

ENSAYOS BREVES

PRODUCTIVIDAD

# Escenarios climáticos y de expansión agrícola: efecto sobre el balance de agua en la cuenca del río Colorado, Argentina

Por Carolina Manuela Aumassanne<sup>1</sup>, Fernanda Gaspari<sup>2</sup>, María Eugenia Beget<sup>3,4</sup>, Dardo Fontanella<sup>1</sup>, Carlos Di Bella<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Anguil Agencia de Extensión Rural (AER), 25 de Mayo, General Pico 720, (8201), Colonia 25 de Mayo, La Pampa, Argentina. <sup>2</sup>Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP), Calle 60 y 119 (1900) La Pata, Buenos Aires, Argentina. <sup>3</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN), Instituto de Investigación Clima y Agua, Nicolás Repetto y de los Reseros s/n (1686) Hurlingham, Buenos Aires, Argentina. <sup>4</sup>Universidad de Buenos Aires (UBA), Facultad de Agronomía (FAUBA). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Av. San Martín 4453 (1417), Buenos Aires, Argentina.

aumassanne.carolina@inta.gov.ar

Web: <https://inta.gov.ar/coloniaventincodemayo>

En este trabajo se evalúa el efecto del clima sobre las necesidades hídricas de los principales cultivos de la zona y el aprovechamiento múltiple de la cuenca media del río Colorado que, por sus características agroclimáticas, permite el desarrollo de diversos cultivos, agua con aptitud para riego, servicios de infraestructura de riego y drenaje y tierras disponibles que le confieren diferencias con otras áreas de Argentina.

## INTRODUCCIÓN

Desde el ordenamiento territorial (OT), la cuenca hidrográfica se reconoce como una unidad integral, considerando al agua como principal eje de desarrollo y calidad de vida. Esta unidad territorial base se define integrando factores biofísicos, sociales y económicos (Paruelo *et al.*, 2014). Por lo tanto, la dimensión ambiental es parte intrínseca del OT y su manejo adecuado y protección garantizan un desarrollo económico sostenido y con equidad social. En OT, un “escenario” se refiere a posibles supuestos sobre un sistema que determinan los cambios en el paisaje (Gavier Pizarro *et al.*, 2014). El patrón espacial de usos de la tierra y su funcionamiento resultante de esos cambios se denomina “futuro” (Steinitz y MacDowell, 2001). El método de construcción de escenarios es un proceso en el cual se evalúan cambios (uso del suelo, condiciones climáticas, de manejo, etc.) a futuro considerando diversos factores multidimensionales (sociales, económicos y ambientales) que pueden incidir sobre la toma de decisiones (Mahmoud *et al.*, 2009). En otras palabras, un escenario es una descripción coherente, consistente y factible de un futuro estado del mundo (IPCC, 2008) y muestra diferentes tendencias de cambio y futuros posibles. La visualización o anticipación del futuro se hace mediante predicciones o pronósticos basados en condiciones del presente y en la proyección de tendencias de cambio o evolución de un sistema observado en el pasado reciente (Gavier Pizarro *et al.*, 2014). De esta forma, y basado en las tendencias recientes, se obtiene el estado más probable del sistema (Vega *et al.*, 2009). El futuro no es la continuación estática del pasado, y esto es la base de la construcción de escenarios (Mahmoud *et al.*, 2009).

Idealmente, los escenarios deben incluir una descripción de la situación en el presente, un conjunto de posibles futuros y una descripción de las vías alternativas de acontecimientos que conectan el presente con las imágenes del futuro (Schwartz, 1991; Schoonenboom, 1995). De este modo, les permite a los tomadores de decisión anticipar las posibles reacciones de los sistemas bajo estudio a los diferentes futuros posibles, anticipar horizontes

temporales más allá del futuro inmediato y contribuir a la toma de decisiones de manejo (Schwartz, 1991; Samson y Knopf, 1996; Cole, 2001; Peterson *et al.*, 2003). Los tomadores de decisión o planificadores del uso del suelo podrán usar los resultados para implementar las medidas anticipatorias de los impactos observados en los diferentes escenarios (ej., problemas sociales o ambientales), o para direccionar el sistema hacia el escenario de menor impacto o más aceptable para los objetivos de las comunidades y actores involucradas (Mahmoud *et al.*, 2009).

En la actualidad, los modelos climáticos globales (MCG) son herramientas disponibles para la generación de información acerca de las proyecciones climáticas futuras, escenarios, en la escala de decenios a un siglo en respuesta a acciones antrópicas o cambios naturales en los forzamientos externos del sistema climático (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015). Los MCG son capaces de simular las características globales del clima y de sus cambios en el pasado reciente y por lo tanto son creíbles como herramienta para el desarrollo de escenarios climáticos globales futuros. Los escenarios se construyen con diferentes hipótesis sobre las futuras concentraciones de gases de efecto invernadero. Una de las mayores limitaciones de los MCG es que no siempre hacen una representación adecuada del clima a nivel regional.

