

Relación entre la oferta calculada del recurso hídrico superficial y la demanda de agua de los cultivos en una cuenca del sur de la región pampeana

Relationship between the estimated supply of surface water resources and the demand of crop water in a basin in the south of the pampean region

ESPÓSITO, M. E.¹⁻²; FERNÁNDEZ, S. N.³; SEQUEIRA, M. E.^{1-3*}; PAOLONI, J. D.^{1-2*}

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

²Dpto. de Agronomía – Universidad Nacional del Sur

³Dpto. de Ingeniería – Universidad Nacional del Sur

*Actualmente Profesor Titular Jubilado

Resumen

En la cuenca del Sauce Chico el uso del agua de riego es desordenado, conduciendo a los productores a reclamar al gobierno la realización de estudios de sistematización y obras de regulación de caudales. El estudio analiza la variabilidad temporal de la disponibilidad y aptitud de las aguas del curso principal y se relaciona la oferta hídrica con la demanda para riego. Se analizaron estadísticamente registros históricos diarios de un limnigrafo. Esto permitió calcular los porcentajes de probabilidad de ocurrencia de los caudales medios mensuales. Registros meteorológicos permitieron determinar los requerimientos de riego de los cultivos con la ayuda del CROPWAT 8.0. La evaluación de la calidad de las aguas superficiales se realizó en 8 sitios, aplicando la clasificación del Proyecto IPG-INTA. Durante los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto y diciembre el escurrimiento medio no supera al módulo anual. Los meses (diciembre y enero) de mayor demanda de agua utilizada para regar los cultivos coinciden con el período de los caudales más bajos, resultando insuficiente, aún con una probabilidad del 50 % de los caudales disponibles y con eficiencias de riego del 70 %. El agua utilizada para riego es de excelente calidad.

Palabras claves: demanda de cultivos, riego, calidad de agua

Introducción

La cuenca del río Sauce Chico se desarrolla sobre una superficie de 1573,06 km² y nace en las estribaciones occidentales de las Sierras Australes o Sistema de Ventania de la Provincia de Buenos Aires, con alturas máximas que superan los 900 msnm como el Cerro El Guanaco. Atraviesa los Partidos de Tornquist, Villarino y Bahía Blanca, descargando sus aguas en la costa atlántica denominada ría de Bahía Blanca, que alcanza valores topográficos de 0 msnm con pendiente muy suave e inferiores al 1%. El colector principal que denomina a la cuenca tiene una longitud de 104,5 km y un comportamiento efluente. Además, recibe temporariamente aportes poco significativos de los arroyos Saladillo Dulce y Saladillo de García en su tramo final (Convenio MOP-UNS-CIC, 1990).

La mayor superficie corresponde a la actividad rural destinada principalmente a ganadería y agricultura de secano, pero en el entorno inmediato al río tradicionalmente se ha practicado agricultura intensiva bajo riego, que abarca aproximadamente 1.400 hectáreas en la actualidad. En la Cuenca Media Alta 11 regantes explotan superficies entre 3 y 135 hectáreas, además, sobre la margen izquierda del río y próximo a la Ruta Nacional 33, se localiza una industria papelería que también extrae agua del cauce. En la Cuenca Media Baja se localizan 54 regantes, con superficies bajo riego entre 2 y 200 hectáreas, con una importante subdivisión de la tierra, dado que aproximadamente el 60 % de la superficie

Summary

In the basin of Sauce Chico the use of irrigation water is disorganized, leading producers to claim the government to undertake systematization studies and flow regulation works. The study analyzes the temporal variability of the availability and suitability of the waters of the main channel, and relates the water supply to the amount of water demanded for irrigation. Historical daily records registered by a limnigraph were analyzed statistically. That allowed calculating percentages of probability of occurrence of the monthly average flows. Meteorological records allowed determining the requirements for crop irrigation with the aid of CROPWAT 8.0. The quality of surface water was evaluated at 8 sampling stations, applying the classification IPG-INTA Project. During the months of January, February, June, July, August and December, the average runoff does not exceed the annual module. The months of greater demand (December and January) for irrigation water coincide with the period of the lowest flow rates, resulting insufficient, even with a probability of 50% of available flows and irrigation efficiencies of 70%. The water used for irrigation is of excellent quality.

Key words: crop demand, irrigation, water quality

regada se encuentra entre 2 y 10 hectáreas (Información suministrada por la Autoridad del Agua, 2010).

Es importante mencionar que predominan los sistemas de riego por gravedad, principalmente por surcos, en muchos casos diseñados sobre una nivelación somera de los suelos. Las superficies cubiertas por sistemas de riego por aspersión y goteo son menos representativas en función de la superficie total regada. En estos sectores bajo riego, los cultivos predominantes corresponden a diferentes variedades hortícolas, siendo bastante más limitado las implantaciones de cereales y oleaginosas. El uso del agua de riego anárquico y desordenado ha conducido a los productores a demandar al gobierno provincial la realización de estudios de sistematización y las obras necesarias para la regulación de los caudales del río, a fin de suplir las necesidades hídricas de los pequeños productores que representan el 60% de las áreas de regadío (Convenio MOP-UNS-CIC, 1990).

Otro aspecto importante no considerado es la calidad del agua, porque el efecto de la salinidad en las plantas produce pérdidas de los rendimientos y se observa cuando la conductividad eléctrica (CE), indicadora de la concentración de sales en el agua, supera un valor crítico, el cual varía para cada cultivo e incluso para las variedades en una especie particular (Ayers & Westcot, 1976; Salisbury et al., 2000). Los riesgos del desarrollo de sodificación

en el suelo mediante el uso de aguas sódicas, se valoran mediante la Relación de absorción de sodio (RAS), donde las aguas producen la dispersión de los coloides y un decrecimiento de la permeabilidad, situación que interfiere con el drenaje, normal suministro de agua y aireación requerida para el crecimiento de los cultivos (Costa, 1996; Peinemann, 1997; Levy, 2000).

La Falta de conocimiento de la relación entre la disponibilidad de agua con respecto a la demandada por los diferentes cultivos y la aptitud del recurso hídrico utilizado para riego, son dos aspectos básicos con fuerte incidencia en lo económico, ecológico y políti-

co de la cuenca, ya que actuarían como pilares para el desarrollo de los sistemas de producción agrícola bajo riego (SAGPyA-PROSAP, 1997). En el marco de este escenario se plantean los siguientes objetivos: 1- Realizar un análisis de la variabilidad temporal del caudal, determinando las curvas de duración de caudales medios mensuales. 2- Estimar el requerimiento y distribución de riego a lo largo del ciclo en los distintos estados fenológico de los cultivos. 3- Determinar la calidad del recurso hídrico utilizado para riego. 4- Relacionar la oferta hídrica con la necesidad real de riego.

