

EL CONSUMO HÍDRICO DE LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA AURÍFERA EN LA CUENCA DEL RÍO JÁCHAL, PROVINCIA DE SAN JUAN, ARGENTINA

WATER USE IN AGRICULTURAL CROPS AND GOLD MINING IN THE JÁCHAL RIVER BASIN. SAN JUAN PROVINCE, ARGENTINA

Omar Miranda¹, Mario Liotta², Alfredo Olguin³ & Alejandro Degiorgis⁴

Resumen

En este trabajo se cuantificó el impacto de la minería aurífera en la disponibilidad de agua para riego en el valle de Jáchal, provincia de San Juan, Argentina. A partir del consumo hídrico de dos concesiones mineras sobre la cuenca del río Jáchal, Veladero (en explotación) y Lama (en etapa de estudio de impacto ambiental), se calculó el uso consuntivo de agua y el efecto regulador del embalse Cuesta del Viento. Suponiendo que los dos yacimientos mineros extraigan el volumen de agua máximo necesario para su funcionamiento en forma constante durante todo el año, se verificará una disminución de 4.47% en el caudal del río Jáchal, equivalente al agua que habría que entregar para regar una superficie de 728 ha de cultivos según el patrón actual de uso de suelo agrícola. Teniendo en cuenta el área en producción agrícola, la capacidad de distribución de la red de riego y la oferta hídrica promedio del río Jáchal, esto no generará déficit hídrico en los cultivos. Si bien en un año con bajas precipitaciones en cabecera de cuenca se puede contar con la reserva del dique Cuesta del Viento, en casos en los que el ciclo hidrológico seco se extendiese por más de cuatro años se debería tener en cuenta medidas para asegurar la provisión de agua para los cultivos de Jáchal.

Palabras clave: minería aurífera, consumo de agua, agricultura

Abstract

This paper quantifies the impact of gold mining on water availability for irrigation in the Jáchal valley, Province of San Juan, Argentina. From the water consumption of two mining deposits on the Jáchal river, Veladero (currently working on) and Lama (under the Environmental Impact Study), we calculated the consumptive use of water and the regulatory effect of the Cuesta del Viento dam. Assuming that the two mining sites consume the maximum annual water flow, there was a decrease in the flow of the river Jáchal of 4.47%, equivalent to the water to be delivered to irrigate an area of 728 hectares of crops under the current pattern of use of agricultural land. Given the current occupation of agricultural land, the distribution capacity of irrigation canals and the river Jáchal average water supply, this does not create water shortage in the crop. While in years with low precipitation in the Cordillera farmers can use water of reservoir dam Cuesta del Viento, in cases where the dry hydrological cycle is more than for years will be needed to ensure the provision of water for crops Jáchal valley.

Keywords: gold mining, water consumption, agriculture

INTRODUCCION

El incremento mundial en las inversiones para expandir la minería aurífera ha sido facilitado por el aumento del precio internacional de oro, la mejora en las economías de escala del transporte marítimo y el desarrollo de técnicas de molienda de rocas a cielo abierto (Mudd, 2007a). Argentina no fue ajena a este proceso y, luego de una serie de reformas en el marco regulatorio e institucional nacional ocurridas en la década de los '90 (Moori Koenig & Bianco, 2003), en los últimos años comenzó la extracción de oro en tres grandes explotaciones auríferas a cielo abierto (Bajo la Alumbreira, Cerro Vanguardia y Veladero, en las provincias de Catamarca, Santa Cruz y San Juan,

respectivamente). En el año 2007 se extrajeron 42 t de oro de 24 kt en el país por valor de \$ 462 millones (INDEC, 2009), ubicándose Argentina como el tercer productor aurífero del continente americano.

La escala en la que se aplican las nuevas técnicas de extracción de oro impacta en las inmediaciones de los yacimientos, afectando el paisaje y el equilibrio de los ecosistemas (McMahon & Remy, 2003). El deterioro del ambiente en los alrededores de la explotación se produce, principalmente, por la excavación de diques de cola, el residuo de la molienda de rocas y las emisiones de polvo y CO₂ (Mudd, 2007b; Kumah, 2006; Moreno & Neretnieks, 2006). También se puede generar conflictos con otras acti-

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria-EEA San Juan. Calle 11 y Vidart, Villa Aberastain, Pocito (5427), San Juan, Argentina. (omiranda@sanjuan.inta.gov.ar)

² (maliotta@sanjuan.inta.gov.ar)

³ (aolguin@sanjuan.inta.gov.ar)

⁴ (adegiorgis@sanjuan.inta.gov.ar)

Artículo enviado el 20 de setiembre de 2009

Artículo aceptado el 21 de enero de 2010

vidades económicas por la competencia en el uso de determinados insumos, ya que durante la extracción del mineral y su procesamiento se hace un consumo intensivo de energía y agua (Mudd, 2007a, 2007b), además de productos potencialmente contaminantes como el cianuro (Logsdon et al. 2001; Korte & Coulston, 1995).

