

**Valor del servicio hidrológico ambiental en una cuenca del sudeste de la
provincia de Buenos Aires
Análisis de caso**

**Value of the environmental hydrological service in a basin from the southeast of
Buenos Aires province
Case analysis**

Gerardo Andrés Denegri¹

Raul Jorge Rosa¹

Fernanda Julia Gaspari¹

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP. Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena (CEIDE).
E mail: gdenegri@agro.unlp.edu.ar

Denegri, G.A; Rosa, R.J.; Gaspari, F. J. (2024). Valor del servicio hidrológico ambiental en una cuenca del sudeste de la provincia de Buenos Aires. Análisis de caso. *Revista Estudios Ambientales*, 12 (2), 17-33.

Recibido: 19/07/2024 - **Aceptado:** 05/10/2024 – **Publicado:** 28/12/2024

RESUMEN

El objetivo de este estudio es expresar, en términos monetarios, el valor del servicio hidrológico ambiental producido en la cuenca alta del arroyo Napaleofú, tomando como referencia la producción agropecuaria. Se presenta una propuesta metodológica, concretada en un modelo que relacionó el margen bruto de la producción agropecuaria dominante en la cuenca con la evapotranspiración real a lo largo de 9 años; definidos como secos normales y húmedos. La evapotranspiración real y la producción se calculó mediante el programa CROPWAT 8.0. Los márgenes brutos se presentaron a precios de mercado y precios cuenta y luego, a través de una regresión lineal, se ajustó el coeficiente b para el financiero y b' para el económico respectivamente, que representan el valor del mm de agua, que equivale a $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ evapotranspirado en la cuenca. Los resultados permiten afirmar que bajo los supuestos empleados y a un nivel de confianza del 95%, el valor marginal del mm evapotranspirado es de $1,78 \text{ USD} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ en el análisis financiero mientras que en el económico el valor es de $2,39 \text{ USD} \cdot \text{ha}^{-1}$

$1. \text{ mm}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Se concluye que el rango de valores del análisis expresa un monto de margen bruto estimado para una hectárea modal de una cuenca representativa de la región sudeste de la provincia de Buenos Aires y a partir de este resultado se puede contraponer con una medida de manejo para retener e infiltrar agua en el suelo. Además, la valoración monetaria es una herramienta poderosa que integra la economía en las políticas de conservación de la naturaleza, dado información cuantificable para integrarla en un análisis multicriterio con el resto de las dimensiones del desarrollo sostenible. Por último, la utilización del margen bruto como variable independiente para calcular el servicio hidrológico ambiental constituye una opción metodológica original, que aporta este trabajo.

PALABRAS CLAVE: valoración ambiental, servicio hidrológico, margen bruto, agroecosistemas

ABSTRACT

The objective of this study is to express, in monetary terms, the value of the environmental hydrological service produced in the upper basin of Napaleofú stream, taking agricultural production as a reference. A methodological proposal is presented, specified in a model that relates the gross margin of the dominant agricultural production in the basin with the actual evapotranspiration over 9 years defined as normal dry and humid. The actual evapotranspiration and production were calculated using the CROPWAT 8.0 program. Gross margins were presented according to market prices and account prices and then, through a linear regression, the coefficients b for the financial and b' for the economic respectively were adjusted, which represent the value of the water mm , which is equivalent to $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ evapotranspired in the basin. The results allow us to affirm that under the assumptions used and at a confidence level of 95%, the marginal value of mm evapotranspired is $1.78 \text{ USD} \cdot \text{mm}^{-1} \text{ year}^{-1}$ in the financial analysis while in the economic analysis the value is $2.39 \text{ USD} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ year}^{-1}$. It is concluded that the range of values of the analysis expresses an estimated gross margin amount for a modal hectare of a representative basin from the southeastern region of Buenos Aires province and from this data, it can be contrasted with a management measure to retain and infiltrate water on the ground. Furthermore, monetary valuation is a powerful tool that integrates economics into nature conservation policies, given quantifiable information to integrate it into a multi-criteria analysis with the rest of the dimensions of sustainable development. Finally, the use of gross margin as an

independent variable to calculate the environmental hydrological service constitutes an original methodological option provided by this work.

KEY WORDS: *environmental evaluation, hydrological service, gross margin, agroecosystems*

INTRODUCCIÓN

Los agroecosistemas son ecosistemas que comprenden particularmente la producción agropecuaria de la cual la humanidad depende. Según Wood et al. (2000) se definen como “el sistema biológico y de recursos naturales manejado por el hombre para producir alimentos como principal propósito, otros bienes socialmente relevantes y servicios ambientales”. Altieri (1999 p 47) explica que es “el espacio en donde se enfatiza, entre otros componentes, la interacción entre la sociedad y el medio”.

La generación de estrategias en los agroecosistemas que contemplen la diversidad de los paisajes desde el enfoque de la sustentabilidad constituye un instrumento central para garantizar el mantenimiento de la capacidad productiva de los recursos y la conservación de ecosistemas. Para ello, un enfoque integral se basa en una construcción social, producto de la coevolución de los seres humanos con la naturaleza, es decir, el reflejo de relaciones socio ecológicas, por ello, su definición no se ajusta exclusivamente a procesos de índole biológico, sino también considera los aspectos económicos y sociales (Rótolo & Francis, 2008).

En ese contexto, la búsqueda de alternativas para enfrentar la problemática ambiental ha llevado al reconocimiento de la estrecha dependencia que existe entre las características y los procesos de los ecosistemas y de aquellos propios de las sociedades humanas. Por ello, al abordar el concepto de servicios ambientales (SA) hacia la sociedad, se enfatiza la interdependencia que existe entre sistemas ecológicos y sistemas sociales

(Delgado, 2016). Para la toma de decisiones de manejo, y de asignación de tierras para los diferentes usos, se necesitan visibilizar los aportes que realizan los SA y por el otro contar con cuantificaciones y valoraciones sistémicas que integren el medio natural con el económico-social.