Materiales y métodos

Área de estudio

Geográficamente la cuenca se encuentra en el extremo sur de la Provincia de Buenos Aires, entre los paralelos de 37° 50' y 38° 50' de latitud sur y los meridianos 62° 15' y 62° 40' de longitud oeste. Los análisis morfométricos indican que la cuenca superior se encuentra subdividida en dos sectores (Ia y Ib) por la divisoria de aguas superficiales con cierre en el denominado balneario de Tornquist (Latitud Sur = 38° 03' 7.6" y Longitud Oeste = 62° 15' 7,83" - Cota= 270 msnm)(Figura 1). Esta área es considerada generadora de escurrimientos integrada por suelos de distintos potenciales hídricos, que alcanzan su mínima expresión entre el Balneario y Paso Bower. En consecuencia, aguas abajo de este sector no se verifican aportes superficiales importantes, y si deberán adicionarse los caudales que puedan corresponder por descarga subsuperficial y/o subterránea como expresión de caudal base (Convenio MOP-UNS-CIC, 1990).

En el entorno regional el paisaje dominante corresponde al de planicie, ya que el área constituye la expresión meridional de la extensa llanura chaco-pampeana donde se destaca en forma localizada el relieve del sistema de Ventania, que emerge de la llanura a modo de isla. La geología superficial se caracteriza por una sucesión sedimentaria de litología bastante homogénea desde el Terciario Superior al presente, aunque con diferencias de cementación y/o compactación entre la serie basal que llega hasta el Plioceno y la del Cuaternario que lo cubren como un manto somero, según puede observarse en forma directa en los perfiles expuestos por cortes naturales o artificiales del terreno (González Uriarte, 1984a, 1984b; Arbanesi et al., 1988).

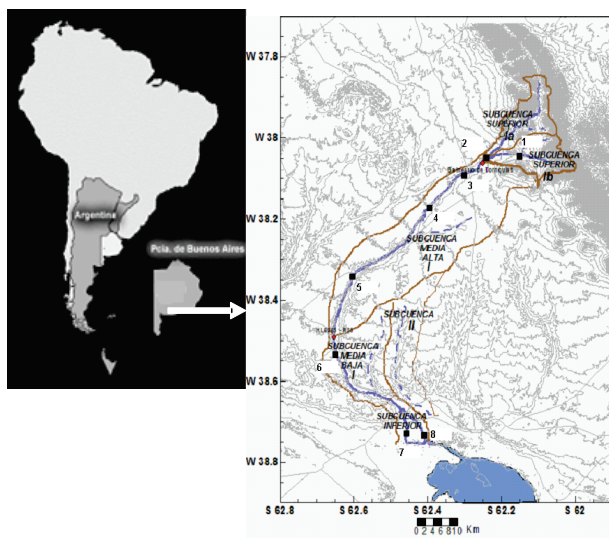


Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio y los sitios de muestreo enumerados

En su mayor parte, los tipos de suelo que se presentan en la cuenca del río Sauce Chico pertenecen al orden de los Molisoles. Dentro de ellos, los Argiudoles y los Haplustoles son los predominantes, caracterizados por el desarrollo de texturas franca, franca limosa, franco arcillosa y franco arcillo limosa. En general se encuentran bien drenados, sin embargo, en determinados sectores elevados con presencia de tosca, el desarrollo de los suelos es muy somero (< 25 cm). En la planicie y en espacios de poca pendiente, el desarrollo de los suelos se encuentra entre 25 – 50 cm (Torrero, 2009).

En el Norte de la cuenca, asociada al sistema orográfico, se encuentra la roca que limita el desarrollo de los suelos. En el extremo opuesto, las características de los suelos están asociadas a la llanura de ingresión marina. Allí los suelos pertenecen a los órdenes Aridisol y Entisol, grupos Salortid acuólico y Ustifluent ácuico respectivamente con texturas que van de franco arenosa y franco arcillosa a arcillosa en el primer caso y franca y franca limosa en el segundo. Por sus características, los limitantes de estos suelos son la salinidad, la sodicidad y el drenaje. Todos los suelos descriptos son asociaciones excepto el Entisol Fluvent Ustifluent ácuico que es una consociación (Torrero, 2009).

Análisis de caudales

Se recopilan registros históricos de la serie de lecturas limnigráficas - caudales - desde 1955 a 1988 inclusive, de la estación limnigráfica y de aforos ubicada en la intersección del cauce del río Sauce Chico con la Ruta Nacional N° 35 y en cercanías de Nueva Roma. La estación mencionada, que se identificará como HL6005 (Latitud: 38° 29'50.3" S - Longitud: 62° 38' 45.25" O), se mantuvo originalmente a cargo de la Dirección Provincial de Hidráulica, dependiente del Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires (MOP); y actualmente se encuentra a cargo del Departamento Catastro, Registro y Estudios Básicos de la Dirección, Planificación, Control y Preservación de los Recursos Hídricos de la Autoridad del Agua (ADA).

La serie involucró: 10587 lecturas limnigráficas (1 valor por día observado a las 12:00 hs) desde 1955 a 1988 inclusive (34 años en total, con 18 años completos), 24 planillas (1 por año) de datos diarios limnigráficos y de caudales cubriendo (de manera incompleta) desde el 07/09/1954 hasta el 27/06/1978 (MOP) y relaciones matemáticas de regresión entre lecturas de nivel (H) y caudales aforados (Q) en dicha estación. Además, para conocer la variabilidad estacional del caudal, se realiza el análisis estadístico de los mencionados datos fluviométricos que permiten conocer los caudales medios mensuales (m³/s), derrame medio anual (hm³), caudal específico ((l/s/km²) y (l/s/Ha)), escurrimiento sobre la cuenca comprendida (mm), caudal medio diario, máximo diario y mínimo diario anual.

Se analizan los datos de manera determinística y se calculan los porcentajes de probabilidad de ocurrencia de los caudales medios

mensuales y los respectivos porcentajes de los valores de duración con respecto al módulo anual. Concisamente, se recopila información sobre los principales parámetros de la cuenca y su división en subcuenas.

Toma de muestras

Se realizó un muestreo selectivo y puntual en el mes de septiembre, a fin de realizar la evaluación de la calidad de las aguas superficiales, donde se seleccionan ocho estaciones de muestreo, consideradas representativas por su ubicación en la cuenca (Figura 1). Las muestras de agua colectadas fueron sometidas a los análisis de rutina determinando varios parámetros químicos, entre ellos la conductividad eléctrica (CE) y la Relación de absorción de sodio (RAS), en el Laboratorio de Hidrología y Riego, y el Laboratorio de Análisis Químicos (LANAQUI) de CERZOS-CONICET, ambos ubicados en el Dpto. de Agronomía (UNS).