Cuando los yacimientos mineros a cielo abierto se ubican en zonas áridas, la competencia por el uso del agua se da principalmente con la agricultura irrigada. Las nuevas concesiones para uso minero, en el contexto de inelasticidad de oferta hídrica que caracteriza a gran parte de los territorios áridos de Argentina (Miranda, 2008), compiten con la disponibilidad de agua para riego agrícola, lo cual genera un antagonismo entre estas dos actividades. Este es el problema que da origen al presente trabajo, en el cual se va a cuantificar el efecto en la disponibilidad hídrica de dos concesiones mineras auríferas ubicadas en las altas cumbres andinas. Una de ellas, Veladero, está en producción en la actualidad y se alimenta con agua del río Las Taguas. La otra, Lama, si bien aún no comenzó a extraer minerales, también se va a proveer del mismo cauce. El río Las Taguas es afluente del río Jáchal, único abastecedor de agua del valle irrigado del mismo nombre, principal zona agrícola ubicada al norte de la provincia de San Juan.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de las concesiones mineras Veladero y Lama está ubicada del lado este de la frontera entre la IV Región de Chile y la provincia argentina de San Juan. Lama forma parte del yacimiento de oro binacional Pascua-Lama localizado en el límite de las altas cumbres andinas entre Chile y Argentina, extendiéndose a unos cuatro kilómetros al norte del emprendimiento minero Veladero (Miranda & Degiorgis, 2006). Las concesiones se ubican al oeste del Valle del Cura, en un terreno montañoso con alturas que varían entre 3900 msnm y 5200 msnm (Groeber, 1932). Las temperaturas medias mensuales llegan a 10°C en los meses de verano, con máximas de 25°C; durante los meses de invierno, las temperaturas medias mensuales descienden a -15°C, con máximas de 5°C (UNSJ, 2002). La humedad relativa promedio anual es de 30% (BEMSA, 2004). Las precipitaciones son en forma de nieve y se concentran en los meses de mayo a septiembre, con una media anual de 150mm (Salvioli, 2007); aunque no necesariamente la cantidad de nieve caída influye en el derrame del río aguas abajo, ya que la temperatura del aire en cordillera durante la época de derretimiento nivelo tiene un efecto directo en el volumen escurrido (Heinscheimer, 1948).

Los territorios en los que se ubican los yacimientos no tienen aptitud de uso agrícola (INA, 1998). Con respecto a las actividades pecuarias, la superficie con mallines o vegas que existe en el área de los

emplazamientos es pequeña y no hay registros de actividad ganadera comercial ni de subsistencia (Miranda & Degiorgis, 2006).

El río Las Taguas es la principal fuente de agua y vía de drenaje de la escorrentía superficial de los emprendimientos mineros Veladero y Pascua-Lama, fluyendo hacia el norte hasta unirse con el río Valle del Cura para formar el río La Palca, tributario a su vez del Jáchal. El río La Palca aporta el 70% de los derrames del Jáchal y el río Blanco el 30% restante (Salvioli, 2007); a su vez, el río Las Taguas aporta el 50% de los caudales del río La Palca y río Valle del Cura el otro 50% (UNSJ, 2002; APN, 2008). En esta distribución porcentual de caudales en la cuenca interesa conocer el impacto del consumo de agua por la gran minería en el río Jáchal, el cual tiene el segundo volumen más importante de la provincia de San Juan y forma parte del Sistema Desaguadero.

El punto de desvío para el suministro de agua en el yacimiento Lama será una galería de infiltración en el río Las Taguas, con un uso consuntivo máximo de 350 L/s (BEMSA, 2004). El otro emprendimiento minero que está sobre esta corriente es Veladero, el cual utiliza un máximo de 110 L/s de agua del mismo cauce (Departamento de Minería, 2003). Esto indica que el consumo máximo de agua del río Las Taguas de ambos yacimientos mineros será 460 L/s. Como ocurre en todos las cuencas de zona, el caudal de este río es inestable a lo largo del año (Jones, 2006), con repentinas variaciones de volumen de hasta cinco veces (WMCL, 2006). El mayor caudal anual se produce en octubre y el máximo valor medido fue 4200 L/s y el mínimo 419 l/s, mientras que los caudales estivales se encuentran en el rango de 1000-2000 L/s (Fernández et al. 2006).

Al sudeste de las concesiones mineras se localiza el valle agrícola de Jáchal. Tiene un clima árido tipo desértico con valores medios de 141 mm de precipitación anual, 54 % de humedad relativa y 16.5 °C de temperatura media anual (SMN, 2007), los valores extremos varían entre los 71 mm y 128 mm anuales de precipitaciones y temperaturas estivales con máximos absolutos de 40 °C (Cornejo & Silva, 2000). Estas condiciones generan un déficit hídrico que no permite el cultivo comercial de especies agrícolas sin riego.

El valle tiene 21746 ha con derecho a riego (Departamento de Hidráulica, 2007) y la distribución del agua se organiza en tres cuencas. Dos son pequeñas y tienen escasa superficie cultivada: cuenca Huaco-La Ciénaga y cuenca Agua Negra, con 1651 ha y 1673 ha con derecho a riego, respectivamente (Miranda & Degiorgis, 2006). La otra cuenca es la de Jáchal, tiene 18422 ha con derecho a riego y utiliza recursos hídricos del río homónimo (Departamento de Hidráulica, 2007).