Se utiliza el término SA y no servicio ecosistémicos (SE) debido a que el concepto ecosistémicos se utiliza básicamente en la literatura relacionada con ecología, mientras que la literatura económica utiliza, en mayor medida, el término SA. Según, Mora-Vega et al, (2012), no está establecido en la bibliografía de forma clara y definitiva el límite entre uno y otro, siendo recurrente en la literatura científica su uso indistinto. A modo de ejemplo los organismos de crédito internacional utilizan SE básicamente para referirse en los beneficios derivados de la naturaleza y los SA para la gestión ambiental que contribuyen a la sostenibilidad de los beneficios, como en el presente trabajo.

Por otra parte, las cuencas hidrográficas constituyen un sistema ideal que captura, almacena y distribuye agua, desempeñando un papel clave en la provisión de SA esenciales, como la regulación del ciclo del agua, el suministro de agua potable, la mitigación de inundaciones, la conservación de suelos, de la biodiversidad, turismo, entre otros, conformando los servicios hidrológicos ambientales (SHA). En consecuencia, el correcto manejo de las cuencas es una condición necesaria para hacer una efectiva transición agroecológica.

La valoración de los SHA en cuencas hidrográficas permite comprender cómo contribuyen al bienestar humano, y

cuantificar, en el caso de alguna degradación, su impacto en la economía y en la calidad de vida. A través de algunas técnicas como el análisis costo-beneficio, el análisis de preferencias declaradas y reveladas, se asigna un valor monetario a los SHA, que sirve como base para la toma de decisiones informada por parte de los responsables de la gestión de cuencas hidrográficas, sumando a la dimensión ambiental, los aspectos económicos. Además, asiste en comprender y cuantificar los beneficios económicos derivados, accediendo a una toma de decisiones más informada y sostenible en el ámbito de la gestión ambiental, integrando las distintas dimensiones del desarrollo sostenible. Esta relación estrecha entre la valoración ambiental, los SA y las cuencas hidrográficas es esencial para garantizar una gestión adecuada de los recursos naturales y promover un desarrollo económico basado en la conservación y el uso sostenible del medio ambiente.

En ese contexto, no existe un régimen de manejo que respete todos los SHA de un sitio. Solamente en el caso en que se abandonaran todas las actividades agrícolas, la sostenibilidad ecológica e hidrológica se aseguraría. Sin embargo, desde una visión antropocéntrica, no es posible excluir la intervención humana y por lo tanto se debe conducir el proceso de agriculturalización manteniendo la mayor cantidad de SHA posibles en el ámbito del desarrollo sostenible.

Al asignarle un valor económico a los SHA se puede fomentar la conservación de los recursos naturales, promover la toma de decisiones informadas y equilibrar las demandas económicas con la sostenibilidad ambiental. Además, puede conformar una herramienta poderosa para generar conciencia sobre la importancia de cuidar y proteger el entorno natural para las generaciones futuras.

Muchos autores han explorado la relación entre la valoración de SA y la agricultura, considerando el cambio de uso del suelo.

Holland et al. (2011), al utilizar datos repetidos temporalmente para índices de calidad del agua y producción agrícola, demuestran que se puede cuantificar los SA en unidades naturales al comparar una medida económica para la producción con una medida biofísica para los servicios del agua. D'Odorico et al. (2020) parten del concepto que la capacidad del agua produce valor en diferentes actividades económicas. Así, mediante el beneficio económico neto, expresado como el valor de la producción de distintos cultivos menos el costo de obtener el agua y los costos de externalidades ambientales, determina el valor del agua mediante el incremento del valor de la producción agrícola en diferentes regiones del mundo, a partir de estadísticas globales. Brady et al (2015) presentan un método para valorar los SA del suelo y su capital natural asociado en la agricultura, basado en los cambios resultantes en los futuros flujos de ingresos agrícolas, mediante los beneficios marginales. Por otra parte, Romstad, (2004) proponen los costos marginales de producción para valorar una disminución de los SA en los cultivos. En ese contexto, Fezzi et al. (2014) emplean el margen bruto agrícola en cada tipo de uso de suelo mediante sus tasas de ocupación -en este caso ganadero- para calcular el valor de los cambios en el suministro de SA.

Esta investigación se concentra en estimar el valor de los SHA a partir del cambio de uso del suelo en el partido de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina. (Somoza et al, 2021) analiza el avance de las áreas agrícolas sobre los pastizales naturales. Menciona que las llanuras periserranas han sido el escenario donde los cambios han sido radicales y su paisaje, entre los años 1989 y 2019, ha sido convertido en más del 75% de su superficie. Este fenómeno se manifestó básicamente con la agriculturalización de praderas y pastizales, incidiendo directamente sobre los SHA.

El objetivo de este estudio es expresar, en términos monetarios, el valor del servicio hidrológico ambiental producido en la cuenca alta del arroyo Napaleofú, en Tandil, tomando como referencia la producción agropecuaria generada, a partir de una propuesta metodológica desarrollada para este trabajo.

METODOLOGÍA

El área en estudio es la cuenca hidrográfica del Arroyo Napaleofú, con énfasis en la parte alta, con una superficie de 347,73 km², en el sudeste bonaerense, Argentina. Esta pertenece al sistema serrano de Tandilia y ocupa parte de los partidos de Tandil, Lobería y Balcarce. La cabecera de la cuenca se desarrolla sobre terreno rocoso, con pendientes que varían entre el 8 y 20 %, con vegetación de pastizal natural. En la parte media hasta la desembocadura, la cuenca se extiende sobre terreno tipo loess con pendientes entre el 0,5 % y el 8%, donde se desarrollan actividades agrícola-ganadera, con y sin prácticas conservacionistas.