La aptitud para riego en función de la salinidad y sodicidad del agua, se estableció aplicando la clasificación de Riverside y la propuesta por el Proyecto IPG-INTA, en base a la conductividad eléctrica (CE) y la Relación de absorción de sodio (RAS). La CE es un indicador del incremento de la salinidad en función del aumento del contenido de iones disueltos (sales solubles totales), que se mide a 25°C con un conductímetro y las medidas se expresan en deciSiemens por metro (dS/m), influenciando directamente sobre los rendimientos de las plantas. La RAS es un parámetro adimensional que indica la concentración relativa de sodio en meq/l con respecto a calcio y magnesio expresado también en la misma unidad, utilizado para la evaluación de la sodificación del suelo mediante el uso de aguas sódicas que deterioran la calidad de los mismos.

Necesidad de riego de los cultivos

La determinación a campo o medición directa del consumo de agua de los cultivos resulta de procedimientos complejos y

sumamente laboriosos con una gran demanda de tiempo, es común recurrir a metodologías mundialmente reconocidas para la predicción de los requerimientos de agua de los cultivos. Para ello la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), desarrolla el programa informático CROPWAT 8.0, que provee información básica para la planificación del riego en un área determinada, empleando principalmente antecedentes sobre el clima, suelo y los cultivos de la región a estudiar (Allen et al., 2006).

A través del programa CROPWAT 8.0 la FAO comenzó a recomendar la adopción del método Penman-Monteith para calcular la evapotranspiración de referencia (ETo), que multiplicada por el coeficiente específico del cultivo (Kc) permite obtener la evapotranspiración del cultivo (ETc) o necesidad hídrica de la planta. Los requerimientos de riego se calculan de la diferencia entre la ETc y la precipitación efectiva (Pe), este último término determinado por el método del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (USDA).

Para la aplicación de este programa se optó por emplear las Estadísticas Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, tomando a la estación Bahía Blanca como principal punto de referencia, dado que un importante sector de la cuenca del Río Sauce Chico se encuentra dentro de su Partido. De los registros históricos empleados se seleccionan los datos de temperatura mínima, temperatura máxima, humedad, viento, insolación, radiación y precipitación correspondientes a las últimas tres décadas disponibles, 1971-1980, 1981-1990 y 1991-2000, lo cual permitió promediar los valores de 30 años. Por otra parte, no se han encontrado otras estaciones que puedan complementar a la seleccionada.

Resultados y discusión

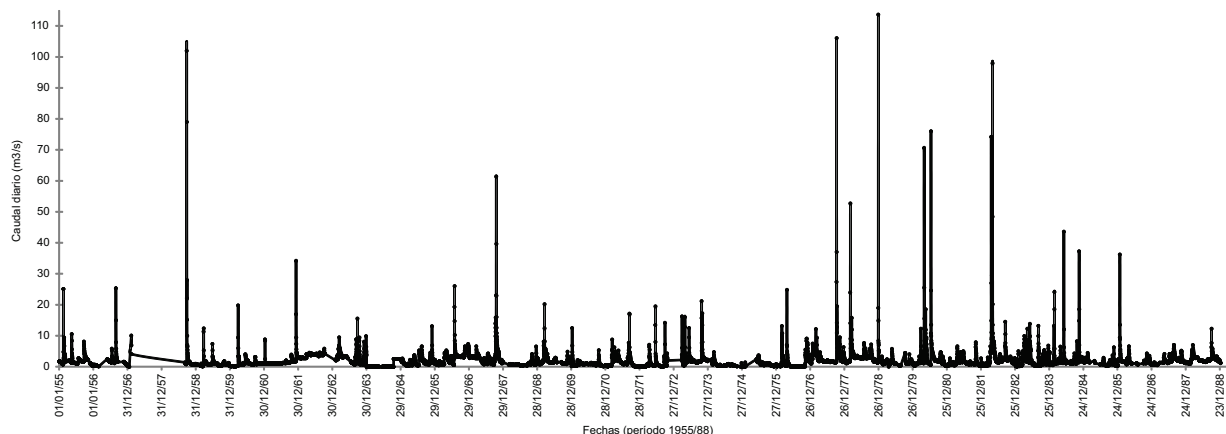
Análisis de la información fluviométrica en la Estación HL6005

En el manejo de los recursos hidráulicos para un proyecto de irrigación es recomendable que el análisis y el diseño en el uso del agua se realice a partir de un hidrograma que contenga los caudales completos durante un período de varios años (Chow, 1994). En primera instancia se representa la serie histórica de 10587 registros diarios tomados a las 12:00 hs, entre 1955 y 1988 (34 años), de los cuales 18 poseen registro completo a lo largo del año, a fin de analizar los registros en forma diaria y mensual (Figura 2).

Lamentablemente esta información no es la necesaria para poder definir el caudal medio diario pero si la suficiente para caracterizar la variabilidad diaria de niveles y así, por ejemplo definir valores medios mensuales. La estación HL6005 está ubicada en el sector medio de la cuenca y su área de aportes es de aproximadamente 1236 km², que representa aproximadamente, el 80 % de la cuenca total.

El escurrimiento fluvial medio diario instantáneo es de 2,02 m³/s, lo que equivale a un derrame diario de 0,17 hm³ y a una

Figura 2: Río Sauce Chico – Estación HL6005 - Serie histórica de caudales diarios – Período 1955/88: 10587 datos



Relación entre la oferta calculada del recurso hídrico superficial y la demanda de agua de los cultivos en una cuenca del sur de la región pampeana

Tabla 1: Río Sauce Chico – Caudales Medios Mensuales (m³/s): Fluviometría y Estadística Hidrológica de la serie 1955/88 – Estación HL6005 – Fuente: Administración del Agua (ADA)