Aguas arriba del área cultivada hay dos represas. El dique Cuesta del Viento que tiene como función regular caudales y generar energía hidroeléctrica y el

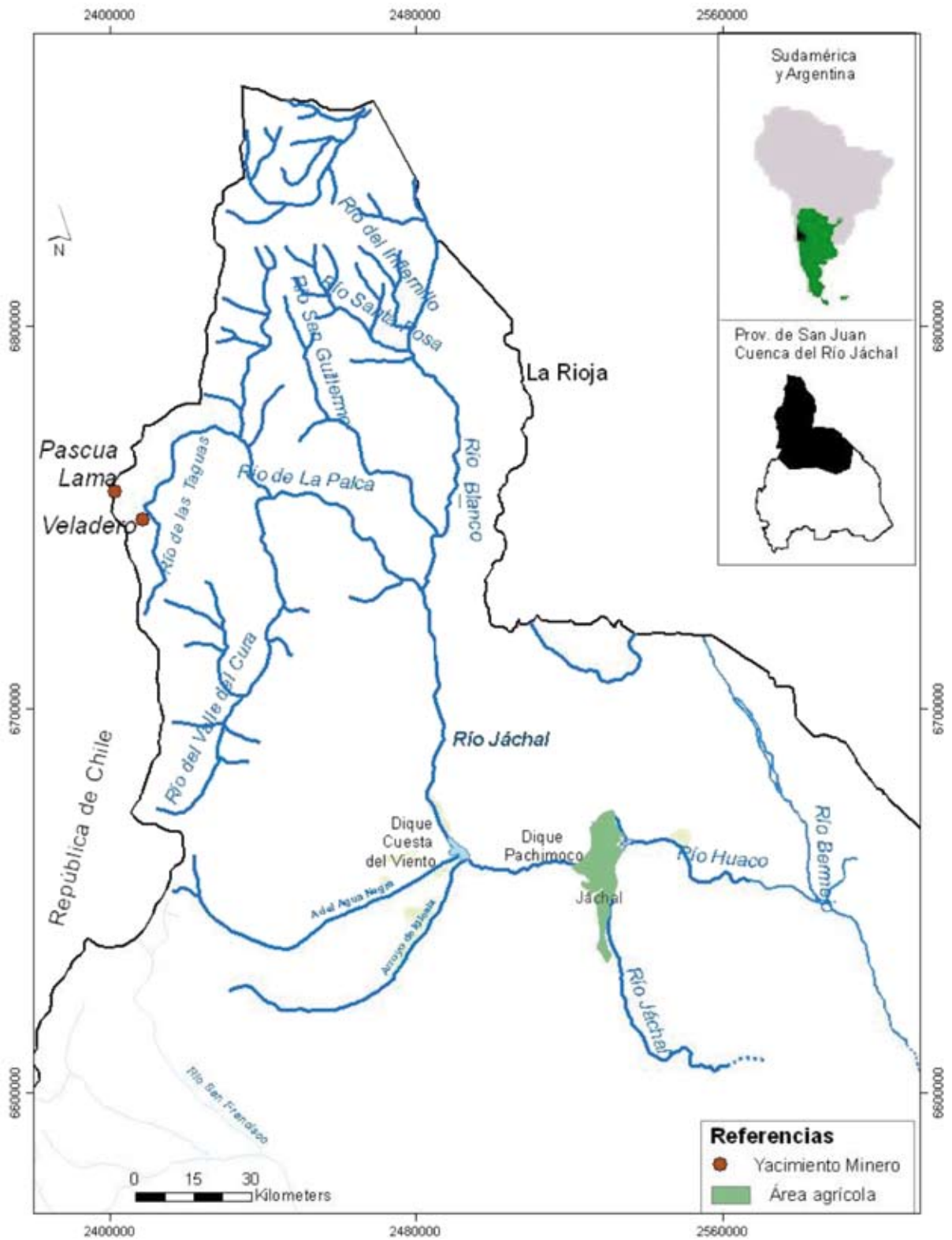


Figura 1. Provincia de San Juan. Cuenca del río Jáchal y concesiones mineras Veladero y Lama

dique derivador de riego de Pachimoco. Este último tiene una toma principal para riego de 12 m³/s de capacidad (UNSJ, 2002) que se divide en dos canales, (a) el Canal Norte que abastece 11070 ha de las localidades de Pampa Vieja, Pampa del Chañar, Villa Mercedes y Entre Ríos con un coeficiente de entrega de 0.8 L/s-ha y una capacidad de 9 m³/s; y (b) el Canal Sur que riega 4280 ha de las localidades de El Rincón, San Rafael, El Fuerte y Cruz de Piedra con un coeficiente de entrega de 0,65 L/s-ha y una capacidad de 3.1 m³/s (Departamento de Hidráulica, 2009). También hay tomas directas sobre el río Jáchal para regar los territorios Niquivil Viejo, Mogna, Tucunuco y El Coyón. La superficie con derecho de riego a partir de estas tomas es 3071 ha.

