

USO CONSUNTIVO DEL AGUA EN LOS PRINCIPALES CULTIVOS DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO COLORADO, LA PAMPA, ARGENTINA

Alan Villegas Peña^{1*}

Jorge Domínguez²

Liliana Pagliettini³

Gustavo Mozeris⁴

¹Ayudante de primera, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, avillegas@agro.uba.ar

²Profesor adjunto, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, domingue@agro.uba.ar

³Profesor consulto, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, pagliett@agro.uba.ar

⁴Profesor adjunto, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, gusmoz@agro.uba.ar

RESUMEN: En La Argentina se encuentran regiones áridas y semiáridas, donde se realizan actividades agrícolas que son posibles gracias a la disponibilidad de agua para riego. La cuenca media del río Colorado cuenta con infraestructura de riego y áreas cultivables, aún en expansión, como potencial para desarrollarse productivamente; sin embargo, estudios recientes mostraron que el caudal del río está disminuyendo. Por tal motivo, en el presente trabajo se aborda esta problemática desde el enfoque de la Huella Hídrica (HH). El mismo es un indicador de sostenibilidad que permite conocer el volumen de agua dulce apropiado en la producción, además de relacionarlo con los ingresos generados por estos. El objetivo del presente trabajo es “estimar la sostenibilidad económica del uso del agua en los principales cultivos (alfalfa y maíz) de la cuenca media del Río Colorado”. La determinación del consumo de agua a través del enfoque de la Huella Hídrica fue realizada por medio del software CROPWAT, que emplea el método de la FAO Penman-Monteith. Se encontró una huella total de 1163,00 y 1124,65 m³.t⁻¹ para el cultivo de alfalfa y maíz respectivamente. Dichos valores, considerados elevados, podrían deberse principalmente a los bajos rendimientos y a las características climáticas desérticas. Se determinó la Productividad Aparente del Agua (PAA), determinándose valores de 0,13 y 0,11 US\$.m⁻³ para el cultivo de maíz y alfalfa respectivamente. El alto aporte del agua azul muestra la relevancia que tiene el agua de riego en regiones semiáridas, donde la fragilidad del sistema y el uso intensivo de este recurso lo convierten en eje estructurador de la producción. No obstante, se debe resaltar que la sostenibilidad económica, al igual que la ambiental, deben ser comprendidas como medios, más que como fines en la gestión de los recursos hídricos.

Palabras clave: Huella Hídrica, Productividad Aparente del Agua, Eficiencia hídrica.

CONSUMPTIVE USE OF WATER IN THE MAIN CROPS OF THE MIDDLE BASIN OF THE COLORADO RIVER, LA PAMPA, ARGENTINA

ABSTRACT: In Argentina there are arid and semi-arid regions, where agricultural activities are possible thanks to the availability of water for irrigation. The middle basin of the Colorado River has irrigation infrastructure and arable areas, still expanding, as potential to develop productively; however, recent studies have shown that the river's flow is decreasing. For this reason, in the present work this problem is addressed from the water footprint approach. This is a sustainability indicator that allows knowing the appropriate volume of fresh water in production, in addition to relating it to the income generated by these. The objective of this work is "to estimate the economic sustainability of water use in the main crops (alfalfa and corn) of the middle basin of the Colorado River". The determination of the water consumption through the Water Footprint was made using the CROPWAT software, which uses the FAO Penman-Monteith method. A total footprint of 1163,00 and 1124,65 m³.t⁻¹ was found for the cultivation of alfalfa and corn, respectively. These values, considered high, could be mainly due to low yields and desert climatic characteristics. The apparent productivity of water was determined. Values 0.13 and 0.11 US\$.m³ were obtained for the cultivation of corn and alfalfa respectively. The high contribution of blue water shows the relevance of irrigation water in semi-arid regions, where the fragility of the system and the intensive use of this resource make it a structuring axis of production. Nevertheless, it should be emphasized that economic sustainability, as well as environmental sustainability, must be understood as means, rather than as ends, in the management of water resources.

Keywords: Water Footprint, Apparent Water Productivity, Water Efficiency.

INTRODUCCIÓN

En la Argentina se encuentran regiones áridas y semiáridas, donde se realizan actividades agrícolas que son posibles gracias a la disponibilidad de agua para riego. Es así que, en estos lugares, donde el recurso hídrico es relativamente escaso o sus producciones son altamente demandantes en su uso, surgen intereses por el ordenamiento de la producción en función de una eficiente asignación y uso sustentable del recurso entre los distintos sectores de la economía (Manazza, 2012). Según Pagliettini et al. (2019) en los años recientes ha comenzado a despertarse preocupación por el uso del agua con criterios de eficiencia, siendo habitual priorizar el uso del agua en aquellas actividades de mayor productividad. La FAO (2002) afirma:

En las regiones áridas y semiáridas, el agua constituye el principal factor limitante al desarrollo agrícola, y el riego es la práctica mediante la cual se satisfacen las necesidades de agua de los cultivos. La agricultura bajo riego resulta uno de los mayores consumidores de agua dulce en el mundo. Esto ha generado, en situaciones de limitaciones de recursos hídricos, severos conflictos de uso, al entrar en juego las demandas de agua para abastecimiento humano, hidroeléctrico e industrial, entre otros. El desafío actual es aumentar la eficiencia en el uso del agua, lo que conlleva a producir más alimentos utilizando menos agua". (Citado en Aumassanne, 2019, p.112)

Es así que, durante las últimas décadas, la Huella Hídrica (HH) ha tomado relevancia como indicador en la gestión de los recursos hídricos, considerada por Hoekstra et al. (2011) como un indicador integral de la apropiación de los recursos de agua dulce, junto a la medición tradicional y restringida de la extracción de agua. Por lo tanto, la HH de un producto puede ser medida en unidades de volumen (litros o metros cúbicos) por unidad de producto (kilogramos, quintales o toneladas).

Dicho indicador puede expresarse en dimensiones espaciales y temporales, pudiéndose medir para productos, individuos, comunidades, cuencas y países en un determinado lapso de tiempo. El mismo está

integrado por tres componentes (colores) que dependen del origen del agua: a) La HH verde, representa el consumo de agua de lluvia en la medida en que no se convierta en escorrentía; b) La HH azul, se refiere al consumo de agua superficial y subterránea; c) La HH gris, definida como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de un contaminante dado y llevarlo a concentraciones admitidas en las normas de calidad del sitio donde se realiza el estudio (Hoekstra et al. 2011).

Esta investigación centra su análisis en estimar la apropiación humana de agua dulce que viene de la lluvia, el “uso consuntivo del agua”¹, que en la interfase suelo vegetación da origen al agua verde y agua azul. Estos componentes permiten incorporar un elemento importante de diseño de política hídrica, dada la diferente valoración económica de los orígenes del agua consumida en la producción primaria.

Analizada la HH desde una perspectiva económica, Llop et al. (2014) muestran que dicho indicador presenta limitantes conceptuales para abordar la temática de la gestión del recurso, principalmente por: a) omitir que la dotación de factores de producción afecta la productividad del agua, al considerar al agua como el único factor variable; b) suponer que todos los tipos de agua (azul, verde o gris) tienen características tales que es lícito sumarlas, lo cual no podría decir mucho en términos del valor socioeconómico; c) ignorar los determinantes dinámicos del valor del agua, puesto que al ser un indicador estático no considera el aumento del valor del agua en relación a los bienes producibles en el tiempo; d) ignorar la existencia del costo de oportunidad del agua.

Autores como Pagliettini et al. (2019) y Zárate Torres et al. (2017) al tomar en cuenta la utilidad del indicador mencionan que este debería de ser un punto de referencia, entre muchas variables, para analizar el consumo de agua a escala temporal y espacial. En consonancia con lo anterior, Abraham et al. (2005) ratifican que el recurso hídrico se debe evaluar tomando en cuenta dimensiones como la disponibilidad y calidad, el acceso, el uso asignado, la eficiencia de empleo y el impacto que genera en el ambiente. Por lo tanto, se advierte que para una gestión integral y apropiada de los recursos hídricos no basta con conocer dicho ratio (indicador de eficiencia del uso del agua), pero no por eso deja de ser importante, como un elemento más, en la planificación del uso del agua.

Con el fin de obtener indicadores económicos, Samoral et al. (2011) facilitan algunos avances, dentro del marco de la huella hídrica extendida², al introducir el concepto de Productividad Aparente del Agua (PAA) (Apparent Water Productivity - AWP) para estimar el valor de producción por unidad de agua consumida. Aunque dichos autores enmarcan este indicador en el campo de la economía aplicada a la valoración de los recursos hídricos, el mismo, solo debiera ser tomado en cuenta como una medida de eficiencia hídrica ya que no refleja el valor del agua, sino el valor de la producción (precio de mercado del producto) por unidad de volumen de agua consumida. Para Zárate Torres et al. (2017) este indicador permite estimar los ingresos económicos por metro cúbico de agua consumida y es la división del precio de mercado brindado al productor (y no al consumidor, con el fin de eliminar el valor añadido debido a la comercialización y procesos industriales) entre los componentes de la huella hídrica, ya sea azul o verde.