Año	Derrame anual (hm ³)	Caudal específico (l/s/km ²)	Caudal específico (l/s/Ha)	Escurrimiento sobre la cuenca alta y media (mm)	Análisis de caudales diarios - Años completos e incompletos			
					Medio diario anual	Máximo diario anual	Mínimo diario anual	Nro. de días con registro limnigráfico
					(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	
1955	56,13	1,35	0,01	43	2,09	25,10	0,36	312
1956	*****	*****	*****	*****	1,60	25,30	0,14	215
1957	*****	*****	*****	*****	1,17	10,02	0,01	22
1958	*****	*****	*****	*****	3,47	102,00	0,61	117
1959	30,40	0,73	0,01	23	0,97	12,40	0,14	365
1960	31,36	0,76	0,01	24	0,99	19,80	0,03	366
1961	50,80	1,23	0,01	39	1,62	34,14	0,92	365
1962	*****	*****	*****	*****	3,60	5,80	2,67	258
1963	*****	*****	*****	*****	2,75	15,54	0,61	304
1964	84,20	2,03	0,02	64	3,01	23,64	0,27	325
1965	49,99	1,21	0,01	38	1,59	13,10	0,28	365
1966	91,90	2,22	0,02	70	2,92	26,02	0,44	365
1967	101,01	2,44	0,02	77	3,21	61,37	0,61	364
1968	*****	*****	*****	*****	0,87	6,54	0,34	292
1969	*****	*****	*****	*****	1,91	20,16	0,72	321
1970	29,40	0,71	0,01	22	0,93	12,47	0,13	365
1971	47,90	1,16	0,01	36	1,52	17,11	0,02	365
1972	*****	*****	*****	*****	0,93	19,47	0,04	296
1973	*****	*****	*****	*****	2,50	21,14	0,44	281
1974	*****	*****	*****	*****	0,61	4,75	0,02	293
1975	*****	*****	*****	*****	0,84	3,62	0,01	249
1976	31,26	0,75	0,01	24	1,04	24,84	0,00	348
1977	91,56	2,21	0,02	70	3,15	106,04	1,02	337
1978	114,88	2,77	0,03	87	3,65	113,64	1,02	365
1979	*****	*****	*****	*****	1,40	5,76	0,30	291
1980	91,70	2,21	0,02	70	2,90	76,01	0,30	366
1981	45,79	1,11	0,01	35	1,45	7,91	0,19	365
1982	104,78	2,53	0,03	80	3,33	97,92	0,26	365
1983	69,50	1,68	0,02	53	2,24	13,85	0,09	360
1984	65,71	1,59	0,02	50	2,18	43,60	0,50	350
1985	*****	*****	*****	*****	1,24	6,25	0,35	264
1986	*****	*****	*****	*****	2,00	36,19	0,68	228
1987	*****	*****	*****	*****	2,05	7,00	0,46	316
1988	*****	*****	*****	*****	2,38	12,25	0,89	319
PROM=	66,02	1,59	0,02	50	2,00	30,32	0,44	*****
MAX=	114,88	2,77	0,03	87	3,65	113,64	2,67	*****
MIN=	29,40	0,71	0,01	22	0,61	3,62	0,00	*****

lámina de agua diaria escurrida sobre la cuenca de 0,13 mm. El caudal diario mínimo instantáneo corresponde a valores de 0,00 m³/s debido a problemas de lectura del registro limnimétrico (caño de medición fuera del agua pero observándose siempre un mínimo caudal base) y el máximo diario instantáneo a 113,60 m³/s. En el análisis de los caudales diarios instantáneo se destaca, además de su alta variabilidad (Desvío Estándar: 3,47 m³/s), la manifestación visual clara del aumento de la pluviosidad regional a partir de la década del sesenta (Figura 2), reflejándose fundamentalmente en la disminución de los intervalos de aparición de las crecidas diarias importantes.

Además, la información es analizada mensualmente y volcada en la Tabla 1. De acuerdo a la misma, el escurrimiento fluvial medio anual es de 2,00 m³/s, lo que equivale a un derrame de 63,70 hm³, equivalente a una lámina de agua escurrida de 48,00 mm.

La Figura 3 muestra los caudales medios mensuales del río y el valor del módulo anual (2,02 m³/s). Durante los meses de marzo,

abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre el escurrimiento medio supera al módulo anual; en el otro extremo los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto y diciembre tienen un caudal medio inferior; los caudales mensuales medios mínimos ocurren en el verano durante el mes de enero (1,30 m³/s) y los máximos en el otoño, en el mes de abril (2,85 m³/s) y en la primavera, mes de octubre (2,78 m³/s) (Tabla 1). La Estación HL6005 tiene la suficiente extensión de la serie de datos (34 años en total, con 18 años completos) como para registrar las variabilidades del clima aceptablemente.

En la Figura 4, se presenta la duración de caudales medios mensuales, donde se analizan determinísticamente los porcentajes de probabilidad de ocurrencia de los caudales medio mensuales y los respectivos porcentajes de los valores de duración con respecto al módulo anual. A modo de ejemplo, en este caso un caudal medio mensual de 0,91 m³/s ocurre en el 75 % del tiempo en la estación HL6005, y si algún uso del agua (consuntivo o no) aceptara un 25 % de no ocurrencia, podría adoptar dicho caudal como referencia de cálculo para el diseño del sistema de toma.

Figura 3: Río Sauce Chico – Estación HL6005 - Caudales Medios Mensuales (m³/s) y su comparación con el módulo anual

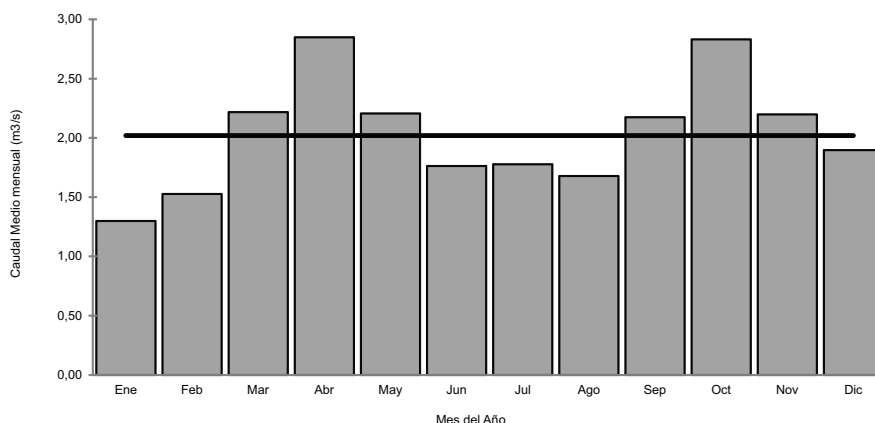


Figura 4: Río Sauce Chico – Estación HL6005 - Duración de caudales medios mensuales (m³/s)