La calidad del agua de riego está influenciada por la salinidad del río Jáchal, con valores de 1500 mg/L a 3000 mg/L en el agua superficial y de 1200 mg/L a 4100 mg/L en la subterránea, con un contenido de boro de hasta 6 mg/L (Lohn & García, 1983). Esto en principio limita el abanico de especies que se pueden cultivar, siendo afectada también la productividad de aquellas tolerantes a salinidad y boro (Richards, 1954).

La superficie total con derecho a riego en el valle de Jáchal excede la capacidad de entrega de los ríos que lo alimentan (SANINDTEC, 1951; CFI, 1962), estimándose que sólo se podrían llegar a regar efectivamente hasta 13000 ha con sistemas tradicionales (SANINDTEC, 1952). A modo de ejemplo, se menciona que en el año en el año 1930 habían 22198 ha con derecho de riego de las cuales estaban cultivadas 11787 ha (Aubone, 1934), mientras que en la actualidad de las 21746 ha con derecho de riego del valle solo se encuentran cultivadas 7418 ha (Departamento de Hidráulica, 2007). Se destaca el cultivo de olivo con 2083 ha plantadas, representando el 28.1 % del área total en producción. En segundo lugar se ubican las pasturas, con 1584 ha (21.4 %) y, en tercer término, el cultivo de cebolla, con 1123 ha (15.1 %) (Ibíd., 2008).

MATERIALES Y METODO

Se hizo una estimación de las necesidades hídricas totales para uso agrícola en base a las series de datos climatológicos disponibles, superficie cultivada por especie en el valle irrigado de Jáchal durante el ciclo 2007-2008, calidad del agua de riego del río y coeficientes de cultivo (*kc*).

La estimación de la evapotranspiración de referencia (*ET_o*) en función de la evaporación en bandeja se basó en la relación siguiente (Doorenbos & Pruitt, 1976):

$$ET_o = E_{tan} \times kp \quad [1]$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia (mm/día).

E_{tan} = evaporación de Tanque tipo "A" (mm/día).

kp = coeficiente del Tanque.

La *E_{tan}* corresponde al período 1947-1982 (SMN, 2007) y las medidas de evaporación medidas en Jáchal se incluyen en el Anexo. El *kp* fue 0.70 para todos los meses y su determinación se basó en los tabulados de FAO (Allen et al. 1998) a partir de valores medios de 40% a 70% de humedad relativa y 175 km/día de velocidad del viento. Los valores mensuales de *ET_o* obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 1: Jáchal, evapotranspiración de referencia (*ET_o*) en mm/mes, promedio período 1947-1982

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
<i>ET_o</i> (mm/mes)	169	130	118	83	67	56
MES	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<i>ET_o</i> (mm/mes)	76	80	97	132	154	174

Las necesidades netas de riego se calcularon mediante la siguiente relación (Jensen et al. 1990):

$$NN = (ET_o \times kc) - Pe \quad [2]$$

Donde:

NN = necesidades netas de riego en mm/mes

kc = coeficiente de cultivo

ET_o = evapotranspiración de referencia

Pe = precipitación efectiva

El *kc* es un factor que expresa la capacidad de los vegetales para extraer agua del suelo en las distintas etapas fisiológicas del cultivo (Allen et al. 1998). Es un factor específico que permite conocer la evapotranspiración real de un cultivo en una situación determinada a partir de la *ET_o*. Los valores utilizados para los cultivos de Jáchal se incluyen en el Anexo.

Una vez determinadas las necesidades hídricas totales, para conocer los volúmenes mensuales y anuales de agua consumida se afectó la necesidad neta de riego por la eficiencia de uso del agua. Esta última se origina en las pérdidas por conducción y aplicación de agua de riego, quedando la siguiente expresión (Doorenbos & Pruitt, 1976):

$$EU = \frac{EAP \times EC}{100} \quad [3]$$

Donde:

EU = eficiencia de uso de agua de riego

EAP = eficiencia de aplicación

EC = eficiencia de conducción.

Se utilizaron valores de eficiencia de conducción de 85% y de aplicación de 50%. Estos fueron obtenidos de manera empírica en el valle del Tulum, provincia de San Juan, para el mismo sistema tradicional de riego gravitacional que predomina en Jáchal, con pendiente y escurrimiento al pie (Castro, 1990). De esta manera, la eficiencia de uso del agua de riego utilizada en este trabajo es de 43%.

A continuación, se determinó el requerimiento de lixiviación para lavar el contenido de sales de las aguas del río Jáchal y evitar fitotoxicidad en los cultivos. Esto se logra agregando un porcentaje de agua superior al que cubre las necesidades netas del cultivo. Las características de los suelos que predominan en la zona permiten el lavado de sales, lo cual ha sido demostrado en estudios anteriores (Castro et al. 1984). El valor medio de conductividad eléctrica del río Jáchal en las cercanías de la toma de Pachimoco es de $1850 \mu\text{S cm}^{-1}$ (CIPCAMI, 2006) y la conductividad eléctrica del extracto de saturación para obtener una reducción del rendimiento no superior al 10 % se adopta en $2700 \mu\text{S cm}^{-1}$. Siguiendo a Bernstein & Francois (1973), la lámina requerida para el lavado de las sales se calculó con la expresión:

$$\text{LR} = \frac{CE_i}{(5CE_w - CE_i)} = \frac{1800}{(5 \times 2700 - 1800)} = 15 = 15\% \quad [4]$$

Donde:

LR = requerimiento de lixiviación.