Más que analizar si la huella hídrica es sostenible o insostenible económicamente en una cuenca, la experiencia muestra que el análisis de sostenibilidad económica de la huella hídrica permite comparar la eficiencia económica del uso del agua entre las diferentes actividades productivas de la cuenca, y por tanto, complementa el análisis de sostenibilidad y apoya a la formulación de estrategias. (Zárate Torres et al., 2017, p.41)

La cuenca argentina del río Colorado en la provincia de La Pampa posee condiciones climáticas semidesérticas, pero cuenta con potencialidad de utilización hídrica (infraestructura, áreas de ampliación) para el desarrollo productivo. Mariano (2016) menciona que estudios recientes han revelado que el caudal de la cuenca ha disminuido y puede que la tendencia se extienda a lo largo de los próximos años. Consecuencia de lo anterior, se ve reflejado en las vedas de riego aplicadas por las autoridades hídricas en los últimos años:

Todos los sistemas de riego distribuidos a lo largo de la Cuenca del Río Colorado, se encuentran en veda de riego. Este esfuerzo inédito es compartido por todas las jurisdicciones que integran la cuenca en procura de conservar el agua y el ambiente de los usuarios y del propio sistema del Colorado en esta crisis hídrica sin precedentes. (COIRCO, 2020)

Tomando en cuenta esta problemática y sumando que “en esta porción del río es donde se encuentra la mayor superficie de valle utilizable para agricultura de regadío con potencial de expansión” (Michelini, 2008, p.239). Resulta necesario conocer la eficiencia en el uso del agua de los diferentes cultivos, para contribuir a una mejor gestión de los recursos hídricos.

¹ Uso consuntivo del agua se entiende aquel uso en el cual el agua ya no se encuentra disponible para otros usos (Zárate Torres et al., 2017)

² Desarrollaron indicadores que permiten el análisis cuantitativo y económico de los recursos hídricos

En 1960, la comisión técnica interprovincial del Río Colorado elaboró el Programa Provincial de Aprovechamiento del Río Colorado, correspondiéndole a La Pampa 85.000 hectáreas para riego (Dillon, 2013; Michelini, 2008), de los cuales el acuerdo interprovincial de distribución de cupos de agua provenientes del río Colorado asignó al Sistema de Aprovechamiento Agrícola (SAA) El Sauzal y al Sistema de Aprovechamiento Múltiple (SAM) 25 de Mayo 4.000 y 46.000 hectáreas de tierras regables respectivamente.

Actualmente, como muestra la Figura 1, el espacio de regadío está compuesto por: a) El Sauzal y su Ampliación, áreas totalmente ocupadas y en la que tuvieron lugar las actividades frutihortícolas de la zona (Michelini, 2008); b) Las Secciones I, II y V del SAM 25 de Mayo, áreas parcialmente ocupadas, donde la producción está diversificada con predominio de cultivos forrajeros y maíz (Aumassanne, 2019).

Por otro lado, gran parte de las secciones III y IV proyectadas para riego en el SAM 25 de Mayo, se superponen con el yacimiento petrolero El Medanita, lo cual constituye un indicio de que el proyecto de avance con cultivos sobre estas secciones ha quedado definitivamente obstruido (Michelini, 2008).