Los suelos característicos del área de estudio están representados en un 90% por el orden molisoles, donde se encuentran hapludoles líticos en la cabecera, en el piedemonte se destacan los argiduales y hacia el NE la presencia de materiales más finos permite el desarrollo de natracuales típicos (Gaspari et al, 2015). El 70% está clasificado como serie de Tandil¹ con suelo profundo, con fuerte desarrollo, su aptitud es agrícola-ganadera, que se encuentra en un área de paisaje serrano ondulado con pendientes suaves, medias y largas de la Subregión Pampa Austral Interserrana, ocupando la media loma, bien drenado, desarrollado en sedimentos loésicos franco fino sobre una costra calcárea de extensión regional,

no salino, no alcalino en pendientes de 1-3 % (López de Sabando, 2021).

Los cultivos agrícolas principales son los de invierno trigo, avena y cebada cervecera y los de verano maíz, soja y girasol, mayoritariamente la producción se realiza sin riego complementario (condición de secano). La actividad ganadera se basa en la cría, invernada y tambo. El tipo de vegetación nativa predominante es la estepa gramínea. En los últimos años, se observa una continua incorporación de tecnología en los cultivos agrícolas, que incluye implementación de medidas de conservación de suelo.

Para evaluar los SHA se procedió de la siguiente forma:

Marco teórico

Considerando el predominio del uso del suelo agrícola ganadero, se decidió utilizar para la evaluación del SHA, la variable dependiente "renta de los cultivos". La teoría de la renta, desarrollada por Ricardo, (1817), establece que la renta determina el valor de un bien agrario. Según este autor clásico, la renta es el excedente que el productor obtiene por encima de los costos de producción necesarios para mantener la tierra en cultivo. En este sentido, Dalen et al (2021), analizando la valoración de tierras agrícolas en Noruega, proponen la extensión de la metodología clásica para expresar valores ambientales, como los SHA.

En este trabajo, la renta se tomó como base para dos variantes de análisis: una para la valoración de la contribución neta directa de los SHA (análisis financiero) y otra que mide el aporte bruto a nivel de la economía en su conjunto (una aproximación al análisis económico, en donde se eliminaron algunas distorsiones de mercado). En ambas se utilizó como variable proxy el margen bruto, definido como la diferencia entre ingresos y costos

¹ Unidad taxonómica del Sistema de Clasificación de Suelos del INTA.

directos de una actividad. La única diferencia entre ambas valoraciones es la corrección de los precios financieros a precios cuenta. El margen bruto fue utilizado por varios autores para evaluar SA, como ejemplo son Vignolo et al. (2023) que evalúan costos ambientales, o Carreño et al. (2012) que lo aplicaron para relacionar los SA con la economía agraria.

Modelo teórico

Se elaboró un modelo econométrico donde, se utilizó como variable independiente el valor de la producción agropecuaria, considerada como una función directa de la evapotranspiración real (EVR). La EVR es un componente importante del ciclo del agua que muestra su transmisión desde la tierra a la atmósfera por procesos de evaporación de la superficie del suelo y transpiración de las plantas. Es un indicador del agua

removida por la evaporación y la transpiración de la vegetación, que representa el consumo hídrico de los cultivos y se utiliza, por ejemplo, en el cálculo de las cuotas de riego para un desarrollo óptimo, para determinar las capacidades de absorción de humedad que posee un suelo, y/o a nivel macro, para la estimación de los rendimientos de la producción de un territorio y actividades de planeación en general (Segura Castruita y Ortiz Solorio, 2017).

El modelo general teórico que resume lo explicado se presenta en la ecuación 1, que describe la relación entre el valor del SHA y la cuantificación del ingreso (I). Al simplificar la ecuación 1 con un modelo lineal, y al considerar que la renta se aproxima por el margen bruto (MB), se obtiene la ecuación 2.

$$VSHA = f(\text{renta}) = f(I) - C \quad I = P * Q f(\text{EVR}) \text{ y } \text{EVR} f(\text{ppt}, T, \text{HR} \dots) \quad (1)$$

Dónde: VSHA = valor del servicio hidrológico ambiental; I = ingreso; C= costo; P = precio; Q = cantidad producida; EVR = evapotranspiración real; ppt= precipitación; T= temperatura y HR = humedad relativa.

$$MB = a + b \cdot \text{EVR} \quad (2)$$

Donde MB = margen bruto expresado en USD; EVR = evapotranspiración real expresada en mm, a y b son los coeficientes de regresión.

Integrando ambas ecuaciones, se obtiene la ecuación 3 que, al derivar la renta por la EVR el resultado es el Coeficiente de regresión (b), que representa la variación monetaria en la renta, ante un cambio en

la variación de 1 mm de EVR, constituyéndose, de esta forma, un indicador del VSHA en condiciones de secano

$$VSHA = f(I) - C = P * Q f(\text{EVR}) - C \quad I - C = MB = P * (a + b \cdot \text{EVR})$$

entonces $\frac{d(VHS)}{d(\text{EVR})} = \frac{d(MB)}{d(\text{EVR})} = b \quad (3)$

Procedimiento y cálculo del modelo empírico.

Se parte de la información antecedente y de trabajos realizados en la cuenca en estudio, analizando el cambio de uso del suelo. Por ello, se establecieron 4

momentos: años 1986; 1996; 2011 y 2022, como se resume en la tabla 1, en ella se indica entre paréntesis, la relación tomada en cada categoría de uso de suelo, de la superficie empleada en agricultura y ganadería para este trabajo.

Tabla 1. Tipos de uso del suelo y ocupación en superficie, en la cuenca alta del arroyo Napaleofú.

USOS	1986		1996		2011		2022	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Agrícola (90% 10%)	0	0	0	0	6.520	19	8.250	24
Ganadero-agrícola (30-70)	28.616	83,3	17.580	51,2	13.277	38,6	6.359	18,5
Agrícola ganadero (40-60%)	5.633	16,4	16.566	48	14.337	41,4	19.250	56
Monte (0 -10%)	125	0,4	228	0,8	240	1,1	515	1,5
Total	34.374	100	34.374	100	34.374	100	34.374	100

Fuente: Senisterra y Gaspari (2014) y Anselmino (2023).