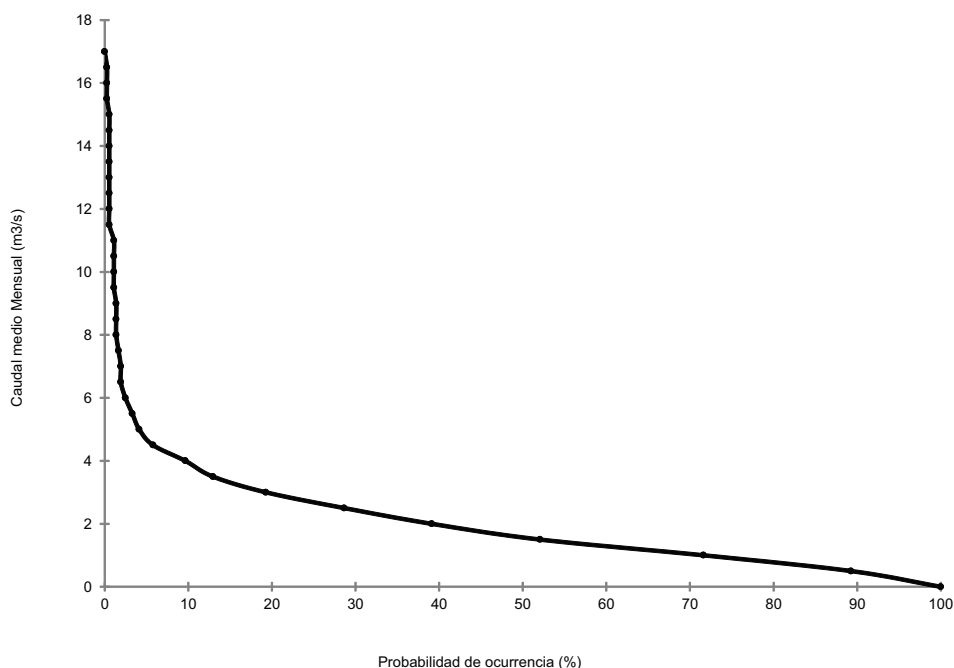


Tabla 2: Duración de Caudales Medios para cada mes – Estación HL6005

Probabilidad de ser igualados o excedidos (%)	Ene (m ³ /s)	Feb (m ³ /s)	Mar (m ³ /s)	Abr (m ³ /s)	May (m ³ /s)	Jun (m ³ /s)	Jul (m ³ /s)	Ago (m ³ /s)	Set (m ³ /s)	Oct (m ³ /s)	Nov (m ³ /s)	Dic (m ³ /s)
75,00	0,52	0,52	1,08	1,50	1,03	1,15	1,00	0,75	1,00	1,03	1,13	0,71
50,00	1,04	1,13	1,81	2,57	2,05	1,59	1,36	1,33	1,50	1,94	1,84	1,40

A continuación, en la Tabla 2 se presentan los resultados del análisis determinístico de los porcentajes de probabilidad de ocurrencia de los caudales medios en la estación HL6005, para cada mes en particular. Se muestran los valores de caudales medios mensuales para una probabilidad del 75 % y 50 % respectivamente, de ser igualados o excedidos que representan la oferta calculada del recurso hídrico superficial. Se emplearon como datos de base los mismos registros utilizados para la elaboración de la Tabla 1.

Análisis de la calidad de las aguas superficiales

Los valores de la CE y de la RAS de las aguas superficiales de la cuenca oscilaron en un rango de 0,28 a 1,20 dS/m y 1,75 a 9,20 respectivamente. Estos últimos valores obtenidos en las muestras recolectadas próximas a la desembocadura (N° 7 y 8), indican un ascenso de las concentraciones de los elementos químicos analizados desde las nacientes del curso hacia el tramo final, producto de la recarga durante su recorrido. Este comportamiento hidroquímico y aguas alcalinas, coincide con los resultados encontrados por Fiorentino (1999) y Paoloni et al. 2010 para este río (Tabla 3).

Según la clasificación de Riverside el recurso califica de C₁ - S₁ en el sector de las nacientes y C₃ - S₂ para la subcuenca media-baja e inferior. Esta primera caracterización se realizó reconociendo que dicho método presenta atributos asociados con la practicidad, sencillez y difusión generalizada, aunque se advierte que en nuestra región ambiental pierde efectividad para pronosticar la peligrosidad de la sodificación y salinización de los suelos regados, reportado por Costa (1999) y Marano et al. (2000). Por este motivo, se procedió a la utilización de la clasificación propuesta por los técnicos participantes del Proyecto IPG-INTA (1996) que es más apropiada para esta zona (Rampoldi et al., 2010) y que pone de manifiesto que el recurso hídrico en toda la cuenca no presenta restricciones sódicas-salinas para su utilización en riego.

Es importante manifestar que cuando se caracteriza la aptitud del agua para riego de un sector, no hay que tener en cuenta solamente las características químicas del recurso hídrico, sino también

Tabla 3: Resultados de los análisis químicos

Muestras N°	pH	CE dS/m	RAS	Na meq/l	Ca meq/l	Mg meq/l
1	7,8	0,25	1,75	0,85	0,35	0,12
2	8,0	0,31	1,84	1,42	0,83	0,37
3	8,0	0,42	2,95	2,39	0,90	0,41
4	8,0	0,57	3,44	3,32	1,42	0,4
5	8,3	0,93	6,70	6,60	1,43	0,54
6	8,4	1,00	7,83	7,93	1,43	0,62
7	8,3	1,20	9,20	9,46	1,48	0,70
8	8,3	1,20	9,20	9,46	1,49	0,70

otros factores, como el tipo de suelo, contenido de materia orgánica, existencia de una red de drenaje, condiciones climáticas y las especies cultivadas (Bresler et al., 1982; Orellana Gallego, 2002; Sastriques Ortega et. al., 2007). Además, sería conveniente continuar con los muestreos del agua en las diferentes estaciones del año por períodos prolongados de tiempo, donde se puedan alternar los ciclos de recarga y descarga del sistema, permitiendo obtener datos hidroquímicos espacio-temporal más ajustados.

Requerimiento y distribución de riego para los cultivos

Para comenzar a obtener la demanda de los cultivos realizados en el área de estudio se calcula la evapotranspiración de referencia (ET_o) aplicando la ecuación de Penman-Monteith, donde se exponen los valores en la Tabla 4.

Se determinó el Patrón de Cultivos que se desarrollan bajo distintos sistemas de riego, en función de los antecedentes de la cuenca y lo declarado en el registro de productores regantes en el detalle del informe mencionado oportunamente, solicitado por a la Autoridad del Agua. A fin de estandarizar la información se generaliza las fechas de siembra para los diferentes cultivos y la extensión de sus ciclos vegetativos de acuerdo con la fecha de cosecha, la relación porcentual sobre el total del área ocupada por cada cultivo y sus respectivas superficies (Tabla 5).

El reconocimiento in-situ de las parcelas bajo riego por gravedad y la forma del manejo del agua que emplean los regantes, admite asumir una eficiencia de aplicación del 50 % o menos, debido a importantes pérdidas de agua por percolación profunda, estancamientos innecesarios, inadecuados diseño de parcelas, inexperiencia en la aplicación del agua, incorrectas láminas de riego, altos tiempos de aplicación, elevadas longitudes de surcos, entre otros.