CE_i = conductividad eléctrica del agua de riego ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

CE_w = conductividad eléctrica del extracto de saturación para una reducción de rendimientos $\leq 10\%$.

Como se consideró una eficiencia de uso del agua del 43 %, la cual cubre los requerimientos de lixiviación, no es necesario incrementar la dotación de riego para mantener un balance de sales adecuado. En consecuencia, la expresión para determinar los volúmenes de riego mensuales es (Doorenbos & Pruitt, 1976):

$$VB = \frac{\left[\left(\frac{NN}{EU \times 0.01} \right) \times A \right]}{10000} \quad [5]$$

Donde:

VB = necesidades totales mensuales o anuales (Hm^3)

NN = necesidades de riego netas (mm/mes)

EU = eficiencia de uso (%)

A = superficie por cultivo o grupo de cultivos (ha)

RESULTADOS

En la Tabla 2 se presenta el cálculo del volumen mensual y anual de agua de riego requerido por los cultivos de Jáchal, de acuerdo al área en producción en el ciclo agronómico 2006-2007.

La demanda hídrica para riego con la actual superficie cultivada es 147.68 Hm^3 anuales, mientras que el consumo de agua de los emprendimientos Veladero y Lama será de 14.5 Hm^3 anuales, lo cual totaliza un uso consuntivo conjunto de 162.18 Hm^3 anuales. El volumen de agua consumido por las concesiones mineras equivale al agua necesaria para satisfacer las necesidades hídricas anuales de 728 ha en plena producción según el patrón de cultivos actual y el procedimiento de cálculo utilizado.

La serie histórica anual de caudales del río Jáchal medida en el período 1921-1998 a la altura de Pachimoco tiene un volumen promedio de 324.55 Hm^3 , con un mínimo de 117 Hm^3 y un máximo de 1137 Hm^3 (Departamento de Hidráulica, 2009). Entonces, con el uso consuntivo máximo de agua de los dos emprendimientos mineros habrá una disminución del 4.47% del caudal anual promedio del río.

Si se consideran las necesidades hídricas del mes con mayor evapotranspiración (diciembre), con 26.6 Hm^3 y la capacidad mensual actual de distribución de la red de riego (32.1 Hm^3) (Departamento de Hidráulica, 2009), la superficie máxima que se podría regar cubriendo la demanda hídrica de los cultivos es 8022 ha, con un consumo de 159.7 Hm^3 . En este sentido, la capacidad de la red de riego para los meses de mayor demanda hídrica se constituye en la principal limitante para la expansión del área cultivada.

Teniendo en cuenta el régimen aluvional del río Jáchal, se analizaron los caudales mínimos de la serie histórica para conocer la probabilidad de ocurrencia de caudales inferiores a las necesidades anuales de agua calculadas para regar los cultivos del valle de Jáchal en el ciclo agronómico 2006-2007. Los cuatro años con déficit hídrico ocurrieron de manera secuencial durante el cuatrienio 1968-1972, con un volumen promedio medido de 135 Hm^3 . El dique Cuesta del Viento, ubicado aguas arriba de la toma de riego de Pachimoco, tiene una capacidad de almacenaje de 180 Hm^3 (UNSJ, 2002). Analizando la situación más crítica, es decir que se repita el período con el derrame mínimo histórico del río Jáchal, el embalse complementaría la demanda para satisfacer las necesidades de riego durante cuatro años sin que se vea afectada la capacidad operativa del dique.

Tabla 2. Valles irrigados de Jáchal: superficie cultivada y volumen de agua requerido mensual y anual (en Hm³), ciclo agronómico 2006-2007

Cultivo	Área	Volumen mensual (Hm ³)												Total anual (Hm ³)
	(ha)	E	F	M	A	M	Ju	JI	A	S	O	N	D	
Olivo	2082	6.31	4.85	4.35	3.02	2.37	1.90	2.59	2.75	3.47	4.87	5.76	6.47	48.71
Pasturas	1584	6.86	5.03	3.96	2.45	0.00	0.00	0.00	0.59	2.03	4.00	5.58	6.90	37.41
Cebolla	1122	3.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	1.67	2.02	2.77	4.43	4.98	21.05
Frutales	519	2.04	1.57	1.35	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	1.12	1.78	8.93
Cereales de verano	385	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.98	1.33	1.43	4.57
Cereales de invierno	344	0.00	0.00	0.44	0.49	0.50	0.46	0.63	0.60	0.59	0.00	0.00	0.00	3.18
Forestales	269	0.96	0.65	0.52	0.17	0.14	0.12	0.16	0.19	0.35	0.69	0.85	0.98	4.87
Ajo	82	0.00	0.00	0.05	0.07	0.06	0.06	0.10	0.14	0.22	0.34	0.18	0.00	1.03
Vid	67	0.25	0.19	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.17	0.21	0.29	1.15
Tomate	67	0.24	0.18	0.15	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.12	0.18	0.23	0.53
Otros cultivos de verano	61	0.22	0.16	0.13	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.11	0.17	0.21	0.48
Otras semillas	60	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.04	0.06	0.09	0.11	0.15	0.24	0.10	0.64
Otros cultivos de invierno	23	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.10
Semilla de cebolla	15	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.03	0.21
Aromáticas	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Otros	729	3.16	2.32	1.82	1.13	0.00	0.00	0.00	0.27	0.94	1.84	2.57	3.18	14.81
TOTAL	7418	25.11	14.96	12.92	7.93	3.13	2.59	4.77	6.35	10.44	16.80	22.68	26.58	147.68

Tabla 3: Efecto de regulación del embalse Cuesta del Viento durante el ciclo de sequía máxima del río Jáchal (con 5% de probabilidad de ocurrencia del evento).

Año	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Hm ³	Hm ³	Hm ³	Hm ³	Hm ³
1	180.00	120.5	300.50	147.68	152.82
2	152.82	120.5	273.32	147.68	125.64
3	125.64	120.5	246.14	147.68	98.46
4	98.46	120.5	218.96	147.68	71.28
5	71.28	120.5	191.78	147.68	44.1

(1) Agua en el embalse proveniente del ciclo anterior. (2) Caudal mínimo anual promedio del río Jáchal, descontado el uso consuntivo de 14.5 Hm³ de las concesiones mineras Veladero y Lama. (3) Agua disponible para riego en el ciclo hidrológico anual. (4) Demanda máxima anual para regar los cultivos del valle de Jáchal. (5) Balance hídrico anual.

Por último, hay que considerar que la superficie total con derecho a riego agrícola de Jáchal demandaría una cantidad anual de agua de 433.16 Hm³, volumen que, aún considerando el efecto regulador de la represa Cuesta del Viento, no puede ser cubierto con el módulo histórico promedio del río Jáchal ni tampoco haciendo uso combinado del agua superficial y del acuífero subterráneo (Guimaraes & Furlotti, 1989).

CONCLUSIONES

Suponiendo que los dos yacimientos mineros extraen el caudal de agua máximo necesario para su funcionamiento en forma constante durante todo el año, se verificará una disminución de 4.47 % en el cauce del río Jáchal, equivalente al agua que habría que entregar para regar una superficie de 728 ha de cultivos según el patrón de uso de suelo agrícola actual. Teniendo en cuenta la ocupación de tierra en producción agrícola, la capacidad de distribución de la red de riego y la oferta hídrica promedio del río Jáchal, esto no generará déficit hídrico en los cultivos.

Como la principal restricción para la agricultura de valle es la capacidad de captación y conducción de agua de la red de riego, se puede afirmar que a mediano plazo no habrá cambios en la superficie cultivada en Jáchal, concluyéndose que el uso conjunto del agua para minería y agricultura puede ser cubierto en años normales por el derrame anual del río Jáchal. Si el análisis se realizara para el mes de diciembre, que con 27.81 Hm³ es el de mayor uso consuntivo considerando la demanda de agua para riego y para minería, tampoco habría déficit hídrico para riego ya que el promedio de caudales de la serie para este mes es de 41.8 Hm³.

Si bien en un año con bajas precipitaciones en cordillera se puede contar con la reserva del dique Cuesta del Viento, en caso que el ciclo hidrológico seco se extendiese por más de cuatro años se debería tener en cuenta medidas para asegurar la provisión de agua para los cultivos de Jáchal.

REFERENCIAS

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M., 1998: *Crop evapotranspiration. Guideline for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Roma, 301 pp.

APN, 2008: *Plan de Manejo del Parque Nacional San Guillermo y Propuesta de Manejo de la Reserva de Biosfera San Guillermo*. Administración de Parques Nacionales. Buenos Aires, 167pp.

Aubone, G.R., 1934: *Censo Agrícola. Estadísticas e informaciones de la provincia de San Juan*. Buenos Aires, 128pp.

BEMSA, 2004: "Descripción del proyecto". En: *Proyecto Pascua Lama. Texto ordenado del informe de impacto ambiental*. Volumen III, Sección 3.0. Knight Piésold Consulting, Barrick Exploraciones Mineras SA (BEMSA). San Juan, 189pp.

Bernstein, L.; Francois, L.E., 1973: "Leaching requirement studies: Sensitivity of alfalfa to salinity of irrigation and drainage water". *Soil Science Society of America Journal* 37, 931-943

Castro, T. S., 1990: *Evaporación real de la vid*. Informe de Plan de Trabajo N° 7251. INTA, EEA San Juan (inédito).

Castro, T.S.; Gil, P.N.; Bocelli, J.A., 1984: *La salinidad de los suelos de Jáchal*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA San Juan. San Juan, sin paginar.

CFI, 1962: *Recursos hidráulicos superficiales*. Volumen 1. Serie Evaluación de los Recursos Naturales de Argentina, Tomo IV. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires, 459pp.

