12	58,85	82,00	0,64	37,56	37,13	28,89	8,67	0,14
27/12	29,28	82,00	0,75	21,99	18,84	14,60	7,39	0,24
Total	1396,01			534,96	493,24	403,12	156,65	[0,08]
				508,95				