En la Tabla 6 se muestran los requerimientos de riego totales de cada cultivo del patrón, obtenidos de la aplicación del programa CROPWAT 8.0, expresados en milímetros (mm) de lámina bruta, ya que los valores consideran una eficiencia de aplicación del 50 %. Es importante mencionar que la precipitación efectiva de la zona fue utilizada para arribar a la obtención de los requerimientos de riego en los diferentes cultivos, sin tener en cuenta los posibles aportes de la freática que se encuentra muy por debajo de la exploración radical de los cultivos.

En algunos casos, los valores de los extremos al inicio y final de cada ciclo según el cultivo, resultan ser demasiado pequeños para ser aplicados en los sistemas de riego por gravedad, por lo que se asume un valor mínimo de 60 mm, reemplazando de este modo al valor que surge del cálculo original. Se considera este criterio en función que valores menores al propuesto, son en la práctica inaplicables para este sistema de riego, debido a que resulta imposible manejar láminas de riego tan reducidas.

Los requerimientos mensuales (m³) en la toma se obtienen de la sumatoria de los productos parciales entre la necesidad de riego de cada cultivo (m³/ha) y la superficie cultivada expresada en hectáreas. La relación caudal/superficie en forma mensual o dotación y el caudal continuo, se consideran relevantes, dado

Tabla 4: Variables climatológicas obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional (Bahía Blanca) para calcular la ETo

Mes	Temp. Mín.	Temp. Máx.	Humedad	Veloc. Viento	Insolación	Radiación	ETo
	(°C)	(°C)	(%)	(km/día)	(horas)	(MJ/m2/día)	(mm/día)
Enero	15,9	30,6	53	612	10,3	26,3	8,36
Febrero	15,9	29,3	58	588	9,3	22,9	7,14
Marzo	13	26,2	67	513	7,8	17,7	4,95
Abril	9,2	21,6	71	512	6,2	12,2	3,36
Mayo	6	17,3	75	511	5,3	8,6	2,25
Junio	3,3	13,8	75	537	4,2	6,5	1,8
Julio	2,6	13,7	73	542	4,5	7,3	1,92
Agosto	3,7	16,2	68	556	6	10,8	2,69
Septiembre	5,4	18,6	65	558	6,3	14,5	3,55
Octubre	8	21,7	65	554	7,7	19,5	4,51
Noviembre	11,1	25,7	58	585	9,1	23,9	6,33
Diciembre	14,4	29,2	54	636	9,5	25,5	7,89
Promedio	9	22	65	559	7,2	16,3	4,56

Tabla 5: Patrón de cultivos

Nº	Cultivo	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Área (%)	Superficie (has)
1	Hortalizas	01-sep	28-ene	51	714
2	Cebolla	20-ago	02-mar	8	112
3	Papa	01-sep	03-ene	6	84
4	Tomate	10-oct	13-mar	5	70
5	Pasturas	12-ago	24-mar	6	84
6	Maíz	10-oct	08-mar	7	98
7	Girasol	20-oct	08-mar	7	98
8	Sorgo	10-oct	11-feb	3	42
9	Frutales	01-sep	23-ene	3	28
10	Trigo	01-jun	17-dic	2	42
11	Soja	10-nov	09-mar	2	28

que a través del caudal continuo se programa el manejo de entrega del agua a partir de la red de distribución (Tabla 7).

Esta información es preliminar, debido a que en la actualidad los regantes extraen directamente el agua del cauce del Río Sauce Chico por medio del empleo de bombas centrífugas. Por otra parte, la dotación, resulta ser la información básica para el dimensionamiento de la red de canales de distribución, elementos hidráulicos fundamentales para un manejo eficiente del riego, pero aún inexistentes en el área regada de la cuenca.

En la Tabla 8 se replantean, en forma mensual, los valores de requerimiento de riego de los cultivos según su ciclo vegetativo,

considerando una eficiencia de riego de 70 %. Con este nuevo valor que podría lograrse utilizando los sistemas de riego por aspersión, se obtendría un mejor y más eficiente aprovechamiento del recurso, lo cual, lleva aparejado un importante ahorro de agua.

Los nuevos valores de las Curvas de Demanda con el incremento de la eficiencia de riego al 70 %, se comparan con las magnitudes de la Tabla 7, donde resaltan las diferencias de los valores picos, por ejemplo, la dotación máxima para el mes diciembre pasa a ser de 1,06 lts/seg/ha, reduciéndose notablemente en un 40 %, con respecto a la dotación calculada para una eficiencia de riego del 50% (Tabla 9).

Comparación entre la oferta hídrica y la necesidad de agua de riego

Para establecer la relación entre la oferta calculada del recurso hídrico superficial y la demanda de riego de los cultivos realizados sobre la cuenca, se emplean los valores de caudal para una probabilidad (Prob) del 75 % y 50 % respectivamente, transformados a l/s, tomados de la Tabla 2. Estos valores se compararon con las magnitudes calculadas del caudal continuo para eficiencias de riego de 50 % y 70 % (Qi) que expresan la demanda mensual en toma (Tabla 10).

Considerando la probabilidad del 75 % y una demanda de riego para los cultivos con una eficiencia de aplicación del 50 %, los resultados asignan un déficit notablemente alto en los meses de mayor consumo (diciembre y enero), resaltando así un aspecto muy real de la situación (Figura 5). Analizando estos valores con una mayor eficiencia de riego (70 %) el déficit se reduce, sin embargo, la oferta sigue siendo menor durante los meses de mayor demanda de agua. Bajar la probabilidad al 50 %, compromete demasiado a la oferta del recurso hídrico, dado que se estaría asumiendo que estadísticamente la mitad de las veces no se dispondría de suficiente caudal, así y todo, habría déficit.

Relación entre la oferta calculada del recurso hídrico superficial y la demanda de agua de los cultivos en una cuenca del sur de la región pampeana

Tabla 6: Requerimientos mensuales y anuales de riego, durante el ciclo vegetativo de los cultivos, expresados en milímetros para una eficiencia de aplicación del 50 %

Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Hortalizas	235,00								60,00	113,00	325,20	394,80	1128,00
Cebolla	378,60	126,80	60,00					60,00	60,00	67,10	289,30	397,60	1439,40
Papa	60,00								60,00	174,20	371,20	403,40	1068,80
Tomate	468,40	236,80	60,00							60,00	244,80	456,60	1526,60
Pasturas	457,00	309,20	95,40					60,00	60,00	105,00	306,20	430,60	1823,40
Maíz	530,20	306,20								60,00	182,00	477,00	1555,40
Girasol	556,80	350,20								60,00	115,40	420,40	1502,80
Sorgo	445,20	85,60								60,00	206,40	451,60	1248,80
Frutales	141,40								60,00	81,20	340,60	446,40	1069,60
Trigo							60,00	62,00	105,60	217,80	332,00	63,20	840,60
Soja	496,80	346,00	60,00								60,00	297,80	1260,60