Paralelamente, se analizó la estadística de precipitación, según procedimiento detallado por Smith (1992), para definir períodos hidrológicos: húmedos, normales y secos, considerando 20, 50 y 80% de probabilidad de exceso de lluvia. Establecida la agrupación para el período en estudio, se eligieron 3 campañas de cultivo por ciclo que cumpla con las siguientes condiciones: a) pertenecer a esa categoría para el año calendario de cada cultivo, que incluyen los de invierno y verano y b) que haya habido un régimen pluviométrico acorde a la categoría en los meses críticos del cultivo.

Operativización de las variables

La EVR se calculó mediante el programa CROPWAT 8.0 para Windows (FAO, 2013), que permite computar los requerimientos de agua de las distintas producciones agrícola/ganaderas, y establece una disminución de rendimiento

respecto de un óptimo acorde a la restricción de agua en el cultivo. El ingreso de datos se realiza mediante diferentes módulos.

En el módulo climático se cargaron los valores provenientes de la estación del Servicio Meteorológico Nacional Tandil Aéreo, de la base mensual 1960-2023 de precipitación, temperatura y humedad relativa. A lo largo del período analizado se consideraron tres años normales, 3 húmedos y 3 secos, y se procedió a calcular la variación de rendimientos debido al stress hídrico, respecto del máximo hipotético sin restricciones hídricas.

El módulo cultivo se cargó con la fecha de siembra, las etapas de crecimiento, y el ciclo total del cultivo y sus correspondientes valores de coeficientes de cultivo (Kc). Los cultivos utilizados son los que predominan en la cuenca, trigo,

cebada, soja, girasol, maíz y praderas o campos naturales, para ganadería.

Para completar el módulo suelo, se utilizó la cartografía con la base de datos de la Carta de suelos de INTA, para la serie de suelos Tandil, la cual es dominante en la cuenca en estudio (López De Sabando, 2021).

Como resultado de la modelización, se obtuvo una tabla cuyos valores reflejaron la disminución del rendimiento, en porcentaje debido al stress hídrico, a partir del valor óptimo para cada cultivo. Para homogeneizar la variación tecnológica a lo largo de 36 años, de los valores modelados, se calculó un factor de corrección de rendimiento, a partir de los datos estadísticos, y luego se interpoló para cada año específico, que permitió corregir los valores y establecer la comparación precisa de los rendimientos modelados y los estadísticos del partido de Tandil (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (s.f.)).

La producción de los cultivos se comparó con los datos estadísticos publicados para el Partido de Tandil, procesados en forma gráfica y con la definición del coeficiente de correlación de Pearson (r).

Para distribuir los volúmenes cosechados de los distintos cultivos en la cuenca, se partió de la estadística del partido. Se calculó la superficie de ocupación porcentual que presentan los cultivos de invierno (trigo y cebada), verano (soja, girasol y maíz), superposiciones (rotación trigo/cebada soja de segunda) y praderas (ganadería), para los años elegidos. Ese mismo porcentaje se replicó en la cuenca atendiendo a los usos en cada periodo de la serie que se muestran en la tabla 1. Toda esta información se ponderó para referirlo a la unidad de hectárea.

Para construir la variable dependiente, en el caso del análisis financiero, se partió de la estructura de margen bruto, publicada por Calonge et al (2023; 2022 y 2021) que trabaja con precios de mercado para las campañas 2020/21, 2021/22 y 2022/23. Para ello, se tomó su promedio, para

reducir los efectos en la rentabilidad ligada a las variaciones de mercado y tipo de cambio. Se consideró la proporción de cada cultivo, de acuerdo con la superficie que ocupaba cada uno de ellos en las estadísticas correspondiente al Partido de Tandil.

Posteriormente, se realizó el mismo procedimiento para el área con actividad ganadera, donde su extensión se calculó por la diferencia entre la superficie total de la cuenca menos la ocupada por los cultivos, los montes, los suelos pedregosos y las vegas de arroyos. El margen bruto utilizado fue el de ganadería de cría -calculado a partir de Fillat et al (2023; 2022 y 2021).

En el análisis económico, los precios de mercado se reemplazaron por los precios cuenta. Para ello, se corrigieron las distorsiones provocadas por los impuestos internos y las debidas al comercio exterior. Se ajustaron los derechos de exportación e ingresos brutos. No se aplicó la corrección por el tipo de cambio de equilibrio, al no estar disponible, y calcularlo excedía el alcance de este trabajo. Tampoco se corrigió por otros tipos de impuestos a nivel empresa, como el impuesto a las ganancias, ni el precio cuenta de la mano de obra.

Finalmente, mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios, aplicado para la ecuación 3, se relacionó el monto del margen bruto de la producción de una hectárea con los datos de la EVR, considerando que la cuantía de los coeficientes b (financiero) y b' (económico) obtenidos, representan el valor del mm de agua, que equivale a $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ evapotranspirado en la cuenca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la estimación climática para clasificar según precipitación anual se aprecian en la tabla n°2.

De los 38 años estudiados, 23 califican como normales, 9 secos y 6 húmedos, en

consecuencia, los años elegidos fueron: 1998/99 con 778mm y 1988/89 con 798mm. Cabe aclarar que para el primer periodo (década del 80) no hubo años húmedos 2017/18 con 1175mm, 2012/13 con 1360mm y 1997/98 1171; secos 2008/09 con 524mm, 2004/05 627 y 1995 con 582, y normales 2020/21 con 836mm, considerados secos o húmedos según el criterio elegido.

Tabla 2. Períodos hidrológicos definidos por la probabilidad de exceso de lluvia

Período	Probabilidad (%)	Precipitación en exceso mm)
Húmedo	20	1.132
Normal	50	898
Seco	80	778

En la tabla 3 se observa el Coeficiente de Correlación y en la figura 1 se aprecia la comparación entre el rendimiento calculado y el promedio estadístico real. Tanto el girasol como el maíz presentan mucha coincidencia con una pequeña sobreestimación, arrojando el coeficiente r mayor. El trigo sobreestima en los años

húmedos y produce valores menores en los secos y la soja no se cultivaba a comienzos de este siglo, con lo cual arroja una correlación negativa debido a la escasez de datos en la serie, aunque igualmente se utilizaron los valores calculados.

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson entre los datos estadísticos y el valor calculado.
Sin unidad

Cultivo	r	n	P-Value
Girasol	0,9248	9	0,0004
Maíz	0,8711	9	0,0022
Soja	-0,882	5	0,0478
Trigo	0,8205	9	0,0067

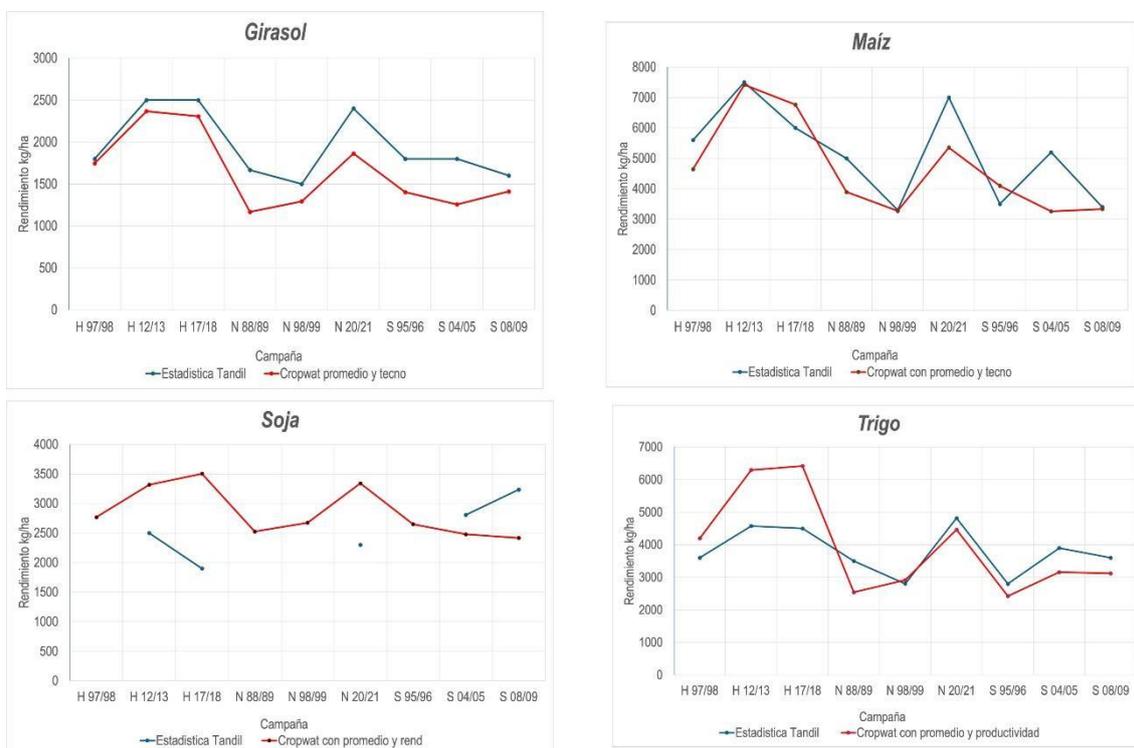


Figura 1. Comparación de la simulación de la producción de los cultivos CROPWAT, con los datos estadísticos del partido en kg/ha.

Con respecto a la evolución de los principales cultivos que se presentan en la tabla 3 y 4, se confirma los resultados de los trabajos ya citados en la introducción, hay un desplazamiento de la ganadería - que en la campaña 1988/89 utilizó 24.340 ha (68%) y en 2021 17.450 ha (48,6%) - hacia la agricultura. Cuando se analiza al interior de la agricultura, existe un cambio importante en los cultivos, se pasa de un predominio de trigo y girasol a soja y cebada, permaneciendo el maíz más o menos constante y a comienzos de este siglo, se produce la irrupción de la rotación trigo soja. Ese último término quedó superado porque en la actualidad la rotación incluye además de la trigo/soja, trigo con maíz de segunda y cebada con

soja o maíz de segunda (Devetter & García, 2023). Por otra parte, la variable dependiente margen bruto, a nivel financiero, considerando su ponderación para cada cultivo y ganadería llevada a la hectárea, se presenta en la tabla 5. Si bien es un promedio de los años 2021; 2022 y 2023, a lo largo de la serie estudiada, existe mucha variación debido a las cambiantes condiciones ambientales, de mercado y política agraria. Igualmente, hay un crecimiento muy importante en el monto debido al aumento en la proporción de cultivos por sobre la ganadería que pasa de 200 USD.ha⁻¹ en la campaña 1998/89 a superar los 500 USD.ha⁻¹ en la 2017/18.

Tabla 3. Evolución de ocupación en superficie de los principales cultivos, para los años seleccionados en el partido de Tandil.

Campaña	Cebada	Girasol	Maíz	Soja total	Trigo	Ganadería	Monte
1988/89		3.112	1.863	156	4.745	24.340	125
1995/96		2.175	3.206	515	5.610	22.750	177
1997/98		1.133	1.983	504	3.369	27.310	230
1998/99		1.194	1.024	384	2.260	29.250	233
2004/05		1.224	6.286	2.878	3.441	20.310	233
2008/09		2.921	1.384	3.060	7.073	19.700	236
2012/13	663	1.758	2.360	9.875	1.505	18.140	320
2017/18	4.503	2.499	3.172	6.648	1.794	17.650	400
2020/21	4.052	2.129	2.590	6.341	3.333	17.450	490

Fuente: Elaboración propia en bases a datos del MINAGRI.

Tabla 4. Ocupación en superficie por uso del suelo (expresado en porcentaje) según cultivos de inviernos, verano y rotación trigo/soja, estimado para la cuenca

Campaña	Invierno (%)	Verano (%)	Rotación trigo/soja (%)	Ganadería (%)
1988/89	16,3	15,1		68,2
1995/96	17,6	17,2		64,7
1997/98	15,2	12,8		71,2
1998/99	7,8	7,6		84,3
2004/05	16,6	25,9	4,3	58,2
2008/09	16,6	25,9	4,3	58,2
2012/13	18,1	29,6	6,3	50,6
2017/18	25,7	24,9	7,3	48,9
2020/21	18,0	23,5	10,9	48,6

Fuente: Elaboración propia en bases a datos del MINAGRI.

Tabla 5. Ponderación de la evolución de los márgenes brutos financieros como contribución al beneficio de 1 hectárea modal de la cuenca, en USD nominales años 2021-23 por hectárea.

Campaña	Invierno	Verano	Rot trigo/soja	Ganadería	Sumatoria
1988/89	65,94	51,49	0	86,04	203,47
1995/96	52,92	92,66	0	65,34	210,92
1997/98	106,30	76,35	0	107,88	290,53
1998/99	28,50	20,43	0	106,34	155,28
2004/05	37,03	91,10	0	56,38	184,51
2008/09	47,42	79,56	37,50	56,38	220,86
2012/13	51,81	305,85	76,05	65,85	499,57
2017/18	164,58	259,83	77,55	76,56	578,51
2020/21	104,12	228,73	90,54	74,09	497,48

Fuente Elaboración propia.

En la tabla 6 se presenta la variable dependiente el margen bruto a precios económico. El monto obtenido por hectárea es mucho mayor al no incluir los impuestos. Por otra parte, los resultados de la variable independiente (EV) la

referida a una hectárea para cada año analizado, aportado por el programa CROPWAT se presenta en la tabla 7. Los resultados de los modelos de regresión se aprecian en la tabla 8 y 9.

Tabla 6. Ponderación de la evolución de los márgenes brutos financieros como contribución al beneficio de 1 hectárea modal de la cuenca, en USD por hectáreas

Campaña	Invierno	Verano	Rot trigo/soja	Ganadería	Sumatoria \$
1988/89	107,61	129,64	-	126,62	363,87
1995/96	90,27	134,17	-	103,50	327,94
1997/98	173,01	111,67	-	150,66	435,34
1998/99	46,86	42,51	-	156,49	245,86
2004/05	57,45	177,86	-	89,31	324,62
2008/09	85,69	106,65	58,63	89,31	340,28
2012/13	73,16	409,90	124,96	83,45	691,48
2017/18	241,54	411,15	138,65	106,92	898,25
2020/21	156,79	306,30	117,19	103,48	683,76

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Evapotranspiración en mm ponderado para una hectárea

Campaña	Invierno	Verano	Rot trigo/soja	Ganadería	Sumatoria
1988/89	48,25	54,08		363,32	465,65
1995/96	52,52	68,60		327,98	449,10
1997/98	52,75	48,06		405,57	506,38
1998/99	20,42	21,73		424,08	466,24
2004/05	31,06	114,26		281,88	427,20
2008/09	58,25	63,01	10,83	220,99	353,08
2012/13	28,90	174,71	19,20	329,08	551,89
2017/18	78,86	144,67	18,29	307,93	549,75
2020/21	68,24	116,56	19,27	249,66	453,73

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Regresión entre el margen bruto a precios financieros y la evapotranspiración

Variable	Estimación	Error Estándar	Estadístico-T	Valor-P
CONSTANTE	-525,66	372,04	-1,41	0,20
b	1,78	0,79	2,26	0,05
Análisis de Varianza: F calculado [1; 8] = 5,12 valor de p 0,05				
R ² = 42,22 %; Estadístico Durbin-Watson = 2,163 (P=0,439)				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Regresión entre el margen bruto a precios económicos y la evapotranspiración

Variable	Estimación b	Error Estándar	Estadístico-T	Valor-P
CONSTANTE	-643,80	482,19	-1,34	0,22
b'	2,39	1,02	2,35	0,05
Análisis de Varianza: F calculado [1; 8] = 5,51 valor de p 0,05				
R ² = 44,03 %; Estadístico Durbin-Watson = 1.74 (P=0,101)				

Fuente: Elaboración propia

El modelo a nivel de la cuenca muestra un análisis de varianza significativo, un R² del 42,2%, no presentó problemas de autocorrelación de errores ni

heterocedasticidad. Por otra parte, coeficiente "b" posee el signo esperado. Por ello se puede afirmar que bajo los supuestos empleados y a un nivel de



confianza del 95%, en el tramo de la función de producción correspondiente a la EVR del cultivo, el valor marginal del mm evapotranspirado es de 1,78 USD.mm⁻¹.año. Mientras que el análisis económico el estadístico tiene el mismo nivel de confianza, lo mismo un R² de 44,03 %. El valor de b' es de 2,39 USD.ha⁻¹.mm⁻¹.año⁻¹. Esto se diferencia del trabajo citado (D'Odorico et al. 2020), que establece valores del mm de agua de riego en los tramos de la función de producción por encima de la evapotranspiración real del cultivo, debido a que estima el precio del agua de riego. El valor marginal del agua calculado en la totalidad de la superficie de la cuenca con una precipitación media, en dólares promedio 2021/23 es, a nivel financiero de 53.862.800 USD por año y a nivel económico 72.321.400 USD por año.

Al analizar otros trabajo se encuentra que Ward & Michelsen, (2002) valoran un modelo de pago por servicios ambientales que promueve una coexistencia simbiótica entre la agricultura y la producción de agua, en el estado de São Paulo, Brasil. Ellos obtienen un rango de un pago de entre 218,73–576,5 USD.ha⁻¹.año, el monto elevado se justifica, porque esa cuenca abastece de agua potable a la capital de dicho estado. En la provincia de Buenos Aires, Iwan et al., (2017) calculan el valor económico total de los servicios ecosistémicos de la cuenca del Arroyo y Laguna de Los Padres de 8.600 ha, utilizando la metodología de transferencia. En su resultado lo estiman en 16 millones de USD, y específicamente de los SHA de 3.932.000 USD/año que llevado a la hectárea es de 457 USD.ha⁻¹.año⁻¹ (dato que correspondería a una precipitación media). Los montos son inferiores posiblemente porque utilizan un método aplicado. De todas formas, se deja claro la dificultad para comparar valores monetarios ante la diversidad y extensión de los análisis realizados en las distintas investigaciones.

Por último, el estudio realizado por el CFI (2011) calcula el consumo de agua evapotranspirada (Huella Hídrica Verde) para los principales cultivos de la provincia de Buenos Aires, excluyendo la ganadería, y para los mismos tramos de la función de producción. A partir de estos datos se calculó el ingreso bruto para cada cultivo a precios FOB (USD.tn⁻¹), realizando un análisis económico. El ingreso bruto se transformó en margen bruto promedio, obteniendo un valor de 1,77 USD.mm⁻¹.ha⁻¹.año⁻¹. Se señala que este valor se considera sobreestimado debido a la proporción de la actividad ganadera en la cuenca. Cabe mencionar que, a pesar de esto, el valor obtenido es muy similar al valor financiero de 1,78 USD.mm⁻¹.ha⁻¹.año⁻¹ encontrado en el presente trabajo.

CONCLUSIÓN

A partir del margen bruto de la actividad agropecuaria como variable proxy de la renta, se valoraron los servicios hidrológicos ambientales en la cuenca alta del Arroyo Napaleofú. Dicho valor permite dimensionar la importancia del recurso hídrico en términos monetarios. Cabe aclarar que el valor obtenido se comparó con otros trabajos, a pesar de la dificultad metodológica que esta tarea implica. Esto de alguna forma expresa el valor monetario de un insumo vital, como es el agua, en la función de producción de bienes agropecuarios.

El rango de valores del análisis expresa un monto estimado de un metro cúbico EVR en una hectárea modal de una cuenca representativa de la región sudeste de la provincia de Buenos Aires y a partir de este se puede contraponer con una medida de manejo para retener e infiltrar agua en el suelo, tan relevante para justificar medidas mediante un análisis costo/beneficio. La cuantificación económica permite evaluar las alternativas de intervención en términos monetarios, justificando la inversión en la conservación

y restauración de ecosistemas. Incorporar esta dimensión en los análisis de costo-beneficio facilita la financiación de las intervenciones para una gestión sustentable de los recursos. Además, proporciona a los tomadores de decisiones una medida cuantificable de los beneficios que los ecosistemas proporcionan, que permite compararlos directamente con otros factores económicos y sociales en la planificación y gestión del territorio. En resumen, la valoración monetaria de los SA es una herramienta poderosa que integra la economía en las políticas de conservación de la naturaleza, promoviendo un desarrollo más sostenible al contribuir con información cuantificable para integrarlas en un análisis multicriterio con el resto de las dimensiones del desarrollo sostenible. Por otra parte, la utilización del margen bruto como variable independiente para calcular SHA constituye una opción

metodológica original, que aporta este trabajo a la valoración de SA; a su vez se puede transferir a cuencas del sudeste bonaerense con serranía, dado que la cuenca hidrográfica alta del Arroyo Napaleofú es representativa de dichas cuencas. Otra contribución, es presentar un nuevo uso a esta herramienta tan utilizada en la administración agraria. Si bien, el margen bruto fue utilizado por otros autores, previamente no se aplicó para ajustar un modelo estadístico de regresión simple.

Se sugiere realizar un estudio más detallado sobre la relación entre los SHA y la rentabilidad de la actividad agropecuaria en la región, para entender mejor cómo afecta el manejo del agua en el suelo a la productividad. Además, se puede considerar, explorar la posibilidad de aplicar esta metodología en otras cuencas hidrográficas para comparar los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M. (1999). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Edit. Nordan-Comunidad, CIED 511p Uruguay
- Anselmino, C. B. (2023). *Transformación del territorio e influencia en los Servicios Hidrológicos Ambientales en la Cuenca Alta del Arroyo Napaleofú, Tandil* (Tesis de grado, FCAF, Universidad Nacional de La Plata). recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/150624>
- Brady, M. V., Hedlund, K., Cong, R. G., Hemerik, L., Hotes, S., Machado, S. & Thomsen, I. K. (2015). Valuing supporting soil ecosystem services in agriculture: a natural capital approach. *Agronomy Journal*, 107(5), 1809-1821.
- Calonge P., Boffi J., Famulari M., Silverio R., López E. & López S. (2023; 2022 y 2021). Resultados agrícolas: ingresos– gastos – márgenes. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca <https://www.argentina.gob.ar/inta/agenda/indicadores-economicos-e-informes-tecnicos/margenes-brutos-de-las-principales>
- Carreño, L., Frank, F. C., & Viglizzo, E. F. (2012). Tradeoffs between economic and ecosystem services in Argentina during 50 years of land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154, 68-77.
- CFI, (2011.) Impacto económico del agua en la modelación realizada. En: *Huella hídrica de los productos agrícolas en las exportaciones de la provincia de Buenos Aires*, Rosa R. (ed.). Recuperado de <http://biblioteca.cfi.org.ar/documento/huella-hidrica-de-los-productos-agricolas-en-las-exportaciones-de-la-provincia-de-buenos-aires/>
- Dalen, H. M., Lindholt, L., Garnåsjordet, P. A., Hillestad, M. E., Norderhaug, A., & Aslaksen, I. (2021). Valuing agricultural land: From resource rent and willingness to pay to values of ecosystem services. Paper prepared for the 36th IARIW (International Association for Research

in Income and Wealth) Virtual General Conference August 23-27, Session 24: Productivity. https://iariw.org/wp-content/uploads/2021/07/Valuation_of_agriculture_Paper.pdf

Delgado, I. (2016) Servicios ambientales. (45-54). En: Gaspari, F. J., & Senisterra, G. E. eds *Valoración de servicios ambientales para el ordenamiento agrohidrológico en cuencas hidrográficas*. Editorial de la Universidad de La Plata, La Plata. Argentina, recuperado de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52722>

FAO. (2013). CROPWAT 8.0. Recuperado de <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>

Devetter, D. A., & García, L. A. (2023). *Evaluación de sustentabilidad de distintas rotaciones agrícolas, bajo dos manejos* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata). Disponible en <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/154618>

D'Odorico, P., Chiarelli, D. D., Rosa, L., Bini, A., Zilberman, D., & Rulli, M. C. (2020). The global value of water in agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences*, 117(36), 21985-21993.

Fezzi, C., Bateman, I., Askew, T., Munday, P., Pascual, U., Sen, A., & Harwood, A. (2014). Valuing provisioning ecosystem services in agriculture: the impact of climate change on food production in the United Kingdom. *Environmental and Resource Economics*, 57, 197-214.

Fillat, F. A., Cabrini, S. M., & Paolilli, M. C. (2023; 2022 y 2021). *Margen bruto de la producción ganadera bovina de carne de ciclo completo*. EEA Pergamino, INTA.

Gaspari, F. J., Díaz Gómez, A. R., Delgado, M. I., & Senisterra, G. E. (2015). Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense, Argentina. *Rev. Fac. Agron. La Plata*. Vol 114 (Núm. Esp.1) Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio (214-221).

Holland, R. A., Eigenbrod, F., Armsworth, P. R., Anderson, B. J., Thomas, C. D., & Gaston, K. J. (2011). The influence of temporal variation on relationships between ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 20, 3285-3294.

Iwan, A., Guerrero, E. M., Romanelli, A. & Bocanegra, E. (2017). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de una Laguna del sudeste bonaerense (Argentina). *Investigaciones Geográficas*, (68), 173-189. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.10>

López de Sabando M. (2021). Suelos de mar y sierras. Partido de Tandil. *Ediciones INTA, Agencia de Extensión Rural Tandil*, 2021. 60 p.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (s.f.). Estimaciones. Recuperado de <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>

Mora-Vega, R., Saenz-Segura, F., & Le Coq, J. F. (2012). Servicios ambientales y ecosistémicos: conceptos y aplicaciones en Costa Rica. Disponible en: www.researchgate.net/publication/235436154_Servicios_ambientales_y_ecosistemicos_conceptos_y_aplicaciones_en_Costa_Rica

Ricardo, D. (1817). *Principios de economía política y tributación*. Recuperado de <https://www.torrossa.com/it/resources/an/5654233>

Romstad, E. (2004). Methodologies for agri-environmental policy design. *Sustaining agriculture and the rural environment: governance, policy, and multifunctionality. advances in ecological economics*. Edward Elgar, Cheltenham, 56-77. Chapter 4 methodologies for agro- environment policy design. Recuperado de: https://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=UM5dmq_9pwQC&oi=fnd&pg=PA56&dq=%22marginal+costs+of+production%22+%2B+valuation+ecosystem+services+agriculture&ots=I-XykNDxh&sig=I_EX-2gPLBPNaSxskYim1olFEjM&redir_esc=y#v=onepage&q=%22marginal%20costs%20of%20production%22%20%2B%20valuation%20ecosystem%20services%20agriculture&f=false

- Rótolo, G. C., & Francis, C. (2008). Los servicios ambientales en el “corazón” agrícola de Argentina. *Ediciones INTA*, 44. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Charles-Francis-4/publication/242521416_Los_servicios_ecosistemas_en_el_corazon_agricola_de_Argentina/links/543250310cf20c6211bc2bd4/Los-servicios-ecosistemas-en-el-corazon-agricola-de-Argentina.pdf
- Somoza, A., Vazquez, P. S., Zulaica, M. L. & Sacido M. B. (2021). Cambios de usos del suelo en el partido de Tandil (1989-2019), según sistemas ecológico-paisajísticos. *Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG)*. Universidad Nacional de Luján, Argentina. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/164568> (ISSN 1852-8031)
- Segura-Castruita, M. & Ortiz-Solorio, C. (2017). Modeling monthly potential evapotranspiration from maximum-minimum temperature and altitude. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(3), 93-110.
- Senisterra, G. E., & Gasparl, F. J. (2014). Análisis del uso del suelo en el contexto de su dinámica espacio temporal en una cuenca rural serrana: Argentina. *Revista de tecnología*, 13. DOI: <https://doi.org/10.18270/rt.v13i2.1885>
- Smith, M. (1992). CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. *Irrigation and Drainage Paper* n° 46. Roma, (69-7)2
- Vignolo, J., Serra, M., Zapata, M., Ricci, D., Capello, S., Bracaioli, M., & Rovasio, M. (2023). Costos Ambientales por la degradación de los Suelos en la Gestión Agropecuaria. *Jornadas de Ciencia y tecnología UTN Facultad regional san francisco 2023*. Disponible en <https://jornadascyt2023.sanfrancisco.utn.edu.ar/media/project/2fffb6c5-424b-4a01-a47a-1c7ec77931a1.pdf>
- Ward, F. A., & Michelsen, A. (2002). The economic value of water in agriculture: concepts and policy applications. *Water policy*, 4(5), 423-446. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147331>
- Wood, S., Sebastian, K., & Scherr, S. J. (2000). *Pilot analysis of global ecosystems: agroecosystems*. World Resources Institute. (pp. xi+87), recuperado de <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20013036518>