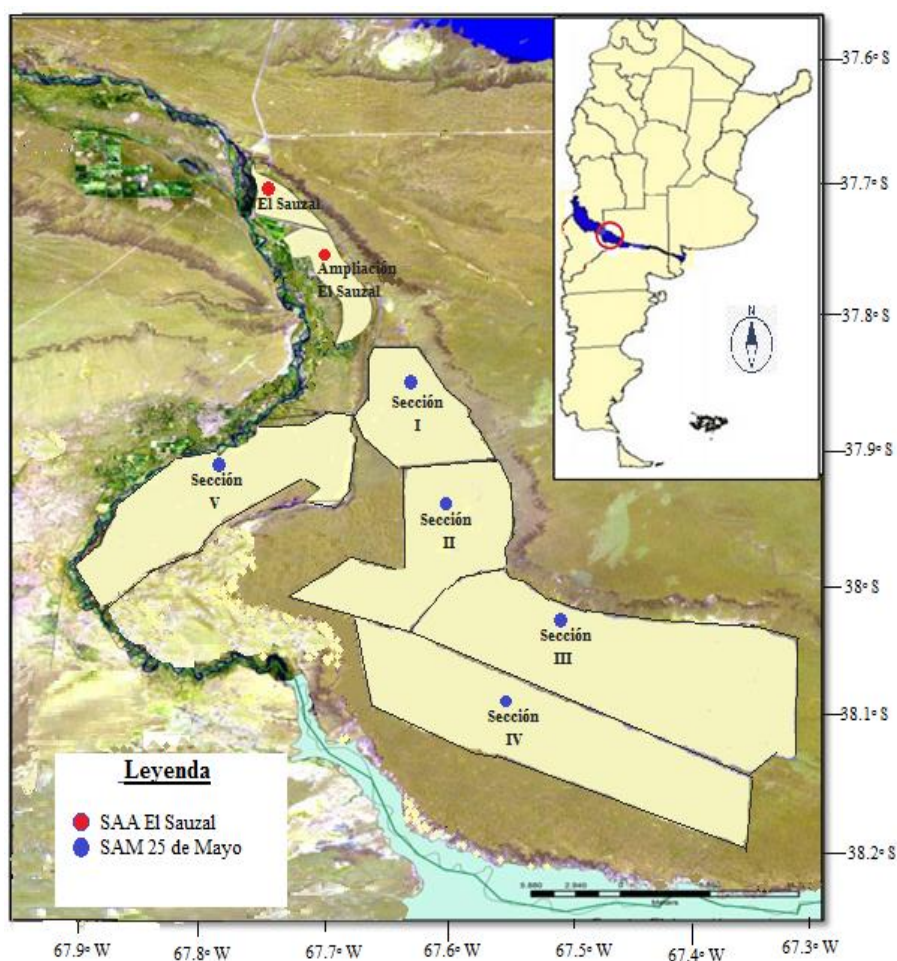


Figura 1. Ubicación geográfica del SAA El Sauzal y al SAM 25 de Mayo

La alfalfa es una especie forrajera de excelente calidad nutritiva con altos rendimientos de materia seca por hectárea (11.000 kg MS/ha), lo cual, ratifica su alta demanda hídrica (Basigalup y Rossanigo, 2007). A su vez, es el principal cultivo en la sección I del SAM 25 de Mayo, aunque se presenta también en la sección V (Región Empresa Periodística, s.f.). Se comercializa principalmente como heno, y su presentación para la venta fue tradicionalmente bajo la forma de rollos o fardos (20-25 kg), pero últimamente se ven otras presentaciones donde sobresale el megafardo, el cual agiliza la operación de transporte y hace más eficiente el costo del flete, debido al mejor aprovechamiento espacial en el acoplado.

La producción de maíz se encuentra principalmente en las secciones I y V, y se destina tanto para grano como para picado para el engorde del ganado (Aumassanne, 2019). El principal destino comercial del grano de maíz se encuentra al sur del Colorado (Región Empresa Periodística, s.f.). Según las estimaciones agrícolas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca se encontraron rendimientos promedios de las

últimas cinco campañas (hasta la campaña 2018/19) de 6,8 t.ha⁻¹ para la Provincia de La Pampa (MAGyP, 2019). Por otro lado, Aumassanne presenta rendimientos promedios de 7.3 t.ha⁻¹ como promedio de tres campañas (hasta la campaña 2016/17) para el SAM de 25 de Mayo (Aumassanne, 2019).

El objetivo del presente trabajo es “estimar la sostenibilidad económica del uso del agua en los cultivos de alfalfa y maíz en la cuenca media del Río Colorado (25 de Mayo, La Pampa)”. Para alcanzar el mismo, se procedió a estimar el consumo de agua en los cultivos de alfalfa y maíz, a través del indicador HH de un producto (m³.t⁻¹), y a determinar la PAA para los cultivos de alfalfa y maíz, en el SAM 25 de Mayo.

PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

El área del presente estudio comprende al SAM 25 de Mayo. Según la Cámara de Productores bajo Riego (2015), el mismo presenta, tomando en cuenta la superficie ocupada (has), a la alfalfa y al maíz como los cultivos más importantes después de las pasturas asociadas (citado en Aumassanne, 2019).

Para el cálculo de la HH en dichos cultivos, previamente, se determinaron los Requerimientos de Agua del Cultivo (RAC), los que equivalen a la cantidad de agua necesaria para el crecimiento y desarrollo de la planta. Dichos requerimientos se calcularon por la acumulación de datos de evapotranspiración diaria del cultivo a lo largo de dichos periodos. Para su determinación, se utilizó el programa CROPWAT 8.0 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), tal como lo recomienda Hoekstra et al. (2011). Dicho programa, en esencia, utiliza información climática, edáfica y fenológica, y está basado en las metodologías descritas en el cuaderno técnico 56 de la misma organización, que hace referencia al riego y drenaje (FAO, 2006).

Los datos meteorológicos se muestran en la Tabla 1, los cuales fueron relevados por la Estación Meteorológica de Catriel (Provincia de Río Negro), ubicada en la orilla opuesta del Río Colorado. De allí se obtuvieron series que abarcan los años 2010-2018. Si bien la metodología recomienda la utilización de una serie de 20 años, solo se tomaron 10 debido a algunos vacíos que presentaron los datos meteorológicos anteriores a este. Por falta de datos sobre la humedad relativa, se utilizó información de la base de datos de CLIMWAT 2.0 para CROPWAT 8.0. Obtenida de la Estación Meteorológica de Cipolletti, Provincia de Río Negro, la más cercana que ofrecía el programa.

Tabla 1. Información meteorológica (período 2010-2018).

Meses	Temperatura media mensual (°C)	Temperatura mínima media mensual (°C)	Temperatura máxima media mensual (°C)	Precipitación media mensual (mm)	Velocidad media del viento (km .h ⁻¹)	*Humedad relativa (%)
Enero	24,8	16,3	33,1	33	4,4	52
Febrero	23,3	15,3	31,3	18	3,3	57
Marzo	20,1	12,2	27,9	23	3,0	64
Abril	14,8	7,7	22,0	45	1,7	72
Mayo	10,2	4,6	16,0	11	1,3	73
Junio	8,0	1,7	14,5	6	1,1	78
Julio	8,1	0,9	13,0	12	2,4	80
Agosto	9,8	2,8	17,2	8	3,5	69
Septiembre	12,9	5,5	20,7	21	4,1	50
Octubre	15,9	8,6	22,7	40	3,8	48
Noviembre	20,1	11,7	28,0	22	4,8	46
Diciembre	23,5	14,1	31,5	15	4,6	45
Promedio	16,0	8,4	23,2	21,17	3,2	61

Fuente: Estación meteorológica Catriel.

*Humedad relativa: Estación Meteorológica Cipolletti.

El coeficiente de los cultivos (Kc) y las fases de crecimiento fueron obtenidos de trabajos realizados en la misma región por Fontanella y Aumassanne (2015) como se muestra en la Tabla 2. En el caso de la fracción de agotamiento crítico y el factor de respuesta de la productividad del cultivo fueron tomados del Cuaderno Técnico 56 (FAO, 2006).

Tabla 2. Coeficiente de los cultivos y su duración por etapa de crecimiento

Etapa de crecimiento	Inicial		Desarrollo		Media		Final	
	Alfalfa	Maíz	Alfalfa	Maíz	Alfalfa	Maíz	Alfalfa	Maíz
Cultivos	Alfalfa	Maíz	Alfalfa	Maíz	Alfalfa	Maíz	Alfalfa	Maíz
Coeficiente del cultivo	0,65	0,65	1,23	1,24	1,23	1,24	1,2	0,35
Duración (días)	10	30	40	40	150	50	35	30

En lo que respecta a la información del suelo, se consideraron parámetros para suelos franco arenosos como se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros del suelo para la determinación del uso consuntivo de agua.

Parámetros	Valores
Humedad de suelo disponible total (mm.m-1)	120
Tasa máxima de infiltración de la precipitación (mm.día-1)	250
Profundidad radicular máxima (cm)	140
Agotamiento inicial de humedad de suelo (% de ADT)	10
Humedad de suelo inicialmente disponible (mm.m-1)	108

Fuente: Aumassanne (2019) y FAO (2006)

La evapotranspiración (ET) y la HH verde se calculó mediante las siguientes formulas:

$$ET_{verde} (m^3 \cdot ha^{-1}) = \text{mínimo} (ET_c, P_{pfe}) * 10$$

$$HH_{verde} (m^3 \cdot t^{-1}) = ET_{verde} / \text{Rendimiento}$$

Dónde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm)

P_{pfe} = Precipitación efectiva (mm)

La evapotranspiración y la HH azul se calculó mediante las siguientes formulas:

$$ET_{azul} (m^3 \cdot ha^{-1}) = \text{máximo} (0, \text{Irrigación efectiva}) * 10$$

$$HH_{azul} (m^3 \cdot t^{-1}) = ET_{azul} / \text{Rendimiento} (t \cdot ha^{-1})$$

Dónde:

Irrigación efectiva (mm) = Requerimiento hídrico del cultivo (mm) - P_{pfe} (mm).

La HH para los cultivos se obtuvieron de la siguiente adición:

$$HH (m^3 \cdot t^{-1}) = HH_{verde} + HH_{azul}$$

Para determinar la PAA se utilizaron las recomendaciones de Salmoral et al. (2011) y Zárate Torres et al. (2017), las cuales permiten estimar los ingresos económicos por metro cúbico de agua consumida.

$$PAA_{verde} (US\$.m^{-3}) = \text{Precio del producto} (US\$.t^{-1}) / HH_{verde} (m^3 \cdot t^{-1})$$

$$PAA_{azul} (US\$.m^{-3}) = \text{Precio del producto} (US\$.t^{-1}) / HH_{azul} (m^3 \cdot t^{-1})$$

Para estimar el precio de los productos, se tomó como referencia los precios históricos de los últimos 5 años, hasta el 2018, de las Cámaras Arbitrales de la Bolsa de Cereales para el caso del maíz y de la Cámara Argentina de la Alfalfa (CAA) para el caso de la alfalfa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 4 muestra la HH para el cultivo de alfalfa y maíz, así como las variables que permitieron su cálculo y el de sus componentes (HH azul y verde).

Tabla 4. Principales variables para el cálculo de la huella hídrica en el cultivo de alfalfa y maíz

Descripción	Alfalfa		Maíz	
	verde	azul	verde	azul
Evapotranspiración de agua ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	2.187,00	10.606,00	1.777,00	6.433,00
Rendimiento promedio del cultivo ($t \cdot ha^{-1}$)	11,00	11,00	7,30	7,30
HH por componente ($m^3 \cdot t^{-1}$)	198,82	964,18	243,42	881,23
Participación (%)	17,00	83,00	22,00	78,00
HH total ($m^3 \cdot t^{-1}$)	1.163,00		1.124,66	

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de la alfalfa se encontró una HH total de $1.163 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, con aportes de $198,82 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ (17%) y $964,18 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ (83%) correspondiente a la HH verde y azul respectivamente para el periodo 2014-2018. Aumassanne (2019) estudiando la misma zona, encontró una HH promedio relativamente menor ($1.003 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$) para las campañas 2013/14, 2014/15, 2015/16. Dichas diferencias pueden ser explicadas, principalmente, por los diferentes rendimientos utilizados, así como por los diferentes periodos analizados. Por otro lado, se debe resaltar que los resultados presentados por Aumassanne (2019) presentó una participación porcentual parecida a esta investigación respecto a los componentes azul y verde.

Con respecto al maíz, se encontró una HH total de $1.124,65 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, con aportes de $243,42 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ (21,64%) y $881,23 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ (78,36%) correspondiente a la HH verde y azul respectivamente para un periodo de 5 años (2014-2018). Mekonnen & Hoekstra (2011) presentan valores promedios a nivel mundial de $889 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ para el periodo 1996-2005, bajo condiciones de riego, con un aporte mayoritario del componente verde. Por otro lado, Aumassanne (2019) estudiando la misma área y, tomando tres campañas (hasta la campaña 2015/16) encontró una HH promedio de $986,6 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, advirtiendo que valores por encima de la media mundial podrían deberse a los bajos rendimientos obtenidos y a las características climáticas desérticas (bajas precipitaciones y alta evapotranspiración del cultivo). Si se comparan los resultados con los obtenidos en regiones con excedente hídrico, donde el maíz se produce en condiciones de secano, se observa un aumento de la HH del cultivo, así como un menor rendimiento. Es así que, en el caso de los departamentos de Entre Ríos, Pagliettini et al. (2019) encontraron una HH promedio de $1.334,32 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ para el periodo 2011-2018, con un valor mínimo de $1.073 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ para el departamento de Victoria y un máximo de $1.465 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ para el departamento de Colón. Dichos resultados, son coincidentes con lo que señalan Mekonnen & Hoekstra (2011), quienes resaltan que, para la mayoría de los cultivos, el consumo medio mundial de agua (HH azul más verde) por tonelada de cultivo fue menor para cultivos de regadío que para cultivos de secano.

Los resultados de esta investigación muestran la relevancia que tiene el agua para riego (componente azul) en las regiones áridas y semiáridas, ya que dicho cultivo solo es posible gracias a la misma. Por lo tanto, se pone de manifiesto la importancia de la HH en la gestión de los recursos hídricos.

Los resultados de la productividad aparente del agua se muestran en la **Tabla 5**. Se resalta que la forma de cálculo de la PAA verde es similar a la PAA azul. La diferencia radica en que la PAA verde hace referencia a un recurso que no es cobrado por su apropiación y que está disponible en el medio ambiente: Es decir, no tiene un costo económico real, pero implica un consumo hídrico que genera ganancia económica por su apropiación (Arévalo et al., 2013).

Tabla 5. Productividad aparente del agua (PAA) en el cultivo de alfalfa y maíz

Descripción	Alfalfa			Maíz		
	Verde	azul	total	verde	azul	total
Huella hídrica ($\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$)	198,82	964,18	1.163,00	243,42	881,23	1.124,66
Precio ($\text{US\$} \cdot \text{t}^{-1}$)	129,78	129,78	129,78	145,44	145,44	145,00
PAA ($\text{US\\$} \cdot \text{m}^{-3}$)	0,65	0,13	0,11	0,60	0,17	0,13

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la alfalfa, el ingreso que se genera es de US\$ 0,11 por metro cúbico de agua apropiada. Y si se toma en cuenta los componentes de la HH se generan US\$ 0,65 y US\$ 0,13 por metro cúbico de agua verde y azul respectivamente. Ríos Flores et al. (2015) estudiando la HH azul en la Comarca Lagunera en México (riego por bombeo), para el año 2012, encontraron ingresos brutos muy parecidos de US\$ 0,11 por metro cúbico de agua para el mismo cultivo. A su vez, dichos autores remarcan que los resultados obtenidos resultan ineficientes comparados con las mayores productividades obtenidas en otras regiones.

Tomando en cuenta la PAA total en el cultivo de maíz, el ingreso que se genera es de US\$ 0,13 por metro cúbico de agua apropiada. Pagliettini et al. (2019) estudiando el mismo cultivo, en condiciones de secano en los departamentos de Entre Ríos, encontraron un ingreso promedio relativamente menor de US\$ 0,116 por metro cúbico de agua, para el periodo 2011-2018. Por otro lado, también se presentan resultados para la PAA verde, indicando que, por cada metro cúbico de agua de lluvia que no se convirtió en escorrentía se generan US\$ 0,60 (dólares) de ingresos. Y si el origen del agua fueran fuentes superficiales y subterráneas (riego) la PAA sería de US\$ 0,17. Ríos Flores et al. (2015) estudiando la HH azul en la Comarca Lagunera en México (riego por bombeo), para el año 2012, encontraron ingresos brutos de US\$ 0,22 por metro cúbico de agua para el cultivo de maíz forrajero. Se resalta que todo resultado de PAA debe ser interpretado de acuerdo a las diferentes magnitudes de las variables utilizadas,

principalmente los precios del maíz y de la alfalfa, y los diferentes periodos de tiempo analizados.

Aunque dichos resultados muestran una PAA verde mayor a la PAA azul, los mismos no son comparables debido a los desiguales aportes de los componentes de la HH. Se destaca, por lo tanto, su utilidad como indicador para comparar entre diferentes actividades productivas, más no entre los diferentes componentes (colores) de un mismo cultivo.

Finalmente hay que resaltar que, si se toma en cuenta que en las zonas áridas y semiáridas se presenta marcada escasez de agua verde, y que la producción solo es posible gracias al consumo de agua azul, los resultados obtenidos son coherentes.

CONCLUSIONES

La cuenca media del río Colorado presenta, en comparación con otras regiones de la provincia de La Pampa, un interesante potencial de expansión, aunque estudios recientes revelaron que el caudal del río Colorado ha disminuido en los últimos años. La estimación de la HH constituye, por lo tanto, un aporte para colaborar en la gestión hídrica actual. La buena administración del recurso hídrico es uno de los factores esenciales para la sostenibilidad del sector agrícola, sobre todo en las actividades productivas bajo riego que se desarrollan en el SAM 25 de Mayo.

Los valores obtenidos de HH y la PAA para los principales cultivos de la cuenca media del río Colorado, constituyen un punto de referencia para el análisis de la sostenibilidad territorial y económica de los mismos.

Con respecto a la HH, los valores promedios obtenidos ($1.163,00 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ y $1.124,66 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ para el cultivo de alfalfa y maíz respectivamente) correspondientes a 5 años (2014-2018), se consideran altos en comparación con otros trabajos realizados bajo condiciones de riego. Los mayores valores de la HH de la alfalfa y maíz encontrados en el presente trabajo, con respecto a otros estudios locales, podrían estar explicados por las diferentes fuentes de las variables utilizadas para su cálculo, así como los diferentes periodos evaluados. Por otro lado, las diferencias con los promedios globales se estima que se deben, además de lo anterior, a los bajos rendimientos y a las características climáticas desérticas de la zona.

Si bien no se encontraron diferencias significativas al comparar la apropiación total de agua de dichos cultivos entre sí, se destaca la relevancia que adquiere el manejo del agua para riego, en una región semiárida con escasa precipitación y con un creciente deterioro de su recurso hídrico.

Debido a la importancia de la HH azul en la zona, se deja evidencia que, el consumo medio de agua (HH azul más verde) por tonelada de cultivo es menor para cultivos de regadío que para cultivos de secano, debido a que la disposición de agua en tiempo y en forma aumenta los rendimientos.

Con respecto a la PAA, se encontró una eficiencia ligeramente superior para el cultivo de maíz con respecto al cultivo de alfalfa (0,13 y 0,11 US\$.m⁻³ respectivamente). La diferencia se amplía si se toma en cuenta el agua para riego, componente azul (0,17 y 0,13 US\$.m⁻³). Estos resultados se deben, principalmente, al mayor precio por tonelada que presentó el maíz. Se resalta, que las diferentes PAA (verde, azul y total) de un mismo cultivo no son comparables entre sí, y que su utilidad radica, básicamente, en cotejar diferentes actividades productivas, además de poderse utilizar también en la comparación de cultivos iguales, pero con diferentes ubicaciones. Por lo tanto, debe ser tomado en cuenta como un indicador complementario de eficiencia económica enmarcado en la HH, ya que no es válido tomar decisiones de asignación del recurso, sin tener en cuenta todos los factores de la producción, así como sus costos involucrados.

Finalmente, se debe tener en cuenta que la sostenibilidad económica es solo un factor en la toma de decisiones, al igual que la ambiental, pero ambas pueden ser concebidas como medios, más que como fines en sí mismos, que aportan al desarrollo sostenible de la región bajo estudio.

REFERENCIAS

Abraham, E., Fusari, M. y Salomon, M. (2005). Índice de pobreza hídrica. Adaptación y ajuste metodológico a nivel local. Estudio de caso: departamento de Lavalle, Mendoza, Argentina. En Fernández Cirelli, A. y Abraham, E. M. (Ed.), *Uso y gestión del agua en tierras secas. El agua en Iberoamérica*, Mendoza. CYTED. Mendoza, Argentina. Recuperado de CONICET: https://www.mendoza-conicet.gov.ar/ladyot/publicaciones/cyted_2005/PDF/articulos/02_IPH_pdf

Arévalo, D., Campuzano, C., Builes, E., Moreno, S., Rodríguez, C., Cardona, N., Guzmán, A., López, C., Restrepo, C., González, J., Herrera, E., García, J., De los Ríos, J., y Monsalve, M. (2013). Evaluación de la Huella Hídrica en la cuenca del Río Porce - CTA. Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA). <https://cta.org.co/biblionet/evaluacion-de-la-huella-hidrica-en-la-cuenca-del-rio-porce/>

Aumassanne, C. (2019). Impacto de los cambios en el uso y la cobertura de la tierra y de la variación del clima, sobre los principales componentes del balance de agua en la cuenca del río Colorado, Argentina (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Pampa, La

Pampa, Argentina. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/82130/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Basigalup, D. H. y Rossanigo, R. (2007). Panorama actual de la alfalfa en la Argentina. En D.H. Basigalup. (Ed.), El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina (pp.13-25). Buenos Aires, Argentina: Editorial INTA. Recuperado de https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta-el_cultivo_de_la_alfalfa_en_la_argentina.pdf

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado [COIRCO] (1 de mayo de 2020). Veda total de riego en la Cuenca, Argentina. Recuperado de <https://www.coirco.gov.ar/1o-mayo-2020-veda-riego-en-toda-la-cuenca-2/>

Dillon, B. (2013). Territorios empetrolados. Las geografías del suroeste de La Pampa en la ribera del río Colorado. La Pampa, Argentina: EdUNLPam, REUN. Recuperado de: <http://www.unlpam.edu.ar/cultura-y-extension/edunlpam/catalogo/libros-de-interes-regional/territorios-empetrolados-las-geografias-del-suroeste-de-la-pampa>

Fontanella, D. R., Aumassanne, C. M. (2015). Evapotranspiración de maíz, alfalfa y vid bajo riego, en la cuenca media del río Colorado. VII Jornadas de Riego y Fertilización. Necesidades de modernización e innovación en la gestión del agua frente a nuevos desafíos. Mendoza, Argentina. Recuperado de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_tc_evapotranspiracion_y_kc_cultivos.pdf

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. Earthscan, London, UK. Recuperado de Water Footprint Network: <https://waterfootprint.org/en/resources/publications/water-footprint-assessment-manual/>

Llop, A., Comellas, E., Buccheri, M., Mendoza, V., Puebla, P., Duek, A., Bertrano, A. (2014). Sobre el alcance y aplicabilidad de la huella hídrica. Asociación Argentina de Economía Agraria (AAEA). Argentina. Recuperado de: http://www.aaea.com.ar/upload/files/publicaciones/179_20170113113450_T64.pdf

Manazza, J. F. (2012). Cuantificación y valoración económica del uso consuntivo del agua en los principales productos de las Cadenas Lácteas de La Pampa y San Luis. San Luis, Argentina: INTA. Recuperado de: https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-manazza_jf-uso_consuntivo_del_agua_en_cadenas_lcteas-.pdf

Mariano, R. (2016). Modelización económica hidro-energética en producciones agropecuarias pampeanas de la cuenca del río Colorado. 3er. Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos (IFRH). Buenos Aires, Argentina. Recuperado de Instituto Nacional del Agua (INA): https://www.ina.gov.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH_2016_paper_71.pdf

Mekonnen M. M. & Hoekstra A. Y. (2011). Green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences. Recuperado de Water Footprint Network: <https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Mekonnen-Hoekstra-2011-WaterFootprintCrops.pdf>

Micheliní, J. J. (2008). Dinámicas locales en el desarrollo territorial de áreas rurales periféricas: el caso del Alto Valle del río Colorado (la Pampa-Argentina) (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca [MAGyP] (2019). Estimaciones Agrícolas. En <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2006). Cuaderno nro. 56. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Recuperado en: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>

Pagliettini, L., Valerio, C., Mozeris, G., Villegas, A. (2019). El consumo de agua en los principales cultivos de la provincia de Entre Ríos. En: XI Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales Argentinos y Latinoamericanos (5-8, noviembre). Centro Interdisciplinario de Estudios Agrarios (CIEA). Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires (UBA).

Región Empresa Periodística (s.f.). La ribera del Colorado. Recuperado de https://www.region.com.ar/provincia/prov_colorado.htm

Ríos Flores, J. L., Torres Moreno, M., Castro Franco, R., Torres Moreno, M. A., y Ruiz Torres, J. (2015). Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias UNCuyo, 47(1), 93–107. Recuperado de https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/7472/fca-47-1-007-rios-flores.pdf

Samoral, G., Dumont, A., Aldaya, M. M., Rodríguez Casado, R., Garrido, A. y Llamas, M. R. (2011). Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir. Papeles de Seguridad Hídrica y Alimentaria y Cuidado de la Naturaleza. Observatorio del Agua. Santander, España. Recuperado de Fundación Botín: https://www.fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ced_uploads/Observatorio%20Tendencias/analisis-huella-guadalquivir.pdf

Zárate Torres, E., Fernández Poulussen, A. y Kuiper, D. (2017). Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica. IICA, Unión Europea. San José, Costa Rica. Recuperado del repositorio del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2996/BVE17068913e.pdf;jsessionid=30EBC9E5C19559A1676D6F8CAC3859EC?sequence=1>

Received on 07, 2021.

Accepted on 09, 2021.