Tabla 7: Valores de las curvas de demanda para una eficiencia de aplicación de riego del 50%

Mes	Requer. Toma (m ³)	Tiempo de riego (seg)	Caudal continuo (lts/seg)	Dotación (lts/s/ha)
Enero	4295032	2678400	1603,60	1,14
Febrero	1346608	2419200	556,60	0,40
Marzo	206136	2678400	76,90	0,05
Julio	25200	2678400	9,40	0,01
Agosto	143640	2678400	53,60	0,04
Septiembre	657552	2592000	253,70	0,18
Octubre	1415512	2678400	528,50	0,38
Noviembre	4016068	2592000	1549,40	1,10
Diciembre	5588408	2678400	2086,40	1,49

Tabla 8: Requerimientos mensuales y anuales de riego, durante el ciclo vegetativo de los cultivos, expresados en milímetros para una eficiencia de aplicación del 70 %

Cultivo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Hortalizas	167,8								60	80,7	232,2	282	822,7
Cebolla	270,4	90,5	60					60	60	60	206,6	284	1091,5
Papa	60								60	124,4	265,1	288,1	797,6
Tomate	334,6	169,1	60							60	174,8	326,1	1124,6
Pasturas	326,4	220,8	68,1					60	60	75	218,7	307,6	1336,6
Maíz	378,7	218,7								60	130	340,7	1137,1
Girasol	397,7	250,1								60	82,4	300,2	1090,4
Sorgo	318	61,1								60	147,4	322,6	909,1
Frutales	101								60	60	243,2	318,9	783,1
Trigo							60	60	75,4	155,6	237,1	60	648,1
Soja	354,8	247,1	60								60	212,7	934,6

Tabla 9: Valores de las curvas de demanda para una eficiencia de aplicación de riego del 70%

Mes	Requer. Toma (m3)	Tiempo de riego (seg)	Caudal continuo (lts/seg)	Dotación (lts/s/ha)
Enero	3081432	2678400	1150,5	0,82
Febrero	959476	2419200	396,6	0,28
Marzo	183204	2678400	68,4	0,05
Julio	25200	2678400	9,4	0,007
Agosto	142800	2678400	53,3	0,04
Septiembre	644868	2592000	248,8	0,18
Octubre	1077846	2678400	402,4	0,29
Noviembre	2530542	2592000	976,3	0,69
Diciembre	3997840	2678400	1492,6	1,06

Figura 5: Relación entre la oferta del recurso hídrico superficial (l/s) en función del tratamiento estadístico considerando 75 % y 50 % de probabilidad y las demandas de riego expresadas como caudal continuo (l/s) para las eficiencias de aplicación del 50 % y 70 %

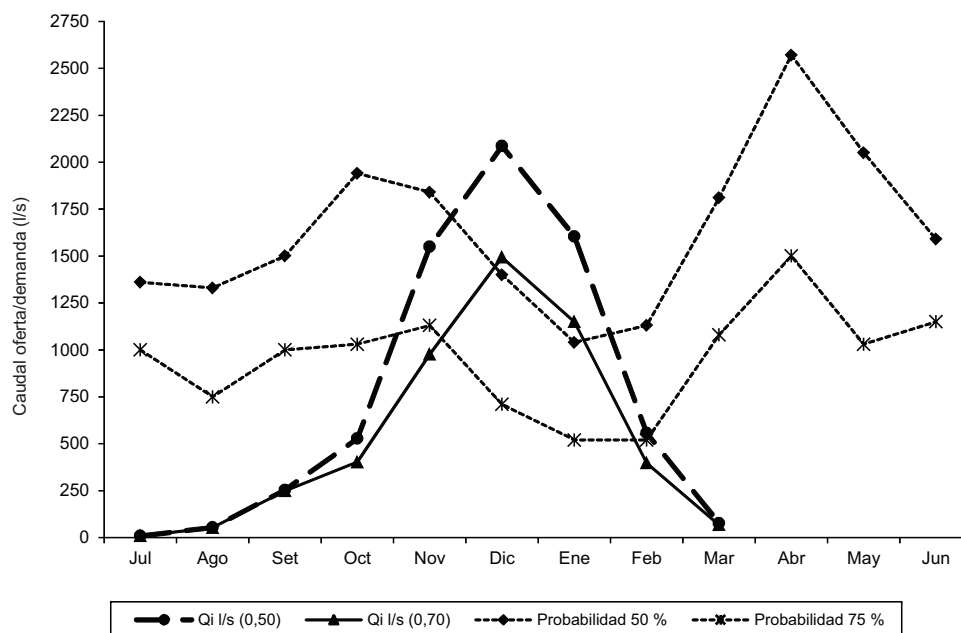


Tabla 10: Valores del 75 % y 50 % de probabilidad y caudales continuos para eficiencias de 50% y 70%

Mes	Prob 75% (lts/seg)	Prob 50% (lts/seg)	Qi (0.50) (lts/seg)	Qi (0.70) (lts/seg)
Julio	1000	1360	9	9
Agosto	750	1330	54	53
Septiembre	1000	1500	254	249
Octubre	1030	1940	528	402
Noviembre	1130	1840	1549	976
Diciembre	710	1400	2086	1493
Enero	520	1040	1604	1150
Febrero	520	1130	557	397
Marzo	1080	1810	77	68
Abril	1500	2570	0	0
Mayo	1030	2050	0	0
Junio	1150	1590	0	0

Resulta necesaria una instrumentación más completa de la cuenca a los efectos de contar con la mayor cantidad de registros de precipitaciones y de caudales, dado que los disponibles, al momento de realizar el estudio, fueron escasos. Estos valores complementarían la información básica de la red de monitoreo para obtener un registro de datos más representativo en el tiempo, que permitan lograr mejores conocimientos de la oferta hídrica, a fin de optimizar la utilización del recurso para riego.

Conclusión

Durante los meses de marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre el escurrimiento medio supera al módulo anual que corresponde a 2,02 m³/s. En cambio, para el otro extremo los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto y diciembre tienen un caudal medio inferior. Los caudales mensuales medios mínimos ocurren en el verano durante el mes de enero (1,30 m³/s) y los máximos en el mes de abril (2,85 m³/s) correspondiente a la estación climática de otoño.

El recurso hídrico superficial de la cuenca es de excelente calidad para ser utilizado con fines de riego, sin presentar limitaciones con respecto a las concentraciones de sales y sodio presentes. Sin embargo, este muestreo realizado en el mes de septiembre corresponde a un período de caudales elevados, donde las magnitudes de los parámetros analizados podrían resultar superiores a los obtenidos si realizamos el muestreo en una estación de estiaje.