En Argentina una de las zonas que aparece como más vulnerable al cambio climático es la de los oasis del oeste, en particular la región de Cuyo y el norte de Patagonia (Boninsegna y Villalba, 2006). En la región comprendida entre los paralelos de 32 ° a 36 °S, los modelos desarrollados en el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA), perteneciente al CONICET y a la Universidad de Buenos Aires, pronostican, para el período 2020-2030 y con base en el escenario A2 (IPCC, 2000), un aumento medio de la temperatura de 1,5 a 1,25 °C y una disminución media de la precipitación de 100 mm (Boninsegna, 2014). Este modelo también predice para el mismo período, una elevación media de la isoterma 0 °C entre 150 y 130 m en comparación con la elevación actual. Para esta región, Núñez (2006) indica que la isoterma de 0 °C se ha elevado en los últimos años, lo que resulta coherente con la disminución en la extensión y en la pérdida de masa de los glaciares por un aumento de la temperatura del aire, para el mismo período. El hidrograma de los ríos cuyanos se modificará por cambios en la temperatura media y por cambios en la cantidad de nieve en la cuenca. Existen evidencias de que, a mayor temperatura, el pico del caudal se adelanta y que los caudales de primavera se ven incrementados con respecto al año de menor temperatura media. Por el contrario, los caudales estivales son más bajos. Esta misma situación se plantea para las estimaciones futuras, en donde el modelo predice un aumento medio de la temperatura de 1,5 °C para las cuencas del San Juan, Mendoza y Tunuyán y 1,25 °C para el Diamante y el Atuel (Boninsegna y Llop, 2015). Dichas cuencas pertenecen al Sistema Río Colorado, por lo que se prevé que las subcuencas del Grande y Barrancas tengan el mismo comportamiento. Las consecuencias de este fenómeno tienen una gran importancia en la planificación del riego, del manejo de las represas y centrales hidroeléctricas y de la provisión de agua para el consumo humano. Por otra parte, en los oasis de riego los cambios en los patrones climáticos proyectados afectarán el desarrollo y los procesos fisiológicos de los cultivos. Según Ojeda-Bustamante *et al.* (2011) se espera un impacto diferencial en las demandas hídricas de los cultivos por efecto del cambio climático.

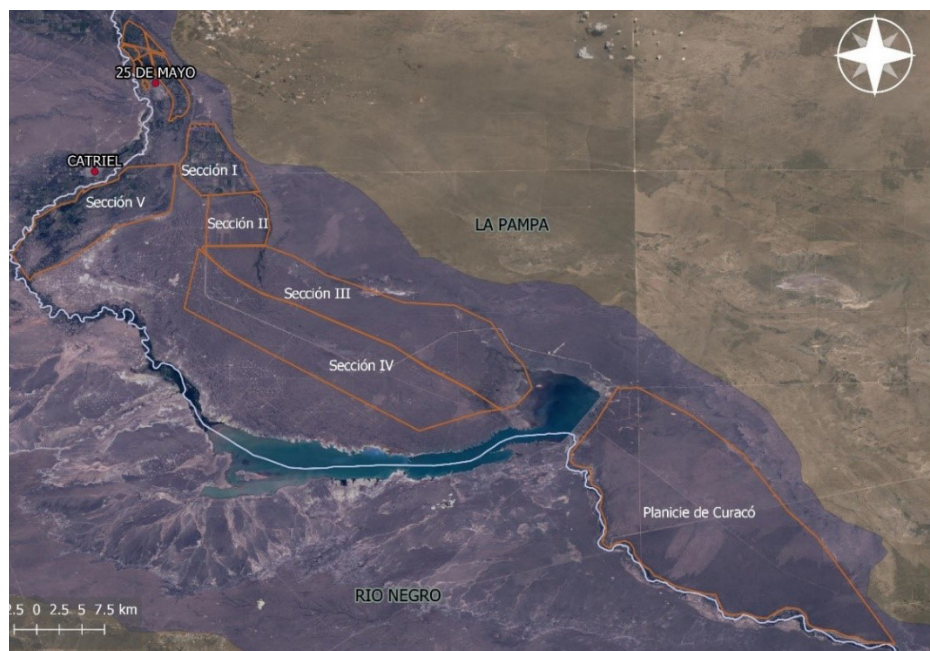
Los cambios en la cobertura y uso del suelo han sido reconocidos desde hace más de dos décadas como causa importante de cambios en el ambiente global (Chen y Yang, 2008), con implicaciones diversas a prácticamente todas las escalas (García y Mas, 2008; Rosete *et al.*, 2009). A nivel regional provocan cambios en la dinámica de los recursos hídricos, alteraciones en los regímenes de temperatura y precipitación, favoreciendo con ello el calentamiento global, la disminución en el secuestro de dióxido de carbono y la pérdida de hábitats y biodiversidad. Localmente, inducen el deterioro y degradación de suelos, producen cambios en el microclima y modificaciones en los balances hídricos a nivel de cuenca (Masis Campos y Vargas Picado, 2014; Paruelo *et al.*, 2014). Por ello, es sumamente importante estudiar la vegetación y el uso del suelo de las cuencas debido a que estos afectan la dinámica hídrica de los ecosistemas. Los cambios en la cobertura del suelo no ocurren de manera aleatoria. Estos resultan de una compleja trama de factores que incluyen determinantes biofísicos (ej. el clima y los recursos edáficos) y aquellos relacionados con las dimensiones económicas, sociales, culturales, políticas y tecnológicas.

Según modelos globales, la expansión de la agricultura continuará en los próximos 50 años, debido fundamentalmente al incremento proyectado de un 50 % de la población mundial y con ello la demanda de alimentos y biocombustibles (Tilman *et al.*, 2001; Rudel *et al.*, 2009; Prins *et al.*, 2011). La velocidad de los cambios globales y sus efectos casi inmediatos sobre el uso de la tierra a escala local y regional hacen necesario poder anticipar los posibles cambios y sus efectos para desarrollar planes eficientes de manejo y conservación de los recursos naturales. Estos conflictos son de naturaleza dinámica y mutan constantemente en respuesta a cuestiones sociales, económicas, culturales, tecnológicas o climáticas, entre otras.

Dentro de los usos de la tierra que se desarrollan en la cuenca del río Colorado, la agricultura bajo riego es el planteo productivo que mayor demanda de agua genera. En la cuenca media, el riego es de tipo integral y las precipitaciones se caracterizan por ser escasas (260 mm), y prácticamente no influyen en el caudal del río. La viabilidad de estos oasis de riego depende exclusivamente del agua que se origina por la acumulación de nieve y los aportes de glaciares cordilleranos. Paralelamente, como consecuencia del crecimiento de la población y la competencia con otros usos, se prevé que se incremente la demanda de agua, y las perspectivas de escasez hídricas serán mayores, acentuando la necesidad de realizar un uso más eficiente y sostenible del agua. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de escenarios climáticos sobre las necesidades hídricas de los principales cultivos de la cuenca media del río Colorado bajo escenarios de expansión agrícola, y analizar el efecto de dichos escenarios sobre la oferta hídrica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para proyectar la expansión de la agricultura bajo riego se seleccionó el área de la cuenca media del río Colorado, específicamente, el Sistema de Aprovechamiento Múltiple del río Colorado y Planicie Curacó ubicados en el sudoeste de la provincia de La Pampa, Argentina (figura 1). La misma cuenta con disponibilidad de tierras, infraestructura de riego y drenaje instalada, y energía eléctrica disponible para el potencial desarrollo según el Plan Nacional del Agua (disponible en <https://www.mininterior.gov.ar/plan/programa-areas-riesgo.php>) y el Estudio de Ampliación del Riego en Argentina (FAO, 2015).



**Figura 1.** Cuenca media del río Colorado. Ubicación Sistema de Aprovechamiento Múltiple del río Colorado, secciones I, II, III, IV y V.

Cabe recordar que en el objetivo declarado en el Programa Único de Distribución de Caudales se definieron los usos del agua y establecieron sus caudales y prioridades para el uso. El proceso de selección de alternativas propuestas por el MIT se inspiró en alcanzar los objetivos de: (i) uso eficiente; (ii) prioridad del uso para abastecer poblaciones y riego; y (iii) contribuir con la integración territorial. A partir de ello, actualmente los usos autorizados en la cuenca son: (i) consumo humano: la cuenca provee de agua a las cinco provincias que la componen, y por el "Acueducto del Río Colorado" abastece a más del 50 % de la población de La Pampa (extracuenca); (ii) riego: hacia el 2015 la superficie de riego en la cuenca era de 122.850 ha, sobre un total potencial de 318.100 ha (tabla 1); (iii) generación eléctrica: existen varias represas en la cuenca, como el Embalse Casa de Piedra, el Salto Andersen, el Divisadero, entre otros; y (iv) actividad minera e hidrocarburos: los emprendimientos se localizan mayormente desde Bardas Blancas (Mendoza) hasta aguas abajo del Embalse Casa de Piedra, en La Pampa (Greco *et al.*, 2010; Cirone, 2014).

**Tabla 1.** Cupos de agua asignados, superficie proyectada para riego<sup>1</sup> y usos del agua por tipo en el año 2015. Fuente: COIRCO, 2015.

Provincia	Cupos de agua (Hm <sup>3</sup> )	Superficie (ha)	Usos del agua (año 2015) (Hm <sup>3</sup> )		
			Urbano	Riego	Minero-Petrolero
Buenos Aires	1767	145.900	2,5	1080	0
La Pampa	633	85.100	12,5	253	1,8
Mendoza	764	100	1,2	1	5,8
Neuquén	50	1000	3,2	67	4,2
Río Negro	625	85100	4,9	314	1,4
<b>Total</b>	<b>3839</b>	<b>318.100</b>	<b>24,4 (1 %)</b>	<b>1715 (98 %)</b>	<b>13,2 (1 %)</b>

## GENERACIÓN DE ESCENARIOS

Con el objetivo de estimar y cuantificar los impactos de la producción futura y su demanda de agua se plantearon dos escenarios (tabla 2) considerando la expansión de la actividad agrícola bajo riego en la cuenca media del río Colorado:

- 1) bajo condiciones climáticas medias y derrame de un año seco del río Colorado;
- 2) en un contexto de cambio climático y derrame del río de un año seco.

**Tabla 2.** Escenarios planteados basados en la expansión agrícola bajo riego, las demandas de agua de los cultivos y la oferta de agua del río Colorado.

	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
<b>Expansión agrícola</b>	La expansión agrícola comprende un total de 56.705 ha en las secciones I, II y V del Sistema de Aprovechamiento Múltiple del Río Colorado (SAM) y Planicie Curacó (PC), provincia de La Pampa. Se plantea en dos etapas: la primera consta de 20.705 ha en las secciones I, II y V del SAM, con un 80 % de la superficie destinada al cultivo de alfalfa y 20 % destinado al cultivo de maíz, y en la segunda etapa se suman 36.000 ha en PC.	Ídem Escenario 1.
<b>Demanda</b>	Escenario climático promedio (precipitación, temperatura mínima, máxima, velocidad del viento, humedad relativa e insolación) promedios de la serie histórica 1971-2007 de la estación meteorológica de 25 de Mayo, EPRC. Se evaluaron los requerimientos de riego de los cultivos a partir de las variables climáticas promedio de la serie temporal obtenidas de la estación meteorológica de la zona. Los datos utilizados se presentan en la tabla 1 del Anexo.	Escenario de cambio climático con temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación (Anexo tablas 2, 3 y 4 respectivamente) derivadas de los MCG, donde el área de estudio corresponde a la celda modal ubicada 37,75S–67,25O. El resto de las variables meteorológicas de entrada que se utilizan para el modelo de cultivo se tomaron de los datos medios de la serie histórica de la estación meteorológica del EPRC. Se evaluaron MCG con base en el Tercer Comunicado de la República Argentina a la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Para ello se consultó la base de datos climáticos de la 3.ª Comunicación Nacional sobre Cambio Climático ( <a href="http://3cn.cima.fcen.uba.ar/">http://3cn.cima.fcen.uba.ar/</a> ), para un futuro cercano 2015-2039. Se seleccionaron 5 MCG bajo 2 escenarios de cambio climático, con 2 RCP (Trayectorias de concentración representativas) 4.5 y 8.5 (Aumassanne, 2019). El primero corresponde a emisiones de GEI moderadas y el segundo supone que las emisiones continuarán creciendo con las tendencias actuales hasta fin de siglo (IPCC, 2000).
<b>Oferta</b>	En cuanto a los escenarios de oferta hídrica se consideró el derrame superficial de un año seco del río Colorado de toda la serie, medido en la estación Buta Ranquil (Neuquén). Se seleccionó este escenario debido a que a la fecha se han registrado 12 ciclos con derrames, por debajo del promedio histórico de la serie (rango de años de la serie), y resulta el período seco más extenso por el que ha atravesado la cuenca. Escenario de caudal de un año seco = $52,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 1658 \text{ hm}^3$ .	Ídem Escenario 1.

<sup>1</sup>Programa Único de Distribución de Caudales para la cuenca del río Colorado (1976).

La información climática de los escenarios 1 y 2 integrada a la información de los cultivos (kc, fenología, fechas de siembra y cosecha), suelo (constantes hídricas, textura, profundidad del perfil) y riego (momentos y láminas de riego), se utilizaron como entrada del modelo de cultivos CROPWAT para estimar la evapotranspiración de los cultivos y requerimientos de riego. Se seleccionó un suelo arenoso y se aplicó el método FAO/AGLW para el cálculo de la precipitación efectiva. En cuanto a la programación de riego, se planteó regar a agotamiento crítico, reponiendo el perfil del suelo a capacidad de campo en cada riego. En cuanto al sistema de riego para desarrollar se proyectó, en todos los casos, sistema de riego presurizado, con una eficiencia de aplicación del 90 %. Para el cálculo final de las demandas de riego, en el caso del escenario 2, se seleccionó el modelo de cambio climático, que mayor demanda de agua para riego obtuvo, para ambos cultivos. Luego, se calculó la demanda de agua total para la expansión en el SAM y el SAM y PC, para los dos escenarios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Escenario 1

Bajo condiciones climáticas promedio, en la cuenca media del río Colorado, la evapotranspiración del cultivo de alfalfa fue de 1346 mm y de 895 mm para el maíz (tabla 3). Para cubrir dichas demandas de agua, y considerando una eficiencia de aplicación del 90 %, se necesitarían 14.377 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> para regar el cultivo de alfalfa y 8640 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> para maíz. En consecuencia, para el desarrollo de este escenario, que corresponde a 20.705 ha del SAM, se demandarían 277,5 hm<sup>3</sup> de agua del río Colorado (tabla 3) que representa el 43,8 % del cupo asignado a la provincia de La Pampa en el Acuerdo (tabla 1). De esta manera, se necesitarían 24,5 hm<sup>3</sup> adicionales a los consumidos por el riego en dicha provincia en el año 2015 (tabla 1).

**Tabla 3.** Parámetros estimados de evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitación efectiva (Pe) y requerimientos de riego (Re) por campaña para los cultivos de alfalfa y maíz, Demanda de agua de riego por cultivos y demandas bajo expansión del Sistema de Aprovechamiento Múltiple (SAM) y demandas bajo expansión del Sistema de Aprovechamiento Múltiple y Planicie Curacó (SAM+PC).

Cultivo	ETc (mm)	Pe (mm)	RR (mm)	Demanda riego (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Demanda de riego expansión SAM (hm <sup>3</sup> )	Demanda riego expansión SAM+PC (hm <sup>3</sup> )
Alfalfa	1346,4	39,3	1307,2	14.377	238,14	652,19
Maíz	895,4	31,2	864,0	9504	39,35	107,78

Considerando las mismas condiciones climáticas, pero ampliando el área de expansión a la PC, llegando a un total de 56.705 ha, se necesitarían 759,9 hm<sup>3</sup> de agua del río Colorado (tabla 3). Esto representa un 20 % más del cupo total que tiene asignado la provincia de La Pampa según el Acuerdo (tabla 1), y un 46 % del derrame del río Colorado en un año seco. En este último escenario de expansión la actividad agrícola bajo riego estaría compitiendo por el agua con otros sectores y usos: urbano, industrial y recreativo.

### Escenario 2

Los MCG muestran cambios en el clima para un futuro cercano en la cuenca media del río Colorado e indican aumentos en la temperatura mínima y máxima y disminución de la precipitación. Como se observa en la tabla 4 la ETc de alfalfa estimada varía entre 1220,4 y 1338,9 mm, con una Pe que cubre apenas entre el 0,02 al 1,8 % de las necesidades de agua que demanda el cultivo. Por esta razón el cálculo de los requerimientos de riego y la planificación del momento de riego y lámina aplicada es sumamente importante, por los volúmenes de agua que se requieren en estos sistemas.



**Tabla 4.** Parámetros estimados a partir de CROPWAT para los cultivos de alfalfa y maíz: Evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitación efectiva (Pe), requerimiento de riego (RR) a partir de los variables simuladas por los modelos climáticos globales para el futuro cercano (2015-2039).

Modelo	Alfalfa			Maíz		
	ETc (mm)	Pe (mm)	RR (mm)	ETc (mm)	Pe (mm)	RR (mm)
CMCC-CM 4.5	1279,2	0,2	1279,0	896,9	0,1	896,8
CMCC-CM 8.5	1284,4	0,4	1284,0	896,9	0,4	896,5
CNRM-CM5 4.5	1326,0	23,9	1302,8	925,5	16,8	908,5
CNRM-CM5 8.5	1338,9	20,5	1319,0	931,2	16,	915,0
CSIRO-Mk3.6.0 4.5	1297,5	16,5	1281,0	908,7	16,3	892,3
CSIRO-Mk3.6.0 8.5	1294,4	16,6	1277,8	905,9	16	889,7
GFDL-ESM2G 4.5	1227,3	6,4	1221,0	867,5	6	861,4
GFDL-ESM2G 8.5	1220,4	7,9	1212,6	855,5	6,9	848,5
MRI-CGMCM3 4.5	1262,0	20,9	1241,2	889,7	19,4	870,1
MRI-CGMCM3 8.5	1255,5	22,4	1233,2	886,1	21,8	864,3

En el caso del cultivo de maíz, la ETc estimada varía entre 855 y 931,2 mm con una Pe que cubre entre 0,01 y 2,46 % de las demandas del cultivo (tabla 4). El maíz es menos demandante de agua respecto al cultivo de alfalfa, la máxima ETc estimada para el maíz es de 931,2 mm marcando una diferencia de 406,8 mm respecto al cultivo de alfalfa. Considerando las máximas demandas de los cultivos de alfalfa y maíz, para el desarrollo de este escenario de expansión agrícola y cambio climático, se necesitarían 278,22 hm<sup>3</sup> de agua del río Colorado para cubrir las demandas de los cultivos en la expansión del SAM (tabla 5). Este valor representa el 44 % del cupo de agua destinado por el Acuerdo a la provincia de La Pampa, y 25,22 hm<sup>3</sup> por encima del consumo del riego en la provincia para el año 2015. Bajo las mismas condiciones climáticas, pero ampliando el área a PC, se necesitarían 772,33 hm<sup>3</sup>, que representa un 22 % más de agua respecto al cupo total de La Pampa, y 519,3 hm<sup>3</sup> más respecto al consumo de agua para riego en el año 2015 (tabla 5). En este segundo escenario de expansión, si se desarrollaran las 56.705 ha con un 80 % de alfalfa y 20 % de maíz, el cupo de agua asignado (633 hm<sup>3</sup>) a la provincia de La Pampa no alcanzaría para cubrir los requerimientos de riego y además entraría en competencia con el resto de los usos: urbano, minería e hidrocarburos. La demanda total de este escenario representa un 46 % del derrame de un año seco (1658 hm<sup>3</sup>) del río Colorado.

**Tabla 5.** Parámetros estimados de evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitación efectiva (Pe) y requerimientos de riego (Re) por campaña para los cultivos de alfalfa y maíz, demanda de agua de riego por cultivos y demandas bajo expansión del Sistema de Aprovechamiento Múltiple (SAM) y demandas bajo expansión del Sistema de Aprovechamiento Múltiple y Planicie Curacó (SAM+PC).

Cultivo	ETc (mm)	Pe (mm)	RR (mm)	Demanda riego (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Demanda de riego expansión SAM (hm <sup>3</sup> )	Demanda de riego expansión SAM+PC (hm <sup>3</sup> )
Alfalfa	1338,9	20,5	1319	14.509	240,33	658,18
Maíz	931,2	16,0	915	10.065	37,89	114,15

Además, se debe abastecer de agua a toda la cuenca para sus diversos usos: urbano, minería e hidrocarburos y recreativo, y abastecer de agua para riego a la cuenca baja del río Colorado, principalmente en la provincia de Buenos Aires donde se presenta el mayor desarrollo agrícola de toda la cuenca, siendo actualmente el sector y provincia que mayor demanda de agua presentan (1080 hm<sup>3</sup>). Ambas demandas para la agricultura bajo riego, la proyectada bajo este escenario (772,3 hm<sup>3</sup>) y la demandada por la provincia de Buenos Aires, tomando como referencia el año 2015, suman 1852,33 que representa un 12 % más que del derrame asumido bajo este escenario. De esta manera, este escenario sería inviable, ya que la oferta de agua es una limitante para el desarrollo y sustentabilidad de las actividades y centros poblados de la cuenca.

En este contexto, la construcción de escenarios ofrece herramientas de gran utilidad para planificar alternativas de desarrollo futuras compatibilizando la producción y la conservación, resultando en territorios ambiental y socialmente sostenibles (Gavier Pizzaro *et al.*, 2014). El proceso metodológico de construcción de escenarios descrito es una versión sencilla del proceso, en vistas al OT, donde queda pendiente el planteo y evaluación de más escenarios de oferta y demanda de agua y la retroalimentación con actores y público en general, siendo el pilar más importante para el OT. Ante la evaluación de estos escenarios aquí planteada, la mayor demanda de agua y la competencia por el uso por parte de los distintos sectores surge como uno de los principales conflictos ambientales en la cuenca del río Colorado. Por un lado, por la competencia por uso del suelo entre los oasis de riego y la actividad petrolera y por otro lado por la competencia por el uso del agua entre el consumo de los asentamientos urbanos, la actividad agrícola y la industria (minería e hidrocarburos). Por ello, este es un territorio de alta fragilidad, principalmente ante escenarios de bajo caudal.

## CONCLUSIONES

En la cuenca media del río Colorado se encuentran tierras con potencial para el futuro desarrollo de la actividad agrícola bajo riego, dado que se cuenta con tierras disponibles, infraestructura de riego y drenaje, energía eléctrica y agua, con un desarrollo actual de apenas un 10 % de la superficie con aptitud. Este análisis permitió identificar las futuras demandas de agua en las áreas potenciales para el desarrollo de actividades agrícolas bajo riego, teniendo en cuenta el cambio climático proyectado, las demandas de agua potenciales de los cultivos y la disponibilidad de agua futura en el río Colorado. Los cambios en los patrones actuales de la temperatura tendrían efectos en la demanda hídrica de los cultivos, en el manejo de los cultivos y en la planificación de los recursos hídricos de los oasis de riego. Potencialmente, el incremento de la temperatura ambiental, por efecto del cambio climático, aumentaría las demandas hídricas por incremento de la ETC.

Utilizar la información generada colaborará en la toma de conciencia por parte del productor para mejorar la eficiencia de aplicación dentro de su establecimiento, mejorar la toma de decisiones de los administradores del recurso y a elaborar políticas adecuadas para el uso cada vez más eficiente y sustentable del agua. Además, mediante el análisis del desarrollo de futuras áreas bajo riego se identificaron posibles conflictos de la cuenca, basado en la demanda de agua. La cuenca del río Colorado es particularmente vulnerable al cambio climático por su dependencia de la disponibilidad de agua, principalmente para riego y la competencia actividades, como urbanas e hidrocarburíferas.

## BIBLIOGRAFÍA

- BONINSEGNA, J.; VILLALBA, R. (2006). Los Escenarios de Cambio Climático y el impacto en los Caudales. Documento marco sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan. Segundo informe a la Secr. Amb.y Des. Sustentable de la Nación. 19 p.
- BONINSEGNA, J.A. (2014). Impacto del cambio climático en los oasis del oeste argentino. Ciencia e investigación. Tomo 64 (1): 45-58 pp.
- BONINSEGNA, J.; LLOP, A. (2015). Impactos y vulnerabilidad al cambio climático de los principales ríos de Mendoza y San Juan a partir de la evolución de los glaciares cordilleranos. La economía del cambio climático en la Argentina. CEPAL. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N.º 161. 67 p.
- CHEN, L.Y.; YANG, H.C. (2008). Scenario simulation and forecast of land use/cover in northern China. Chinese Science Bulletin, 53 (9): 1401-1412 pp.
- CIRONE, M. (2014). La Gestión de la cuenca del río Colorado: Análisis de los aspectos más destacables del COIRCO. Congreso Internacional de Códigos y Desafíos para enfrenar la crisis del agua. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales. 169-178 pp. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/43500>
- COIRCO (COMITÉ INTERJURISDICCIONAL DEL RÍO COLORADO). (2015). Programa Integral de Calidad de Aguas del Río Colorado – Calidad del Medio Acuático. Informe Técnico. Comité Interjurisdiccional del Río Colorado, Secretaría de Energía de la Nación, Grupo Interempresario. (Disponible: [www.coirco.com.ar](http://www.coirco.com.ar) verificado: 06 de noviembre de 2017).
- COLE, S. (2001). Dare to dream: Bringing futures into planning. Journal of the American Planning Association 67: 372-383 p.
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA). (2015). Estudio del potencial de ampliación del riego en Argentina. UTF/ARG/017/ARG Desarrollo Institucional para la Inversión. 121 p. (Disponible: <http://www.fao.org/3/a-i5183s.pdf>).

- IPCC (GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). (2000). Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. Resumen para responsables de políticas. Escenarios de emisiones. 20 p.
- IPCC (GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO). (2008). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team. En: PACHAURI, R.K.; REISINGER, A. (Eds.). IPCC, Ginebra, Suiza.
- GARCÍA, M.T.; MAS, J.F. (2008). Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas* 67: 7-19 pp.
- GAVIER PIZARRO, G.; CALAMARI, N.; PIQUER RODRIGUEZ, M.; KUEMMERLE, T. (2014). El método de construcción de escenarios aplicado al ordenamiento territorial en Ordenamiento Territorial Rural: Conceptos, métodos y experiencias. En: PARUELO, J.M.; JOBBÁGY, E.G.; LATERRA, P.; DIEGUEZ, H.; GARCÍA COLLAZO, M.A.; PANIZZA, A. (ed.). Ordenamiento territorial: conceptos, metodologías y experiencias. Universidad de Buenos Aires, Ministerio de Agricultura, Ganadería Y Pesca y Organización De Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Buenos Aires, Argentina. 575 p.
- GRECO, J.; DARANZOFF, M.; KRUSE, M. (2010). La Comisión Técnica Fiscalizadora y el Control de la Actividad Petrolera en la Cuenca del Río Colorado. En: DALMASO, G.; CAMILETTI, C.; HERNÁNDEZ R. (coord.). Tercer Congreso Pampeano del Agua, 1.º ed., Santa Rosa, 145-153 pp.
- MAHMOUD, M.; LIU, Y.; HARTMANN, H.; STEWART, S.; WAGENER, T.; SEMMENS, D.; STEWART, R.; GUPTA, H.; DOMINGUEZ, D.; DOMINGUEZ, F.; HULSE, D.; LETCHER, R.; RASHLEIGH, B.; SMITH, C.; STREET, R.; TICEHURST, J.; TWERY, M.; VAN DELDEN, H.; WALDICK, R.; WHITE, D.; WINTER, L. (2009). A formal framework for scenario development in support of environmental decision-making. *Environmental Modelling and Software* 24: 798-808 pp.
- MASÍS CAMPOS, R.; VARGAS PICADO, H. (2014). Incremento de áreas impermeables por cambios de usos de la tierra en la microcuenca del río Burío. *Rev. Reflexiones* 93 (1): 33-46 pp.
- NUÑEZ, M. (2006). Desarrollo de escenarios climáticos en alta resolución para Patagonia y zona cordillerana. Período 2020/2030. Proyecto Desarrollo de Escenarios Climáticos y Estudios de Vulnerabilidad. Informe N.º 3. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 22 p.
- OJEDA-BUSTAMANTE, W.; SIFUENTES-IBARRA, E.; ÍÑIGUEZ-COVARRUBIAS, M.; MONTERO-MARTÍNEZ, M.J. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia* 45 (1): 1-11 pp.
- PARUELO, J.M.; JOBBÁGY, E.G.; LATERRA, P. (2014). Bases conceptuales del ordenamiento Territorial Rural. Capítulo 1. En: PARUELO, J.M.; JOBBÁGY, E.G.; LATERRA, P.; DIEGUEZ, H.; GARCÍA COLLAZO, M.A.; PANIZZA, A. (eds.). Ordenamiento Territorial Rural. Conceptos, métodos y experiencias. Universidad Nacional de Buenos Aires. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- PETERSON, G.D.; CUMMING, G.S.; CARPENTER, S.R. (2003). Scenario planning: a tool for conservation in an uncertain world. *Conservation Biology* 17: 358-366 pp.
- PRINS, A.G.; EICKHOUT, B.; BANSE, M.; MEIJL, H.; RIENKS, W.; WOLTJER, G. (2011). Global impacts of european agricultural and biofuel policies. *Ecology and Society* 16: 49 p.
- ROSETE, F.A.; PÉREZ, J.L.; BOCCO, G. (2009). Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación Ambiental*: 1: 70-82 pp.
- RUDEL, T.K.; DEFRIES, R.; ASNER, G.P.; LAURANCE, W.F. (2009). Changing drivers of deforestation and new opportunities for conservation. *Conservation Biology* 23: 1396-1405.
- SAMSON, F.B.; KNOPF, F.L. (1996). Putting 'ecosystem' into natural resource management. *Journal of Soil and Water Conservation* 51: 288-292 pp.
- SCHOONENBOOM, I.J. (1995). Overview and state of the art of scenario studies for the rural environment. En: SCHOUTE, J.F.T.; FINKE, P.A.; VEENEKLAAS, F.R.; WOLFERT, H. (ed.). Scenario Studies for the Rural Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrec. 15-24 pp.
- SCHWARTZ, P. (1991). *The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World*. Doubleday, New York. EUA.
- SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA NACIÓN. (2015). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Cambio Climático en Argentina; Tendencias y Proyecciones (Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera). Buenos Aires, Argentina.



STEINITZ, C.; MACDOWELL, S. (2001). Alternative Futures for Monroe County, Pennsylvania. En: DALE, V.; HAEUBER R.A. (eds.). Applying Ecological Principles to Land Management. Springer-Verlag, Nueva York, EUA.

SWETNAM, R.C.; RAGOU, P.; FIRBANK, L.G.; HINSLEY, S.A.; BALLAMY, P.E. (1998). Applying ecological models to altered landscapes: scenario-testing with GIS. Landscape and Urban Planning 41: 3-18 pp.

VEGA, E.; BALDI, G.; JOBBÁGY, E.G.; PARUELO, J.M. (2009). Land use change patterns in the Río de la Plata grasslands: the influence of phytogeographic and political boundaries. Agriculture, Ecosystems & Environment. 134: 287-292 pp.

## ANEXOS

**Tabla 1.** Variables climáticas medias mensuales del período 1971-2007 de la estación meteorológica ubicada en sección i del SAM para el escenario 1.

	Temp mínima (°C)	Temp máxima (°C)	Humedad relativa (%)	Viento (km/día)	Insolación (horas)	Precipitación (mm)
Enero	13,5	30,6	52	173	14,3	24
Febrero	13,1	30,5	55	159	13,3	25,1
Marzo	10,4	27	61	143	12,3	32,5
Abril	5,9	22,3	63	124	11	25,6
Mayo	3,1	17,7	68	116	10	13,3
Junio	0,6	14,1	67	124	9,5	19,3
Julio	-0,4	14,1	68	122	9,7	13,6
Agosto	1,1	16,7	62	152	10,5	14,4
Septiembre	3,7	19,6	56	173	11,8	22,9
Octubre	7,3	23,1	54	173	13	22,4
Noviembre	10,1	26,9	51	181	14	24,8
Diciembre	13,2	29,8	51	179	14,5	29,2

**Tabla 2.** Temperatura máxima (°C) mensual promedio para el período 2015-2039 obtenidas con los modelos de cambio global evaluados para el escenario 2.

	CMCC-CM_rcp45	CMCC-CM_rcp85	CNRM-CM5_rcp45	CNRM-CM5_rcp85	CSIRO-Mk3-6-0_rcp45	CSIRO-Mk3-6-0_rcp85	GFDL-ESM2G_rcp45	GFDL-ESM2G_rcp85	MRI-CGCM3_rcp45	MRI-CGCM3_rcp85
Enero	31,2	31,3	33,2	33,4	31,7	31,4	29,2	29,3	31,1	31,4
Febrero	30,1	29,9	31,0	31,4	30,4	30,2	28,9	27,8	29,4	28,5
Marzo	25,8	26,1	27,3	28,1	26,5	26,4	23,4	23,2	25,0	24,5
Abril	20,8	20,1	21,2	21,8	20,0	20,2	17,2	17,6	18,8	18,6
Mayo	14,9	15,4	17,7	18,7	16,2	16,1	12,1	12,2	14,2	14,3
Junio	11,4	11,2	13,7	14,8	11,3	11,7	9,8	9,8	10,1	10,2
Julio	12,6	12,6	13,0	12,4	11,5	11,1	9,9	9,8	9,1	9,3
Agosto	14,3	14,5	15,5	15,6	14,4	14,7	12,0	12,3	11,8	11,9
Septiembre	18,6	18,3	19,5	19,7	18,5	18,5	15,8	16,2	16,1	15,7
Octubre	22,5	22,9	23,6	24,0	24,2	24,4	20,0	20,3	21,4	21,3
Noviembre	26,9	26,8	27,7	27,8	28,8	28,6	24,9	25,7	26,0	25,7
Diciembre	29,9	30,4	31,7	31,5	31,2	30,4	29,7	29,6	30,5	30,6

**Tabla 3.** Temperatura mínima (°C) mensual promedio para el período 2015-2039 obtenidas con los modelos de cambio global evaluados para el escenario 2.

	CMCC-CM_rcp45	CMCC-CM_rcp85	CNRM-CM5_rcp45	CNRM-CM5_rcp85	CSIRO-Mk3-6-0_rcp45	CSIRO-Mk3-6-0_rcp85	GFDL-ES-M2G_rcp45	GFDL-ES-M2G_rcp85	MRI-CGCM3_rcp45	MRI-CGCM3_rcp85
Enero	18,4	18,2	17,8	17,7	16,8	17,0	19,2	19,2	17,4	17,5
Febrero	17,2	17,2	15,7	16,0	16,1	15,9	18,3	19,0	16,6	15,9
Marzo	14,3	13,3	12,9	13,1	13,6	14,2	14,6	14,9	14,1	13,9
Abril	9,2	10,0	7,9	7,5	9,4	9,5	10,1	10,3	10,2	10,4
Mayo	6,2	6,2	5,8	6,2	6,8	7,1	6,8	6,6	7,6	7,5
Junio	2,8	3,0	2,6	3,1	3,8	3,3	4,9	4,9	4,3	4,4
Julio	3,5	3,7	1,8	1,4	2,7	3,2	4,9	4,8	3,5	3,8
Agosto	4,3	4,1	3,2	3,3	4,9	4,7	6,4	6,1	5,2	5,3
Septiembre	7,0	7,0	6,0	6,4	7,0	6,7	8,7	8,5	8,0	7,8
Octubre	10,5	10,5	9,5	9,8	10,4	10,3	12,5	12,1	11,5	11,7
Noviembre	13,9	14,4	12,4	13,1	14,3	14,1	16,7	15,7	13,8	13,6
Diciembre	17,3	16,9	15,7	15,9	16,0	16,3	20,0	19,5	16,6	17,0

**Tabla 4.** Precipitación (mm) mensual promedio para el período 2015-2039 obtenidas con los modelos de cambio global evaluados para el escenario 2.

	CMCC-CM_rcp45	CMCC-CM_rcp85	CNRM-CM5_rcp45	CNRM-CM5_rcp85	CSIRO-Mk3-6-0_rcp45	CSIRO-Mk3-6-0_rcp85	GFDL-ES-M2G_rcp45	GFDL-ES-M2G_rcp85	MRI-CGCM3_rcp45	MRI-CGCM3_rcp85
Enero	14,2	17,3	23,5	20,6	36,5	32,0	11,6	14,3	32,1	46,6
Febrero	4,1	7,4	17,6	16,1	17,0	11,7	12,3	11,2	24,5	19,2
Marzo	6,7	6,9	30,0	23,4	22,2	28,2	18,5	20,9	25,7	20,2
Abril	6,2	9,1	19,3	8,9	12,5	17,0	4,6	7,8	9,7	9,1
Mayo	9,6	6,8	7,0	5,8	4,2	4,0	3,4	2,9	3,6	3,9
Junio	4,1	4,2	6,2	8,0	6,4	5,6	4,6	4,8	14,3	12,0
Julio	4,6	3,8	4,7	5,8	3,4	2,7	4,0	3,8	2,7	3,8
Agosto	2,2	1,5	3,1	2,5	4,3	4,0	2,7	3,0	4,0	3,9
Septiembre	8,8	11,8	17,0	22,7	19,5	14,8	6,2	7,5	13,3	11,9
Octubre	17,5	13,1	42,0	38,2	9,2	11,0	18,1	20,9	23,2	19,1
Noviembre	6,1	5,0	19,1	19,1	15,7	14,3	12,3	14,9	14,4	16,4
Diciembre	7,9	7,0	21,4	30,3	18,1	15,5	24,7	23,9	14,5	14,4