CIPCAMI, 2006: *Estudio de líneas de base ambiental Jáchal, Iglesia, Calingasta. Caracterización de aguas naturales. Plan de Muestreo 2004 – 2005*.

- Secretaría de Estado de Minería. Provincia de San Juan, sin paginar.
- Cornejo, R.; Silva, S., 2000: *Características climáticas de Jáchal*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA San Juan. San Juan, 13pp.
- Departamento de Hidráulica, 2009: *Aforo de ríos. Cuenca del río Jáchal y del río Blanco*. Gobierno de la Provincia de San Juan. San Juan, 2pp.
- Departamento de Hidráulica, 2007: *Relevamiento agrícola en la provincia de San Juan. Ciclo 2006-2007*. Gobierno de la Provincia de San Juan. San Juan, 39pp
- Departamento de Minería, 2003: *Proyecto Veladero*. Subsecretaría de Minería. Provincia de San Juan, sin paginar.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W.O., 1976: *Las necesidades de agua de los cultivos*. Estudios FAO: Riego y Drenaje, 24. Roma, 194 pp.
- Fernández, H.; Menna, Z.; Orellano, J., 2006: *Impacto Hidrológico Proyectos "Veladero" y "Pascua Lama"*. San Juan, Argentina. Instituto de Investigaciones Hidráulicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan. San Juan, 39pp.
- Guimaraes, R.; Furlotti, R., 1989: *Evaluación de la cuenca subterránea de los valles de Jáchal y Huaco. Año 1989*. Informe Técnico 121. Centro Regional de Agua Subterránea. San Juan, 11pp y anexos.
- Groeber, P., 1932: "Descripción geográfica de la alta cordillera de Rodeo y Jáchal". *Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos*, tomo IV, 9-18.
- Heinsheimer, G., 1948: "On the relation of precipitation accumulation and melting of snow to the Stream flow in the San Juan River (Argentina)". *Asamblea General de la Association Internationale d'Hydrologie Scientifique*. Tomo II. Oslo, 101-108.
- INDEC, 2009: *Estadísticas sobre minerales y rocas de aplicación*. Base de datos electrónica. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos <<http://www.indec.mecon.ar/>>
- INA, 1998: *Mapa hidrogeológico de la provincial de San Juan*. Un mapa en una hoja, escala 1:500.000. Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos, Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires.
- Jensen, M.E.; Burman, R.D.; Allen, R.G., 1990: *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manual N° 70*. American Society of Civil Engineers. New Cork, 332 pp.
- Jones, M. 2006: "Modelo hidrológico de la Cuenca del río de las Taguas Superior". En: *Proyecto Pascua Lama. Texto ordenado del informe de impacto ambiental*. Volumen X, apéndice TO41-1. Knight Piésold Consulting. San Juan, 46pp.
- Korte, F.; Coulston, F., 1995: "From Single-Substance Evaluation to Ecological Process Concept: The Dilemma of Processing Gold with Cyanide". *Ecotoxicology and Environmental Safety* 32, 96-101.
- Kumah, A., 2006: "Sustainability and gold mining in the developing world". *Journal of Cleaner Production* 14, 315-326.
- Logsdon, M.J.; Hagelstein, K.; Mudder, T.I., 2001: *El manejo del cianuro en la extracción de oro*. The International Council on Metals and the Environment. Ontario, 47pp.
- Lohn, P.; García, E., 1983: *Análisis e interpretación preliminar de la información química e hidrológica obtenida por la provincia en la cuenca del río Jáchal*. Documento D-57. Centro Regional de Agua Subterránea. San Juan, 92pp y anexos.
- McMahon, G.; Remy, F., 2003: "Principales observaciones y recomendaciones: una síntesis de los estudios de caso". En: *Grandes minas y la comunidad* (McMahon, G.; Remy, F., editores). Banco Mundial, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo y Alfaomega Colombiana S.A. Bogotá, 1-38.
- Miranda, O., 2008: "Factores que inciden en la elección de tecnología para riego en la agricultura argentina". En: *IV Jornadas de Actualización en Riego y Fertirriego*. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Agronomía. Mendoza, 5 y 6 de diciembre, 11pp.
- Miranda, O.; Degiorgis, A., 2006: Dictamen Técnico del Informe de Impacto Ambiental del Proyecto Minero Pascua Lama (Barrick Exploraciones Argentinas SA/Exploraciones Mineras Argentinas SA). INTA EEA San Juan, San Juan. 44pp y anexos.
- Moori Koenig, V.; Bianco, C., 2003: Industria Minera. Estudio 1.EG.33.6. Préstamo BID 925/OC-AR. Oficina de la CEPAL-ONU. Buenos Aires, 139 pp.
- Morábito, J.A.; Salatino, S.; Mirabile, C., 1999: "El riego del olivo". En: *4to Simposio Internacional de Olivicultura*. Arauco 99, Mendoza. 29 pp.
- Moreno, L.; Neretnieks, I., 2006: "Long-term environmental impact of tailing deposits". *Hydrometallurgy* 83, 176-183.
- Mudd, G.M., 2007a: "Gold mining in Australia: linking historical trends and environmental an resource sustainability". *Environmental Science & Policy* 10, 629-644.
- Mudd, G.M., 2007b: Global trends in gold mining: Towards quantifying environmental and resource sustainability?. *Resources Policy* 32, 42-56.
- Salvioli, G., 2007: "Hidrometeorología". En: *Diversidad Biológica y Cultural de los Altos Andes Centrales de Argentina. Línea de Base de la Reserva de Biosfera San Guillermo, San Juan*. (Martínez Carretero, E., Ed). Editorial Fundación Universidad Nacional de San Juan. Impreso en Inca Editorial y Talleres Gráficos, Cooperativa de Trabajo Ltda. Mendoza, 63-111.

SANINDTEC, 1951: *Estudios del río Jáchal*. Informe 5, Tomo II. Agua y Energía Eléctrica. Buenos Aires, 179pp.

SANINDTEC, 1950: *Estudios del río Jáchal*. Informe 2. Agua y Energía Eléctrica. Buenos Aires, 147pp.

SMN, 2007: *Estación Meteorológica 305 (Jáchal): evaporación (1947-1982), precipitaciones (1961-2006) y temperaturas máximas y mínimas (1961-2006)*. Ministerio de Defensa, Secretaría de Planeamiento, Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires, documento electrónico.

UNSJ, 2002: *Análisis de los impactos sociales, culturales y ambientales de la minería*. Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería, Instituto de Investigaciones Hidráulicas. San Juan, 166pp.

Richards, L.A., 1954: *Saline and Alkali Soils. Agricultural Handbook N° 60*. United States Department of Agriculture. Washington, 160 pp.

WMCL, 2006: Lama-Veladero. Línea base hidrológica e hidroquímica distrital. En: *Proyecto Pascua Lama. Texto ordenado del informe de impacto ambiental*. Volumen VII, apéndice TO 2.31-2. Knight Piésold Consulting, Water Managements Consulting Ltda. San Juan, 53pp.

Anexo 1: Jáchal. Valores de las principales variables climáticas utilizadas para calcular las necesidades hídricas de los cultivos de Jáchal. Fuente: elaboración propia según SMN (2007) y Cornejo & Silva (2000)

Variable	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Temp. media (°C)	24.3	22.8	20.4	15.3	12.9	9.0	8.8	10.3	13.2	17.2	20.2	23.0
Temp. máxima media (°C)	31.3	29.7	27.2	23.4	20.2	17.4	17.4	19.1	21.7	25.7	28.6	31.3
Temp. mínima media (°C)	17	16	14	8.1	3.8	0.1	0.0	1.4	4.4	8.8	12.0	16.0
Humedad relativa (%)	51	56	61	64	61	60	55	54	53	47	42	46
Evaporación Tanque "A" (mm/día)	7.8	6.6	5.4	4.0	3.1	2.7	3.5	3.7	4.6	6.1	7.4	8.0
Velocidad viento (km/d)	118	101	81	69	60	70	90	80	96	128	130	143
Precipitación (mm)	38.7	39.4	20.5	8.6	1.5	1.6	1.3	5.7	2.2	3.0	4.4	13.9
Días con precipitación (N°)	5.0	5.3	3.2	3.3	2.3	2.0	2.4	2.5	2.3	1.5	3.0	3.9

Anexo 2: Coeficientes de cultivo utilizados

CULTIVOS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Olivo (1)	0.77	0.77	0.76	0.75	0.73	0.70	0.70	0.71	0.74	0.76	0.77	0.77
Pasturas (2)	1.10	1.05	0.91	0.80				0.20	0.57	0.82	0.98	1.08
Cebolla (3)	0.90						0.60	0.80	0.80	0.80	1.10	1.10
Frutales (3)	1.00	1.00	0.95	0.35						0.40	0.60	0.85
Cereales de verano (2)	0.72								0.55	0.83	0.96	0.92
Cereales de invierno (2)			0.47	0.73	0.93	1.02	1.03	0.94	0.76			
Forestales (2)	0.90	0.80	0.70	0.33	0.33	0.33	0.33	0.37	0.57	0.83	0.88	0.90
Ajo (3)			0.20	0.42	0.48	0.53	0.66	0.9	1.19	1.33	0.60	
Vid (4)	0.95	0.92	0.66	0.25					0.5	0.82	0.88	1.05
Tomate (2)	0.9	0.89	0.8	0.67					0.37	0.60	0.76	0.86
Otros cultivos de verano (2)	0.9	0.89	0.8	0.67					0.37	0.6	0.76	0.86
Otras semillas (3)				0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	0.80	0.80	1.10	0.40
Otros cultivos de invierno (2)			0.18	0.35	0.48	0.52	0.46	0.35	0.2	0.08		
Semilla de cebolla (3)				0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	0.80	0.80	1.10	0.40
Aromáticas (2)				0.18	0.35	0.48	0.52	0.46	0.35	0.20	0.08	
Otros (2)	1.10	1.10	0.90	0.80				0.20	0.60	0.80	1.00	1.10

Fuentes: (1) Morábito et al. 1999; (2) Doorenbos & Pruitt, 1976; (3) Allen et al. 1998; (4) Castro, 1990.