Los meses de mayor demanda de agua utilizada para regar los cultivos existentes en la cuenca, diciembre y enero, coinciden con el período de los caudales más bajos que fluyen por el río Sauce Chico, resultando insuficiente para toda la superficie cultivada, aún con una probabilidad del 50 % de los caudales disponibles y eficiencias de riego del 70 %. Este fenómeno se agrava para los productores, a consecuencia que el curso principal es prácticamen-

te la única fuente de aprovechamiento a lo largo de toda la cuenca, dado que el recurso hídrico subterráneo casi no se explota.

Una de las posibles soluciones para incrementar la oferta de agua es aumentar la eficiencia de aplicación incorporando sistemas de riego por aspersión, acompañado de una fuerte campaña de extensionismo y concientización de los regantes, de manera de optimizar el uso del agua, mejorar el manejo del riego, evitando pérdidas y desperdicios. Además, habría que considerar necesario la ejecución de obras que permitan optimizar todos los aspectos relacionados con la conducción del agua desde el sistema de toma, la red de distribución operadas con compuertas y la administración del recurso a través de un ente específico, a fin de planificar un sistema de entrega de agua por turnado a los efectos de un ordenamiento equitativo según las necesidades y las superficies que maneje cada regante.

Este trabajo logra un primer diagnóstico, en cuanto al estado de la situación y potencialidad del aprovechamiento integral del recurso hídrico superficial de la cuenca del río Sauce Chico, en particular en los tramos medio bajo e inferior del valle, donde se emplazan los sectores con mayor importancia bajo riego. El mejoramiento de la producción agrícola en estas tierras irrigadas, así como la incorporación del riego regulado, tiene como fin incrementar el bienestar de los agricultores del ámbito aludido.

Bibliografía

1. ALLEN R, PEREIRAS LS, RAEKS D, SMITH M (2006) Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, Estudio FAO Riego y Drenaje, No. 56, Roma, Italia, 298pp.
2. ARBANESI G, De VERCESI VG, GONZÁLEZ URIARTE M (1988) Análisis geomorfológico cuantitativo de la cuenca superior del río Sauce Chico. Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. II Jornadas Geológicas Bonaerenses. Actas: 187-200. Bahía Blanca.
3. AYERS RS, AND WESTCOT DW. (1976) Calidad de agua para la agricultura. Estudio FAO: Riego y drenaje. Roma (29).
4. BRESLER E, MCNEAL BL, CARTER DL. (1982) Saline and sodic soils: Principles- Dynamics-Modeling. Springer-Verlag, Berlín Heidelberg New York. 236 pp.
5. CHOW V, MAIDMENT D, LARRY W. (1994) Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, COL. 538 pp.
6. CONVENIO MINISTERIO DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (MOP) – UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR (UNS) – COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) (1990) Plan Integral de Abastecimiento de Agua a Bahía Blanca y Gran Bahía Blanca - Tomo III: Hidrología Superficial: Sauce Chico, Chasicó, Napostá y Sauce Grande.
7. COSTA JL. (1996) Calidad de aguas para riego. En: Curso de riego suplementario, Sistemas de aspersión. Unidad Integrada Balcarce (INTA- Fac. de Ciencias Agrarias de Balcarce). Tandil 27 de setiembre, 4 y 11 de octubre de 1996.
8. COSTA JL. (1999). Effect of irrigation water quality under supplementary irrigation on soil chemical and physical properties in the "Southern Humid Pampas of Argentina". Journal of Crop Production 2(2):85-99. Water Use in Crop Production pp 85-99.
9. FIORENTINO C.E. (1999) Evaluación y riesgo de contaminación de los recursos hídricos superficiales en las vertientes del Sistema de Ventania. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. UNS.
10. GONZÁLEZ URIARTE M. (1984a) Depósitos marinos del Pleistoceno Superior en Bahía Blanca, Prov. de Buenos Aires. En: Actas IX Congreso Geológico Argentino, AACG (Ed.). Vol. III, pp. 538-555, S.C. de Bariloche, ARG.
11. GONZÁLEZ URIARTE M. (1984b) Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. En: Actas IX Congreso Geológico Argentino, AACG (Ed.). Vol. III, pp. 556-576, S.C. de Bariloche, ARG.
12. LEVY GJ. (2000) Sodicty. p. G-27: G-55. En: Sumner M. E. (Ed.). Handbook of Soil Science, CRC Press, Boca Raton, FL.
13. MARANO R, PILATTI M & de ORELLANA J. (2000) Efectos físico-químicos de aguas bicarbonatadas sódicas sobre Argiúoles del Centro Este Santafesino. Actas del XVII Cong. Arg. Ciencia del Suelo. Com. IV. N° 41. Trab. completo en CD-ROM. Mar del Plata.
14. ORELLANA GALLEGO R. (2002) Utilización de aguas salinas para la producción de hortalizas en zonas costeras. *Agricultura Orgánica* 8(1), 15-17.
15. PAOLONI JD, SEQUEIRAME, ESPÓSITO ME. (2010) Capítulo IV: "Los recursos hídricos - evaluación de la calidad" En: Ambientes y Recursos Naturales del Partido de Bahía Blanca: Clima, Geomorfología, Suelos y Aguas (Sudoeste de la provincia de Buenos Aires). J. D. Paoloni Compilador. 1ª Edición Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur, EdiUNS. pp 177-219. (ISBN 978-987-1648-22-1)
16. PEINEMANN N. (1997) Formación, clasificación, manejo y recuperación de suelos salinos y sódicos con anexo de datos del sur de la Llanura Pampeana. Ediciones Sur. La Plata. p 110.
17. Proyecto IPG INTA (1996). Informe anual del proyecto IPG Barrow, Buenos Aires (AR): Convenio INTA – Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción – Chacra experimental Barrow. 22p.
18. RAMPOLDI A, BOCCARDO M, ALVAREZ C, MARTELLOTTI E, SALINASA, LOVERA E, GIUBERGIA J, BUSTOS V. (2008) Calidad de aguas subterráneas para riego suplementario en la Pcia. De Córdoba. En Boletín de divulgación Técnica, ISSN 1851-4081.
19. SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación) – PROSAP (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales), (1997) Incorporación del riego complementario a los sistemas productivos sustentables de granos y forrajeras de la región pampeana, documentos y anexos. Buenos Aires. 138 pp.
20. SALISBURY FB, ROSS CW. (2000) Fisiología de las Plantas. Editorial Paraninfo.
21. SASTRIQUES ORTEGA F, ORELLANA GALLEGO R. (2007) El riego con agua de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos a considerar. I. Aguas salinas o alcalinas. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 16(1), 41-44.
22. TORRERO MP. (2009) Tesis de Doctorado en Geografía. Río Sauce Chico: Estudio Hidrográfico para un Desarrollo Sustentable. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina.